Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебное пособие

Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

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

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1. СОЗДАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ 5
Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 1 10
2. СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СЪЕМОЧНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЕТЕЙ 11
2.1. Определение плановых координат пунктов способом теодолитных ходов 11
2.2. Определение плановых координат пунктов съемочной сети методом геодезических засечек 14
2.3. Определение высотных отметок пунктов съемочной сети 48
Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 2 51
3. МАРШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ ТРАНШЕЙ 53
Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 3 64
4. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ 64
Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 4 70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 72

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие включает комплекс основных расчетно-графических работ, выполняемых маркшейдером при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. По значению, трудоемкости и характеру данные работы относятся к капитальным и основным.

Материал составлен в виде отдельных примеров по видам маркшейдерских работ и распределен по следующим темам: «Создание или реконструкция опорных и съемочных сетей на земной поверхности и в карьере», «Маркшейдерское обеспечение горнокапитальных и буровзрывных работ (составление плана-проекта)», «Подсчет объемов горной массы при проходке горных выработок».

В маркшейдерии изучение теоретических основ и их использование на практике при обучении специалистов возможно только при решении конкретных задач и примеров.

Учебное пособие предполагает выполнение заданий на лабораторных занятиях под руководством преподавателя и самостоятельную работу студента. При самостоятельной работе студентом выполняются задания на базе лабораторных работ, курса лекций и изучения технической литературы по вопросам, предусмотренным при изучении дисциплины «Маркшейдерия».

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой обучения и учитывает изменения, произошедшие в изложении курса. Приводятся типовые примеры с последовательностью расчетов, выполняемых в период лабораторных занятий, перечень дополнительных заданий и литература для самостоятельного изучения дисциплины и выполнения курсовой работы.

1. СОЗДАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ

Работы по созданию и реконструкции опорных маркшейдерских сетей на территории административно-производственной деятельности горного предприятия выполняются по техническому проекту.

Государственную геодезическую сеть, являющуюся главной геодезической основой при решении данной задачи, подразделяют на четыре вида: сети триангуляции, полигонометрии, трилатерации и глобальная навигационная спутниковая сеть (ГНСС). По классу точности каждый из видов различается: плановые 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, высотные I, II, III и IV классов.

На территории горного предприятия маркшейдерские опорные сети создаются силами маркшейдерских служб горного предприятия или лицензированными подрядными организациями в порядке, установленном требованиями Инструкции [1] по согласованию с Ростехнадзором.

Наибольшее распространение на карьерах в качестве плановых опорных сетей находят сети 4-го класса и сети сгущения 1-го и 2-го разрядов, в качестве высотных опорных сетей – нивелирные сети III и IV классов [1], создаваемые на основе пунктов государственной геодезической сети путем перехода от высшего разряда точности к низшему [2].

Расчет координат и высот пунктов всех видов сетей ведется в принятых прямоугольных системах координат в проекции Гаусса и Балтийской системе высот.

Решение задач

В процессе выполнения маркшейдерских работ при создании, реконструкции опорных маркшейдерских сетей и выполнении маркшейдерской съемки производят измерения линейных и угловых величин.

Единицей длины принято считать 1 м (метр), длина которого равна 1650763,73 длины волны излучения спектра атома криптона-86 в вакууме. В 1 м – 100 см, 1000 мм; 1000 м = 1 км.

Углы выражаются в градусной, децимальной и радиальной мерах, в маркшейдерии, как правило, в градусной и радиальной

мере. Единицей угла принято считать 1 градус (1°), равный 1/90 части прямого угла: 1° = 60′ (минут), 1′ = 60″ (секунд).

В радиальной мере единицей угла считается 1 радиан, равный отношению длины дуги в один радиус к величине соответствующего радиуса. При β = 57°17′45″ 1 радиан = 1. Следовательно, $\beta_r = \beta°/57{,}3 = \beta'/3438' = \beta'' / 206265''$. Для малых углов, близких к 0°, $\beta_r = \sin\beta° = \operatorname{tg}\beta°$.

Задача 1. Выразить значение угла 30°35′45″ в виде десятичной дроби.

Решение. $\beta = \beta°+(\beta'+\beta''/60'')/60'$; $\beta = 30+(35+45/60'')/60' = 30{,}595833°$.

Задача 2. Выразить значение угла 30,595833° в градусной мере.

Решение. Определяем число минут и секунд:

$0{,}595833 \cdot 60' \cdot 60' = 2145''$.

Определяем число минут:

$2145'' / 60'' = 35{,}75'$

Определяем число секунд:

$0{,}75' \cdot 60'' = 45''$

Результат: 30°35′45″.

Ориентирование в маркшейдерском деле производят по ориентирующим углам отдельных линий, проложенных между пунктами маркшейдерских сетей. Ориентирующими углами принято считать: географические ($A_Г$) и магнитные ($A_М$) азимуты, дирекционные углы (α) и румбы (r).

Между географическим и магнитным азимутами ориентируемой линии имеется расхождение, так называемое магнитное склонение (δ), которое подразделяется на восточное (+δ) или западное (-δ). Величина магнитного склонения определяется из выражения

$$\delta = A_Г - A_М.$$

Расхождение между значениями географического азимута и дирекционным углом ориентируемой линии называется сближением меридианов (γ). Различают восточное (+γ) и западное (-γ) сближения. В общем случае сближение меридианов

$$\gamma = A_{\Gamma} - \alpha.$$

Румбы – углы в пределах от 0 до 90°. Румбы могут быть географическими, магнитными и дирекционными.

Задача 3. Определить A_{Γ}, если известно $A_{\text{М}} = 110°$ и магнитное склонение $\delta = +3°45''$.

Решение. $\text{А}_{\Gamma} = \text{А}_{\text{М}} + \delta = 110° + (+3°45'') = 113°45''$.

Задача 4. Определить значение румба линии (r), дирекционный угол (α) которой равен 345°.

Решение. $r = 360° - \alpha = 360° - 345° = 15°$.

В маркшейдерии используются системы географических и прямоугольных координат точек. К географическим координатам относятся ее долгота (λ) и широта (φ). К прямоугольным координатам относятся расстояния: координата X – от точки до экватора и Y – от точки до осевого меридиана. В маркшейдерской практике в большинстве случаев используется прямоугольная система координат. При этом важное значение имеет умение решать прямую и обратную геодезические задачи.

Прямая геодезическая задача – определить координаты точки B по известным координаты точки A:

$$X_B = X_A + d_{AB} \cdot \cos\alpha_{AB};$$
$$Y_B = Y_A + d_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB},$$

где d_{AB} – горизонтальная проекция линии;

$б_{AB}$ – дирекционный угол линии, соединяющей точки A и B.

Обратная геодезическая задача – определить дирекционный угол $б_{AB}$ и горизонтальную проекцию d_{AB} линии, соединяющей точки A и B по известным координатам X_A и Y_A:

$$r_{AB} = \text{arctg}\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right);$$

$$d_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin r_{AB}} = \frac{X_B - X_A}{\cos r_{AB}},$$

где r_{AB} – румб линии.

При определении дирекционного угла линии (α_{AB}) следует учитывать знаки приращения координат (табл. 1).

Таблица 1

Выбор знаков приращения координат

A, град	0-90	90-180	180-270	270-360
$X_B - X_A$	+	–	–	+
$Y_B - Y_A$	+	+	–	–
α_{AB}, град	r_{AB}	180°- r_{AB}	180°+ r_{AB}	360° - r_{AB}

Положение точки (B) по отвесной (вертикальной) линии относительно точки (А) называется превышением ДZ – разница высот между двумя точками. В нашей стране высоты точек отсчитываются в Балтийской системе высот:

$$\Delta Z = Z_B - Z_A, \; Z_B = Z_A + \Delta Z,$$

где Z_A, Z_B – высотные отметки точек A и B.

Задача 5. Определить высоту точки B (Z_B), если известна высота точки A (Z_A) = 256,4 м и превышение между точками ДZ = –7,7 м.

Решение. $Z_B = Z_A - \Delta Z = 256{,}4 - 7{,}7 = 248{,}7$ м.

Задача 6. Определить наклонную длину (L), угол наклона (δ) линии и ее уклон (i), если известны: X_A = 10 м, Y_A = 20 м, Z_A = = 0 м, X_B = 100 м, Y_B = 200 м, Z_B = 50 м.

Решение.

$$L = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} =$$

$$\sqrt{(100-10)^2 + (200-20)^2 + (50-0)^2} = \sqrt{43000} = 207{,}364 \text{ м};$$

$$\delta = \operatorname{arctg}\left(\frac{Z_B - Z_A}{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}}\right) =$$

$$= \operatorname{arctg}\left(\frac{50 - 0}{\sqrt{(100 - 10)^2 + (200 - 20)^2}}\right) = 13°57'10''.$$

Ответ. $L = 207{,}364$ м, $\delta = 13°57'10''$, $i = 0{,}248$.

По данным опорных маркшейдерских сетей и результатам топографической съемки, для изображения земной поверхности и ее недр на горных предприятиях требуется большое количество чертежей (карт, планов). Для правильного их составления и чтения важно знать масштаб чертежей и его точность.

Под масштабом понимается дробное число с числителем, равным единице, а знаменателем – числу, показывающему степень уменьшения длины линии на чертеже к соответствующей длине этой же линии в натуре.

Масштабы разделяются на численный, линейный и поперечный.

Численный масштаб: $1/M = d/L$,

где M – знаменатель масштаба;

d – длина линии на чертеже;

L– длина линии в натуре.

Линейный масштаб – это прямая линия с нанесёнными на ней несколькими равными (1 см) отрезками. Линейный масштаб удобен при уменьшении или увеличении чертежей в процессе их копирования.

Поперечный масштаб необходим при откладывании или измерении линий с большой точностью.

Масштаб чертежей характеризуется точностью, т. е. расстоянием в натуре, соответствующим в данном масштабе отрезку 0,1 мм на чертеже.

Точность масштаба:

$$\varepsilon_M = 0{,}1 \text{ м},$$

где M – знаменатель масштаба.

Задача 7. Определить численный масштаб, если отрезок на чертеже $d = 1$ см, а соответствующая ему линия в натуре $L = 10$ м.

Решение.

$1/M = d/L = 1$ см/10 м = 10 см/1000 см = 1/1000.

Задача 8. Определить точность масштаба при значении его знаменателя M=100.

Решение.

$\varepsilon_M = 0{,}1\ M = 0{,}1 \cdot 100 = 10$ мм = 0,01 м.

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 1

1. Выразите значение угла в виде десятичной дроби $30°35'45'' + N°N'N''$, где N – здесь и далее номер варианта.
2. Выразите значение угла $30{,}595830° + N°$ в градусной мере.
3. Определите азимут географический $A_Г$, если известен азимут магнитный $A_М = 110° + N°$ и магнитное склонение $\delta = +3°45''$.
4. Определите значение румба (r) линии, дирекционный угол (α) которой равен $345° + N°N'N''$.
5. Определите высоту точки B (Z_B), если известна высота точки A (Z_A) = 256,4 м + Nм и превышение между точками $\Delta Z = -7{,}7$ м + Nм.
6. Определите наклонную длину (L), угол наклона (δ) линии и ее уклон (i), если известны: $X_A = 10$ м + Nм, $Y_A = 20$ м + Nм, $Z_A = 0$ м + Nм, $X_B = 100$ м + Nм, $Y_B = 50$ м + Nм.
7. Определите численный масштаб, если отрезок на чертеже $d = 1$ см, а соответствующая ему линия в натуре $L = 10$ м + N м.
8. Определите точность масштаба при значении его знаменателя $M = 100$ Nм.
9. Какие пункты являются исходными для построения опорных маркшейдерских сетей?
10. Какого класса точности должны быть пункты опорных маркшейдерских сетей?
11. Каковы основные характеристики опорных маркшейдерских сетей и их плотность на территории горного предприятия?

2. СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СЪЁМОЧНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЕТЕЙ

Работа по созданию съемочных сетей на карьерах в соответствии с требованиями инструкции [1] выполняется по техническому проекту, в котором определяется схема, местоположение, количество пунктов съемочного обоснования, методика измерений и камеральная обработка.

Плановое положение пунктов съемочных сетей (координаты X, Y) определяют: прохождением теодолитных ходов, геодезическими засечками, полярным способом, высотные отметки (координата Z) – геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

Графическая основа съемочных сетей создается на планах земной поверхности и горных работ в масштабах 1:1000, 1:2000, 1:5000.

Решение задач

2.1. Определение плановых координат пунктов способом теодолитных ходов

Теодолитные хода прокладываются от пунктов опорных сетей в виде замкнутых или разомкнутых полигонов. Предельная угловая невязка теодолитного хода $45''\sqrt{n}$ [1] или $1{,}5t\sqrt{n}$, где n – число измеренных углов в ходе; t – точность отсчитывания прибора (теодолита), но не ниже 30″.

Задача 1. Расчет координат теодолитного хода. Пройти замкнутый теодолитный ход, определить угловую и линейную невязки, уравнять ход, рассчитать координаты точек теодолитного хода.

Решение.

Исходные данные – дирекционные углы начальной стороны и координаты точки в опорной сети (рис. 1):

полигон № 1

$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55''$; $X_I = 640720{,}200$; $Y_I = 6125312{,}050$;

полигон № 2

$\alpha_{VI\text{-}VII} = 70°30'30''$; $X_{VI} = 640710{,}100$; $Y_{VI} = 6125350{,}040$.

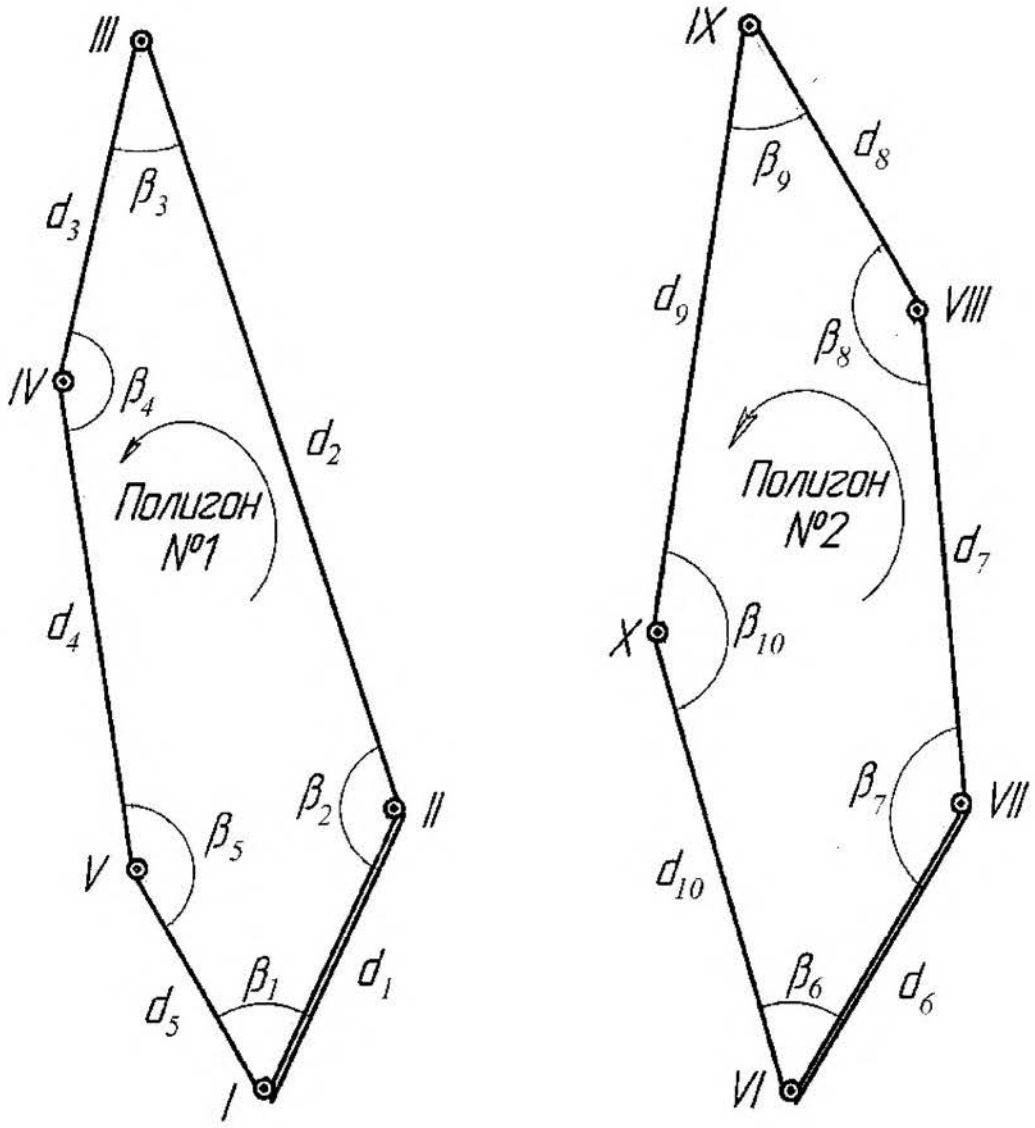


Рис. 1. Замкнутый полигон теодолитного хода:
исходные стороны опорных сетей:
β – горизонтальные углы;
d – горизонтальные линии

Требуется измерить:
Полигон № 1:
горизонтальные углы – β_1, β_2, ... β_5;
горизонтальные линии – d_1, d_2, ... d_5.
Полигон № 2:
горизонтальные углы – β_6, β_7, … β_{10};
горизонтальные линии – d_6, d_6, … d_{10}.

Методика измерений:

– горизонтальные углы измеряются двумя приемами. Допустимое расхождение между приемами $1{,}5t$, где t – точность отсчитывания прибора (теодолита), но не ниже 30″;

– горизонтальные линии измеряются металлической рулеткой с точностью отсчитывания 1 мм, дважды в прямом и дважды в обратном направлениях. Допустимое расхождение между измерениями ± 2 мм или 1:3000. Направление хода указано стрелкой (см. рис. 1).

В расчеты принимаются среднеарифметические значения углов и длин.

Требуется определить: координаты вершин точек теодолитного хода:

$X_{\text{II}}, Y_{\text{II},}\, X_{\text{III}}, Y_{\text{III},}\, X_{\text{IV}}, Y_{\text{IV},}\, X_{\text{V}}, Y_{\text{V}}$ – полигон № 1;

$X_{\text{VII}}, Y_{\text{VII},}\, X_{\text{VIII}}, Y_{\text{VIII},}\, X_{\text{IX}}, Y_{\text{IX},}\, X_{\text{X}}, Y_{\text{X}}$ – полигон № 2.

Методика вычислений:

1) рассчитывается угловая невязка хода:

$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{изм}} - \Sigma\beta_{\text{теор}};$

$\Sigma\beta_{\text{теор.}} = 180^\circ(n-2)$ – внутренние углы;

$\Sigma\beta_{\text{теор.}} = 180^\circ(n+2)$ – внешние углы;

$f_\beta \le f_{\text{доп}};$

$f_{\text{доп.}} = m_\beta\sqrt{n},$

где n – число измеренных углов в полигоне; m_β – среднеквадратическая погрешность измерения горизонтальных углов (20″);

2) при соблюдении условия $f_\beta \le f_{\text{доп}}$ угловая невязка f_β распределяется с обратным знаком во все углы полигона поровну;

3) после распределения угловой невязки, решая прямую геодезическую задачу, рассчитывают дирекционные углы всех сторон полигона, приращения координат точек вершин хода и линейные невязки:

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}\ ;\ f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P} = \frac{f_{\text{абс}}}{\sum d_i};\ \ f_{\text{отн}} \le f_{\text{доп}} \le \frac{1}{3000},$$

где f_x, f_y – линейные невязки хода; P – периметр полигона; $f_{\text{отн}}$, $f_{\text{доп}}$ – относительная и допустимая невязки хода; d_i – горизонтальное проложение сторон полигона;

4) при соблюдении условия $f_{\text{отн}} \le f_{\text{доп}} \le \frac{1}{3000}$ линейные невязки f_x, f_y распределяются в приращения координат с обратным знаком пропорционально длинам сторон:

$$f_{x_i} = \frac{f_x}{P} \cdot d_i; \qquad f_{y_i} = \frac{f_y}{P} \cdot d_i;$$

5) после уравнивания (распределения линейной невязки) выполняется расчет координат пунктов полигона. Вычисление дирекционных углов и координат проводится по известным из курса геодезии формулам (решение прямой геодезической задачи).

Пример расчета координат пунктов полигона представлен в табл. 2.

2.2. Определение плановых координат пунктов съемочной сети методом геодезических засечек

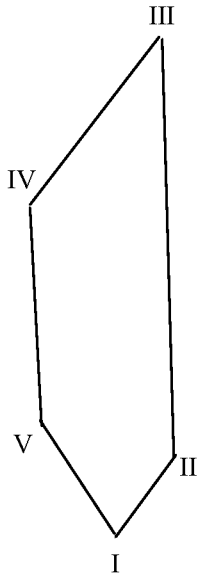
Геодезические засечки – способ определения плановых координат (X, Y) отдельных пунктов по необходимому числу измеренных угловых и линейных величин. В зависимости от методики измерений и вычислений геодезические засечки называются: прямая, обратная, азимутальная, линейная.

Расчет координат определяемого пункта ведется из двух треугольников в прямой и линейной и из двух вариантов в обратной засечке. За окончательные координаты принимается среднеарифметическое их значение. Допустимое расхождение в полученных координатах одного пункта из двух решений не должно превышать 0,6 мм на плане в масштабе съемки. Наиболее выгодной формой треугольника, с точки зрения точности определения координат, является треугольник, в котором углы при определяемом пункте между направлениями на исходные не менее 30° и не более 150°. Расстояния между исходными пунктами и определяемым не должны превышать 1, 2, 3 км соответственно в масштабах планов съемки 1:1000, 1:2000, 1:5000 [1].

Таблица 2

Пример расчета координат точек теодолитного хода, полигон № 1

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения, м		Координаты, м		Номер пункта	Эскиз
стояния	наблюдения		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
I								6125	640	I	
						-1		312,050	720,200		
	II	24,882			75 55 55	24,136	6,048	336,185	726,248	II	
II			+10								
			179 52 51	179 53 01		-2					
	III	26,913			75 48 56	26,092	6,595	362,275	723,843	III	
III			+9								
			4 29 12	4 29 21		-1					
	IV	17,275			260 18 17	-17,028	-2,909	345,246	729,934	*IV*	
IV			+9								
			175 53 38	175 53 47		-1					
	V	16,044			256 12 04	-15,581	-3,827	329,664	726,107	V	
V			+9								
			175 15 27	175 15 36		-1					
	I	18,577			251 27 40	-17,613	-5,907	312,050	720,200	I	
I			+9								
			4 28 06	4 28 15							
	II				75 55 55						
		P = 103,691	f_β=–46"	f_β=0"		f_y=0,006	f_x=0,000				

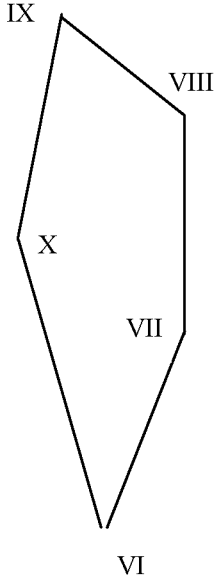


Примечание. $f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 7$ мм; $f_{отн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{7}{103691} = \frac{1}{14813} \le \frac{1}{3000}$; $f_{доп} = \frac{1}{3000}$.

Окончание таблицы 2

Пример расчета координат точек теодолитного хода, полигон № 2

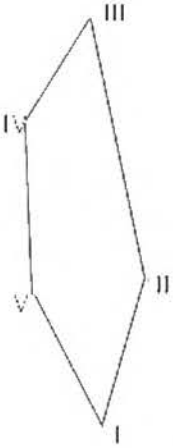
Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пункта	Эскиз
стояния	наблюдения		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
VI								6125 350,040	640 710,100	VI	
	VII	17,182			70 30 30	16,197	5,733	366,237	715,833	VII	
VII			+2 176 52 55	176 52 57							
	VIII	16,990			67 23 27	15,684	6,532	381,929	722,365	VIII	
VIII			+2 176 28 38	176 28 40							
	IX	17,163			63 52 7	+1 15,409	7,559	397,331	729,924	*IX*	
IX			+2 4 5 26	4 5 28		+1	-1				
	X	26,913			247 57 35	-24,946	-10,099	372,386	719,826	X	
X			+3 178 31 12	178 31 15		+1					
	VI	24,372			246 28 50	-22,347	-9,726	350,040	710,100	VI	
VI			+2 4 1 38	4 1 40							
	VII				70 30 30						
		P = 102,620	f_β=-11"			f_y=-0,003	f_x=-0,000				



Примечание. $f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-3)^2 + 1^2} = 3{,}2$ мм; $f_{отн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{3{,}2}{102620} = \frac{1}{32069} < \frac{1}{3000}$; $f_{доп} = \frac{1}{3000}$.

Пример расчета координат точек теодолитного хода, полигон № 1 оформленный в Excel

Точки		Горизонтальные проложения	Горизонтальные углы				Дирекционные углы		Приращения, м		Координаты		№	Эскиз
			x° x′ x″	десят.	испр.	x° x′ x″	x° x′ x″	десят.	ДУ	ДХ	Y 6125	X 640		
I		24,882						75,932	0	0	321,050	720,200	I	
	II						75 55 55		24,136	6,048	345,185	726,248	II	
II		26,912	2	179,882		179 52 57		75,814	0	0				
	III		179 52 54		179,882		75 48 52		26,091	6,595	371,276	732,843	III	
III		17,275	2	4,485		4 29 9		260,300	0	0				
	IV		4 29 7		4,486		260 18 0		-17,028	-2,911	354,248	729,932	IV	
IV		16,047	2	175,896		175 53 46		256,196	0	0				
	V		175 53 44		175,896		256 11 46		-15,584	-3,829	338,664	726,103	V	
V		18,577	2	175,276		175 16 36		251,473	0	0				
	I		175 16 34		175,277		251 28 22		-17,614	-5,903	321,050	720,200	I	
I			2	4,459		4 27 33		75,932						
	II		4 27 31		4,459		75 55 55							
5	P=103,693		Fb=-10″	540	сход.			Fn=	0,001	0,001				



Fабс=1,6 мм $F_{отн} = \frac{1,6}{103693} = \frac{1}{64808} \leq \frac{1}{3000}$

Задача 2. Прямая геодезическая засечка

Для решения прямой геодезической засечки на исходных пунктах I, II, III (рис. 2) измеряются углы r_1 и r_2 в одном треугольнике и r_3, r_4 – во втором. Для определения координат пункта P_1 достаточно решения одного треугольника по известным координатам X_{I}, Y_1, X_{II}, Y_{II} пунктов I, II и измеренным углам r_1, r_2. Решение второго треугольника по известным координатам X_{II}, Y_{II}, X_{III}, Y_{III} и измеренным углам r_3, r_4 проводится для контроля.

Известны несколько способов решения прямой засечки. Наиболее распространенные из них два: по формулам котангенсов измеренных углов и тангенсов дирекционных углов [2].

Методические указания для решения

1. По аналогии с рис. 2 на листе формата А4 вычерчивается план участка карьера в масштабе 1 : 2000.

2. На план участка карьера по известным координатам X_{I}, Y_1, X_{II}, Y_{II}, X_{III}, Y_{III} (табл. 3) наносятся пункты опорной сети I, II, III.

3. В карьере на нижнем горизонте между вторым и третьим уступами выбирают место заложения точки съемочного обоснования (точка P_1, см. рис. 2). При выборе места заложения пункта P_1 учитываются требования, предъявляемые к геодезическим засечкам, указанные выше и в Инструкции [1]. Наиболее выгодная форма – равносторонний треугольник.

Таблица 3

Координаты пунктов опорной сети

Номера пунктов	*X*, м	*Y*, м
I	20	50
II	220	110
III	230	290
IV	200	460

Исходные данные для расчета координат точки P_1:
углы r_1, r_2, r_3, r_4 берутся с плана, измеряются транспортиром с точностью 0,5° (на практике они измеряются теодолитом). Дополнительно для повышения точности расчета и недопущения

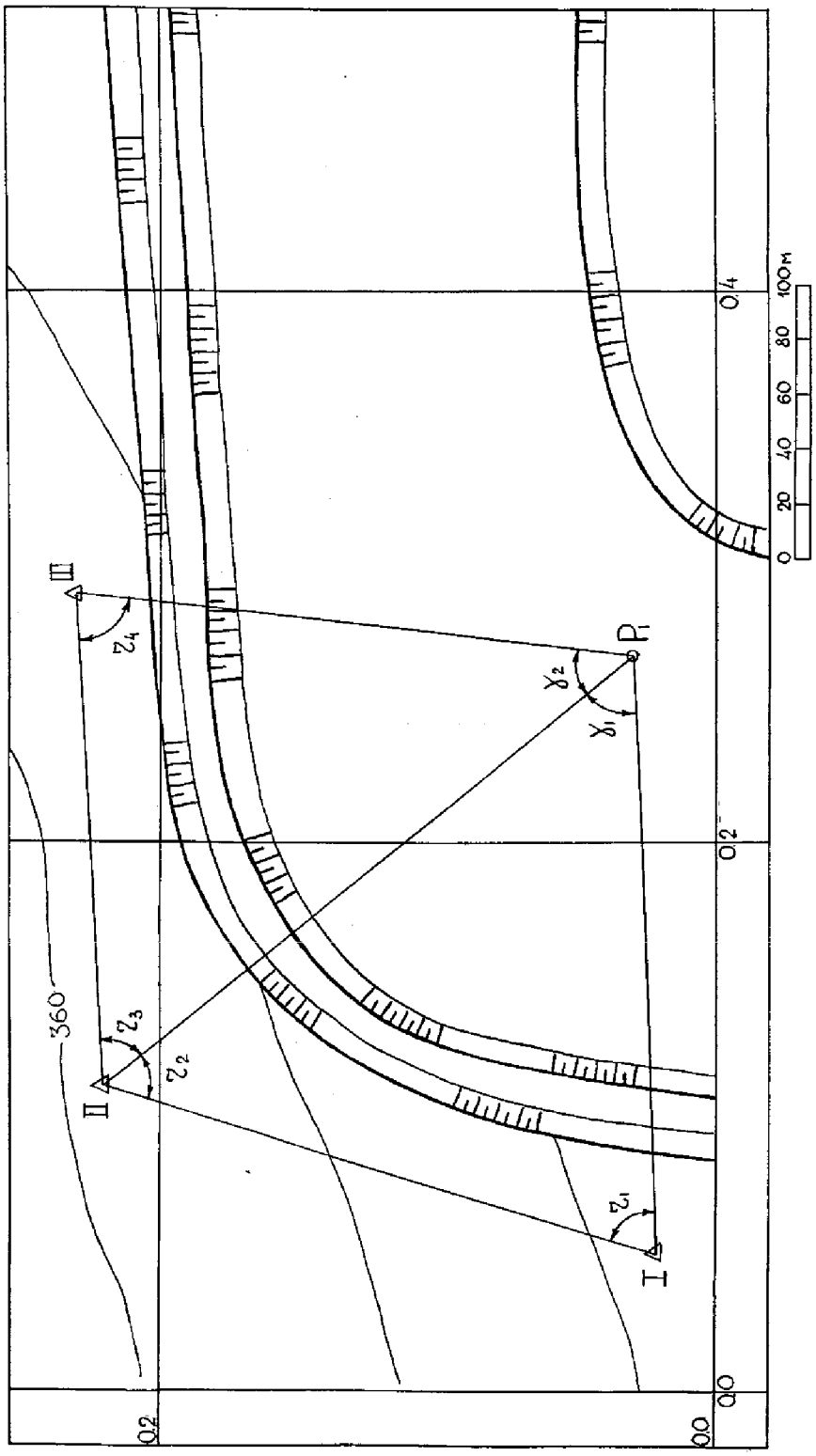


Рис. 2. Прямая геодезическая засечка

грубых ошибок измеряются углы при определяемом пункте (γ_1, γ_2), и сумма углов в треугольнике приравнивается к 180°:

$$r_1 + r_2 + \gamma_1 = 180^\circ;$$
$$r_3 + r_4 + \gamma_2 = 180^\circ.$$

Решение прямой геодезической засечки по формулам котангенсов измеренных углов

Вычисление координат пункта P_I
из треугольника I-II-P_I

Измеренные углы: r_1=71°, r_2=56°, γ_1=53°.

Исходные данные:

X_I = 20 м; Y_I = 50 м; X_II = 220 м; Y_II = 110 м (см. табл. 2).

Решение.

$$X_{P_1} = \frac{X_\text{II}\operatorname{ctg}(r_1) + X_\text{I}\operatorname{ctg}(r_2) + Y_\text{I} - Y_\text{II}}{\operatorname{ctg}(r_1) + \operatorname{ctg}(r_2)} =$$

$$= \frac{220 \cdot \operatorname{ctg}(71^\circ) + 20 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ) + 50 - 110}{\operatorname{ctg}(71^\circ) + \operatorname{ctg}(56^\circ)} = 28{,}702 \text{ м},$$

$$Y_{P_1} = \frac{Y_\text{II}\operatorname{ctg}(r_1) + Y_\text{I}\operatorname{ctg}(r_2) - X_\text{I} + X_\text{II}}{\operatorname{ctg}(r_1) + \operatorname{ctg}(r_2)} =$$

$$= \frac{110 \cdot \operatorname{ctg}(71^\circ) + 50 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ) - 20 + 220}{\operatorname{ctg}(71^\circ) + \operatorname{ctg}(56^\circ)} = 266{,}580 \text{ м}.$$

Контроль промежуточный:

$$X_\text{I} = \frac{X_{P_1}\operatorname{ctg}(r_2) + X_\text{II}\operatorname{ctg}(\gamma_1) + Y_\text{II} - Y_{P_1}}{\operatorname{ctg}(r_2) + \operatorname{ctg}(\gamma_1)} =$$

$$= \frac{28{,}702 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ) + 220 \cdot \operatorname{ctg}(53^\circ) + 110 - 266{,}580}{\operatorname{ctg}(56^\circ) + \operatorname{ctg}(53^\circ)} = 20{,}000 \text{ м}.$$

$$Y_\text{I} = \frac{Y_{P_1}\operatorname{ctg}(r_2) + Y_\text{II}\operatorname{ctg}(\gamma_1) - X_\text{II} + X_{P_1}}{\operatorname{ctg}(r_2) + \operatorname{ctg}(\gamma_1)} =$$

$$= \frac{266{,}580 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ) + 110 \cdot \operatorname{ctg}(53^\circ) - 220 + 28{,}702}{\operatorname{ctg}(56^\circ) + \operatorname{ctg}(53^\circ)} = 50{,}000 \text{ м.}$$

Вычисление координат пункта P_1
из треугольника II-III-P_1

Измеренные углы: $r_3=54^\circ$; $r_4=80^\circ$; $\gamma_2=46^\circ$.

Исходные данные:

$X_{II} = 220$ м; $Y_{II} = 110$ м; $X_{III} = 230$ м; $Y_{III} = 290$ м (см. табл. 2).

Решение.

$$X_{P_1} = \frac{X_{III}\operatorname{ctg}(r_3) + X_{II}\operatorname{ctg}(r_4) + Y_{II} - Y_{III}}{\operatorname{ctg}(r_3) + \operatorname{ctg}(r_4)} =$$

$$= \frac{230 \cdot \operatorname{ctg}(54^\circ) + 220 \cdot \operatorname{ctg}(80^\circ) + 110 - 290}{\operatorname{ctg}(54^\circ) + \operatorname{ctg}(80^\circ)} = 28{,}683 \text{ м,}$$

$$Y_{P_1} = \frac{Y_{III}\operatorname{ctg}(r_3) + Y_{II}\operatorname{ctg}(r_4) - X_{II} + X_{III}}{\operatorname{ctg}(r_3) + \operatorname{ctg}(r_4)} =$$

$$= \frac{290 \cdot \operatorname{ctg}(54^\circ) + 110 \cdot \operatorname{ctg}(80^\circ) - 220 + 230}{\operatorname{ctg}(54^\circ) + \operatorname{ctg}(80^\circ)} = 265{,}922 \text{ м.}$$

Контроль промежуточный:

$$X_{II} = \frac{X_{P_1}\operatorname{ctg}(r_4) + X_{III}\operatorname{ctg}(\gamma_2) + Y_{III} - Y_{P_1}}{\operatorname{ctg}(r_4) + \operatorname{ctg}(\gamma_2)} =$$

$$= \frac{28{,}683 \cdot \operatorname{ctg}(80^\circ) + 230 \cdot \operatorname{ctg}(46^\circ) + 290 - 265{,}922}{\operatorname{ctg}(80^\circ) + \operatorname{ctg}(46^\circ)} = 220{,}000 \text{ м;}$$

$$Y_{II} = \frac{Y_{P_1}\operatorname{ctg}(r_4) + Y_{III}\operatorname{ctg}(\gamma_2) - X_{III} + X_{P_1}}{\operatorname{ctg}(r_4) + \operatorname{ctg}(\gamma_2)} =$$

$$= \frac{265{,}922 \cdot \operatorname{ctg}(80^\circ) + 290 \cdot \operatorname{ctg}(46^\circ) - 230 + 28{,}683}{\operatorname{ctg}(80^\circ) + \operatorname{ctg}(46^\circ)} = 110{,}000 \text{ м.}$$

Контроль решения прямой засечки:

Из решения двух треугольников разница в координатах пункта P_1:

$$\Delta X_{P_1} = 0{,}019 \text{ м}; \qquad \Delta Y_{P_1} = 0{,}658 \text{ м},$$

которая не превышает 0,6 мм на плане в масштабе съемки (для масштаба 1:2000 ΔX_{P_1}, $\Delta Y_{P_1} \le 1{,}2$ м).

Среднеарифметическое значение координат точки P_1 из двух треугольников:

$$X_{P_1} = 28{,}692 \text{ м}; \qquad Y_{P_1} = 266{,}251 \text{ м}.$$

Оценка точности планового положения пункта P_1 характеризуется среднеквадратической погрешностью относительно пунктов опорной сети, величина которой не должна превышать 0,4 мм на плане в масштабе съемки [1] (для масштаба 1:2000 $M_P \le 0{,}8$ м):

для треугольника I-II-P_1

$$M_{P_1} = \pm\frac{m''_\beta}{\rho''} \cdot B_1 \frac{\sqrt{\sin^2(r_1)+\sin^2(r_2)}}{\sin^2\gamma_1} =$$

$$= \pm\frac{15''}{206265''} \cdot 208{,}806 \cdot \frac{\sqrt{\sin^2(71^\circ)+\sin^2(56^\circ)}}{\sin^2(53^\circ)} = 0{,}058 \text{ м};$$

для треугольника II-III-P_1

$$M_{P_2} = \pm\frac{m''_\beta}{\rho''} \cdot B_2 \frac{\sqrt{\sin^2(r_4)+\sin^2(r_3)}}{\sin^2\gamma_2} =$$

$$= \pm\frac{15''}{206265''} \cdot 180{,}277 \cdot \frac{\sqrt{\sin^2(80^\circ)+\sin^2(54^\circ)}}{\sin^2(46^\circ)} = 0{,}063 \text{ м},$$

где m_β – среднеквадратическая погрешность измерения углов ($15''$); B_1, B_2 – базис прямой засечки (расстояние между пунктами опорной сети), определяется решением обратной геодезической задачи:

$$B_1 = \sqrt{(Y_{II}-Y_I)^2+(X_{II}-X_I)^2} = \sqrt{(110-50)^2+(220-20)^2} = 208{,}806 \text{ м};$$

$$B_2=\sqrt{(Y_{III}-Y_{II})^2+(X_{III}-X_{II})^2}=\sqrt{(290-110)^2+(230-220)^2}=180{,}277 \text{ м}.$$

В результате среднеквадратическая погрешность положения пункта P_1 относительно пунктов опорной сети из двух треугольников составила 0,063 м и не превышает допустимой величины (0,8 м).

Решение прямой геодезической засечки по формулам тангенсов дирекционных углов

Вычисление координат пункта P_I
из треугольника I-II-P_I

Измеренные углы: $r_1=71^\circ$, $r_2=56^\circ$, $\gamma_1=53^\circ$ (вычисляем).

Исходные данные:

$X_I = 20$ м; $Y_I = 50$ м; $X_{II} = 220$ м; $Y_{II} = 110$ м (см. табл. 2).

Решение.

Определяем дирекционные углы сторон:

$$\alpha_{I-II}=\operatorname{arctg}\frac{Y_{II}-Y_I}{X_{II}-X_I}=\operatorname{arctg}\frac{110-50}{220-20}=16^\circ 41' 57'',$$

$$\alpha_{I\text{-}P}=\alpha_{I\text{-}II}+\beta_1=16^\circ 41' 57''+71^\circ=87^\circ 41' 57''.$$

$$\alpha_{II\text{-}P}=\alpha_{I\text{-}II}-\beta_2+180^\circ=16^\circ 41' 57''-56^\circ+180^\circ=140^\circ 41' 57'';$$

Определяем углы при точке 1:

$$\gamma_1=180^\circ-\beta_1-\beta_2=180^\circ-71^\circ-56^\circ=53^\circ;$$

или

$$\gamma_1=\alpha_{II\text{-}P}-\alpha_{I\text{-}P}=140^\circ 41' 57''-87^\circ 41' 57''=53^\circ.$$

Определяем координаты точки P_1:

$$X_{P_1}=\frac{X_I\operatorname{tg}\alpha_{I-P}-X_{II}\operatorname{tg}\alpha_{II-P}+Y_{II}-Y_I}{\operatorname{tg}\alpha_{I-P}-\operatorname{tg}\alpha_{II-P}},;$$

$$X_{P_1}=\frac{20\cdot\operatorname{tg}(87^\circ 41' 57'')-220\cdot\operatorname{tg}(140^\circ 41' 57'')+110-50}{\operatorname{tg}(87^\circ 41' 57'')-\operatorname{tg}(140^\circ 41' 57'')}=28{,}702 \text{ м},$$

$$X_{P_1}=Y_I+(X_P-X_I)\operatorname{tg}\alpha_{I\text{-}P};$$

$$X_{P_1}=50+(28{,}702-20)\operatorname{tg}87^\circ 41' 57''=266{,}582 \text{ м}.$$

Вычисление координат пункта P_1
из треугольника II-III-P_1

Измеренные углы: r_3=54°; r_4=80°; γ_2=46° (вычисляем).

Исходные данные:

X_{II} = 220 м; Y_{II} = 110 м; X_{III} = 230 м; Y_{III} = 290 м (см. табл. 2).

Решение.

Определяем дирекционные углы сторон:

$$\alpha_{II-III} = \text{arctg}\ \frac{Y_{III} - Y_{II}}{X_{III} - X_{II}} = \text{arctg}\ \frac{290 - 110}{230 - 220} = 86^\circ 49' 12'';$$

$$\alpha_{II\text{-}P} = \alpha_{II\text{-}III} + \beta_1 = 86^\circ 49' 12'' + 54^\circ = 140^\circ 49' 12'';$$

$$\alpha_{III\text{-}P} = \alpha_{II\text{-}III} - r_4 + 180^\circ = 86^\circ 49' 12'' - 80^\circ + 180^\circ = 186^\circ 49' 12''.$$

Определяем углы при точке P_1:

$$\gamma_1 = 180^\circ - r_3 - r_4 = 180^\circ - 54^\circ - 80^\circ = 46^\circ,$$

или $$\gamma_1 = \alpha_{III\text{-}P} - \alpha_{II\text{-}P} = 186^\circ 49' 12'' - 140^\circ 49' 12'' = 46^\circ.$$

Определяем координаты точки P_1:

$$X_{P_1} = \frac{X_{II}\,\text{tg}\,\alpha_{II-P} - X_{III}\,\text{tg}\,\alpha_{III-P} + Y_{III} - Y_{II}}{\text{tg}\,\alpha_{II-P} - \text{tg}\,\alpha_{III-P}};$$

$$X_{P_1} = \frac{220 \cdot \text{tg}(140^\circ 49' 12'') - 230 \cdot \text{tg}(186^\circ 49' 12'') + 290 - 110}{\text{tg}(140^\circ 49' 12'') - \text{tg}(186^\circ 49' 12'')} = 28{,}683 \text{ м};$$

$$y_{P_1} = y_{II} + (x_P - x_{II})\,\text{tg}\,\alpha_{II-P};$$

$$y_{P_1} = 110 + (28{,}683 - 220)\ \text{tg}\ 140^\circ 49' 12'' = 265{,}923 \text{ м}.$$

Из решения двух треугольников разница в координатах точки P_1

$$\Delta X_{P_1} = 0{,}019 \text{ м}; \qquad \Delta Y_{P_1} = 0{,}659 \text{ м},$$

которая не превышает 0,6 мм на плане в масштабе съемки (для масштаба 1:2000 ΔX_{P_1}, $\Delta Y_{P_1} \le 1{,}2$ м).

Среднеарифметическое значение координат точки P_1 из двух треугольников:

$$X_{P_1} = 28{,}692 \text{ м}; \qquad Y_{P_1} = 266{,}312 \text{ м}.$$

Ниже приведен пример расчета координат точек, оформленный в Excel.

Пример расчета координат точек, оформленный в Excel

Mβ		15						Доп. на плане 0,6						Mp2
Вариант		0		дес	град			дир углы			масштаб 1:2000			
Номер	*X*, м	*Y*, м	*r*1	71,0000	71 0 0		AI-II	16,6992	164157	из Dl-ll-P		Δ*X*p1	0,337	
			*r*2	56,0000	56 0 0		Ap-I	87,6992	874157	X=	28,702	Δ*Y*p1	0,398	0,058
I	20	50	*y*1	53,0000	53 0 0		Ap-II	140,6992	1404157	Y=	266,580			
II	220	110	*r*3	54,0000	54 0 0		AII-III	86,8202	864913	из Dl-ll-P		ответ		
III	230	290	*r*4	80,0833	80 50 0		Ap-II	140,8202	1404913	X=	28,364	*X*p1		0,063
IV	200	460	*y*2	45,9167	45 55 0		Ap-III	186,7368	1864413	Y=	266,182	*Y*p1		

Задача 3. Обратная геодезическая засечка

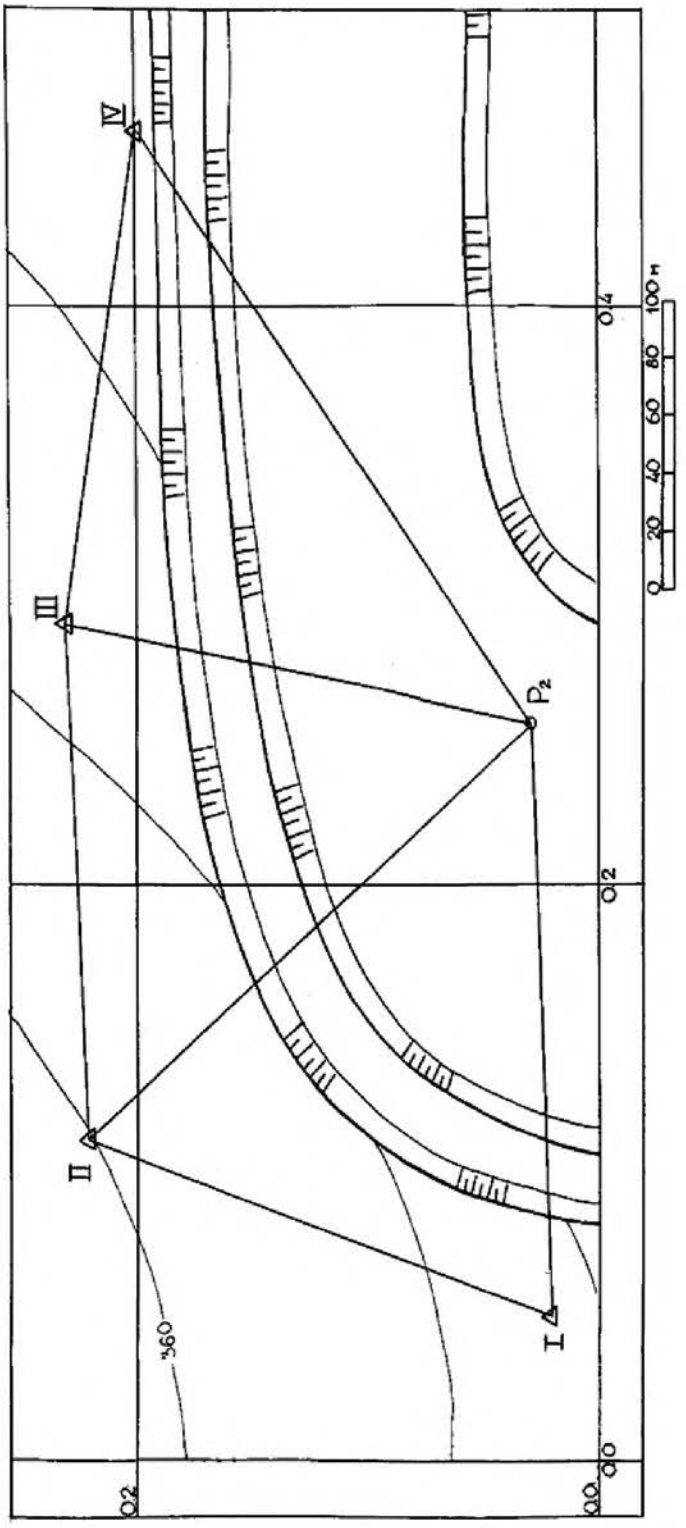
Расчет обратной геодезической засечки начинается с определения среднеквадратической погрешности положения точки съемочного обоснования P_2 относительно пунктов опорной сети I, II, III, IV с целью выбора наиболее выгодной схемы расположения пунктов. Для этого на плане участка карьера отмечают предполагаемое положение точки съемочной сети P_2 и проводят направления на опорные пункты I, II, III, IV (рис. 3).

Из всех возможных вариантов схем расположения пунктов (см. рис. 3) для решения обратной засечки выбирают те, у которых углы при определяемом пункте между направлениями на исходные не менее 30° и не более 150° [1, 2], расстояния между исходными пунктами и определяемым не более 2 км в масштабе плана 1:2000. Для схемы, приведенной на рис. 3, может быть составлено четыре варианта засечек (рис. 4): 1-й – на пункты I, II, III; 2-й – на II, III, IV; 3-й – на I, II, IV; 4-й – на I, III, IV.

По каждому варианту засечки, включающему три опорных пункта (два треугольника), среднеквадратическая погрешность вычисляется по формуле:

$$M_{P_2} = \frac{m_\beta \cdot l_{P_2 - i_{ср}}}{\rho'' \cdot \sin(\varphi + \psi)} \sqrt{\left(\frac{l_{P_2} - i_л}{l_{i_л} - i_{ср}}\right)^2 + \left(\frac{l_{P_2} - i_п}{l_{i_{ср}} - i_п}\right)^2},$$

где m_β – среднеквадратическая погрешность измерения углов β_i; ($m_\beta \le 15''$); l_i – длины соответствующих сторон i-го варианта засечки от определяемого до исходного пункта: (л) – левого, (ср) – среднего, (п) – правого и между исходными пунктами, км, берутся с плана участка карьера с точностью до 0,5 мм масштаба плана; φ_i, ψ_i – углы на исходных пунктах i-го варианта засечки, берутся с плана участка карьера с точностью до 0,5° (измеряются транспортиром).



IV
III
II
I
P2
360
0.0
0.2
0.4
0 20 40 60 80 100 m

Методические указания для решения обратной засечки

1. На план участка карьера в масштабе 1:2000 по известным координатам X_{I}, Y_1, X_{II}, Y_{II}, X_{III}, Y_{III}, X_{IV}, Y_{IV} (см. табл. 4) наносятся пункты опорной сети I, II, III, IV.

2. На нижнем горизонте отмечают предполагаемое место заложения точки съемочного обоснования P_2 и проводят направления на опорные пункты I, II, III, IV (см. рис. 3).

3. Производится расчет среднеквадратической погрешности положения точки P_2 (предварительная оценка вариантов) относительно пунктов опорной сети (M_{P_2}). По результатам оценки выбирают два наиболее точных варианта для расчета координат точки P_2, у которых среднеквадратическая погрешность не превышает 0,3 мм на плане (в масштабе 1:2000 это 0,6 м).

4. Выполняется расчет координат точки P_2 по двум выбранным вариантам.

5. Исходные данные для расчета (табл. 4): углы β_i, φ_i, ψ_i и длины сторон l_i берутся с плана участка карьера (см. рис. 3 и 4). Углы измеряются транспортиром с точностью 0,5°, длины – линейкой с точностью 0,5 мм.

Для решения обратной геодезической засечки существует несколько способов. В зависимости от расположения исходных пунктов между собой не все способы равнозначны. Наилучшим вариантом обратной геодезической засечки является вариант засечки с углами 120°, 60°, 45° при определяемом пункте и относительно равными расстояниями до исходных пунктов. Обратная засечка не имеет решения, когда определяемый пункт лежит на одной окружности с тремя исходными пунктами.

Решение.

Расчет среднеквадратической погрешности положения точки P_2 (исходные данные для расчета приведены в табл. 4).

Вариант 1 (исходные пункты I, II, III)

$$M_{P_2} = \frac{15 \cdot 239,7}{206265 \cdot 0,53} \cdot \sqrt{\left(\frac{204,8}{208,7}\right)^2 + \left(\frac{204,6}{180,3}\right)^2} = 0,049 \text{ м}.$$

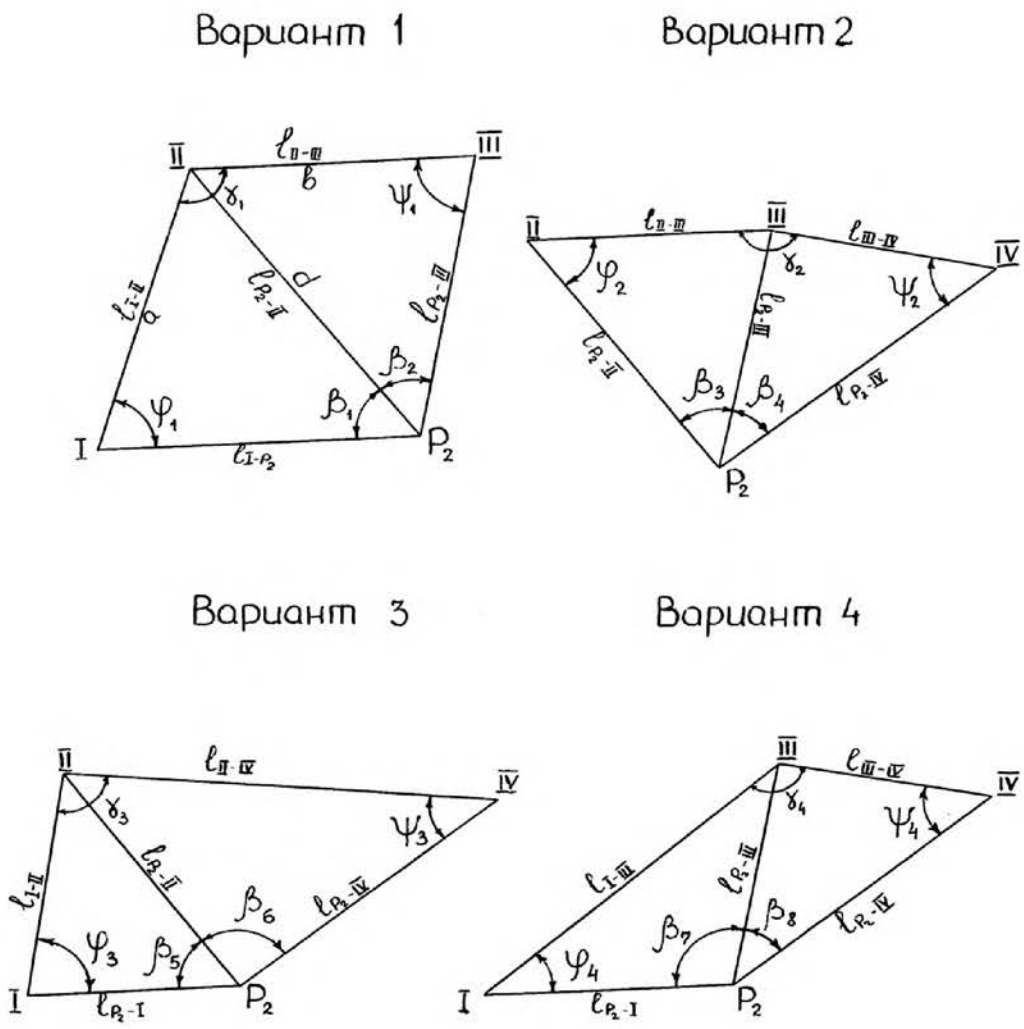


Рис. 4. Варианты обратной засечки

Таблица 4

Исходные данные для расчета обратной геодезической засечки, взятые с плана участка карьера

Наименования расстояний	Измеренные расстояния по вариантам, м			
	вариант 1, исходные пункты I, II, III	вариант 2, исходные пункты II, III, IV	вариант 3, исходные пункты I, II, IV	вариант 4, исходные пункты I, III, IV
Расстояния от P_2 до исходных пунктов, м:				
левого	$l_{P_2-\mathrm{I}}$=204,8	$l_{P_2-\mathrm{II}}$=239,7	$l_{P_2-\mathrm{I}}$=204,8	$l_{P_2-\mathrm{I}}$=204,8
среднего	$l_{P_2-\mathrm{II}}$=239,7	$l_{P_2-\mathrm{III}}$=204,6	$l_{P_2-\mathrm{II}}$=239,7	$l_{P_2-\mathrm{III}}$=204,6
правого	$l_{P_2-\mathrm{III}}$=204,6	$l_{P_2-\mathrm{IV}}$=267,3	$l_{P_2-\mathrm{IV}}$=267,3	$l_{P_2-\mathrm{IV}}$=267,3

Окончание таблицы 4

Наименования расстояний	Измеренные расстояния по вариантам, м			
	вариант 1, исходные пункты I, II, III	вариант 2, исходные пункты II, III, IV	вариант 3, исходные пункты I, II, IV	вариант 4, исходные пункты I, III, IV
Расстояния между исходными пунктами, м: левый и средний	$l_{\text{I–II}}$ =208,7	$l_{\text{II–III}}$ =180,3	$l_{\text{I–II}}$ =208,7	$l_{\text{I–III}}$ =318,9
средний и правый	$l_{\text{II–III}}$ =180,3	$l_{\text{II-IV}}$ =172,6	$l_{\text{II–IV}}$=350,5	$l_{\text{II-IV}}$ =172,6
	φ_1 =71 ψ_1=77	φ_2 =56 ψ_2=50	φ_3 =71 ψ_3=50	φ_4 =39 ψ_4=50
$\sin(\varphi+\psi)$	0,53	0,96	0,91	1,00

Вариант 2 (исходные пункты II, III, IV)

$$M_{P_2} = \frac{15 \cdot 204{,}6}{206265 \cdot 0{,}96} \cdot \sqrt{\left(\frac{239{,}7}{180{,}3}\right)^2 + \left(\frac{267{,}3}{172{,}6}\right)^2} = 0{,}032 \text{ м.}$$

Вариант 3 (исходные пункты I, II, IV)

$$M_{P_2} = \frac{15 \cdot 239{,}7}{206265 \cdot 0{,}86} \cdot \sqrt{\left(\frac{204{,}8}{208{,}7}\right)^2 + \left(\frac{267{,}3}{350{,}4}\right)^2} = 0{,}024 \text{ м.}$$

Вариант 4 (исходные пункты I, III, IV)

$$M_{P_2} = \frac{15 \cdot 204{,}6}{206265 \cdot 1{,}0} \cdot \sqrt{\left(\frac{204{,}8}{318{,}7}\right)^2 + \left(\frac{267{,}3}{172{,}6}\right)^2} = 0{,}025 \text{ м.}$$

По результатам оценки вариантов засечки получаем, что наиболее выгодная схема расположения пунктов в вариантах 3 и 4, M_{P_2} имеет наименьшее значение и не превышает величины

0,3 мм на плане в масштабе съемки (M_{P_2} допустимая, составляет 0,6 м).

Первый способ решения обратной геодезической засечки

Расчет координат точки съемочного обоснования проводится по треугольникам вариантов 3 и 4.

Вариант 3

Исходные данные (см. табл. 3):

$X_{\text{I}} = 20$ м; $Y_{\text{I}} = 50$ м;

$X_{\text{II}} = 220$ м; $Y_{\text{II}} = 110$ м;

$X_{\text{IV}} = 200$ м; $Y_{\text{IV}} = 460$ м.

Измеренные углы: $\beta_5 = 55°21'36''$, $\beta_6 = 87°14'24''$.

Углы β_5 и β_6 определяем с плана участка карьера в точке P_2 (на практике они измеряются с точностью $m_\beta \le 15''$). Для исключения грубых ошибок при измерении углов на плане измеряются все углы в треугольнике, и сумма их уравнивается к 180°.

Решение.

$$\alpha_{\text{II–I}} = \text{arctg}\ \frac{Y_{\text{I}} - Y_{\text{II}}}{X_{\text{I}} - X_{\text{II}}} = \text{arctg}\ \frac{50 - 110}{20 - 220} = 196\,°41'57'';$$

$$\alpha_{\text{II–IV}} = \text{arctg}\ \frac{Y_{\text{IV}} - Y_{\text{II}}}{X_{\text{IV}} - X_{\text{II}}} = \text{arctg}\ \frac{460 - 110}{200 - 220} = 93\,°16'14';$$

$$l_{\text{II-I}} = a = \frac{X_{\text{I}} - X_{\text{II}}}{\cos \alpha_{\text{II-I}}} = \frac{20 - 220}{\cos 196\,°41'57''} = 208{,}806\ \text{м};$$

$$l_{\text{II-IV}} = b = \frac{Y_{\text{IV}} - Y_{\text{II}}}{\sin \alpha_{\text{II-IV}}} = \frac{460 - 110}{\sin 93\,°16'14''} = 350{,}571\ \text{м}.$$

По разности дирекционных углов определяем:

$$\gamma_3 = \alpha_{\text{II–I}} - \alpha_{\text{II–IV}} = 196°41'57'' - 93°16'14'' = 103°25'43''.$$

Далее:

$$\varepsilon_1 = 180\,° - \frac{\beta_5 + \beta_6 + \gamma_3}{2} =$$

$$= 180\,° - \frac{55\,°21'36'' + 87\,°14'24'' + 103\,°25'43''}{2} = 56°59'9'';$$

$$\eta = \operatorname{arctg}\left(\frac{a \cdot \sin \beta_6}{b \cdot \sin \beta_5}\right) =$$

$$= \operatorname{arctg}\left(\frac{208{,}806 \cdot \sin 87°14'24''}{350{,}571 \cdot \sin 55°21'36''}\right) = 35°52'15'';$$

$$\varepsilon_2 = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \varepsilon_1 \cdot \operatorname{ctg}(45° + \eta)) =$$

$$= \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\ 56°59'9'' \cdot \operatorname{ctg}(45° + 35°52'15'')) = 13°53'29'';$$

$$\varphi_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 56°59'9'' + 13°53'29'' = 70°52'38'';$$

$$\psi_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 56°59'9'' - 13°53'29'' = 43°05'40'';$$

$$l_{P_2-\text{II}} = d = a \cdot \frac{\sin\varphi_3}{\sin\beta_5} = b \cdot \frac{\sin\psi_3}{\sin\beta_6} =$$

$$= 208{,}806 \cdot \frac{\sin 70°52'38''}{\sin 55°21'36''} = 350{,}571 \cdot \frac{\sin 43°05'40''}{\sin 87°14'24''}$$

$$d = 239{,}789 \text{ м};\quad d = 239{,}789 \text{ м};\quad d_{\text{ср}} = 239{,}789 \text{ м.};$$

$$\alpha_{P_2-\text{II}} = \alpha_{\text{II–IV}} - \psi_3 - \beta_6 + 2 \cdot 180° =$$

$$= 93°16'14'' - 43°05'40'' - 87°14'24'' + 2 \cdot 180° = 322°56'10'';$$

$$\alpha_{P_2-\text{II}} = \alpha_{\text{II–I}} + \varphi_3 + \beta_6 - 2 \cdot 180° =$$

$$= 196°41'57'' + 70°52'38'' + 55°21'36'' - 2 \cdot 180° = 322°56'11'';$$

$$\alpha_{\text{ср}} = 322°56'10'';$$

$$X_{P_2} = X_{\text{II}} + d \cdot \cos(\alpha_{\text{II}-P_2} - 180°) =$$

$$= 220 + 239{,}789 \cdot \cos(322°56'10'' - 180°) = 28{,}657 \text{ м};$$

$$Y_{P_2} = Y_{\text{II}} + d \cdot \sin(\alpha_{\text{II}-P_2} - 180°) =$$

$$= 110 + 239{,}789 \cdot \sin(322°56'10'' - 180°) = 254{,}522 \text{ м};$$

$$X_{P_2} = 28{,}657 \text{ м},\quad Y_{P_2} = 254{,}522 \text{ м}.$$

Вариант 4

Исходные данные (см. табл. 3):

$X_{\text{I}} = 20$ м; $Y_{\text{I}} = 50$ м;

$X_{\text{III}} = 230$ м; $Y_{\text{III}} = 290$ м;

$X_{\text{IV}} = 200$ м; $Y_{\text{IV}} = 460$ м.

Измеренные углы: $\beta_7 = 102°24'36''$, $\beta_8 = 40°10'48''$.

Углы β_7 и β_8 определяются с плана участка карьера.

Решение:

$$\alpha_{III–I} = \text{arctg}\ \frac{Y_I - Y_{III}}{X_I - X_{III}} = \text{arctg}\ \frac{50-290}{20-230} = 228\,°48'51'';$$

$$\alpha_{III–IV} = \text{arctg}\ \frac{Y_{IV} - Y_{III}}{X_{IV} - X_{III}} = \text{arctg}\ \frac{460-290}{200-230} = 100\,°00'29'';$$

$$l_{III–I} = a = \frac{X_I - X_{III}}{\cos\alpha_{III–I}} = \frac{20-230}{\cos 228°48'51''} = 318{,}904 \text{ м};$$

$$l_{III–IV} = b = \frac{X_{IV} - X_{III}}{\cos\alpha_{III–IV}} = \frac{200-230}{\cos 100°00'29''} = 172{,}625 \text{ м}.$$

По разности дирекционных углов определяем:

$$\gamma_4 = \alpha_{III–I} - \alpha_{III–IV} = 228°48'51'' - 100°00'29'' = 128°48'28''.$$

Далее:

$$\varepsilon_1 = 180^0 - \frac{\beta_7 + \beta_8 + \gamma_4}{2} =$$

$$= 180^0 - \frac{102°24'36'' + 40°10'48'' + 128°48'28''}{2} = 44°18'04'';$$

$$\eta = \text{arctg}\left(\frac{a \cdot \sin\beta_8}{b \cdot \sin\beta_7}\right) = \text{arctg}\left(\frac{318{,}904 \cdot \sin 40°10'18''}{172{,}627 \cdot \sin 102°24'36''}\right) = 50°40'09'';$$

$$\varepsilon_2 = \text{arctg}(\text{tg}\ \varepsilon_1 \cdot \text{ctg}\,(45^0 + \eta\,)) =$$

$$= \text{arctg}(\text{tg}\ 44°18'04'' \cdot \text{ctg}\,(45° + 50°40'09''\,)) = -5°32';$$

$$\varphi_4 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 44°18'07'' - 5°32' = 38°46'07'';$$

$$\psi_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 44°18'07'' - (-5°32') = 49°50'07'';$$

$$l_{P_2–III} = d = a \cdot \frac{\sin\varphi_4}{\sin\beta_7} = b \cdot \frac{\sin\psi_4}{\sin\beta_8} =$$

$$= d = 318{,}904 \cdot \frac{\sin 38°46'07''}{\sin 102°24'36''} = 172{,}627 \cdot \frac{\sin 49°50'07''}{\sin 40°10'48''};$$

$$d = 204{,}468 \text{ м}; \quad d = 204{,}465 \text{ м}; \quad d_{ср} = 204{,}466 \text{ м};$$

$$\alpha_{P_2\text{–III}} = \alpha_{\text{III–IV}} - \psi_4 - \beta_8 =$$
$$= 100°00'29'' - 49°50'07'' - 40°10'48'' = 9°59'34'';$$

$$\alpha_{P_2\text{–III}} = \alpha_{\text{III–I}} + \varphi_4 + \beta_7 - 2 \cdot 180° =$$
$$= 228°48'51'' + 38°46'07'' + 102°24'36'' - 2 \cdot 180° = 9°59'34'';$$

$$\alpha_{\text{ср}} = 9°59'34'';$$

$$X_{P_2} = X_{\text{III}} + d \cdot \cos(\alpha_{P_2\text{-III}} + 180°) =$$
$$230 + 204{,}466 \cdot \cos(9°59'34'' + 180°) = 28{,}636 \text{ м},$$

$$Y_{P_2} = Y_{\text{III}} + d \cdot \sin(\alpha_{P_2\text{-III}} + 180°) =$$
$$= 290 + 204{,}466 \cdot \sin(9°59'34'' + 180°) = 254{,}520 \text{ м}.$$

$$X_{P_2} = 28{,}636 \text{ м}, \; Y_{P_2} = 254{,}520 \text{ м}.$$

Контроль.

По результатам расчета координат точки P_2 из двух вариантов засечки имеем:

Вариант 3 $X_{P_2} = 28{,}657$ м, $Y_{P_2} = 254{,}522$ м,

Вариант 4 $X_{P_2} = 28{,}636$ м, $Y_{P_2} = 254{,}520$ м.

Сравнивая два варианта решения, получаем разницу в координатах:

$$\Delta X_{P_2} = 28{,}657 - 28{,}636 = 0{,}021 \text{ м};$$
$$\Delta Y_{P_2} = 254{,}522 - 254{,}520 = 0{,}002 \text{ м},$$

что не превышает величины 0,4 мм на плане в масштабе съемки (0,8 м).

Принимаем среднее значение координат точки P_2, полученных из двух вариантов засечки:

$$X_{P_2} = 28{,}646 \text{ м}; \quad Y_{P_2} = 254{,}521 \text{ м}.$$

Ниже приводится пример определения исходных данных для расчета геодезической засечки, из примерных, а потом и точных координат P_2 в Excel.

Пример определения исходных данных для расчета обратной геодезической засечки, из примерных, а потом и точных координат P_2 в Excel

Вариант:		0	ΔI-II-III-P_2			ΔII-III-IV-P_2			ΔI-II-IV-P_2			ΔI-III-IV-P_2		
№	X, м	Y, м	L от P_2 до	I	204,705	L от P_2 до	II	239,789	L от P_2 до	I	204,705	L от P_2 до	I	204,705
			L от P_2 до	II	239,789	L от P_2 до	III	204,445	L от P_2 до	II	239,789	L от P_2 до	III	204,445
I	20	50	L от P_2 до	III	204,445	L от P_2 до	IV	267,544	L от P_2 до	IV	267,544	L от P_2 до	IV	267,544
II	220	110	L от I до	II	208,806	L от II до	III	180,278	L от I до	II	208,806	L от I до	III	318,904
III	230	290	L от II до	III	180,278	L от III до	IV	172,627	L от II до	IV	350,571	L от III до	IV	172,627
IV	200	460	∠ на I-II	β1	55,3599	∠ на II-III	β3	47,0572	∠ на I-II	β5	55,3599	∠ на I-III	β7	102,4171
Примерные			∠ с I на II-P_2	ср1	70,8770	∠ с II на III-P_2	ср2	56,1160	∠ с I на II-P_2	ср3	70,8770	∠ с I на III-P_2	ср4	38,7622
координаты			∠ на I-P_2	ε1	53,7631	∠ на II-P_2	ε3	76,8268	∠ на I-P_2	ε5	53,7631	∠ на I-P_2	ε7	38,8208
P_2	29	255		β2	47,0572	∠ на III-IV	β4	40,1828	∠ на II-IV	β6	87,2400	∠ на III-IV	β8	40,1828
Mβ		15	∠ на III-P_2	ε2	56,1160	∠ на IV-P_2	ε4	89,9853	∠ на IV-P_2	ε6	49,6656	∠ на IV-P_2	ε8	89,9853
			∠ с III на II-P_2	Ψ1	76,8268	∠ с IV на III-P2	Ψ2	49,8319	∠ с IV на II-P_2	Ψ3	43,0944	∠ с IV на III-P_2	Ψ4	49,8319
			∑ε	ɣ1	109,8791	∑ε	ɣ2	166,8122	∑ε	ɣ3	103,4288	∑ε	ɣ4	128,8061
			sin(ср+Ψ)		0,534	sin(ср+Ψ)		0,962	sin(ср+Ψ)		0,914	sin(ср+Ψ)		1,000
			Mp2		0,04893	Mp2		0,03158	Mp2		0,02371	Mp2		0,02495

Второй способ решения обратной геодезической засечки. Способ проф. Пащенкова В. З. (рис. 5)

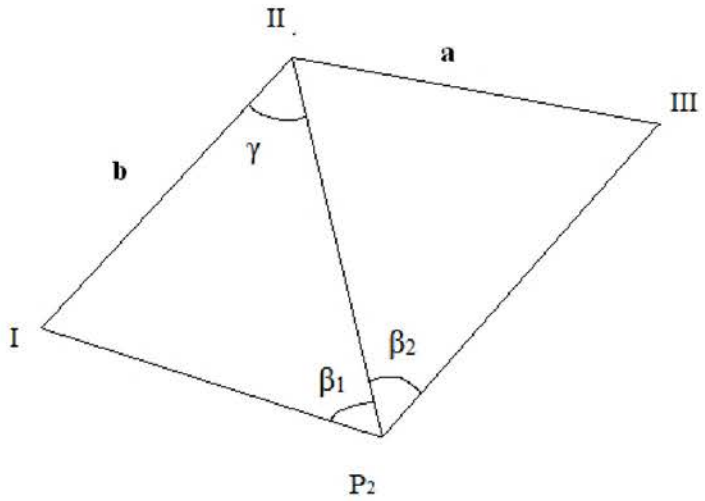
Исходные данные (см. табл. 3):

X_{I} =20 м; Y_{I} =50 м;

X_{II} =220 м; Y_{II} =110 м;

X_{III} = 230 м; Y_{III} = 290 м;

X_{IV} =200 м; Y_{IV} =460 м.



Измеренные углы:

$\beta_1 = 55°$;

$\beta_2 = 46°46'$.

Решая обратную геодезическую задачу, находим:

$\alpha_{\text{II–I}} = 196°41'57''$,

$\alpha_{\text{III-II}} = 266°49'13''$,

a =180,284 м;

b =208,806 м.

Решение.

1. $K = \dfrac{b \cdot \sin\beta_2}{a \cdot \sin\beta_1} = \dfrac{208{,}806 \cdot \sin 46°46'}{180{,}284 \cdot \sin 55°} = 1{,}03013.$

2. $\operatorname{tg}\gamma = \dfrac{\sin(\alpha_{\text{III–II}} - \alpha_{\text{II–I}} - \beta_2) - K \cdot \sin\beta_1}{K \cdot \cos\beta_1 - \cos(\alpha_{\text{III–II}} - \alpha_{\text{II–I}} - \beta_2)} =$

$$= \frac{\sin(266°49'13'' - 196°41'57'' - 46°46') - 1{,}03013 \cdot \sin 55°}{1{,}03013 \cdot \cos 55° - \cos(266°49'13'' - 196°41'57'' - 46°46')} = 1{,}36736;$$

$$\gamma = 53°49'14'';$$

3. $L_{P_2\text{–II}} = \dfrac{b \cdot \sin(\beta_1 + \gamma)}{\sin\beta_1} = \dfrac{208{,}806 \cdot (\sin 55° + 53°49'14'')}{\sin 55°} =$

$= 241{,}276$ м.

4. $\alpha_{\text{II}-P_2} = \alpha_{\text{II–I}} - \gamma = 196°41'57'' - 53°49'14'' = 142°52'43''.$

5. $\Delta X_{\text{II}-P_2} = L_{P_2-\text{II}} \cdot \cos\alpha_{\text{II}-P_2} = 241{,}276 \cdot \cos 142°52'43'' =$

$= -192{,}383$ м.

6. $X_{P_2} = X_{\text{II}} + \Delta X_{\text{II}-P_2} = 220 - 192{,}383 = 27{,}617$ м.

7. $\Delta Y_{\text{II}-P_2} = L_{P_2-\text{II}} \cdot \sin\alpha_{\text{II}-P_2} = 241{,}276 \cdot \sin 142°52'43'' =$

$= 145{,}611$ м.

8. $Y_{P_2} = Y_{\text{II}} + \Delta Y_{\text{II}-P_2} = 110 + 145{,}611 = 255{,}611$ м.

Для дополнительного контроля сравниваем полученные значения координат точки P_2 с координатами из решения первым способом решения засечки:

$$\Delta X = -1{,}090 \text{ м}; \qquad \Delta Y = -1{,}019 \text{ м}.$$

Полученная разница в координатах из двух способов решения не превышает допустимого расхождения 0,6 мм в масштабе съемки (для масштаба 1:2000 – 1,2 м).

Принимаем среднее значение координат точки P_1:

$$X_{P_1} = 28{,}126 \text{ м}; \qquad Y_{P_1} = 255{,}066 \text{ м}.$$

Задача 4. Линейная геодезическая засечка

Линейная засечка – способ определения координат точки съемочного обоснования по известным координатам двух пунктов опорных сетей и измеренным расстояниям от пунктов опорных сетей до определяемого (рис. 6).

Наиболее известны два способа решения линейной засечки [2], где a и b – измеренные, c – исходная сторона треугольника (вычисляется обратная геодезическая задача); p – полусумма квадратов длин сторон:

$$p = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2},$$

и затем по определенным углам вычисляют координаты пункта P_1, решая прямую геодезическую засечку.

Длины a, b берутся с плана участка карьера, измеряются линейкой с точностью 0,5 мм в масштабе плана; c – исходная сторона, вычисляется решением обратной геодезической задачи по координатам пунктов опорных сетей (I, II).

Первый способ.

Решают линейный треугольник (см. рис. 6), определяя углы β_1 и β_2:

$$\cos\beta_1 = \frac{p - a^2}{b \cdot c}; \qquad \cos\beta_2 = \frac{p - b^2}{a \cdot c}.$$

Второй способ – по проекциям измеренных сторон (см. рис. 6). Координаты пункта P_1 вычисляют исходя от пунктов опорных сетей:

от пункта I

$$X_{P_1} = X_{\text{I}} + f_{P_1} \cos\alpha_{\text{I-II}} - h_{P_1} \sin\alpha_{\text{I-II}};$$
$$Y_{P_1} = Y_{\text{I}} + f_{P_1} \sin\alpha_{\text{I-II}} - h_{P_1} \cos\alpha_{\text{I-II}};$$

от пункта II

$$X_{P_1} = X_{\text{II}} + q_{P_1} \cos\alpha_{\text{I-II}} - h_{P_1} \sin\alpha_{\text{I-II}};$$
$$Y_{P_1} = Y_{\text{II}} + q_{P_1} \sin\alpha_{\text{I-II}} - h_{P_1} \cos\alpha_{\text{I-II}},$$

где f_{P_1} и q_{P_1} – проекции двух сторон треугольника на третью сторону:

$$f_{P_1} = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2c};$$
$$q_{P_1} = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2c} = c - f_{P_1},$$

h_{P_1} – высота треугольника:

$$h_{P_1} = \sqrt{b^2 - f_{P_1}^2} = \sqrt{a^2 - q_{P_1}^2},$$

α – дирекционный угол исходной стороны;

$$\sin\alpha_{\text{I–II}} = \frac{Y_{\text{II}} - Y_{\text{I}}}{c}; \qquad \cos\alpha_{\text{I–II}} = \frac{X_{\text{II}} - X_{\text{I}}}{c}.$$

Высота треугольника h_{P_1} принимается с соответствующим знаком: плюс, если точка P_1 расположена справа по отношению к линии I-II, и минус, если слева.

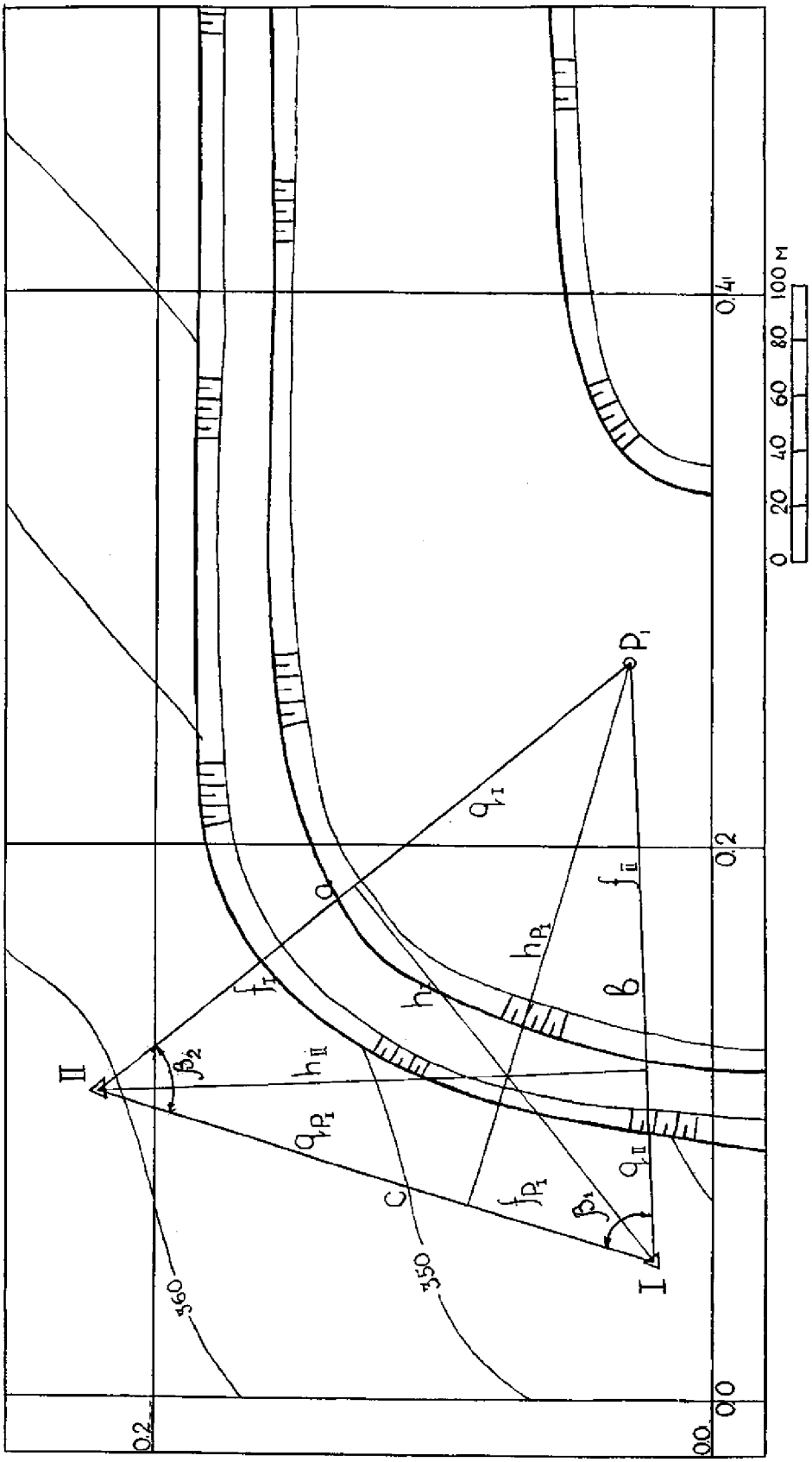


Рис. 6. Линейная геодезическая засечка

Контроль. Решается второй треугольник (см. рис. 2) или в данном случае сравниваются полученные координаты с координатами из задачи 2. Допустимая разница в координатах 0,4 мм на плане в масштабе съемки.

Методические указания для решения линейной засечки

1. На плане участка карьера строится один треугольник по схеме решения прямой геодезической засечки (см. рис. 2).

2. Измеряются два расстояния a и b от точки P_1 до опорных пунктов I и II с точностью до 0,5 мм в масштабе плана (на практике расстояния измеряются с точностью 1:3000).

3. Вычисляют сторону (c), решая обратную геодезическую задачу.

***Исходные данные*:**

X_{I} =20 м; Y_{I} =50 м;

X_{II} =220 м; Y_{II} =110 м;

длины $a_{\text{изм}}$ =249,6 м; $b_{\text{изм}}$=218,8 м.

***Вычисляется*:** $c_{\text{выч}}$ = 208,806 м.

***Первый способ решения*:**

$$p = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2} = \frac{(249{,}6)^2 + (218{,}8)^2 + (208{,}806)^2}{2} =$$

$$= \frac{62300{,}160 + 47873{,}440 + 43599{,}945}{2} = 76886{,}772;$$

$$\cos\beta_1 = \frac{p - a^2}{b \cdot c} = \frac{76886{,}772 - (249{,}6)^2}{218{,}8 \cdot 208{,}806} =$$

$$= \frac{76886{,}772 - 62300{,}160}{45686{,}752} = \frac{14586{,}612}{45686{,}752} = 0{,}3193;$$

$$\cos\beta_2 = \frac{p - b^2}{a \cdot c} = \frac{76886{,}772 - (218{,}8)^2}{249{,}6 \cdot 208{,}806} =$$

$$= \frac{76886{,}772 - 47873{,}440}{52117{,}977} = \frac{29013{,}332}{52117{,}977} = 0{,}5567;$$

$$\beta_1 = 71^\circ 22' 51''; \quad \beta_2 = 56^\circ 10' 23''.$$

Решение прямой геодезической засечки по формулам котангенсов измеренных углов

$$X_{P_1} = \frac{X_{\text{II}}\operatorname{ctg}(r_1) + X_{\text{I}}\operatorname{ctg}(r_2) + Y_{\text{I}} - Y_{\text{II}}}{\operatorname{ctg}(r_2) + \operatorname{ctg}(r_1)} =$$

$$= \frac{220 \cdot \operatorname{ctg}(71^\circ 22' 51'') + 20 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'') + 50 - 110}{\operatorname{ctg}(71^\circ 22' 51'') + \operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'')} = 27{,}330 \text{ м},$$

$$Y_{P_1} = \frac{Y_{\text{II}}\operatorname{ctg}(r_1) + Y_{\text{I}}\operatorname{ctg}(r_2) - X_{\text{I}} + X_{\text{II}}}{\operatorname{ctg}(r_2) + \operatorname{ctg}(r_1)} =$$

$$= \frac{110 \cdot \operatorname{ctg}(71^\circ 22' 51'') + 50 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'') - 20 + 220}{\operatorname{ctg}(71^\circ 22' 51'') + \operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'')} = 268{,}677 \text{ м}.$$

Контроль промежуточный**:**

$$X_{\text{I}} = \frac{X_{P_1}\operatorname{ctg}(r_2) + X_{\text{II}}\operatorname{ctg}(\gamma_1) + Y_{\text{II}} - Y_{P_1}}{\operatorname{ctg}(r_2) + \operatorname{ctg}(\gamma_1)} =$$

$$= \frac{27{,}330 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'') + 220 \cdot \operatorname{ctg}(52^\circ 26' 46'') + 110 - 268{,}677}{\operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'') + \operatorname{ctg}(52^\circ 26' 46'')} =$$

$$= 20{,}000 \text{ м};$$

$$Y_{\text{I}} = \frac{Y_{P_1}\operatorname{ctg}(r_2) + Y_{\text{II}}\operatorname{ctg}(\gamma_1) - X_{\text{II}} + X_{P_1}}{\operatorname{ctg}(r_2) + \operatorname{ctg}(\gamma_1)} =$$

$$= \frac{268{,}677 \cdot \operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'') + 110 \cdot \operatorname{ctg}(52^\circ 26' 46'') - 220 + 27{,}330}{\operatorname{ctg}(56^\circ 10' 23'') + \operatorname{ctg}(52^\circ 26' 46'')} =$$

$$= 50{,}000 \text{ м}.$$

Контроль. Решение второго треугольника.

***Второй способ решения*:**

$$f_{P_1} = \frac{b_{\text{изм}}{}^2 + c_{\text{выч}}{}^2 - a_{\text{изм}}{}^2}{2 \cdot c_{\text{выч}}} =$$

$$= \frac{218,8^2 + 208,806^2 - 249,6^2}{2 \cdot 208,806} = 69,857 \text{ м};$$

$$q_{P_1} = \frac{a_{\text{изм}}{}^2 + c_{\text{выч}}{}^2 - b_{\text{изм}}{}^2}{2 \cdot c_{\text{выч}}} = \frac{249,6^2 + 208,806^2 - 218,8^2}{2 \cdot 208,806} = 138,949 \text{ м};$$

$$q_{P_1} = c_{\text{выч}} - f_{P_1} = 208,806\text{-}69,857 = 138,949 \text{ м};$$

$$h_{P_1} = \sqrt{a_{\text{изм}}{}^2 - f_{P_1}{}^2} = \sqrt{218,8^2 - 69,857^2} = 207,348 \text{ м};$$

$$h_{P_1} = \sqrt{a_{изм}{}^2 - q_{P_1}{}^2} = \sqrt{249,6^2 - 138,949^2} = 207,348 \text{ м};$$

$$\sin \alpha_{\text{I–II}} = \frac{Y_{\text{II}} - Y_{\text{I}}}{c} = \frac{110 - 50}{208,806} = 0,287348;$$

$$\cos \alpha_{\text{I–II}} = \frac{X_{\text{II}} - X_{\text{I}}}{c} = \frac{220 - 20}{208,806} = 0,957826.$$

От пункта I

$$X_{P_1} = X_{\text{I}} + f_{P_1} \cdot \cos \alpha_{\text{I–II}} - h_{P_1} \cdot \sin \alpha_{\text{I–II}} =$$

$$= 20 + 69,857 \cdot 0,957826 - 207,348 \cdot 0,287348 = 27,330 \text{ м},$$

$$Y_{P_1} = \text{Y}_{\text{I}} + f_{P_1} \cdot \sin\alpha_{\text{I–II}} + h_{P_1} \cdot \cos\alpha_{\text{I–II}} =$$

$$= 50 + 69,857 \cdot 0,287348 + 207,348 \cdot 0,957826 = 268,677 \text{ м}.$$

От пункта II

$$X_{P_1} = \text{X}_{\text{II}} - q_{P_1} \cdot \cos\alpha_{\text{I–II}} - h_{P_1} \cdot \sin\alpha_{\text{I–II}} =$$

$$= 220 - 139,001 \cdot 0,957826 - 207,339 \cdot 0,2873481 = 27,330 \text{ м};$$

$$Y_{P_1} = \text{Y}_{\text{II}} + q_{P_1} \cdot \sin \alpha_{\text{I–II}} + h_{P_1} \cdot \cos \alpha_{\text{I–II}} =$$

$$= 110 - 139,001 \cdot 0,2873481 + 207,339 \cdot 0,957826 = 268,677 \text{ м}.$$

Контроль.

От пункта I:

$$\Delta X_{\text{I}-P_1} = b \cdot \cos \alpha_{\text{I}-P_1}, \Delta Y_{\text{I}-P_1} = b \cdot \sin \alpha_{\text{I}-P_1}, b = \sqrt{\Delta X_{P_1}^2 + \Delta Y_{P_1}^2}.$$

От пункта II:

$$\Delta X_{\text{II}-P_1} = a \cdot \cos\alpha_{\text{II}-P_1}, \Delta Y_{\text{II}-P_1} = a \cdot \sin\alpha_{\text{II}-P_1}, a = \sqrt{\Delta X_{P1}^2 + \Delta Y_{P1}^2}.$$

где $\cos\alpha_{\text{I}-P_1} = \dfrac{X_{P_1} - X_{\text{I}}}{b}$; $\cos\alpha_{\text{II}-P_1} = \dfrac{X_{P_1} - X_{\text{II}}}{a}$;

$\sin\alpha_{\text{I}-P_1} = \dfrac{Y_{P_1} - Y_{\text{I}}}{b}$; $\sin\alpha_{\text{II}-P_1} = \dfrac{Y_{P_1} - Y_{\text{II}}}{a}$;

$b - b_1 = \Delta b$; $a - a_1 = \Delta a$,

где Δb и Δa – погрешность определения координат точки P_1 относительно пунктов опорной сети.

$$\cos\alpha_{\text{I}-P_1} = \frac{27{,}330 - 20}{218{,}8} = 0{,}033501;$$

$$\cos\alpha_{\text{II}-P_{1\text{I}}} = \frac{27{,}330 - 220}{249{,}6} = -0{,}771915;$$

$$\sin\alpha_{\text{I}-P_{1\text{I}}} = \frac{268{,}677 - 50}{218{,}8} = 0{,}999438;$$

$$\sin\alpha_{\text{II}-P_1} = \frac{268{,}677 - 110}{249{,}6} = 0{,}635725;$$

$$b_{\text{выч}} = \sqrt{(218{,}8 \cdot 0{,}033501)^2 + (218{,}8 \cdot (0{,}999438))^2} = 218{,}800 \text{ м};$$

$$a_{\text{выч}} = \sqrt{(249{,}6 \cdot (-0{,}771915))^2 + (249{,}6 \cdot 0{,}635725)^2} = 249{,}600 \text{ м};$$

$$b - b_{\text{выч}} = \Delta b = 0{,}000 \text{ м}, \qquad a - a_{\text{выч}} = \Delta a = 0{,}000 \text{ м}.$$

По результатам расчетов ошибка определения точки P_1 относительно опорных сетей составила 0 мм при допустимой 0,4 мм на плане в масштабе съемки (0,8 м).

Для дополнительного контроля сравниваем полученные значения координат точки P_1 с координатами из решения первым способом или прямой засечки (см. задачу 2).

$$\Delta X = 0{,}292 \text{ м}, \qquad \Delta Y = 0{,}445 \text{ м}.$$

Полученные разницы в координатах из двух способов решения не превышают допустимого расхождения 0,6 мм в масштабе съемки (для масштаба 1:2000 – 1,2 м).

Принимаем среднее значение координат точки P_1:

$$X_{P_1} = 27{,}476 \text{ м}, \qquad Y_{P_1} = 268{,}454 \text{ м}.$$

Задача 5. Азимутальная засечка

Азимутальная засечка как вариант определения координат пунктов путем решения прямой засечки. При этом измерение углов выполняется в карьере, а не на пунктах опорных сетей (рис. 7).

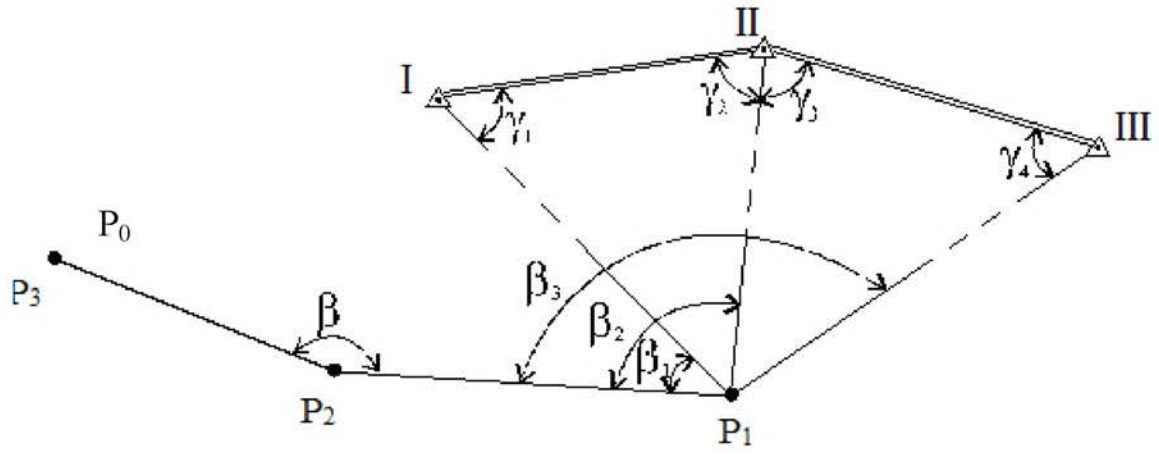


Рис. 7. Азимутальная засечка

Методические указания для решения азимутальной засечки

С пунктов съемочного обоснования P_3 и P_2, координаты которых известны, передается дирекционный угол на направление P_2P_1. Решаем прямую геодезическую задачу:

$$\alpha_{P_2P_1} = \alpha_{P_3P_2} + \beta - 180^\circ,$$

где $\alpha_{P_3P_2}$ - известный дирекционный угол или вычисленный по известным координатам; β – измеренный горизонтальный угол.

В пункте P_1 измеряются горизонтальные углы β_1, β_2, β_3 на точки опорной сети (исходные точки) I, II, III и вычисляются дирекционные углы сторон треугольников:

$$\alpha_{P_1-\mathrm{I}} = \alpha_{P_2P_1} + \beta_1 - 180^\circ;$$

$$\alpha_{P_1-\mathrm{II}} = \alpha_{P_2P_1} + \beta_2 - 180^\circ;$$

$$\alpha_{P_1-\mathrm{III}} = \alpha_{P_2P_1} + \beta_3 - 180^\circ;$$

$$\alpha_{\mathrm{I-II}} = \mathrm{arctg}\frac{Y_{\mathrm{II}} - Y_{\mathrm{I}}}{X_{\mathrm{II}} - X_{\mathrm{I}}};$$

$$\alpha_{\mathrm{II-III}} = \mathrm{arctg}\frac{Y_{\mathrm{III}} - Y_{\mathrm{II}}}{X_{\mathrm{III}} - X_{\mathrm{II}}}.$$

По разности дирекционных углов вычисляются углы при известных пунктах:

$$\gamma_1 = \alpha_{P_1\text{–I}} - \alpha_{\text{I–II}};\ \gamma_2 = \alpha_{\text{I–II}} - \alpha_{P_1\text{–II}};$$

$$\gamma_1 = \alpha_{P_1\text{–II}} - \alpha_{\text{II–III}};\ \gamma_1 = \alpha_{\text{II–III}} - \alpha_{P_1\text{–III}}.$$

Решение.

***Дано*:**

X_{I} =20 м; Y_{I} =50 м;

X_{II} =220 м; Y_{II} =110 м;

X_{III} = 230 м; Y_{III} = 290 м.

***Измерены*:** $\beta = 86^\circ$, $\beta_1 = 219°$, $\beta_2 = 272°$, $\beta_3 = 324°$;

$$\alpha_{P_1P_2} = \alpha_{P_2P_3} + \beta - 180^\circ = 323^\circ 07' 48'' + 86^\circ - 180^\circ = 229^\circ 07' 48'';$$

$$\alpha_{\text{I}-P_1} = \alpha_{P_1P_2} + \beta_1 - 180^\circ = 229^\circ 07' 48'' + 219^\circ - 360^\circ = 88^\circ 07' 48'';$$

$$\alpha_{\text{II}-P_1} = \alpha_{P_1P_2} + \beta_2 - 180^\circ = 229^\circ 07' 48'' + 272^\circ - 360^\circ = 141^\circ 07' 48'';$$

$$\alpha_{\text{III}-P_1} = \alpha_{P_1P_2} + \beta_3 - 180^\circ = 229^\circ 07' 48'' + 324^\circ - 360^\circ = 193^\circ 07' 48'';$$

$$\alpha_{\text{I–III}} = \text{arctg}\ \frac{Y_{\text{I}} - Y_{\text{II}}}{X_{\text{I}} - X_{\text{II}}} = \text{arctg}\ \frac{50 - 110}{20 - 220} = 16^\circ 41' 57'';$$

$$\alpha_{\text{II–III}} = \text{arctg}\frac{Y_{\text{III}} - Y_{\text{II}}}{X_{\text{III}} - X_{\text{II}}}. = \text{arctg}\frac{290 - 110}{230 - 220} = 86^\circ 49' 13'';$$

$$\gamma_1 = \alpha_{\text{I-}P_1} - \alpha_{\text{I-II}} = 88^\circ 07' 48'' - 16^\circ 41' 57'' = 71^\circ 25' 51'';$$

$$\gamma_2 = \alpha_{\text{II-I}} - \alpha_{\text{II-}P_1} = 196^\circ 41' 57'' - 141^\circ 07' 48'' = 55^\circ 34' 09'';$$

$$\gamma_3 = \alpha_{\text{II-}P_1} - \alpha_{\text{II-III}} = 141^\circ 07' 48'' - 86^\circ 49' 13'' = 54^\circ 18' 35'';$$

$$\gamma_4 = \alpha_{\text{III-II}} - \alpha_{\text{III-}P_1} = 273^\circ 10' 47'' - 193^\circ 07' 48'' = 80^\circ 02' 59'';$$

Вычислим координаты пункта P_{I} при условии решения прямой геодезической засечки (табл. 5, 6).

Таблица 5

Исходные данные из треугольника I-II-P_{I}

Вершины	Углы, град	X, м	Y, м
I	$\gamma_1 = 71^\circ 25' 51''$	20	50
II		220	110
P_1	$\gamma_2 = 55^\circ 34' 09''$		

$$X_{P_1} = \frac{X_{II}\operatorname{ctg}(\gamma_1) + X_I\operatorname{ctg}(\gamma_2) + Y_I - Y_{II}}{\operatorname{ctg}(\gamma_2) + \operatorname{ctg}(\gamma_1)} =$$

$$= \frac{220 \cdot \operatorname{ctg}(71^\circ 25' 51'') + 20 \cdot \operatorname{ctg}(55^\circ 34' 09'') + 50 - 110}{\operatorname{ctg}(71^\circ 25' 51'') + \operatorname{ctg}(55^\circ 34' 09'')} = 27{,}036 \text{ м},$$

$$Y_{P_1} = \frac{Y_{II}\operatorname{ctg}(\gamma_1) + Y_I\operatorname{ctg}(\gamma_2) - X_I + X_{II}}{\operatorname{ctg}(\gamma_2) + \operatorname{ctg}(\gamma_1)} =$$

$$= \frac{110 \cdot \operatorname{ctg}(71^\circ 25' 51'') + 50 \cdot \operatorname{ctg}(55^\circ 34' 09'') - 20 + 220}{\operatorname{ctg}(71^\circ 25' 51'') + \operatorname{ctg}(55^\circ 34' 09'')} = 266{,}534 \text{ м}.$$

Таблица 6

Исходные данные из треугольника II-III-P_1

Вершины	Углы, град	X, м	Y, м
II	$\gamma_3 = 54^\circ 18' 35''$	220,000	110,000
III			
P_1	$\gamma_4 = 80^\circ 02' 59''$	230,000	290,000

$$X_{P_1} = \frac{X_{III}\operatorname{ctg}(\gamma_3) + X_{II}\operatorname{ctg}(\gamma_4) + Y_{II} - Y_{III}}{\operatorname{ctg}(\gamma_4) + \operatorname{ctg}(\gamma_3)} =$$

$$= \frac{230 \cdot \operatorname{ctg}(54^\circ 18' 35'') + 220 \cdot \operatorname{ctg}(80^\circ 02' 59'') + 110 - 290}{\operatorname{ctg}(54^\circ 18' 35'') + \operatorname{ctg}(80^\circ 02' 59'')} =$$

$$= 26{,}638 \text{ м};$$

$$Y_{P_1} = \frac{Y_{III}\operatorname{ctg}(\gamma_3) + Y_{II}\operatorname{ctg}(\gamma_4) - X_{II} + X_{III}}{\operatorname{ctg}(\gamma_4) + \operatorname{ctg}(\gamma_3)} =$$

$$= \frac{290 \cdot \operatorname{ctg}(54^\circ 08' 35'') + 110 \cdot \operatorname{ctg}(80^\circ 02' 59'') - 220 + 230}{\operatorname{ctg}(54^\circ 08' 35'') + \operatorname{ctg}(80^\circ 02' 59'')} = 265{,}857 \text{ м}.$$

Контроль.

Из решения двух треугольников разница в координатах точки P_1:

$$\Delta X_{P_1} = 0{,}398 \text{ м}, \qquad \Delta Y_{P_1} = 0{,}677 \text{ м},$$

которая не превышает допустимой 0,6 мм на плане в масштабе съемки (для масштаба 1:2000 ΔX_{P_1}, $\Delta Y_{P_1} \leq 1{,}2$ м).

Среднеарифметическое значение координат точки P_1 из двух треугольников:

$$X_{P_1} = 26{,}837 \text{ м}, \quad Y_{P_1} = 266{,}196 \text{ м}.$$

Сравниваем полученные координаты точек при решении азимутальной засечки с координатами точек при прямой засечке:

$$X_{P_1} = 28{,}692 \text{ м}; \qquad Y_{P_1} = 266{,}004 \text{ м};$$

$$\Delta X_{P_1} = -1{,}855 \text{ м}; \qquad \Delta Y_{P_1} = 0{,}192 \text{ м}.$$

Полученная разница в координатах из двух способов решения не превышает допустимого расхождения 0,6 мм в масштабе съемки (для масштаба 1:2000 – 1,2 м).

Задача 6. Полярный способ определения координат

Исходные данные (рис. 8)**:**

$X_{\text{I}} = 220$ м; $Y_{\text{I}} = 110$ м;

$X_{\text{II}} = 20$ м; $Y_{\text{II}} = 50$ м;

$X_{\text{III}} = 230$ м; $Y_{\text{III}} = 290$ м.

Измеренные углы: $\beta_1 = 305°$, $\beta_2 = 55°$, $\delta = -8°$,

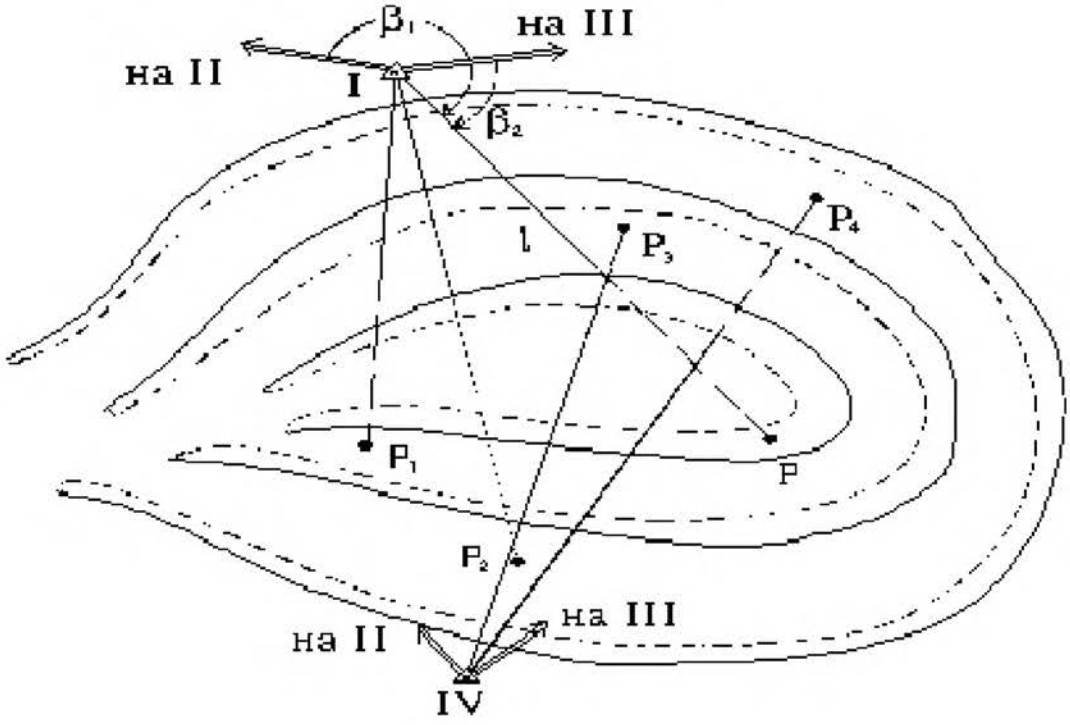


Рис. 8. Полярный способ определения координат

Решение.

Координаты пункта вычисляют по формулам:

$$x_P = x_1 + d\cdot\cos\alpha_{I\text{-}P1} = 220 + 247{,}567\cdot\cos 141^\circ = 27{,}604 \text{ м};$$

$$y_P = y_1 + d\cdot\sin\alpha_{I\text{-}P1} = 110 + 247.567\cdot\sin 141^\circ = 265{,}799 \text{ м};$$

где $d = l\cdot\cos\delta = 250\cdot\cos(-8^\circ) = 247{,}567$ м;

$$\alpha_{I-II} = \text{arctg}\ \frac{Y_{II} - Y_I}{X_{II} - X_I} = \text{arctg}\ \frac{50 - 110}{20 - 220} = 16^\circ 41' 57'';$$

$$\alpha_{I-III} = \text{arctg}\ \frac{Y_I - Y_{III}}{X_I - X_{III}} = \text{arctg}\ \frac{110 - 290}{220 - 230} = 86^\circ 49' 13'';$$

$$\alpha_{I-P_1} = \alpha_{I-II} + \beta_1 - 180^\circ = \alpha_{I-III} + \beta_2 - 180^\circ =$$

$$= 16^\circ + 305^\circ - 180^\circ = 86^\circ + 55^\circ = 141^\circ.$$

Погрешность положения определяемого пункта вычисляют по формуле:

$$M_{P_2} = \sqrt{\left(\frac{m_\alpha \cdot l}{\rho''}\right) + m_l^2} = \sqrt{\left(\frac{15 \cdot 250}{206265}\right) + 0{,}1^2} = 0{,}145 \text{ м}.$$

2.3. Определение высотных отметок пунктов съемочной сети

Высотные отметки маркшейдерского съемочного обоснования на карьере определяются одновременно с вычислением плановых координат пунктов. Исходными данными по определению высотных отметок пунктов съемочного обоснования являются пункты опорных высотных сетей III, IV классов.

Высотные отметки пунктов съемочного обоснования в карьере определяются геометрическим (техническим) и тригонометрическим нивелированием [1].

Для технического нивелирования применяются нивелиры класса точности Н10 и выше. Нивелирные хода прокладываются, висячие (свободные) – от опорного пункта в прямом и обратном направлениях, висячие (несвободные) – между опорными пунктами и замкнутые. Расстояния до реек на связующих точках по возможности должны быть равными и не превышать 150 м. Допустимая разность в превышениях, определенных по черной и красной сторонам рейки или при двух горизонтах инструмента ±5 мм. Предельная высотная невязка хода $f_h \le 50\sqrt{L}$, мм, или $10\sqrt{n}$, мм, при числе станций более 25 на 1 км хода, где L – длина хода в км; n – число станций в ходе [2].

Превышения между двумя точками (ДZ) определяются по формуле

$$\Delta Z = a - b,$$

где a, b – отчеты по рейке, установленных соответственно на задней и передней рейках. Превышения определяют дважды по черной и красной сторонам рейки или при двух горизонтах инструмента (нивелира).

Высотная отметка искомой точки вычисляется по формуле

$$Z_B = Z_A - \Delta Z,$$

где Z_B, Z_A – высотные отметки соответственно исходной точки (A) и искомой (B).

Высотную отметку промежуточной точки ($Z_п$) определяют по формуле

$$Z_п = ГИ - a_п, \qquad ГИ = Z_A + a,$$

где ГИ – горизонт инструмента; $a_п$ – отчет по рейке, установленной на промежуточной точке.

Задача 7.

Определить превышение между пунктами A и B при геометрическом нивелировании и высотную отметку точки B (Z_B).

Исходные данные: $Z_A = 300$ м.

Отчеты по рейкам соответственно на задней и передней, по черной и красной сторонам, мм: $a = 0984$, $b = 2493$, $a = 5769$, $b = 7281$.

Решение.

$\Delta Z_1 = a - b = 0984 - 2493 = -1509$ мм;

$\Delta Z_2 = a - b = 5769 - 7281 = -1512$ мм;

$\Delta Z_{ср} = -1511$ мм;

$Z_B = Z_A + \Delta Z_{ср} = 300 - 1{,}511 = 298{,}489$ м.

Производство тригонометрического нивелирования включает измерение вертикального угла δ, наклонного расстояния l, высоты инструмента i, высоты сигнала v (рис. 9).

Превышение определяют по формуле

$$\Delta z = d\,\mathrm{tg}\,\delta + f + i - v = l \sin\delta + f + i - v,$$

где d, l – соответственно горизонтальное и наклонное расстояния между пунктами, м;

$$f = k + r \ ,$$

где $k = \dfrac{d^2}{2R}$ – поправка за кривизну Земли; $r = -k\dfrac{d^2}{2R}$ – поправка за рефракцию; R = 6370 км – средний радиус Земли; r – коэффициент вертикальной рефракции.

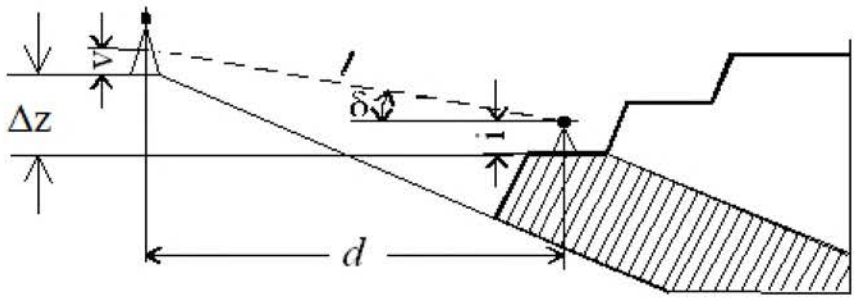


Рис. 9. Тригонометрическое нивелирование в карьере

Среднеквадратическая погрешность высотной отметки пунктов съемочных сетей не должна превышать 0,1 м относительно пунктов опорных сетей [2].

По результатам исследований известно, что в течение дня коэффициент рефракции изменяется от 0,22 перед восходом и до 0,10 перед заходом Солнца. Для сравнительно коротких расстояний (до 3 км) среднее значение $k_{ср}$ = 0,16. Тогда суммарная поправка за кривизну Земли и рефракцию:

$$f = k + r = \frac{d^2}{2R} - 0{,}16\frac{d^2}{2R} = 0{,}42\frac{d^2}{R}\cdot$$

В табл. 7 приведены суммарные поправки f для различных расстояний.

Таблица 7

Суммарные поправки *f*

d, м	*f*, м	*d*, м	*f*, м	*d*, м	*f*, м
100	0,001	1100	0,080	2100	0,291
200	0,003	1200	0,095	2200	0,319
300	0,006	1300	0,111	2300	0,349
400	0,010	1400	0,129	2400	0,380
500	0,016	1500	0,148	2500	0,412
600	0,024	1600	0,169	2600	0,446
700	0,039	1700	0,191	2700	0,480

Окончание таблицы 7

d, м	*f*, м	*d*, м	*f*, м	*d*, м	*f*, м
800	0,042	1800	0,214	2800	0,517
900	0,053	1900	0,238	2900	0,554
1000	0,066	2000	0,264	3000	0,594

Рабочая формула для вычисления превышения с учетом поправки f

$$\Delta Z = l \sin \delta + 0{,}42 \frac{d^2}{R} + i - v .$$

Вертикальные углы измеряются теодолитом класса точности Т30 двумя приемами, Т15 и выше – одним приемом, высота инструмента и сигнала рулеткой с округлением до мм, длины сторон тахеометром, светодальномером или нитяным дальномером теодолита. Ходы тригонометрического нивелирования опираются на пункты опорных сетей, и общая их протяженность не должна быть более 2,5 км.

Превышение для каждой стороны определяется дважды в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение в превышениях 0,04l, см, всего хода 0,004 $L/\sqrt{n}$, где l – наклонная длина стороны, м; L – длина хода, м; n – число сторон хода.

Задача 8. Определить превышение между двумя пунктами (см. рис. 9).

Измерено:

$$\delta = 2^\circ 30', \; l = 5 \text{ м}, \; i = 1{,}1 \text{ м}, \; v = 1{,}2 \text{ м}.$$

Решение.

$$\Delta Z = l \sin \delta + 0{,}42 \frac{d^2}{R} + i - v =$$

$$= 5 \sin 2^\circ 30' + 0{,}42 \frac{5^2}{637} + 1{,}1 - 1{,}2 = 0{,}134 \text{ м}.$$

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 2

1. Рассчитать координаты пунктов теодолитного хода (см. рис. 1), если дано:

Полигон № 1

$\alpha_{I\text{-}II} = 75^\circ 55' 55'' + N^\circ \, N' \, N''$; $X_I = 640720{,}200$; $Y_I = 6125312{,}050$.

Полигон № 2

$$\alpha_{VI\text{-}VII} = 70°30'30''+N°\ N'\ N''; X_{VI} = 640710{,}100;$$
$$Y_{VI} = 6125350{,}040,$$

где $N°\ N'\ N''$ – номер варианта соответственно в град., мин., сек.

2. Решить прямую геодезическую засечку (см. рис. 2) по формулам котангенсов измеренных углов и по формулам тангенсов дирекционных углов, если дано:

$X_I = 20 + N$, м; $Y_I = 50 + N$, м;
$X_{II} = 220 + N$, м; $Y_{II} = 110 + N$, м;
$X_{III} = 230 + N$, м; $Y_{III} = 290 + N$, м,

где N – номер варианта в метрах.

3. Решить обратную геодезическую засечку (см. рис. 3) первым и вторым способами, если дано:

$X_I = 20 + N$, м; $Y_I = 50 + N$, м;
$X_{II} = 220 + N$, м; $Y_{II} = 110 + N$, м;
$X_{III} = 230 + N$, м; $Y_{III} = 290 + N$, м;
$X_{IV} = 200 + N$, м; $Y_{IV} = 460 + N$, м,

где N – номер варианта в метрах.

4. Решить линейную засечку (см. рис. 6), если дано:

$X_I = 20 + N$, м; $Y_I = 50 + N$, м;
$X_{II} = 220 + N$, м; $Y_{II} = 110 + N$, м,

где N – номер варианта в метрах.

5. Решить азимутальную засечку (см. рис. 7), если дано:

$X_I = 20 + N$, м; $Y_I = 50 + N$, м;
$X_{II} = 220 + N$, м; $Y_{II} = 110 + N$, м;
$X_{III} = 230 + N$, м; $Y_{III} = 290 + N$, м,

где N – номер варианта в метрах.

6. Вычислить координаты пункта P (см. рис. 8), если дано:

$X_I = 20 + N$, м; $Y_I = 50 + N$, м;
$X_{II} = 220 + N$, м; $Y_{II} = 110 + N$, м;
$X_{III} = 230 + N$, м; $Y_{III} = 290 + N$, м,

где N – номер варианта в метрах.

7. Определить превышение между пунктами (A и B) и высотную отметку пункта (B) при геометрическом нивелировании (см. задачу 7), если дано: высотная отметка пункта (A) – Z_A = = 300 + N, м; отсчеты по рейкам соответственно на задней, передней, по черной и красной сторонам: a = 0984+N;

$$b = 2493+N;\ a = 5769+N;\ b = 7281+N,$$

где N– номер варианта, мм.

8. Определить превышение между двумя точками при тригонометрическом нивелировании (см. рис. 9), если дано:

$$\delta = 2^\circ30' + N^\circ\ N',$$

где N°, N' – номер варианта в град. и мин.

Параметры l, i, v определить графически.

3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ ТРАНШЕЙ

Траншея – открытая горная выработка трапециевидного сечения. По назначению траншеи подразделяют: капитальные (въездные) и разрезные. Капитальные траншеи служат для вскрытия карьерного поля и предназначены для создания грузотранспортной связи между земной поверхностью и рабочими горизонтами карьера. Основными параметрами траншеи является ее длина, ширина понизу (дно), продольный уклон, углы откоса бортов и объем. Длина траншеи определяется ее конечной глубиной и величиной продольного уклона. Ширина зависит от вида транспорта. Разрезные траншеи являются продолжением капитальных траншей. Они проводятся между горизонтами для создания первоначального фронта работ на горизонте.

При проходке траншей маркшейдер решает следующие задачи:

– разработка проекта трассы траншеи;

– расчет разбивочных элементов для выноса в натуру параметров траншеи;

– вынос в натуру параметров траншеи;

– съемка фактических параметров проходки траншеи.

Задача 1. Выполнить проект трассы выездной траншеи

Проект трассы выездной траншеи выполняется на основе следующих материалов:

1. Топографический план поверхности участка ведения горных работ в масштабе 1:1000, 1:2000, 1:5000, с указанием рельефа местности.

2. Параметры траншеи, включая протяженность в целом и отдельных участков, угол откоса бортов, ширину дна, проектный уклон, углы поворота, радиусы закруглений.

3. Координаты пунктов опорного или съемочного обоснования, дирекционный угол исходного (примычного) направления.

Проект трассы выездной траншеи состоит из графического материала и пояснительной записки.

Графический материал включает:

1) топографический план участка проходки траншеи с указанием рельефа местности, пунктов опорного или съёмочного обоснования, устья (начальной точки проходки), оси, ширины дна и верхней бровки траншеи;

2) продольный разрез по оси траншеи с профилем земной поверхности и дна траншеи с указанием проектного уклона и проектных отметок;

3) поперечные разрезы по профильным линиям с указанием профиля земной поверхности, линий откосов бортов, дна траншеи и высотных отметок;

4) месторасположение и размеры отвала для складирования горной массы, трассу автомобильной дороги от устья траншеи до отвала.

К графическому материалу прилагается пояснительная записка, в которой приводятся расчеты элементов траншеи, объемов горной массы и почвенного слоя.

Методические указания для составления проекта трассы выездной траншеи

1. На топографическом плане в масштабе 1:1000 (формат А4) по аналогии с рис. 10 строится рельеф поверхности и по известным координатам наносится пункт опорной сети R_{II}.

2. Определяются и наносятся на план: место заложения траншеи (точка *A*), указывается направление траншеи (ее ось) до угла поворота (точка *B*) и далее вся длина траншеи.

3. Определяется центр (точка *D*) отвала и его геометрическая форма.

Решение.

***Исходные данные*:**

1. Топографический план масштаба местности 1:1000 (см. рис. 10).

2. Координаты пункта R_{II} опорной геодезической сети, км:

$$X_{R_{II}} = 0{,}680, \qquad Y_{R_{II}} = 0{,}830.$$

3. Дирекционный угол исходного направления

$$\alpha_{R_{II}-R_I} = 92°00'00'.$$

4. Высотная отметка устья траншеи – точка *A*, $Z_A = 409{,}0$ м, берется с плана.

5. Угол поворота оси траншеи – точка *B*, $\alpha = 38^\circ$, радиус закругления $r = 25$ м.

6. Длина траншеи от точки *A* до точки *B* – 40 м, от точки *B* до конца траншеи – 130 м.

7. Ширина дна траншеи 8 м.

8. Проектный уклон дна траншеи $i = 0{,}040$.

9. Угол откоса бортов траншеи $\beta = 40^\circ$.

10. Форма отвала почвенного слоя в виде усеченного конуса с площадью нижнего основания в 2 раза больше верхнего. Высота отвала (*H*) не более 25 м.

***Требуется выполнить*:**

1. Нанести на план ось, дно и верхние границы траншеи.

2. Построить продольный разрез по оси траншеи в масштабе: горизонтальный 1:1000, вертикальный 1:500.

3. Определить общий объем горной массы при проходке траншеи ($V_{общ}$) методом вертикальных сечений. Расстояние между сечениями 30 м.

4. Определить объем почвенного слоя ($V_п$), приняв коэффициент разрыхления $k_р$=1,3.

5. Определить площадь основания отвала почвенного слоя и нанести границу отвала на план в точка *D*.

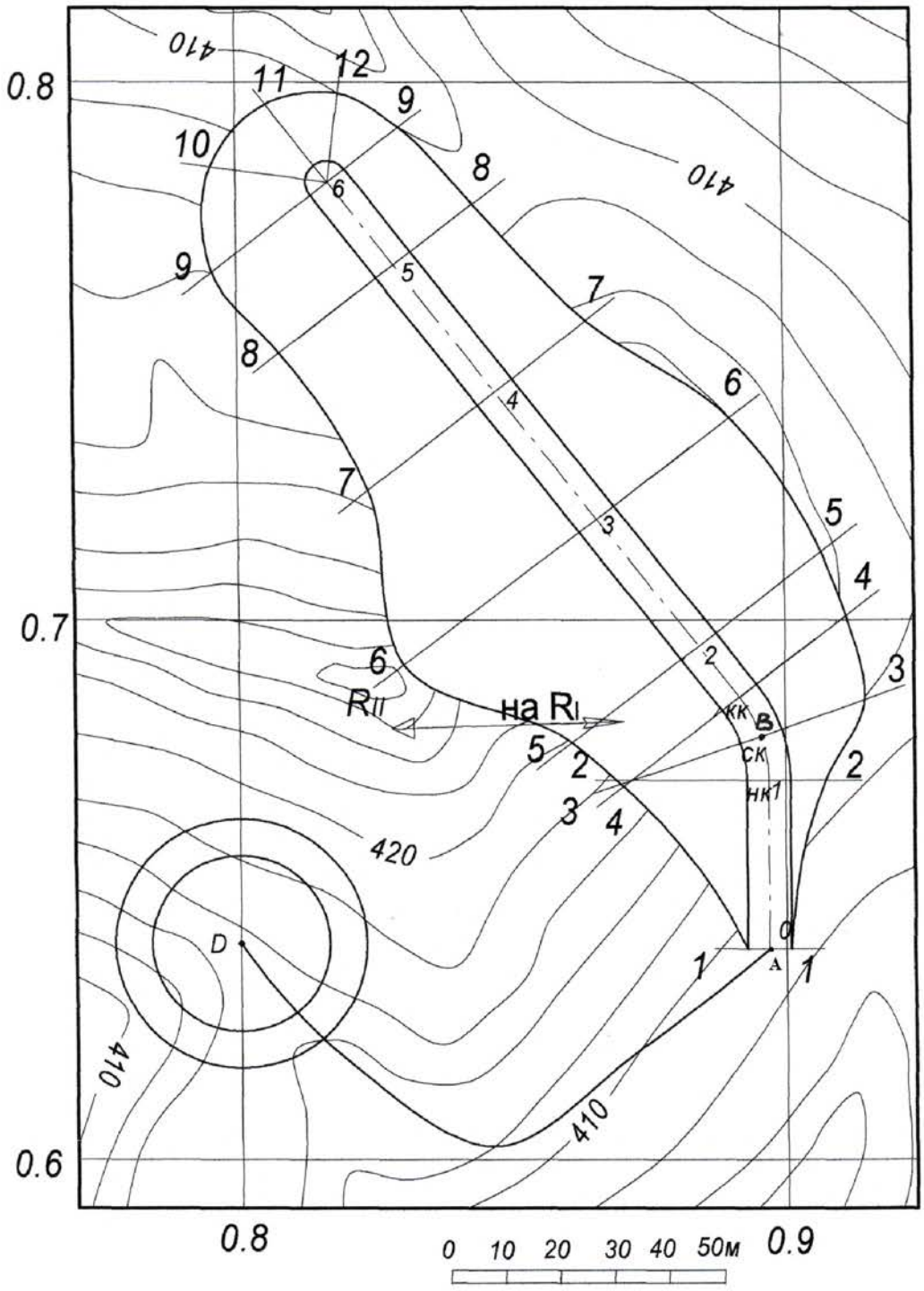


Рис. 10. Топографический план участка проходки въездной траншеи

6. Нанести на план трассу автомобильной дороги от устья траншеи (точка *A*) до центра отвала (точка *D*). Уклон трассы $i_{тр} = 0{,}064$.

Нанесение на план оси траншеи начинается с точки *A* с указанием направления до угла поворота (точка *B*) и далее под углом

поворота α на проектную длину. Первое расстояние от точки *A* до точки *B* – 40 м и далее от точки *B* до конца траншеи – 130 м.

Для построения закругления оси траншеи определяют точки касания кривой (НК и КК) по формуле

$$T = r \cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}, \qquad T = 25 \cdot \mathrm{tg}\frac{38}{2} = 8{,}61 \text{ м},$$

где *T* – тангенс кривой (расстояние от точки поворота до НК и КК); *r* – радиус закругления.

Отложив на прямых участках оси траншеи от точки *B* значение *T*, проводят дугу *r* =25 м и определяют ее длину по формуле

$$L_{\text{кр}} = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180} = \frac{3{,}14 \cdot 25 \cdot 38}{180} = 16{,}58 \text{ м}.$$

Ось траншеи на план наносится штрихпунктирной линией красного цвета.

Параллельно оси траншеи сплошными линиями красного цвета наносятся границы дна траншеи.

От точки *A* (пикет 0) через 30 м и в точке *B* (пикет 1+10) отмечают пикеты и подписывают их номера (1, 2, 3, ..., 12). Высотную отметку дна траншеи $Z_{\text{дна}}$ вычисляют по формуле

$$z_{\text{дна}} = z_A + d \cdot i,$$

где z_A – высотная отметка устья траншеи в точке *A* (берется с плана), м; *d* – горизонтальное расстояние от устья траншеи до пикета, м; *i* – проектный уклон траншеи (–0,040).

$Z_{\text{дна0}}$ = 409,0+0·(-0,04)=409,00 м;
$Z_{\text{дна1}}$ = 409,0+30·(-0,04)=407,80 м;
$Z_{\text{днаск}}$ = 409,0+3 9·(-0,04)=407,44 м;
$Z_{\text{днакк}}$ = 409,0+47·(-0,04)=407,12 м;
$Z_{\text{дна2}}$ = 409,0+60·(-0,04)=406,60 м;
$Z_{\text{дна3}}$ = 409,0+90·(-0,04)=405,40 м;
$Z_{\text{дна4}}$ = 409,0+120·(-0,04)=404,20 м;
$Z_{\text{дна5}}$ = 409,0+150·(-0,04)=403,00 м;
$Z_{\text{дна6}}$ = 409,0+169·(-0,04)=402,24 м.

Для каждого пикета определяют глубину заложения дна траншеи (*h*) по формуле

$$h = Z_A - Z_{\text{дна}}.$$

h_1=409,0-407,8=1,20 м;
$h_{\text{ск}}$=409,0-407,44=1,56 м;

$h_{кк}$=409,0-407,12=1,88 м;
h_2=409,0-406,60=2,40 м;
h_3=409,0-405,40=3,60 м;
h_4=409,0-404,20=4,80 м;
h_5=409,0-403,00=6,00 м;
h_6=409,0-402,24=6,76 м.

На плане в пикетных точках перпендикулярно оси траншеи проводят линии поперечных разрезов для построения вертикальных сечений (рис. 11).

Вертикальные сечения строятся в масштабе 1:500, за условный горизонт которых принимается высотная отметка дна траншеи в данном пикете.

По линии условного горизонта от оси траншеи отмечают ширину дна траншеи, и от его границ под углом откоса борта траншеи (40°) проводят линии откоса до пересечения с линией горизонта земной поверхности. Линия горизонта определяется на плане по горизонталям рельефа.

Точки выхода откосов борта траншеи на поверхность переносят по линиям разрезов на план и соединяют плавной, сплошной линией красного цвета, т. е. строят верхние границы бортов траншеи.

По оси траншеи, принимая за условный горизонт высотную отметку устья траншеи (точка *A*), строят продольный разрез траншеи (рис. 12). Горизонтальный масштаб продольного разреза 1:1000, вертикальный – 1:500.

На продольном разрезе указывается проектный горизонт дна поверхности прямой линией и по величине глубины заложения *h* горизонт поверхности – плавной линией.

Общий объем горной массы при проходке траншеи определяют по формуле

$$V_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{n} V_i ,$$

где $V_i = \frac{1}{2}(S_i + S_{i+1})L$, если S_i и S_{i+1} отличаются друг от друга не более чем на 40 %, и $V_i = \frac{1}{3}\left(S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i + S_{i+1}}\right)L$ – в остальных случаях, где S_i и S_{i+1} – площади смежных вертикальных сечений траншеи, определяются планиметром или палеткой; L – расстояние между смежными сечениями.

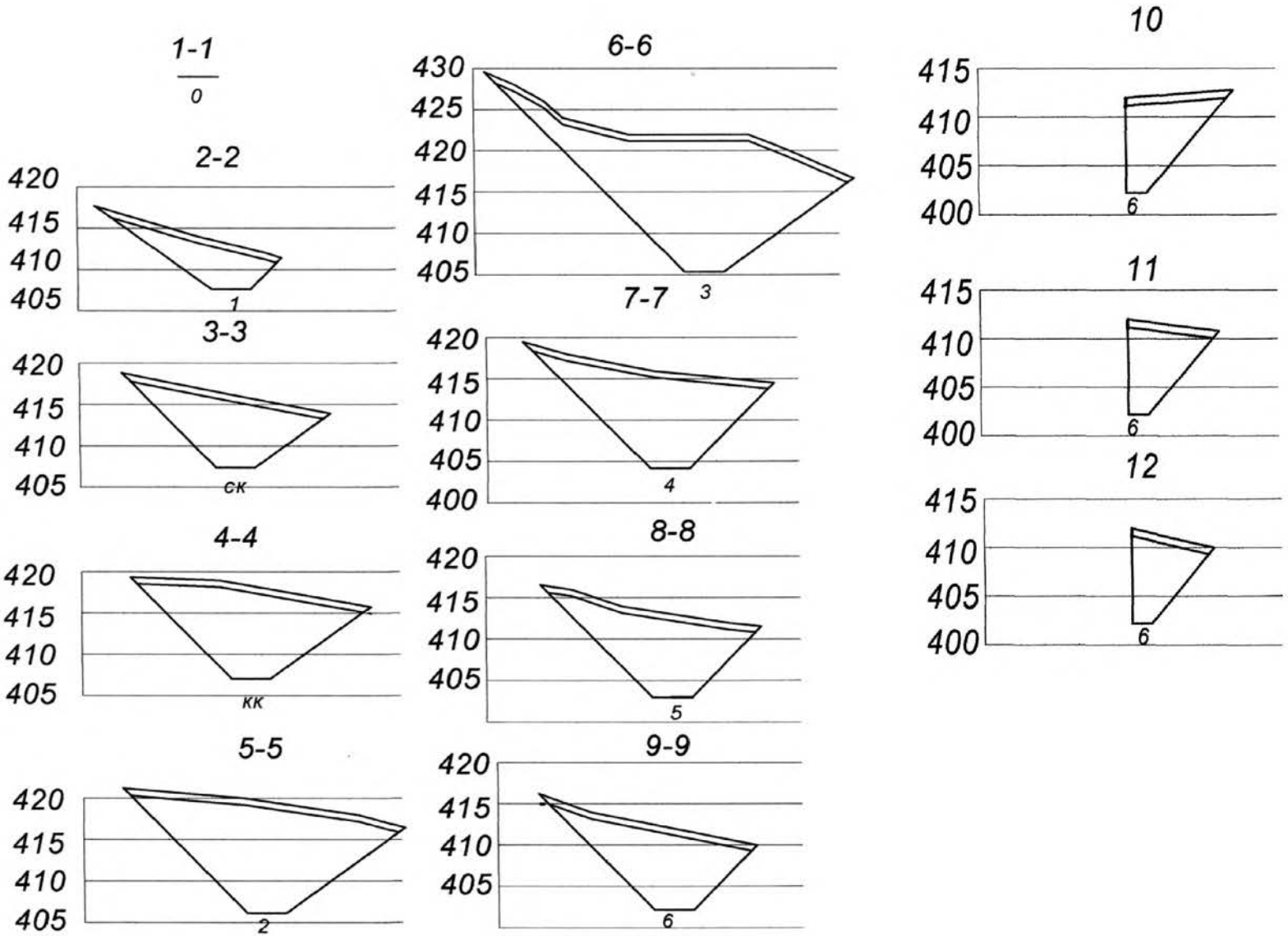


Рис. 11. Вертикальные сечения по линии в пикетных точках

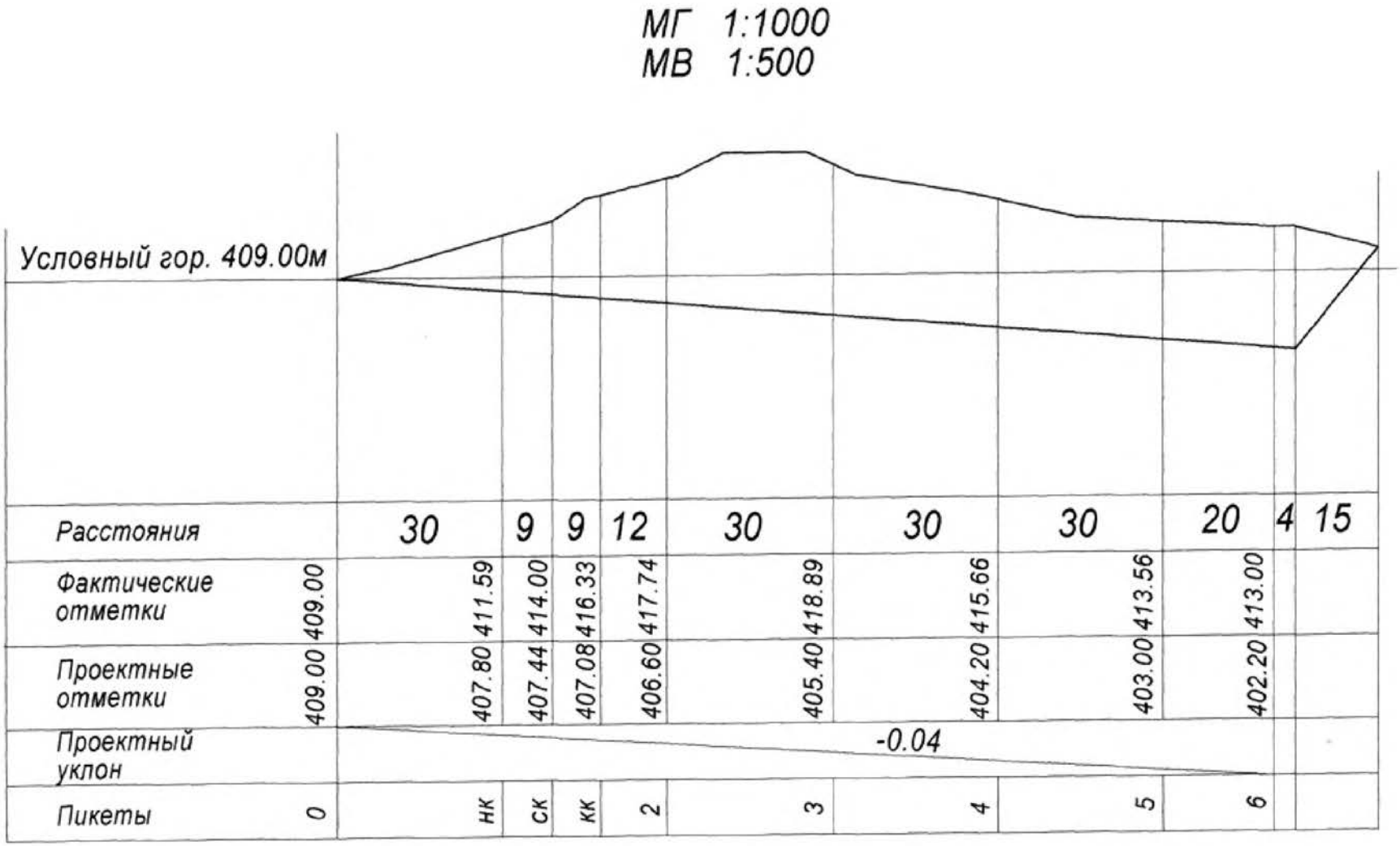


Рис. 12. Продольный профиль по оси траншеи

Объем горной массы

$V_{0\text{-}1} = 2114{,}19$ м^3 $V_{4\text{-}5} = 15213{,}75$ м^3

$V_{1\text{-СК}} = 1661{,}05$ м^3 $V_{5\text{-}6} = 8496{,}33$ м^3

$V_{\text{СК-КК}} = 2495{,}94$ м^3 $V_{9\text{-}10} = 3268{,}73$ м^3

$V_{\text{КК-}2} = 6147{,}43$ м^3 $V_{10\text{-}11} = 2036{,}05$ м^3

$V_{2\text{-}3} = 19914{,}38$ м^3 $V_{11\text{-}12} = 1557{,}27$ м^3

$V_{3\text{-}4} = 17283{,}67$ м^3 $V_{12\text{-}9} = 1498{,}72$ м^3

$$V_{\text{общ}} = 81687{,}51 \text{ м}^3.$$

Объем почвенного слоя определяется по вертикальным разрезам с учетом его мощности и коэффициента разрыхления:

$$V_{\text{п}} = V_{\text{сл}} \cdot K,$$

где $V_{\text{сл}}$ – объем слоя по каждому интервалу L_i без учета коэффициента разрыхления; K – коэффициент разрыхления (K = 1,3). Мощность почвенного слоя 0,8 м.

Объемы почвенного слоя

$V_{0\text{-}1} = 867{,}00$ м^3 $V_{4\text{-}5} = 2238{,}15$ м^3

$V_{1\text{-СК}} = 556{,}92$ м^3 $V_{5\text{-}6} = 1317{,}84$ м^3

$V_{\text{СК-КК}} = 570{,}44$ м^3 $V_{9\text{-}10} = 510{,}23$ м^3

$V_{\text{КК-}2} = 1084{,}59$ м^3 $V_{10\text{-}11} = 3\,10{,}90$ м^3

$V_{2\text{-}3} = 3\,120{,}92$ м^3 $V_{11\text{-}12} = 489{,}33$ м^3

$V_{3\text{-}4} = 2955{,}90$ м^3 $V_{12\text{-}9} = 240{,}88$ м^3.

$$V_{\text{П}} = 14263{,}10 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{п}} = 14263{,}10 \cdot 1{,}3 = 18542{,}03 \text{ м}^3.$$

Данные подсчета проектных объемов горной массы и объемов почвенного слоя заносятся в таблицу (табл. 8).

Площадь основания отвала почвенного слоя с учетом исходных данных (см. п. 10 исходные данные) определяется по формуле

$$S_{\text{осн}} = 1{,}5 \cdot \frac{V}{H},$$

где V – объем почвенного слоя (см. табл. 8), м^3; H – высота отвала до 25 м.

По величине площади основания отвала $S_{\text{осн}}$ определяют его границы и наносят на план в районе точки D. Точка D выбирается по аналогии с рис. 10.

Таблица 8

Подсчет проектных объемов горной массы и почвенного слоя

Номер сечения	Площадь сечения S, м^2	Расстояния между сечениями, м	Объем горной массы V, м^3	Площадь сечения почвенного слоя S, м^2	Объем почвенного слоя V, м^3	Коэф. разрыхления К	Объем V почвенного слоя с учетом К, м^3
1-1	0,00			0,00			
		30,00	2114,19		867,00	1,3	1127,10
2-2	197,37			57,80			
		9,00	1661,05		556,92	1,3	723,99
3-3	333,28			65,96			
		8,00	2495,94		570,44	1,3	741,57
4-4	572,6			76,65			
		13,00	6147,43		1084,59	1,3	1409,97
5-5	808,87			90,21			
		30,00	19914,36		3120,92	1,3	4057,19
6-6	1138,44			117,85			
		30,00	17283,67		2955,90	1,3	3842,67
7-7	548,85			79,21			
		30,00	15213,75		2238,15	1,3	2909,60
8-8	465,40			70,00			
		19,00	8496,33		1317,84	1,3	1713,19
9-9	428,95			68,72			
6-9	214,48			33,67			
		15,00	3268,73		510,23	1,3	663,30
6-10	221,35			28,51			
		10,00	2036,05		310,90	1,3	404,17
6-11	185,86			28,51			
		9,00	1557,2 7		489,33	1,3	636,13
6-12	160,20			25,86			
		8,00	1498,72		240,98	1,3	313,14
6-9	214,48						
Итого:		$V_{общ}$=	81687,51		14263,1	$V_{п}$=	18542,03

Для прокладки трассы автомобильной дороги от устья траншеи (точка A) до отвала (точка D) определяют заложение $d_{авт}$ по формуле

$$d_{авт} = \frac{h}{i_{тр}},$$

где h – сечение рельефа, м; $i_{тр}$ – уклон автомобильной дороги (0,064).

Полученное значение $d_{авт}$ раствором циркуля откладывают на плане, выбирая по горизонталям рельефа наиболее короткий и удобный путь. Трассу автомобильной дороги обозначают на плане условным знаком, принятым для грунтовых дорог.

Отчетные материалы по задаче 1

1. Топографический план поверхности в масштабе 1:1000 с нанесенными границами траншеи, отвала почвенного слоя и трассы автомобильной дороги.
2. Вертикальные сечения траншеи по линиям пикетов.
3. Расчет объемов горной массы и почвенного слоя.
4. Продольный профиль по оси траншеи.
5. Пояснительная записка с проведенными расчетами.

Задача 2. Выполнить расчет разбивочных элементов для выноса в натуру параметров траншеи

***Исходные данные*:**

$X_{R_{II}} = 0{,}680,\ Y_{R_{II}} = 0{,}830, \alpha_{R_{II}-R_I} = 92°00'00'$.

Решение.

– Измеряются на плане координаты устья траншеи:

$$X_A = 646{,}842 \text{ м}, \quad Y_A = 896{,}842 \text{ м};$$

– угол β_1 между направлениями $R_{II}-R_I$ и $R_{II}-A$ ($\beta_1 = 33°$);

– горизонтальное расстояние от точки R_{II} до точки A ($d_{R_{II}-R_A} = 98{,}947$ м);

– превышение ($\Delta z_{R_{II}-R_A} = -16{,}5$ м);

– угол (β_2) между направлениями $A-R_{II}$ и $A-B$, ($\beta_2 = 60°$).

***Определяем*:**

наклонное расстояние

$$L_{R_{II}-A} = \sqrt{d^2 + \Delta Z^2} = \sqrt{98{,}947^2 + (-16{,}5)^2} = 100{,}313 \text{ м};$$

разбивочные элементы: $\beta_1 = 33°$, $\beta_2 = 60°$, $L_{R_{II}-A} = 100{,}313$ м.

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 3

1. Выполнить проект трассы выездной траншеи, если дано: топографический план поверхности участка ведения горных работ в масштабе 1:1000 (см. рис. 10), параметры траншеи (см. исходные данные задачи 1) и координаты $X_{R_{II}} = 0{,}680+N$, $Y_{R_{II}} = 0{,}830 + N$, км, где N – номер варианта, м.

2. Выполнить расчет разбивочных элементов для выноса в натуру параметров траншеи, если дано: проект трассы выездной траншеи (задача 1), $\alpha_{R_{II}-R_I} = 92°00'00'+N$, где N – номер варианта, град.

4. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом отделение от горного массива, дробление скальных, полускальных пород и рудных тел осуществляются буровзрывными работами (массовыми взрывами). Заряды взрывчатых веществ помещают в предварительно пробуренные скважины. Скважины располагают сериями на верхней площадке уступа в 1, 2 и более рядов.

Буровзрывные работы должны обеспечить:

– заданную (расчетную) степень дробления горных пород;

– требуемые качество и сортность взорванного рудного тела, достижение в необходимых случаях избирательного дробления пород различной крепости;

– проектный контур и угол откоса уступа;

– заданные размеры и форму развала взорванных пород, удобные для их экскавации;

– минимальные (допустимые) отклонения высотных отметок площадок уступов, размеров и формы поверхности уступов от проектных контуров;

– минимальное сейсмическое воздействие взрыва на породный массив вблизи проектных (граничных) контуров карьера и конструкции инженерных сооружений;

– высокие показатели экономичности, производительности и безопасности производства горных работ;

– безопасность бурения и заряжания скважин.

Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ включает:

– составление крупномасштабного плана участка взрыва, который вычерчивается по результатам детальной маркшейдерско-геологической съемки;

– составление проекта буровзрывных работ с указанием расположения взрывных скважин, их глубин, величину перебура и линии наименьшего сопротивления взрыву (ЛНС);

– создание на участке работ съемочного обоснования для перенесения проектного положения скважин в натуру и последующей съемки фактического положения пробуренных скважин с определением их глубин и перебуров;

– определение положения скважин относительно верхней и нижней бровок откоса уступов;

– проведение детальной маркшейдерской съемки результата взрывания с составлением графической и отчетной документации и заключение об эффективности взрыва.

Размеры и форма взрываемого участка, высота и угол откоса уступа, общий объем и степень дробления взрывом горных пород, сейсмическое воздействие взрыва каждый раз задаются проектом. На каждый очередной взрыв главный инженер карьера выдает задание с указанием длины, ширины и объема участка взрыва с приложением выкопировки из маркшейдерского плана.

Задача 1. Составить план-проект на буровзрывные работы

Для составления плана-проекта (плана-задания) на буровзрывные работы необходимо в масштабе 1:1000 вычертить план участка карьера, в районе которого планируются буровзрывные работы. На рис. 13 показан блок между гор. + 265 и + 275 м, подготавливаемый к взрыву.

Методические указания для решения

1. Вычерчивается план участка карьера масштаба 1:1000 по аналогии с рис. 13.

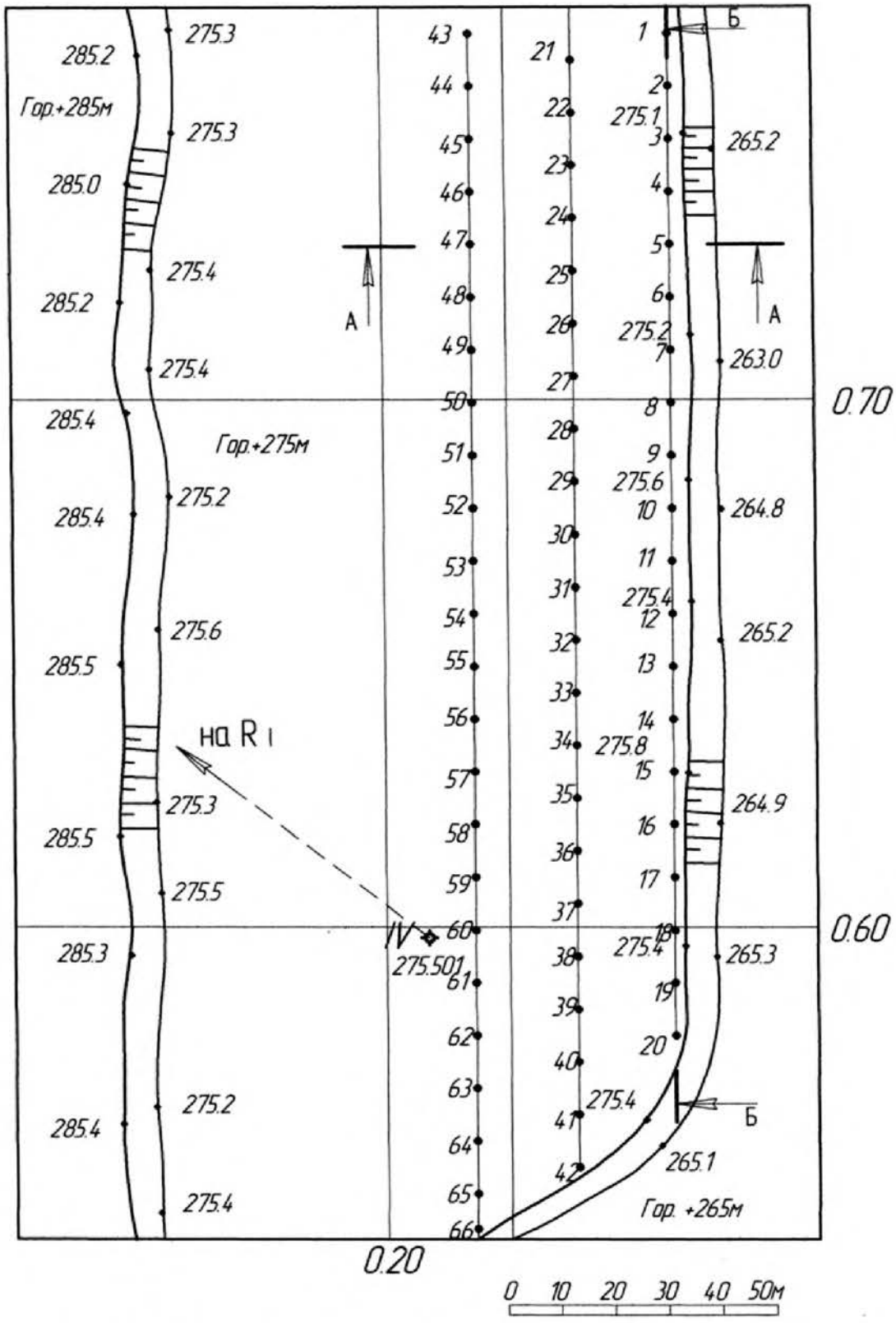


Рис. 13. План участка карьера, подготавливаемого к взрыву

2. По известным координатам наносится пункт съемочного обоснования IV.

3. Проектная сеть буровзрывных скважин строится по сетке с параметрами *a, b* и *c*, где *a* – расстояние в метрах до скважин

первого ряда от верхней бровки уступа; b – расстояние между скважинами в ряду; c – расстояние между рядами скважин.

4. На плане красной тушью указываются границы взрываемого блока по последнему ряду скважин.

Решение.

***Исходные данные*:**

1. План участка карьера масштаба 1:1000.

2. Координаты пункта IV маркшейдерского съемочного обоснования, км:

$$X_{IV} = 0{,}598, \qquad Y_{IV} = 0{,}208.$$

3. Координаты пункта опорной сети R_I, км:

$$X_{RI} = 0{,}685, \qquad Y_{RI} = 0{,}095.$$

***Требуется выполнить*:**

1. По известным координатам нанести на план участка пункт съемочной сети IV.

2. Определить разбивочные элементы для выноса буровзрывных скважин в натуру.

3. Нанести на поверхность блока проектную сетку буровзрывных скважин.

4. Определить проектную глубину скважин и линию наименьшего сопротивления для 1-го ряда.

Прежде всего, на расстоянии a от верхней бровки фактического контура уступа наносятся скважины первого ряда. Расстояние между скважинами в ряду b.

После этого со сдвигом $0{,}5b$ (в шахматном порядке) на расстоянии (c) между рядами наносятся скважины второго и третьего рядов и т. д. до заполнения всей площади подготавливаемого к взрыву блока. Количество рядов для решения задачи должно быть не менее трех.

Разбивочные элементы для каждой скважины, необходимые для выноса их в натуру, определяются с плана участка карьера: горизонтальный угол β_i измеряется в пункте съемочного обоснования IV между направлениями на пункт R_I и на каждую скважину; расстояние d_i от пункта IV до каждой скважины.

Исходное направление IV-R_I наносится на плане участка карьера от пункта IV, дирекционный угол которого определяется решением обратной геодезической задачи:

$$\operatorname{arctg}\alpha_{\text{IV}-R_{\text{I}}} = \frac{Y_{R_{\text{I}}} - Y_{\text{IV}}}{X_{R_{\text{I}}} - X_{\text{IV}}} = \frac{0{,}095 - 0{,}208}{0{,}685 - 0{,}598} = \frac{-0{,}113}{0{,}087} = -1{,}2988;$$

$$\alpha_{\text{IV}-R_{\text{I}}} = -52^{\circ}24'25'' + 360^{\circ} = 307^{\circ}35'35''.$$

Углы β_i измеряются транспортиром на плане участка карьера с точностью $\pm 0{,}5^{\circ}$, расстояния d линейкой с точностью $\pm 0{,}5$ мм в масштабе плана. Результаты записываются в табл. 9.

Таблица 9

Пример записи значений разбивочных элементов β_i и L_i

Номер скважины	β_{I}, град., мин.	d_i, м	Номер скважины	β_{I}, град., мин	d_i, м	Номер скважины	β_{I}, град., мин	d_i, м
1 2 3	201°00' и т. д.	47,00 и т. д.						

Проектная глубина скважины (h_c) определяется по формуле

$$h_{\text{C}} = \frac{h_{\text{У}}}{\sin\delta} + l_{\text{П}},$$

где δ – угол наклона скважины к горизонту, град.; h_y – высота уступа, м; $l_{\text{п}}$ – величина перебура скважины, м.

Значение угла δ определяется с учетом угла откоса уступа, как правило, равного ему. Высота уступа вычисляется по разности средней высотной отметки верхней бровки $Z_{\text{ср.в}}$. и средней высотной отметки нижней бровки уступа $Z_{\text{ср.н.}}$:

$$h_{\text{у}} = Z_{\text{ср.в}} - Z_{\text{ср.н}},$$

где $Z_{\text{ср.в.}} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} Z_{i,\text{в}}}{n} = \dfrac{1927{,}9}{7} = 275{,}4$ м;

$$Z_{\text{ср.н.}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z_{i,\text{н}}}{n} = \frac{1853{,}5}{7} = 264{,}8 \text{ м};$$

$Z_{i,\text{в}}$, $Z_{i,\text{н}}$ – высотные отметки верхней и нижней бровки уступа соответственно; n – количество отметок (пикетов).

$$h_{\text{у}} = 275{,}4\text{-}264{,}8 = 10{,}6 \text{ м}.$$

Величина перебура скважины определяется по формуле

$$l_{\text{п}} = 0{,}5q \cdot w,$$

где q – удельный расход взрывчатого вещества (ВВ); w – максимально допустимое значение линии сопротивления взрыву по подошве уступа:

$$w = \sqrt{\frac{c \cdot p}{q}};$$

c – коэффициент степени дробления породы взрывом, c = 0,012; p – вместимость 1 м скважины, кг, $p = 7{,}85 \cdot d_{\text{с}}^2 \cdot \Delta$; $d_{\text{с}}$ – диаметр скважины, дм; Δ – плотность заряжания.

Объем выполненной работы включает следующие результаты:

1. План участка карьера в масштабе 1:1000, на который наносятся: пункт IV; направление на пункт R_{I}; сетка буровзрывных скважин.

2. Разрез по линии первого ряда скважин с указанием перебура (рис. 14).

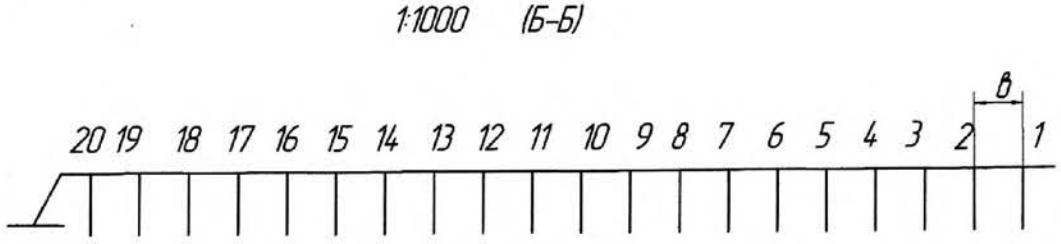


Рис. 14. Продольный разрез по линии Б-Б

3. Разрез, перпендикулярный направлению уступа взрываемого блока с указанием углов наклона уступа, угла наклона скважин и величины перебура, $l_{\text{п}}$ (рис. 15).

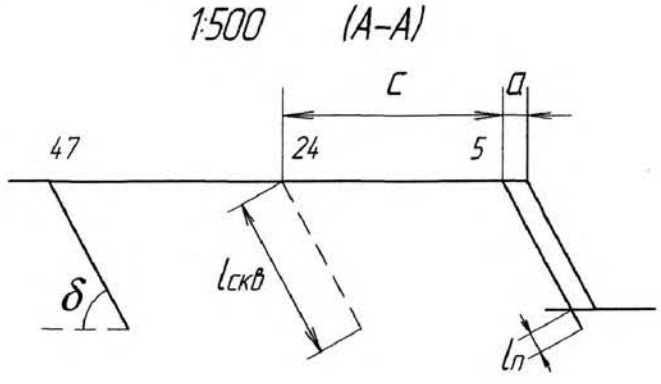


Рис. 15. Поперечный разрез по линии А-А

4. Таблица разбивочных элементов скважин (см. табл. 9).

Расчет проектной глубины скважин и величины линии сопротивления по подошве для скважин первого ряда.

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 4

Составить план-проект на буровзрывные работы, если дано:

1. План участка карьера масштаба 1:1000 (см. рис. 13);
2. Координаты пункта IV в км:

$$X_{IV} = 0{,}598+N, \qquad Y_{IV} = 0{,}208+N;$$

3. Координаты пункта R_I в км:

$$X_{RI} = 0{,}685+N, \qquad Y_{RI} = 0{,}095+N,$$

где N – номер варианта задания в метрах.

4. Параметры сетки буровзрывных скважин (табл. 10).

Таблица 10

Параметры сетки буровзрывных скважин

Номер варианта	Величина параметра, м		
	a	*b*	*c*
1 - 10	2	10	18
11 - 20	2,5	12	16
21 - 30	3	14	14
31 – 40	3,5	16	12
41 - 50	4	18	10

5. Удельный расход ВВ (табл. 11).

Таблица 11

Удельный расход ВВ

Номер варианта	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50
q, кг/м^3	0,6	0,8	1,0	0,8	0,6

6. Диаметр скважин (табл. 12).

Таблица 12

Диаметр скважин

Номер варианта	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50
d_c, мм	100	200	250	300	320

7. Плотность заряжания ВВ (табл. 13).

Таблица 13

Плотность заряжания ВВ

Номер варианта	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50
Δ, кг/дм^3	0,9	1	1,4	1,5	1,6

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль*. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Серия 07. Выпуск 15/ Колл. авт. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 120 с.

2. *Голубко Б. П., Гордеев В. А., Яковлев В. Н.* Маркшейдерия. Часть I. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 212 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Земских Г.В., Раева О.С.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебное пособие

Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений подземным способом

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Эффективному изучению теоретических основ маркшейдерии и использованию полученных знаний на производстве в значительной мере способствует решение конкретных задач. Особенно это помогает при самостоятельной и индивидуальной форме обучения.

Учебное пособие включает комплекс наиболее востребованных задач при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом. Последовательность изложения материала: основные теоретические понятия, методику выполнения измерений и пример решения при камеральной обработке результатов измерений.

Основное внимание в учебном пособии уделено решению типовых задач, включающих: построение и реконструкцию подземных маркшейдерских опорных и съемочных сетей, выполнение ориентирно-соединительных съемок через одну и две вертикальные горные выработки (геометрический и гироскопический способы); вертикальные соединительные съемки.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Маркшейдерия». Решение задач проводится студентами на практических занятиях под руководством преподавателя и самостоятельно.

1. ПОДЗЕМНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЪЕМКИ

1.1. Общие сведения

Подземная маркшейдерская съемка – это комплекс пространственно-геометрических измерений и вычислений, обеспечивающий:

- получение пространственного положения горных выработок, инженерных сооружений, параметров залегания полезного ископаемого и построение горно-графической документации в единой с земной поверхностью системе координат;

- решение горно-геометрических задач, возникающих на всех стадиях освоения месторождения (разведки, строительства и эксплуатации горного предприятия).

Технологически маркшейдерскую съемку подразделяют на горизонтальную и вертикальную.

По значению, трудоемкости и методике выполнения *подземные маркшейдерские съемки подразделяют:*

- на подземную теодолитную съемку для построения главной геометрической основы – подземные маркшейдерские опорные и съемочные сети;

- ориентирно-соединительную съемку для установления геометрической связи подземной теодолитной съемки со съемками на земной поверхности в единой системе координат. Данная съемка позволяет совмещать планы подземных горных выработок с планами земной поверхности;

- съемку нарезных и очистных горных выработок, проводимую упрощенными способами с целью определения контуров подземных выработок, границ горных работ и объемов добытой горной массы, за определенный промежуток времени;

- подземную вертикальную съемку для определения относительного расположения горных выработок и земной поверхности по высоте. Эта съемка включает: передачу высотной отметки с земной поверхности в шахту; геометрическое нивелирование в горизонтальных и тригонометрическое нивелирование в наклонных горных выработках.

Все виды указанных выше подземных маркшейдерских съемок выполняются в соответствии с требованиями инструкции по производству маркшейдерских работ, в основе которых предусмотрены *три основных принципа*:

1) съемка должна вестись от общего к частному, т. е. от более точного (опорные сети) к менее точному (съемка подробностей);

2) съемка должна выполняться с необходимой и достаточной точностью, обусловленной требованиями производства (технологией добычи). Недостаточная точность может привести к браку горных работ, а в некоторых случаях может явиться причиной несчастного случая. Излишняя точность требует ненужных, непроизводительных затрат труда маркшейдера;

3) все измерения и вычисления в каждом из видов съемок, должны выполняться с обязательным объективным контролем. Контроль обеспечивает необходимую точность результатов съемки и исключает возможность появления грубых ошибок в измерениях и вычислениях.

1.2. Основные понятия ориентирования и единиц мер измерения

При выполнении топографо-геодезических, картографических и маркшейдерских работ на земной поверхности и в подземных выработках используется система геодезических плоских координат Гаусса-Крюгера 1942 г. – это дата определения размеров эллипсоида Красовского. Вычисление подземных маркшейдерских съемок проводится в плоских прямоугольных координатах в конформной (равноугольной) проекции. Сущность данной системы заключается в том, что поверхность эллипсоида делится с запада, от Гринвичского меридиана, на восток на шестиградусные зоны. При этом осевой меридиан и экватор изображаются двумя взаимно перпендикулярными линиями (рис. 1.1).

Осевой меридиан на плоскости – прямая POP_1, перпендикуляр к нему – линия экватора $Q_1 OR_1$, начало координат точка пересечения O. Некоторая точка A на земном эллипсоиде с геодезическими координатами (широта и долгота) изображается на плане точкой A_1 с плоскими прямоугольными координатами X_{A_1}, Y_{A_1}.

Между геодезическими координатами и плоскими существует определенная математическая зависимость, позволяющая осуществлять пересчет из одной системы в другую. Имея исходные прямоугольные плоские координаты и проектируя измеренные длины на плоскость, вычисляют координаты определяемых точек по формулам аналитической геометрии.

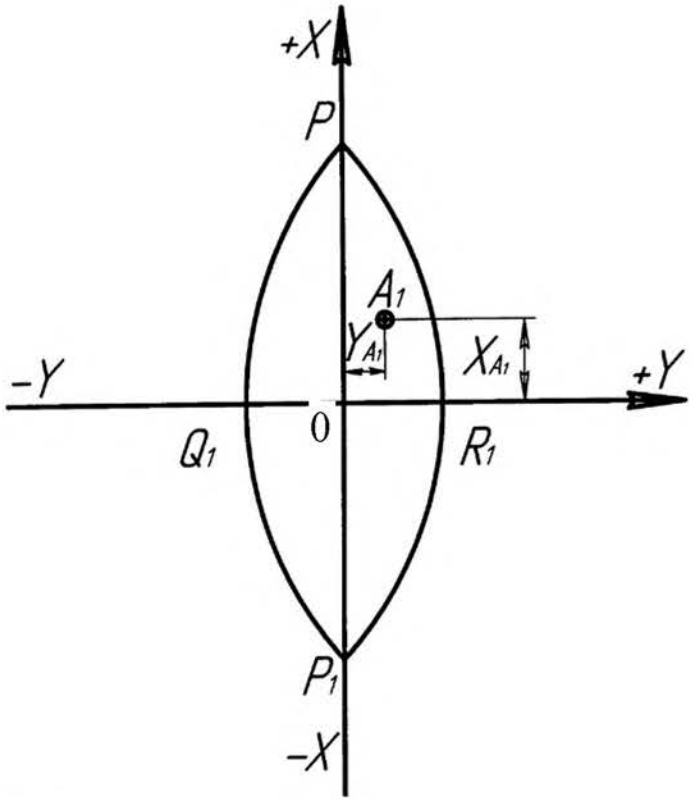


Рис. 1.1. Плоские прямоугольные координаты Гаусса точки A_1 земного эллипсоида

Плановое положение пункта подземной теодолитной съемки определяется тремя величинами: долготой осевого меридиана, в которой находится точка; абсциссой – расстоянием от точки до экватора; ординатой – расстоянием от точки до осевого меридиана. На территории нашей страны, находящейся в Северном полушарии, абсциссы точек только положительны, ординаты могут быть как положительные, так и отрицательные. Например, $X_{A_1} = 5057$ км и $Y_{A_1} = 3575$ км, т. е. точка A_1 находится на расстоянии 5057 км к северу от экватора, в 3-й зоне на расстоянии 575 км к востоку от осевого меридиана.

На горных предприятиях применяется также так называемая условная система координат, которая имеет определенную связь с системой координат 1942 г. Постановлением Правительства РФ от 28.06.2000 г. № 568 с 01.01.2002 г. введена новая Государственная система геодезических координат для осуществления топографо-геодезической и картографической деятельности на территории России – СК95.

Разности координат двух точек называют *приращением координат* (ΔX и ΔY). В зависимости от значений координат точек приращения могут иметь знак (+) или (-).

При расчетах в системе прямоугольных координат важное зна-

чение имеет умение решать прямую и обратную геодезические задачи. Прямая геодезическая задача заключается в определении координат искомой точки B относительно исходной точки A по горизонтальной проекции линии d_{AB} и дирекционному углу этой линии α_{AB} по известным формулам:

$$X_B = X_A + d_{AB} \cdot \cos\alpha_{AB} = X_A + \Delta X_{AB};$$

$$Y_B = Y_A + d_{AB} \cdot \sin\alpha_{AB} = Y_A + \Delta Y_{AB}.$$

Обратная геодезическая задача заключается в определении дирекционного угла α_{AB} линии AB и горизонтальной проекции длины линии по известным координатам точек этой линии X_A, Y_A, X_B, Y_B:

$$r_{AB} = \text{arctg}\left(\frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}\right) = \text{arctg}\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right);$$

$$d_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin r_{AB}} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos r_{AB}} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2},$$

где r_{AB} – табличный угол (румб), по которому определяется значение дирекционного угла.

При вычислении дирекционного угла α_{AB} необходимо учитывать знаки приращений координат (+) или (-) (рис. 1.2), следуя правилу, приведенному в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Связь между дирекционными углами и румбами

Четверть	ΔX	ΔY	α, град.		Формула вычисления дирекционного угла
			от	до	
I	+	+	0	90	$\alpha_{AB} = r_{AB}$
II	–	+	90	180	$\alpha_{AB} = 180° - r_{AB}$
III	–	–	180	270	$\alpha_{AB} = 180° + r_{AB}$
IV	+	–	270	360	$\alpha_{AB} = 360° - r_{AB}$

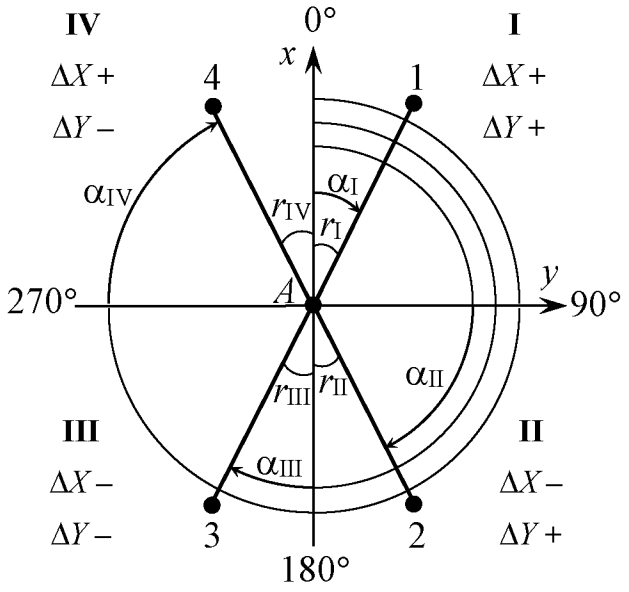


Рис. 1.2. – Схема определения румбов и дирекционных углов

Расположение точек по вертикали называется *высотой точек* (высотная отметка, координата Z). В России высоты точек отсчитываются от уровня Балтийского моря – нуля Кронштадтского футштока (Балтийская система высот $Z_0 = 0$). Выше исходного уровня высоты точек со знаком (+), ниже исходного уровня – со знаком (-). Разница между высотами двух точек называется превышением (h). В зависимости от взаиморасположения точек превышения имеют знак (+) или (-) и определяются по формуле: $h = Z_A - Z_B$, где Z_A, Z_B – высоты точек A и B.

Если известны значения координат двух точек, например X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, по их значениям могут быть определены:

1) наклонная длина линии (l)

$$l = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2};$$

2) горизонтальное проложение линии (d) – проекция на горизонтальную плоскость длины линии (l)

3)

$$d = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} = l \cdot \cos\delta;$$

4) угол наклона линии (δ) – угол между направлением линии (l) и ее горизонтальным проложением

$$\delta = \text{arctg}\left(\frac{Z_B - Z_A}{d}\right);$$

при известных значениях превышения h и длины l

$$d = \sqrt{l^2 - h^2}; \quad \delta = \arcsin\left(\frac{h}{l}\right);$$

тангенс угла наклона линии, уклон линии (i)

$$i = \text{tg}\delta = \frac{h}{d}.$$

Ориентирование линий в маркшейдерской съемке осуществляется по дирекционному углу и румбу. *Дирекционным углом* α называется горизонтальный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления осевого меридиана или линии, параллельной ему, до направления ориентируемой линии. Дирекционные углы могут иметь значения от 0 до 360°. Дирекционные углы двух смежных линий взаимосвязаны между собой:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \beta_л - 180^\circ = \alpha_i - \beta_п + 180^\circ,$$

где α_i, α_{i+1} – дирекционные углы соответственно предыдущей и последующих линий; $\beta_л$ и $\beta_п$ – горизонтальные углы левый и правый между смежными линиями по направлению хода соответственно.

Румбы имеют значения от 0 до 90^0, образованные ближайшими северным или южным концом осевого меридиана и направлением ориентируемой линии. Угловая величина румба называется *табличным углом.*

При выполнении маркшейдерских съемок измеряют в основном линейные и угловые величины.

Длины линий выражают в метровой мере за единицу длины, в которой считается:

1 м = 100 см, 1 см = 10 мм, 1000 м = 1 км.

Углы выражаются в градусной, радиальной и децимальной мерах. В градусной мере единицей угла принят 1 градус, равный 1/90 части прямого угла:

1° = 60' (минут) = 360" (секунд); 1' = 60" (секунд).

В радиальной мере единицей угла принято считать 1 радиан, равный соотношению длины дуги в один радиус к величине соответствующего радиуса:

1 рад = 1 при $\alpha = 57°17'45''$,

т. е. $\alpha^r = \alpha^0/57{,}3° = \alpha'/3138' = \alpha''/206265''$.

Для малых углов, близких 0°, $\alpha^r = \sin\alpha^0 = \operatorname{tg}\alpha^0$.

В децимальной мере единицей угла принято считать 1 градус, равный 1/100 части прямого угла: 1 град = 100^c (градовых минут); $1^c = 100^{cc}$ (градовых секунд).

Решение задач по разделу 1.2

Задача 1. Определить, на каком расстоянии находится точка B_1 от экватора и от осевого меридиана и в какой зоне, если ее координаты: X_{B1} = 6780 км, Y_{B1} = 4370 км.

Ответ: на расстоянии 6780 км к северу от экватора и от осевого меридиана в 4-й зоне на расстоянии к востоку 370 км.

Задача 2. Определить координаты точки C (X_C;Y_C), если дано: координаты точки X_B = 5180,000 м, Y_B = 2370,000 м, горизонтальное расстояние между точками B и C d_{BC} = 200,000 м, дирекционный угол линии BC $\alpha_{BC} = 70°47'47''$.

Ответ:

$$X_C = X_B + d_{BC} \cdot \cos\alpha_{BC} = X_B + \Delta X_{AB} =$$

$$= 5180{,}000 + 200 \cdot \cos 70°47'47'' = 5245{,}785 \text{ м};$$

$$Y_C = Y_B + d_{BC} \cdot \sin\alpha_{BC} = Y_B + \Delta Y_{AB} =$$

$$= 2370{,}000 + 200 \cdot \sin 70°47'47'' = 2558{,}871 \text{ м}.$$

Задача 3. Определить дирекционный угол линии BC α_{BC} и го-

ризонтальное расстояние d_{BC} , если дано:

X_B = 5180,000 м, Y_B = 2370,000 м,
X_C = 5245,785 м, Y_C = 2558,871 м.

Ответ:

$$r_{BC} = \text{arctg}\left(\frac{\Delta Y_{BC}}{\Delta X_{BC}}\right) = \text{arctg}\left(\frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}\right) =$$

$$= \text{arctg}\left(\frac{2558{,}871 - 2370{,}000}{5245{,}785 - 5180{,}000}\right) = \text{arctg}\left(\frac{188{,}871}{65{,}785}\right) =$$

$$= \text{arctg}(2{,}871034) = 70°47'47".$$

Так как приращения координат положительные, то румб находится в первой четверти, следовательно, дирекционный угол

$$\alpha_{BC} = r_{BC} = 70°47'47".$$

Горизонтальное проложение стороны *BC*

$$d_{BC} = \frac{\Delta Y_{BC}}{\sin\alpha_{BC}} = \frac{188{,}871}{\sin 70°47'47"} = 200{,}000 \text{ м}, ;$$

$$d_{BC} = \frac{\Delta X_{BC}}{\cos\alpha_{BC}} = \frac{65{,}785}{\cos 70°47'47"} = 199{,}999 \text{ м}.$$

Среднее значение $d_{BC} = 200{,}000$ м.

Задача 4. Определить дирекционный угол линии *BC*, α_{BC} , если дирекционный угол линии *AB* α_{AB} = 43°25′34″ и горизонтальный угол $\beta_л$ = 177°52′43″.

Ответ:

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta_л - 180° = 43°25'34" + 177°52'43" - 180° = 41°18'17".$$

1.3. Подготовка и поверка приборов

Проверку работоспособности теодолита и взаимодействие его подвижных узлов производят опробованием. При опробовании обращают внимание на исправность всех частей теодолита (тахеометра): отсутствие качаний в подъемных, наводящих и закрепительных винтах; плавность вращения окуляра, винта или кремольеры перемещения фокусирующей линзы.

Проверяют вращение алидады, лимба (вертикальная осевая система), вращение визирной зрительной трубы, которое должно быть легким и плавным.

Проверяют исправность зеркала подсветки отсчетной системы. Юстировочные винты сетки нитей должны быть затянуты. Также проверяется работоспособность и симметричность диапазона действия компенсатора при вертикальном круге (при его наличии). При вращении подъемного винта, расположенного под трубой на 180° по часовой стрелке и против; отсчет по вертикальному кругу должен равномерно изменяться.

Проверяют исправность штатива. Подтягивают все винты и гайки на штативе и проверяют его устойчивость. Для этого прибор устанавливают на штатив, горизонтируют, наводят трубу на марку (расстояние до точки визирования – 30…40 м). Затем к головке штатива прилагают легкие вращательные (вокруг вертикальной оси) и вертикальные (сверху вниз) усилия, после чего проверяют неизменность визирования. Отклонение центра сетки нитей от первоначального визирования не должно превышать среднеквадратической погрешности (СКП) измерения углов прибором.

1.3.1. Проверка перпендикулярности цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения прибора и юстировка уровней

Для проверки перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения прибора необходимо установить уровень параллельно двум подъемным винтам подставки и, вращая их в противоположных направлениях, привести пузырек уровня на середину. После этого повернуть алидаду на 90° вокруг вертикальной оси и привести пузырек уровня

на середину третьим винтом подставки. Затем повернуть алидаду в том же направлении еще на 90°, т. е. на 180° по отношению к первоначальному положению (рис. 1.3). Если пузырек уровня отклоняется от середины более чем на 2 деления шкалы уровня, отклонения следует устранить исправительными винтами уровня, а затем повторить юстировку.

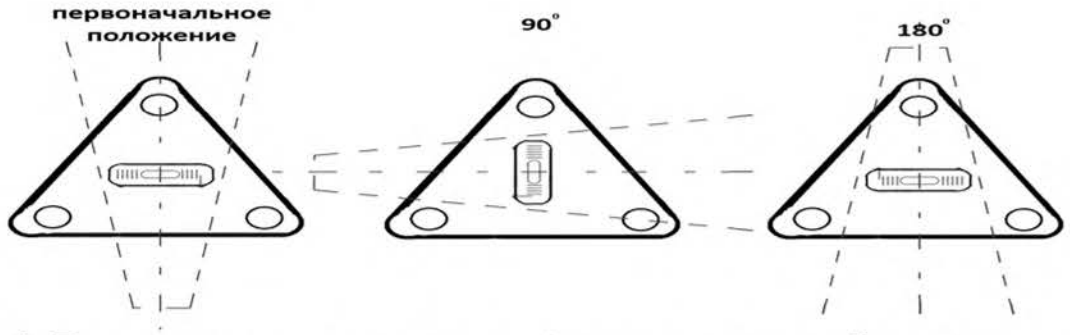


Рис. 1.3. Последовательность положений угломерного прибора относительно подставки при юстировке цилиндрического уровня при алидаде

Круглый установочный уровень в теодолите (тахеометре) выводят на середину (в нуль-пункт) его исправительными винтами после юстировки цилиндрического уровня.

1.3.2. Определение и исправление коллимационной погрешности

Неперпендикулярность визирной оси трубы к горизонтальной оси её вращения называется коллимационной погрешностью теодолита (тахеометра). При измерении направления на визирные цели двумя полуприемами (при вертикальном круге слева и справа) в средних результатах влияния коллимационной погрешности отсутствуют, поэтому допусков на величину коллимации не существует. В то же время значение коллимации важно знать и контролировать его постоянно в пределах двойной СКП измерения углов прибором. При работе с оптико-механическими теодолитами, когда записи ведутся в журнале, для удобства вычислений желательно минимальное значение коллимации.

Для определения коллимации теодолита с двухсторонней системой отсчета по лимбу горизонтального круга (ГК) необходимо после горизонтирования прибора навести зрительную трубу на удаленную, находящуюся на горизонте прибора (в пределах одного, двух градусов) визирную цель и взять отсчет при вертикальном круге слева (КЛ). Затем перевести трубу через зенит, навести её на ту же цель и

сделать отсчет при вертикальном круге справа (КП). Разность отсчетов КЛ-КП должна быть равна 180°. Отклонение разности от 180° равно двойной коллимационной погрешности: 2С = КЛ – КП±180°.

Задача 1. Определение коллимации теодолита (электронного тахеометра) с двухсторонним отсчетом при КЛ=49°45′36″,5, КП=229°45′29″,2.

Решение:

$$2C = (49°45'36'',5 + 180°) - 229°45'29'',2 = 7'',3,$$

$$C = 7'',3/2 = 3'',6.$$

В теодолитах с односторонней отсчетной системой разность КЛ-КП может быть искажена добавочным влиянием эксцентриситета алидады. Для уменьшения возможного влияния эксцентриситета алидады определение коллимации рекомендуется производить в следующем порядке.

После установки теодолита в рабочее положение визируют на одну и ту же точку при двух положениях вертикального круга и получают по горизонтальному кругу разность отсчетов $КЛ_1 - КП_1$.

Затем открепляют винт подставки, поворачивают теодолит в подставке на 180°, горизонтируют прибор, вновь наводят на ту же точку при двух положениях круга и получают разность $КЛ_2 - КП_2$. Величина двойной коллимационной погрешности

$$2C = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180°) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180°)}{2}.$$

Задача 2. Определение коллимации для теодолитов с односторонним отсчетом при $КЛ_1$=0°21′00″, $КП_1$=180°21′12″, $КЛ_2$=182°15′18″, $КП_2$=2°15′36″.

Решение:

$$2C = \frac{(0°21'00'' + 180° - 180°21'12'') + (182°15'18'' - 180° - 2°15'36'')}{2} =$$

$$= \frac{(-12'') + (-18'')}{2} = -15'', \quad C = -7'',5.$$

Для устранения коллимационной погрешности необходимо изменить положение визирной оси относительно оси вращения трубы смещением сетки нитей в горизонтальном направлении или путем изменения положения объективной части зрительной трубы. Выполняя данную юстировку, не обязательно полностью исключать коллимацию, достаточно, чтобы она не превышала двойной СКП измерения угла данным теодолитом.

Теодолиты 2Т2, 2Т5К и их модификации не имеют исправительных винтов сетки, поэтому коллимацию можно исправить только поворотом зрительной трубы с помощью клинового кольца, расположенного между объективной частью трубы и осью ее вращения.

1.3.3. Определение и исправление место нуля (места зенита) вертикального круга

Отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении зрительной трубы должен быть равен или близок к 0° при горизонтальной или секторной оцифровке, к 90° – при зенитарной оцифровке вертикального круга.

Место нуля М0 (зенита МЗ) вертикального круга определяют визированием на четко видимую, расположенную на горизонте прибора точку при двух положениях круга и взятием отсчетов КЛ и КП по вертикальному кругу.

Расчет М0 (МЗ) для большинства приборов производится по формуле $\text{М0(МЗ)} = \frac{\text{КП} + \text{КЛ}}{2} - 180°$. Другие варианты формул для расчета М0 (МЗ) в зависимости от системы оцифровки круга указаны в инструкциях по эксплуатации на конкретные типы теодолитов (тахеометров).

Задача 3. Определить место нуля вертикального круга для теодолита Т5К при отсчетах по вертикальному лимбу КЛ=180°01′06″, КП=359°59′18″.

Решение:

$$\text{М0} = \frac{(180°01'06''+359°59'18'')}{2} = \frac{540°00'24''-540°}{2} = 12''.$$

Задача 4. Определить место нуля вертикального круга с секторной оцифровкой для теодолита Т5К при отсчетах по вертикальному лимбу КЛ = -2°25′30″, КП = 2°25′48″.

Решение:

$$\text{М0} = \frac{(-2°25'30"+2°25'48")}{2} = \frac{18}{2} = 9".$$

Задача 5. Определить место нуля вертикального круга с зенитарной оцифровкой для теодолита 2Т2 при отсчетах по вертикальному лимбу КЛ=90°27′39″,5, КП=269°32′26″,3.

Решение:

$$\text{М0} = \frac{(90°27'39",5 + 269°32'26",3)}{2} = \frac{360°00'05",8}{2} = 2",9.$$

Изменение места нуля (места зенита) может быть вызвано различными причинами. Основные из них следующие: изменилось положение оси уровня при вертикальном круге, сместилась сетка нитей в вертикальном направлении, нарушилась балансировка маятника компенсатора.

Для исправления в теодолитах 2Т2, 2Т2П, 2Т2А совмещают концы пузырька уровня при вертикальном круге и берут отсчет по микрометру. Вращением маховичка микрометра изменяют отсчет на величину места зенита (при круге слева отсчет должен быть уменьшен).

Вращением наводящего винта уровня точно совмещают изображение штрихов вертикального круга в центральном окне отсчетного микроскопа, после чего юстировочными винтами уровня совмещают концы пузырька уровня. После этого поверку повторяют.

В теодолитах с компенсаторами порядок исправления не отличается от предыдущего, но после внесения в отсчет исправления на величину M*Z* смещение штрихов производят специальным юстировочным винтом или юстировочными винтами сетки нитей.

В теодолитах Т30, 2Т30, 2Т30П, 4Т30П М0 исправляют смещением сетки нитей зрительной трубы в вертикальном направлении с помощью юстировочных винтов.

Во время измерения вертикальных углов, аналогично коллимации, контролируется соответствие М0 (M*Z*) ранее определенным их

значениям. Допустимое отклонение не должно превышать двойную СКП измерения вертикальных углов используемым прибором.

Причинами превышения упомянутого отклонения при измерениях являются ошибки при измерениях визирования, отсчитывания, а также смещения прибора или визирной цели.

1.3.4. Проверка и исправление оптического центрира

В отъюстированном теодолите визирная ось оптического центрира должна совпадать с вертикальной осью вращения.

Для проверки выполнения данного условия теодолит устанавливают на штатив, закрепляют становым винтом и тщательно горизонтируют. Под штатив кладут лист бумаги с нанесенным на ней крестом.

Окуляр оптического центрира устанавливают на резкое изображение перекрестия (или кольца), а перемещением окулярного патрубка добиваются резкого изображения креста, отмеченного на листе бумаги. Передвижением листа в нужном направлении добиваются совмещения креста на листе с центром сетки оптического центрира.

Поворачивают трижды амплитудную часть прибора на 120° и отмечают проекцию центра сетки на листе бумаги. В отъюстированном центрире при повороте алидады изображение выбранной точки должно совпадать с проекцией центра сетки нитей.

Если это условие не выполняется, при помощи отвертки вращают винты, которые изменяют положение оправы сетки центрира. Положение сетки нитей необходимо изменить настолько, чтобы уменьшить вдвое видимое смещение центра сетки относительно изображения выбранной точки. После этого с помощью подъемных винтов заново центрируют и повторяют юстировку до тех пор, пока при вращении алидады не будет смещения проекции центра сетки относительно выбранной точки.

1.3.5. Подготовка нивелиров к работе

Проверку работоспособности нивелира и взаимодействие его подвижных узлов производят опробованием. При опробовании

обращают внимание на исправность всех частей нивелира, отсутствие качаний в подъемных, наводящих и закрепительных винтах; плавность вращения окуляра, элевационного винта и перемещения фокусирующей линзы. Проверяют затяжку всех стопорных и юстировочных винтов. Юстировочные винты должны занимать среднее положение. При проверке нивелира с компенсатором необходимо убедиться, что подвесная система компенсатора и демпфер работают (изменение наклона трубы от горизонтального положения при вращении подъемного винта подставки на полный оборот и по часовой стрелке и против не должно приводить к изменению положения визирной оси трубы).

Проверяют исправность штатива. Подтягивают все винты и гайки на штативе и проверяют его устойчивость. Для этого нивелир с контактным уровнем устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение; наводят трубу на рейку (расстояние до рейки 30 ... 40 м) и запоминают отсчет. Затем к головке штатива прилагаются легкие вращательное (вокруг вертикальной оси) и вертикальное (сверху вниз) усилия, после чего опять берут отсчет по рейке. При устойчивом штативе отсчет по рейке не должен отличаться более чем на 0,5 мм для нивелира типа Н-05 и на 1 и 2 мм для нивелиров типа Н-3 и Н-10 соответственно.

1.3.6. Проверка правильности установки цилиндрического и установочного уровней (рекомендуется)

Проверка правильности установки цилиндрического уровня производится следующим образом. Ось цилиндрического уровня располагается параллельно двум подъемным винтам нивелира, и пузырек уровня приводится на середину. Верхняя часть нивелира поворачивается на 90° и третьим винтом пузырек уровня приводится в среднее положение. Затем верхняя часть нивелира поворачивается в том же направлении еще на 90°, т. е. на 180° к первоначальному положению. Если пузырек отклонится от среднего положения, то его перемещают к середине на половину отклонения вертикальными юстировочными винтами уровня, а оставшуюся половину – подъемными винтами нивелира.

Проверка выполняется несколько раз, до соблюдения условия, когда отклонение пузырька от середины при повороте нивелира на 180° не превышает 2 мм.

После юстировки цилиндрического уровня пузырек установочного (круглого) уровня должен находиться в центре круговой шкалы. Если условие не соблюдено, следует выполнить приведение пузырька в центр (нуль-пункт) юстировочными винтами установочного уровня.

Отвесная плоскость, проходящая через ось цилиндрического уровня, должна быть параллельна отвесной плоскости, проходящей через визирную ось.

Для проверки данного условия нивелир устанавливается на расстоянии 40 ... 50 м) от рейки, при этом один подъемный винт подставки должен быть направлен в сторону рейки. Прибор тщательно горизонтируется, и по центру сетки нитей берется отсчет по рейке.

Далее правым и левым подъемными винтами, вращая их на два полных оборота, нивелир наклоняется вправо, а затем влево.

Если при наклонах нивелира концы пузырька контактного уровня расходятся в разные стороны более чем на 2 мм, то уровень приводится на середину с помощью его боковых юстировочных винтов.

1.3.7. Проверка правильности установки сетки нитей (рекомендуемая)

Проверку правильности установки сетки нитей производят для того, чтобы убедиться, что вертикальная нить сетки при среднем положении пузырька уровня совпадает с отвесной линией, а горизонтальная нить сетки перпендикулярна к вертикальной оси нивелира.

На удалении 10 – 15 м от нивелира подвешивают отвес. Приводят нивелир в рабочее положение и наводят вертикальную нить сетки на нить отвеса. Если один конец вертикальной нити сетки отклоняется от нити отвеса более чем на 0,5 мм (определяется при помощи линейки), то установку сетки нитей исправляют. Для этого отвинчивают винты, крепящие окулярную часть, и отсоединяют ее от корпуса трубы, тем самым освобождая доступ к оправе сетки нитей. Ослабив винты, крепящие оправу, их слегка поворачивают в нужном направлении (до совпадения изображения вертикальной нити сетки и нити

отвеса), после чего винты закрепляют и устанавливают на место окулярную часть.

1.3.8. Определение угла непараллельности между осью цилиндрического уровня и визирной осью зрительной трубы (угол *i*)

В полевых условиях определение угла *i* может быть выполнено одним из следующих способов: 1) нивелирование вперед; 2) нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперед; 3) нивелирование с различными плечами.

Количество приемов измерений в любом из способов должно быть не менее трех. За окончательное значение угла принимается среднее арифметическое из трех результатов, если расхождение между ними не превышает 5″. Окончательное значение угла *i* по абсолютной величине не должно быть более 10″ для всех типов нивелиров.

Более точным из перечисленных способов является первый, более оперативным – второй.

Порядок определения угла *i* вторым способом следующий.

На точках 1 и 2, расположенных на взаимном расстоянии 40 – 60 м, устанавливаются рейки (рис. 1.4). Нивелир устанавливают посередине (т. 4) и берут отсчеты по рейкам l_1 и l_2. Переносят нивелир в точку 3, удаленную от точки 2 на 6 – 8 м внутри створа между рейками, и берут отсчеты l'_1 и l'_2 по рейкам. Выполняют не менее трех приемов измерений.

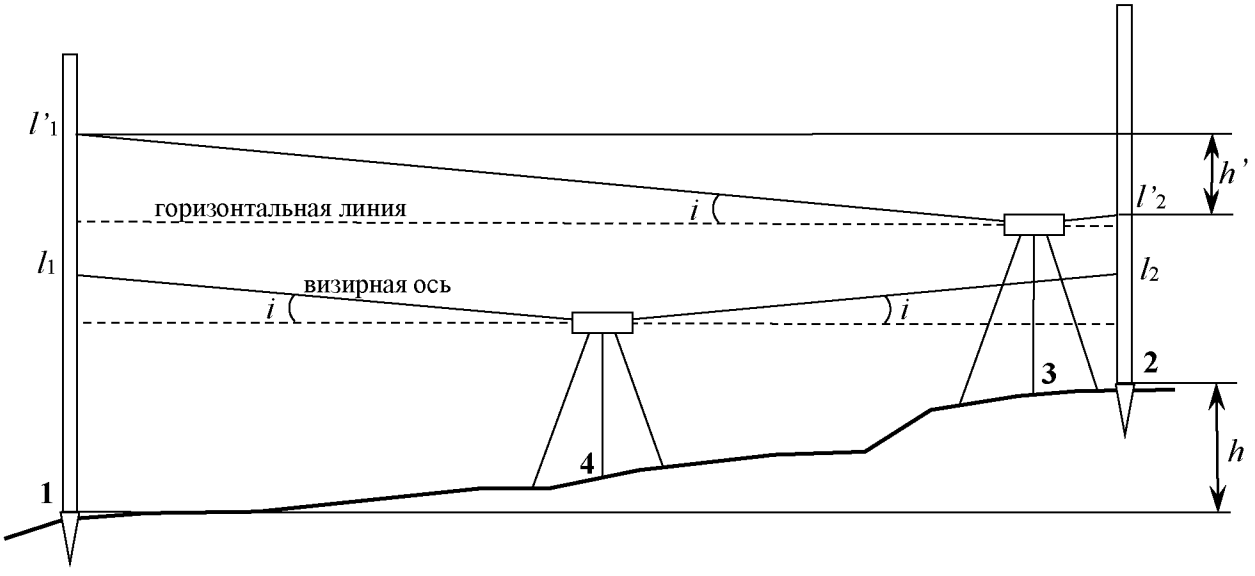


Рис. 1.4. Взаимное расположение нивелира и реек
при определении угла *i*

Значение угла *i* вычисляют по формуле:

$$i = \frac{[(l_1' - l_2') - (l_1 - l_2)]\rho''}{S_{13} - S_{23}} = \frac{h' - h}{S_{13} - S_{23}}\rho'',$$

где S_{13} – расстояние между точками 1 и 3;
S_{32} – расстояние между точками 3 и 2.

С целью уменьшения возможного искажения результатов измерений за счет неправильного хода фокусирующей линзы расстояние от точки 2 до точки 3 должно быть не менее 6 м.

Задача 6. Определить среднее значение угла непараллельности между осью цилиндрического уровня и визированной осью трубы (негоризонтальности визирной оси).

Измерения (отсчеты по рейкам) выполнить в соответствии со схемой, представленной на рис.1.4. Результаты представлены в табл. 1.2.

Решение:

Нивелир Н-3 №1561.

S_{13}=56,5 м; S_{32}=6,0 м.

Таблица 1.2.

Пример записи и решения задачи 6

Номер приема		1	2	3
Превышение, измеренное из середины, нивелир (т. 4)	l_1 l_2 h	1400 1715 -315	1148 1464 -316	1357 1672 -315
Превышение, измеренное при неравноплечии, нивелир (т. 3)	l_1' l_2' h'	1470 1787 -317	1111 1429 -318	1485 1803 -318
	i	**-8,2″**	**-8,2″**	**-12,3″**

$$i_{ср} = -9{,}6''.$$

В приведенном примере угол *i* не превышает нормативного допуска – 10″.

Если среднее из трех приемов значение угла i превышает 10″, то необходимо произвести его исправление. Для этого нивелир устанавливается в точке 3 и элевационным винтом наводится на такой отсчет по рейке в т.1, чтобы, в соответствии с приведенным примером, выполнялось условие $l_1' - l_2' = 315$ мм. При этом пузырек контактного уровня отклоняется от среднего положения, которое необходимо восстановить с помощью вертикальных юстировочных винтов уровня.

После проведения перечисленных операций повторяется прием поверки.

Для нивелиров с компенсаторами угол i исправляется с помощью юстировочных винтов сетки нитей.

1.3.9. Подготовка светодальномера к работе. Методика измерений

Светодальномер в виде отдельного прибора или в составе электронного тахеометра перед полевыми измерениями должен быть проверен на работоспособность в соответствии с инструкцией по его эксплуатации. Так, в соответствии с инструкцией, должны быть подготовлены и при необходимости введены в память прибора данные для учета различных поправок в результаты измерений.

После введения поправок может быть определена постоянная поправка светодальномера по трехштативному методу измерения длины. Эта поправка учитывает смещение центра призмы отражателя относительно точки его центрирования. Используется один отражатель. Схема измерений приведена на рис. 1.5.

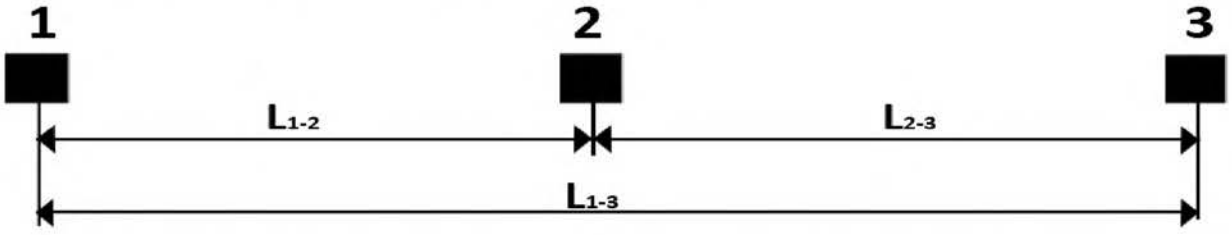


Рис. 1.5. Схема измерений расстояний при определении постоянной поправки светодальномера по трехштативному способу

Задача 7. Определить постоянную поправку светодальномера при $L_{1\text{-}3}$ = 205,585 м, $L_{1\text{-}2}$ = 102,356 м, $L_{2\text{-}3}$ = 103,225 м.

Решение:

$$K_{\text{П}} = \frac{L_{1-3} - (L_{1-2} + L_{2-3})}{2} = \frac{205{,}585 - (102{,}356 + 103{,}225)}{2} = \frac{4}{2} = +2 \text{ мм}.$$

Значение поправки учитывается в результатах измерений со своим знаком, как систематическая погрешность.

1.3.10. Компарирование металлической рулетки

Металлические рулетки, предназначенные для измерения длин сторон теодолитных ходов опорных и съемочных сетей, должны быть прокомпарированы на стационарном компараторе. Компаратор представляет собой металлическую балку, закрепленную на кронштейнах, установленных в стену здания. Относительная погрешность компарирования металлической рулетки не должна превышать 1:15000 [1].

Методика компарирования – это сравнение длины рулетки с эталонной длиной контрольной линейки или длиной компаратора, которые определены с относительной погрешностью не ниже 1:50 000.

Для выполнения лабораторных работ компарирование рулетки выполняется на стационарном компараторе, представляющем собой металлическую балку, укрепленную на кронштейнах в стене учебного здания.

Задача 8. **Методика компарирования 30-метровой рулетки**

Приборы и оборудование: компаратор, рулетка, контрольная линейка, термометр, груз.

Рулетка укладывается на компаратор, один конец ее закрепляется при помощи струбцины, а к другому (нулевой) при помощи проволоки, пропущенной через блок, подвешивается груз, равный 10 кг. Контрольная линейка укладывается на полотно рулетки, начиная с начального метрового интервала. Отсчеты берутся по контрольной линейке относительно штрихов метрового интервала рулетки с точностью отсчитывания до 0,1 наименьшего деления. Наименьшая цена деления контрольной линейки равна 0,2 мм, т. е. точность отсчета равна 0,02 мм.

Наблюдатели через увеличительные лупы берут два отсчета по правому срезу метровых штрихов рулетки в целых миллиметрах и долях наименьшего деления контрольной линейки (табл. 1.3).

Затем для контроля делают сдвиг контрольной линейки и берут вторую пару отсчетов. Длина метрового интервала рулетки вычисляется для каждого положения контрольной линейки. Разность в длине интервала из двух положений не должна превышать 0,06 мм. При большей величине вышеуказанной разности отсчеты повторяются при новом сдвиге контрольного метра. Компарирование рулетки проводится в прямом и обратном направлениях на полную ее длину.

Таблица 1.3

Компарирование рулетки № 57 контрольно-измерительной линейкой завода "Аэрогеоприбор" № 1061
Уравнение линейки $L = 1000 + 0{,}02 + 0{,}0185\ (t = 20°)$
Наблюдатели: 1) Ларионова Л. А. 2) Мулин В. И., записывающий Кремлев В. Г.

Интервалы рулетки	Правый конец			Левый конец			Разность отсчетов, мм	Средняя длина интервала, мм	Температура, град
	целые миллиметры	доли		целые миллиметры	доли				
		деления линейки	мм		деления линейки	мм			
0 - 1	1003	2,4	0,48	3	1,8	0,36	1000,12	1000,11	22
	1005	4,4	0,88	5	3,9	0,78	1000,10		
1 - 2	1001	3,3	0,66	1	4,2	0,84	999,82	999,84	
	1006	2,5	0,50	6	3,2	0,64	999,86		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 –30	1004	2,4	0,48	4	1,8	0,36	1000,12	1000,11	22
	1006	2,4	0,88	6	3,9	0,78	1000,10		

В процессе компарирования измеряют температуру воздуха с точностью до 0,1 °С. Измерение температуры производится в начале, середине и конце прямого хода, в середине и конце обратного хода.

Обработка результатов компарирования рулетки производится в последовательности, указанной в табл. 1.2. В колонки 2 и 3 выписывают из полевого журнала (см. табл. 1.4) средние значения метровых интервалов из прямого и обратного ходов, а в колонку 4 – среднюю температуру компарирования. Рассчитывают: среднюю длину каждого интервала (колонка 5), поправки (колонки 6 – 9), исправленную длину интервала (колонка 10), длину рулетки от начального интервала (колонка 11) и поправку за компарирование (колонка 12).

Далее определяют точность компарирования рулетки, для чего находят разность в длине рулетки из прямого ($\sum l_{\text{пр}}$) и обратного ($\sum l_{\text{обр}}$) ходов:

$$\Delta l = \sum l_{\text{пр}} - \sum l_{\text{обр}} = 30003{,}0 - 30001{,}5 = 1{,}5 \text{ мм}.$$

Эта разность, отнесенная к длине рулетки, определит точность

компарирования, величина, которой должна быть менее 1:15000. В противном случае полевые работы повторяют. Поправку за контрольную линейку берут из уравнения контрольной линейки. Уравнение контрольной линейки № 1061, мм:

Таблица 1.4

Ведомость обработки компарирования

Рулетка № 5 Дата вычисления: «29» мая 2014 г. Вычислил: _____

Интервалы рулетки	Длина интервала, мм		Средняя температура, град	Средняя длина интервала, мм	Поправки, мм				Исправленная длина интервала, мм	Длина рулетки от нулевого штриха, мм	Поправка за компарирование, мм
	прямой ход	обратный ход			за контр. метр	за температуру контр. метра	за приведение рулетки к 20 °С	суммарная			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0-1	1000,11	1000,09	+22°	1000,10	+0,02	+0,04	-0,02	+0,04	1000,14	1000,2	+0,2
1-2	999,84	999,88	+22°	999,86	+0,02	+0,04	-0,02	+0,04	999,9	2000,1	+0,1
28-29	999,96	999,98	+23°	999,97	+0,02	+0,06	-0,04	+0,04	1000,01	29002,7	+2,7
29-30	999,04	999,07	+23°	999,06	+0,02	+0,06	-0,04	+0,04	999,04	30001,8	+1,8

$$f_к = \frac{1,5}{30000} = \frac{1}{20000} < \frac{1}{15000}$$

$$L = 1000{,}02 + 0{,}0185\ (t° - 20°)\ .$$

Длина контрольной линейки, определенная на заводе при температуре 20 °С, равна 1000,02 мм. Поправка за контрольную линейку равна +0,02 мм. Поправку за температуру компарирования (колонка 7, см. табл. 1.2) вычисляют по формуле, мм:

$$\Delta l_t = 0{,}0185\,(t° - 20°),$$

где 0,0185 – коэффициент линейного расширения материала, из которого изготовлена контрольная линейка; $t°$ – температура компарирования рулетки из колонки 4, град; 20° – температура, при которой определена длина контрольной линейки на заводе.

Поправку за приведение рулетки к 20° (колонка 8) вычисляют по формуле, мм:

$$\Delta l_{20} = 0{,}0125\,(20° - t°),$$

где 0,0125 – коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлена рулетка; $t°$ – температура компарирования рулетки, град.

В колонке 9 определяют суммарные поправки в средние длины метровых интервалов рулетки.

В колонке 10 производят вычисление исправленных длин метровых интервалов рулетки.

В колонке 11 определяют длину рулетки от начального штриха.

В колонке 12 вычисляют поправки за компарирование, округленные до десятых долей мм.

1.4. Маркшейдерская подземная теодолитная съемка (подземная полигонометрия)

Подземная теодолитная съемка (подземная полигонометрия) – система пунктов, местоположение которых определяется посредством измерения углов и длин сторон. Различают теодолитные хода: вытянутый – точки хода расположены близко к прямой линии; висячий – начинается от исходного пункта и стороны и не примыкает к исходному пункту и стороне; замкнутый – начинается от исходного пункта и исходной стороны и примыкает к ним же (замкнутый многоуголь-

ник); двойной – прокладывается по одним и тем же точкам в прямом и обратном направлениях; разомкнутый – начинается от известного пункта и стороны и заканчивается на другом известном пункте и стороне; с потерянными точками – прокладывается между известными маркшейдерскими пунктами (не менее трех) в начале и в конце хода, без закрепления промежуточных пунктов [2].

Маркшейдерская подземная теодолитная съемка выполняется с целью определения плановых координат и высотных отметок системы пунктов, расположенных в горных выработках, и является плановой и высотной основой маркшейдерских съемок, а также используется для аналитического решения задач, возникающих в процессе работы горного предприятия (задание направления горных выработок, проведение сбоек, определение объемов горной массы и др.) Подземная теодолитная съемка осуществляется путем проведения теодолитных ходов по горным выработкам.

Маркшейдерская подземная теодолитная съемка в шахте включает такие операции как: рекогносцировка участка съемки, закрепление пунктов теодолитного хода в горных выработках; измерения горизонтальных и вертикальных углов; измерения длин сторон хода; съемки контуров горных выработок и других объектов; камеральная обработка результатов съемки.

Как правило, при выполнении теодолитной съемки опорных и съемочных сетей определение плановых координат и высотных отметок производится с одних и тех же пунктов.

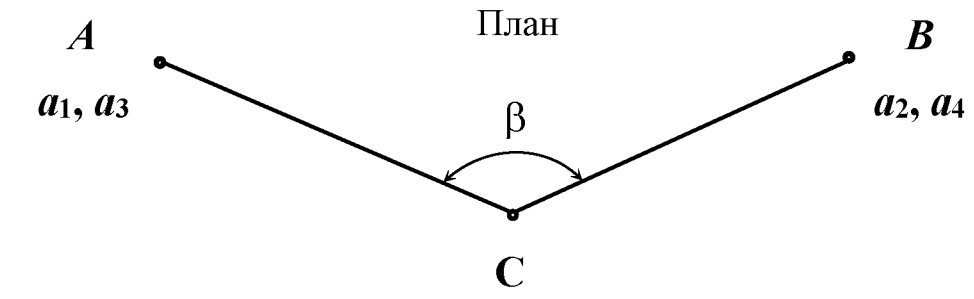
1.4.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов в подземной полигонометрии

Измерение горизонтальных углов проводится способом приемов и круговых приемов. Особенностью измерения углов при подземной съемке является центрирование инструмента под точкой с помощью шнурового отвеса, так как в большинстве случаев маркшейдерские пункты закреплены в кровле горной выработки. Точность центрирования с помощью шнурового отвеса 1-1,5 мм.

В качестве визирных целей (сигналов) на закрепленные в кровле маркшейдерские пункты подвешивают также шнуровые отвесы.

При измерении угла способом приемов необходимо соблюдать следующий порядок действий:

1. В точке *C* (рис. 1.6) устанавливают (центрируют и горизонтируют) угломерный инструмент (теодолит, тахеометр). В точках *A* и *B* подвешивают отвесы или устанавливают сигналы. Точность центрирования отвеса (мм) и сигналов 1 - 2 мм.



Проекция на вертикальную плоскость

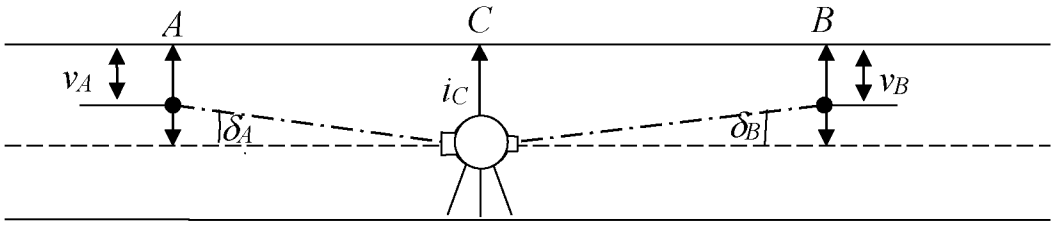


Рис. 1.6 Измерение горизонтального угла теодолитного хода

2. Визируют (наводят трубу инструмента) при КЛ на заданную точку *A* и берут отсчет по горизонтальному кругу лимба a_1. Отсчет a_1 устанавливают юстировочным винтом, близким 0° (+2 – 5').

3. Визируют на переднюю точку *B* и берут отсчет a_2.

4. Переводят зрительную трубу инструмента через зенит, визируют на заднюю точку *A* при КП и берут отсчет a_3.

5. Визируют на переднюю точку *B* при КП и берут отсчет a_4.

Значение угла из одного полуприема вычисляют по формулам:

$$\beta_{кл} = a_2 - a_1; \quad \beta_{кп} = a_4 - a_3.$$

Значение угла и коллимационная погрешность теодолита из одного приема:

$$\beta = \frac{\beta_{кл} + \beta_{кп}}{2} = \frac{(a_2 - a_1) + (a_4 - a_3)}{2};$$

$$c = \frac{\beta_{кл} - \beta_{кп}}{2},$$

где $\beta_{кл}$, $\beta_{кл}$ – значения угла при круге слева (КЛ) и справа (КП), соответственно; c – коллимационная погрешность.

При измерении угла n приемами значение угла определяется, как среднее арифметическое из n приемов. Каждый последующий прием выполняется аналогичным образом. Начальный отсчет второго и последующих приемов устанавливают близким величине

$$a_1 = \frac{180°}{n},$$

где n – число приемов.

На пунктах с тремя и более направлениями углы измеряют способом кругового приема – «замыкания на горизонт».

При измерении углов способом круговых приемов, который приведен в разделе 2.2, порядок действий повторяется, как и при измерении способом приемов, с дополнительным визированием на заднюю точку. Пример записи измерений и расчеты углов приведены в табл. 1.5.

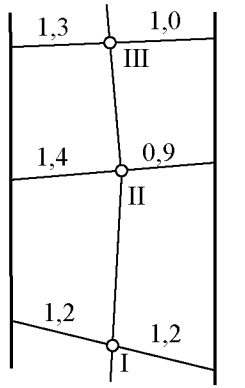
Вертикальные углы (углы наклона сторон δ) подземного теодолитного хода измеряют одновременно с измерением горизонтальных углов в прямом и обратном направлениях, на фиксированные точки сигналов, (см. рис. 1.6) с обязательным измерением высоты инструмента (i_C) и сигналов (v_A, v_B).

Таблица 1.5

Пример записи измерений углов и длин линий теодолитного хода

Дата *21.02.2014* Объект *Учебный корпус IV, 4 этаж* *Бригада № 1* $t = +20^{\circ}C$

Инструмент *Vega Teo 15 B* Исполнитель *Иванов*

Номера пунктов стояния, визирования		Отсчеты по лимбу теодолита																Номера точек теодолитного хода	Отсчеты по рулетке, мм						Номера точек теодолитного хода	Абрисы, примечания
		горизонтальный круг									вертикальный круг								ход "ПРЯМО"			ход "ОБРАТНО"				
Инстр.	Визир. целей	КЛ / КП			2С	КЛ+(КП+180°)/2			Направления или углы			КЛ / КП			2МО	Углы											
		°	′	″	″	°	′	″	°	′	″	°	′	″	″	°	′	″	П	З	П - З	П	З	П - З		
II	I	00 00 56			+2	00 00 55						Способ приемов							I-II	21489	35	21454	21502	47	21455	I-II	
		180 00 54							165 07 02											21493	37	21456	21530	76	21454		
	III	165 07 55			-4	165 07 57															ср	21455		ср	21454		
		345 07 59							165 07 04										I-II	ср (пр, обр)					21454	I-II	
II	I	90 01 56			+6	90 01 53													II-III	25175	26	25149	25177	30	25147	II-III	
		270 01 50							165 07 06											25192	43	25149	25187	38	25149		
	III	255 08 58			-2	255 08 59															ср	25149		ср	25148		
		75 09 00																	II-III	ср (пр, обр)					25148	II-III	
C	I	00 03 11			+4	-2						Способ круговых приемов															
		180 03 07				00 03 09			00 00 00																		
	O_1	262 07 33			-2	262 07 32																					
		82 07 31							262 04 25																		
	O_2	262 59 32			+6	262 56 35																					
		80 59 38							262 53 28																		
	I	00 03 06			-1	+1																					
		180 03 07				00 03 06			——																		

1.4.2. Измерения длин сторон теодолитных ходов в подземной полигонометрии

Измерение длин сторон теодолитного хода, как правило, выполняют одновременно с измерением углов. Длины сторон в подземных опорных и съемочных сетях измеряют электронными приборами, стальными рулетками, обеспечивающими необходимую точность [1, 2], при выполнении съемок очистных выработок и замеров – тесьмяными рулетками.

При измерении длин сторон стальной рулеткой выполняется натяжение её с усилием, равным 10 кг. Силу натяжения фиксируют пружинным динамометром. Отчеты при измерении интервалов линий берут с точностью до 1 мм. Каждый интервал измеряют не менее двух раз. Второе и последующие измерения интервала выполняют при смещении рулетки. Расхождение между двумя измерениями интервала не должно превышать ± 2 мм или не ниже 1: 3000. Каждая сторона теодолитного хода должна быть измерена независимо дважды в прямом и обратном направлениях. Разность между прямым и обратным направлениями не должна превышать 1:3000 длины измеренной стороны. Пример записи измерений длин см. табл.1.5.

За окончательный результат принимают в начале среднее арифметическое значение из двух измерений интервала, а затем среднее арифметическое из прямого и обратного направлений измеренной длины.

Длины сторон в подземных теодолитных ходах чаще всего измеряют металлической рулеткой на весу. Например, между точками *A*, *B* и *C* требуется измерить расстояние (рис. 1.7).

Для этого в точке *A* устанавливают теодолит, в точке *B* подвешивают шнуровой отвес. Если сторона горизонтальна, то на шнуре отвеса удобно отметить горизонт инструмента. Если сторона наклонная, то на шнуре отвеса в точке *C* отмечают точку визирования при измерении угла наклона стороны δ.

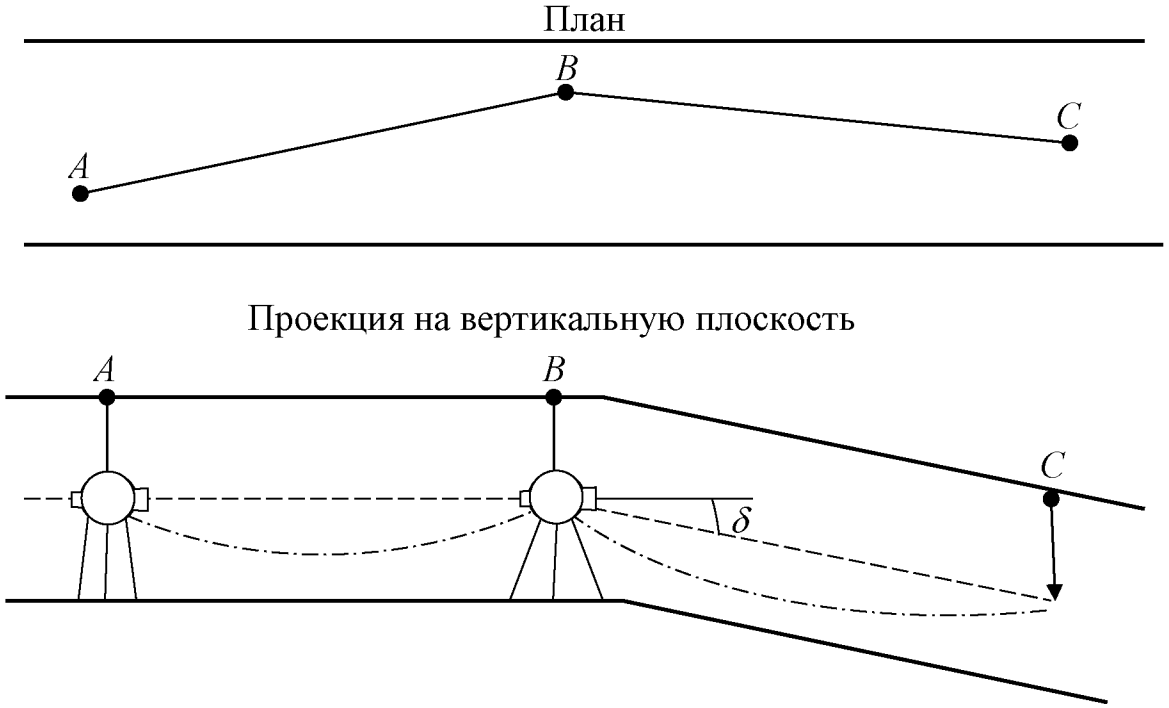


Рис. 1.7. Измерение длин сторон теодолитного хода рулеткой на весу

1.4.3. Съемка подробностей (контуров) в подземных горных выработках

Съемка подробностей контура подземной горной выработки в шахте производтся от пунктов и сторон теодолитного хода опорных или съемочных сетей. Объектами съемки являются контуры горных выработок, инженерные сооружения, геологические особенности и другие подробности, связанные с технологией проходки горных выработок.

Съемка подробностей проводится способом ординат, полярным способом, ультразвуковым, способом светопрофиля и лазерным сканированием.

В программе лабораторных работ предусмотрен способ ординат и полярный для съемки границ учебного полигона. Пример записи см. в табл. 1.5.

Решение задач по разделу 1.4

Задача 1. **Маркшейдеская подземная теодолитная съемка (подземная полигонометрия). Опорные сети**

Задача включает:

- прокладку теодолитного хода – измерение углов и длин на

учебном полигоне по пунктам, закрепленных в потолке, т. е. в кровле (рис. 1.7);

- съемку подробностей (контура учебного полигона);

- камеральную обработку – определение угловой и линейной невязок, уравнивание хода и расчет координат пунктов теодолитного хода.

Исходные данные: дирекционные углы начальной стороны и координаты пунктов опорной сети:

полигон № 1

$\alpha_{1\text{-}2} = 75°55'55''$; $X_1 = 640720{,}200$ м; $Y_1 = 6125312{,}050$ м;

полигон № 2

$\alpha_{6\text{-}7}=70°30'30''$; $X_6 = 640710{,}100$ м; $Y_6 = 6125350{,}040$ м.

Требуется измерить по точкам в кровле:

полигон № 1

горизонтальные углы β_1, β_2, ... β_5;

горизонтальные линии – d_1, d_2, ... d_5;

полигон № 2

горизонтальные углы – β_6, β_7, … β_{10};

горизонтальные линии – d_6, d_7, … d_{10};

Методика измерений:

- горизонтальные углы измеряются двумя приемами. Допустимое расхождение между приемами $1{,}5t$, где t – точность отсчитывания прибора (теодолита), но не более $45''$;

- горизонтальные линии измеряются металлической рулеткой на весу с натяжением 10 кг с точностью отсчитывания 1 мм, дважды в прямом и дважды в обратном направлениях. Допустимое расхождение между измерениями $\pm$ 2 мм, или 1:3000. Направление хода указано стрелкой (см. рис. 1.8).

В расчеты принимаются среднеарифметические значения измеренных углов и длин.

Камеральная обработка результатов измерений

Требуется определить: координаты пунктов теодолитного хода.

полигон № 1 – $X_2, Y_2, X_3, Y_3, X_4, Y_4, X_5, Y_5$;

полигон № 2 – $X_7, Y_7, X_8, Y_8, X_9, Y_9, X_{10}, Y_{10}$.

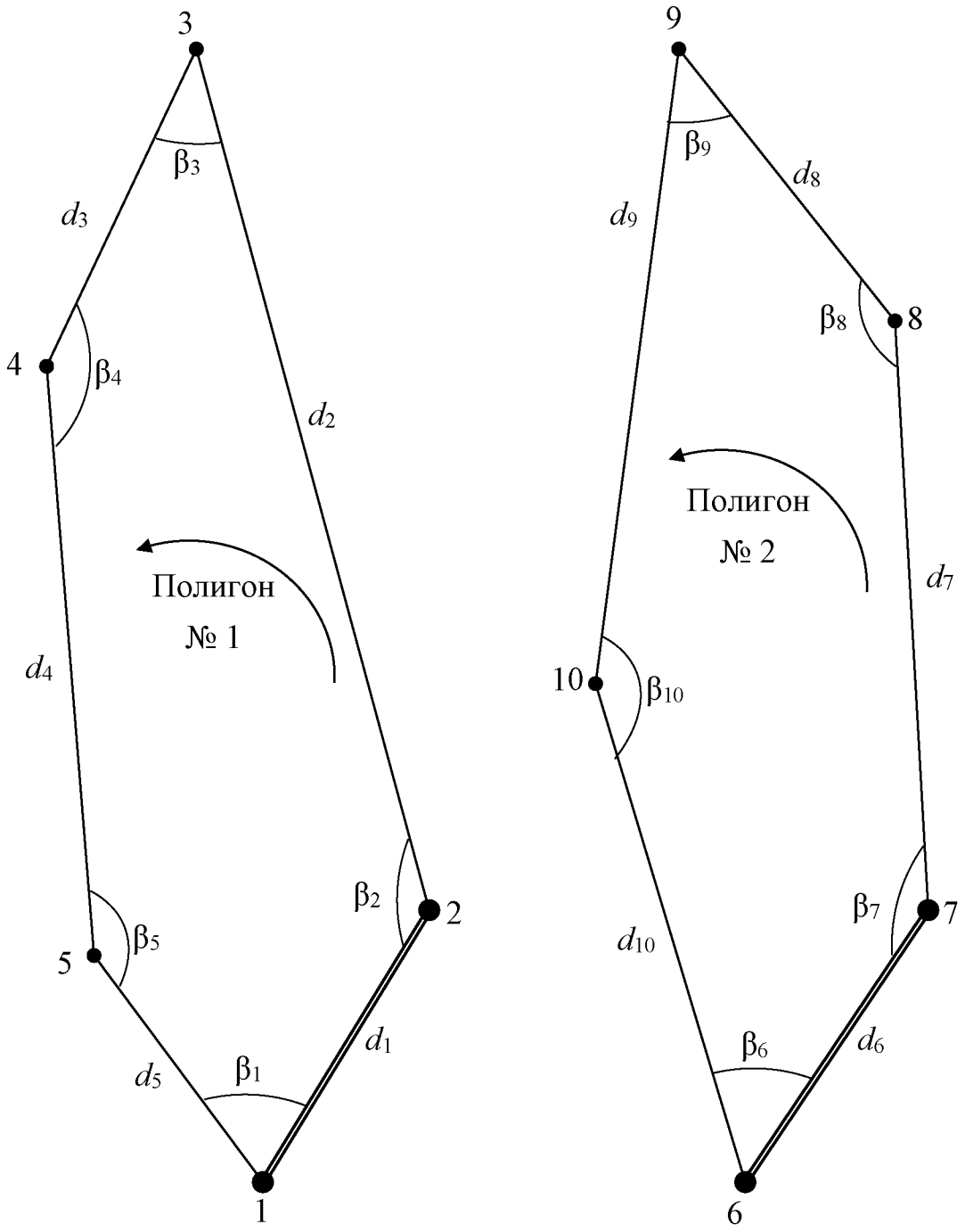


Рис. 1.8. Замкнутый полигон теодолитного хода:

═══ исходные стороны опорных сетей

β – горизонтальные углы;

d – горизонтальные линии

Методика вычислений:

1) рассчитывается угловая невязка хода

$$f_\beta = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор};$$

$\sum \beta_{теор} = 180^\circ(n-2)$ – внутренние углы;

$\sum \beta_{теор} = 180^\circ(n+2)$ – внешние углы;

$$f_\beta \le f_{доп};$$

$$f_{доп.} = 2m_\beta \sqrt{n},$$

где n – число измеренных углов в полигоне, m_β – среднеквадратическая погрешность измерения горизонтальных углов, $m_\beta = 20''$;

2) при соблюдении условия $f_\beta \le f_{доп}$ угловая невязка f_β распределяется с обратным знаком во все углы полигона поровну;

3) после распределения угловой невязки, решая прямую геодезическую задачу, рассчитывают дирекционные углы всех сторон полигона, приращения координат точек вершин хода и линейные невязки, м:

$$f_X = \sum_{i=1}^{n} \Delta X_i, \quad f_Y = \sum_{i=1}^{n} \Delta Y_i,$$

$$f_{абс} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}; \quad f_{отн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{f_{абс}}{\sum d_i};$$

$$f_{отн} \le f_{доп} \le \frac{1}{3000},$$

где f_X, f_Y – линейные невязки хода, м; P – периметр полигона, м; $f_{отн}$, $f_{доп}$ – относительная и допустимая невязки хода; d_i – горизонтальное проложение сторон полигона, м;

4) при соблюдении условия $f_{отн} \le f_{доп} \le \frac{1}{3000}$ линейные невязки f_X, f_Y распределяются в приращения координат с обратным знаком пропорционально длинам сторон:

$$\delta_{X_i} = -\frac{f_X}{P} \cdot d_i; \qquad \delta_{Y_i} = -\frac{f_Y}{P} \cdot d_i;$$

5) после уравнивания (распределения линейной невязки) выполняется расчет координат всех вершин полигона. Вычисление дирекционных углов и координат вершин проводится по известным из курса геодезии формулам (решение прямой геодезической задачи):

$$X_{i+1} = X_i + d_i \cos\alpha_i; \qquad Y_{i+1} = Y_i + d_i \sin\alpha_i,$$

где X_i; X_{i+1}; Y_i; Y_{i+1} – координаты исходного и искомого пунктов, соответственно;

d_i – горизонтальная длина стороны;

α_i – дирекционный угол исходной стороны;

α_{i+1} – дирекционный угол искомой стороны;

$\beta_Л$, $\beta_П$ – горизонтальные углы соответственно левый и правый,

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \beta_Л - 180° = \alpha_i - \beta_П + 180°.$$

Пример расчета координат точек вершин полигона представлен в табл. 1.6.

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 1

Задача 1. Определить, на каком расстоянии от экватора, в какой зоне и на каком расстоянии от меридиана находится точка A, если дано:

$X_A = 5057 + N$, км; $Y_A = 3575 + N$, км,

где N – номер варианта, км.

Задача 2. Определить X_C; Y_C , если дано:

$X_B = 5180{,}000$ м $+ N$; $Y_B = 2370{,}000$ м $+ N$; $d_{BC} = 200{,}000$ м;

$\alpha_{BC} = 70°47'47'' + N° + N' + N''$,

где N – номер варианта, м, град, мин, сек.

Задача 3. Определить дирекционный угол α_{BC} и горизонтальное расстояние d_{BC}, если дано:

$X_B = 5180{,}000$ м $+ N$; $Y_B = 2370{,}000$ м $+ N$;

$X_C = 5245{,}785 + N$; $Y_C = 2558{,}871 + N$,

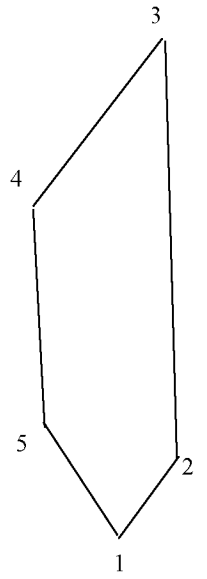
где N – номер варианта, м.

Таблица 1.4

Пример расчета координат пунктов теодолитного хода

Полигон № 1

Точки стоян.	Точки набл.	Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы измеренные ° ' "	Горизонтальные углы исправленные ° ' "	Дирекционные углы ° ' "	Приращения ΔY	Приращения ΔX	Координаты Y	Координаты X	Номер пунктов	Эскиз
						в метрах					
1						-2		6125 312,050	640 720,200	1	
	2	24,882			75 55 55	24,136	6,048	336,184	726,248	2	
2	1		+10	179 53 01		-2					
	3	26,913	179 52 51		75 48 56	26,093	6,595	362,275	723,843	3	
3	2		+9	4 29 21		-1					
	4	17,275	4 29 12		260 18 17	-17,028	-2,909	345,246	729,934	4	
4	3		+9	175 53 47		-1					
	5	16,044	175 53 38		256 12 04	-15,581	-3,827	329,664	726,107	5	
5	4		+9	175 15 36		-1					
	1	18,577	175 15 27		251 27 40	-17,613	-5,907	312,050	720,200	1	
1	5		+9	4 28 15							
	2		4 28 06		75 55 55						
		P = 103,691 м	f_β = - 46"			f_Y =0,007	f_X =0,000				



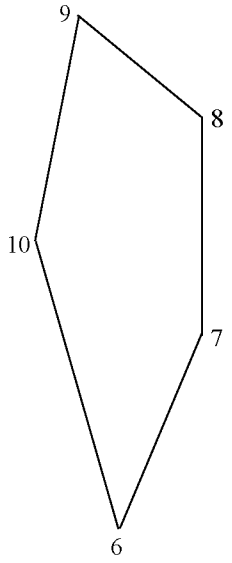
$$f_{\text{доп}} = 2m_\beta\sqrt{n} = 90'', \quad f_{\text{абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = 7 \text{ мм}; \quad f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{\text{P}} = \frac{7}{103691} = \frac{1}{14813} \le \frac{1}{3000}; \; f_{\text{доп}} = \frac{1}{3000}.$$

Окончание таблицы 1.4

Пример расчета координат пунктов теодолитного хода

Полигон № 2

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
6						+1		6125 350,04	640 710,100	6	
	7	17,182			70 30 30	16,197	5,733	366,238	715,833	7	
7	6		+2	176 52 57							
	8	16,990	176 52 55		67 23 27	15,684	6,532	381,923	722,365	8	
8	7		+2	176 28 40							
	9	17,163	176 28 38		63 52 07	15,409	7,559	397,332	729,925	9	
9	8		+2	4 05 28		+1	+1				
	10	26,913	4 05 26		247 57 35	-24,946	-10,099	372,387	719,826	10	
10	9		+3	178 31 15		+1					
	6	24,372	178 31 12		246 28 50	-22,347	-9,726	350,040	710,100	6	
6	10		+2	4 01 40							
	7		4 01 38		70 30 30						
		P = 10,620 м	f_β = - 11"			f_Y = -0,003	f_X = -0,001				



$$f_{\text{доп}} = 2m_\beta\sqrt{n} = 90'', \quad f_{\text{абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = 3{,}1 \text{ мм}; \quad f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{\text{P}} = \frac{3{,}1}{102620} = \frac{1}{33103} \le \frac{1}{3000}; \quad f_{\text{доп}} = \frac{1}{3000}.$$

Задача 4. Определить дирекционный угол α_{BC}, если дано:

$\alpha_{AB} = 43°25'35'' + N^o + N' + N''$,

$\beta_Л = 177°52'43'' + N^o + N' + N''$,

где N – номер варианта, град, мин, сек.

Задача 5. Выполнить проверку и подготовку приборов, согласно разделу 1.3.

Задача 6. Выполнить компарирование рулетки и рассчитать поправки за компарирование метровых интервалов рулетки, если дано: длина рулетки 30 м, уравнение контрольной рулетки $L = 1000{,}02 + 0{,}0185\ (t° - 20°)$.

Задача 7. Пройти теодолитный ход и рассчитать координаты пунктов (см. рис. 1.8 и табл. 1.6), если дано:

полигон №1: $\alpha_{1\text{-}2} = 75°55'55'' + N$; $X_1 = 640720{,}200$ м; $Y_1 = 6125312{,}050$ м;

полигон №2: $\alpha_{6\text{-}7} = 70°30'30'' + N$; $X_6 = 640710{,}100$ м; $Y_6 = 6125350{,}040$ м,

где N – номер варианта, град, мин, сек.

2. ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ

2.1. Общие положения

Ориентирно-соединительная съемка является ответственной маркшейдерской задачей, в результате которой должны быть найдены плановые координаты (X и Y) первого пункта и дирекционный угол (α) первой стороны подземной маркшейдерской опорной сети в системе координат, принятой на земной поверхности. Определение плановых координат первого пункта опорной подземной маркшейдерской сети принято называть **центрированием** опорной подземной сети, а определение дирекционного угла первой стороны – **ориентированием** подземной сети.

Практическое значение ориентирно-соединительной съемки весьма велико. Без надлежащей ориентировки не может быть безопасного и технически правильного ведения горных работ. Ориенти-

ровка, как это принято называть у маркшейдеров-производственников, является основой решения ответственных задач практической маркшейдерии.

На всех этапах развития маркшейдерии, уделялось особое внимание вопросам ориентирования, поскольку составление планов земной поверхности горного предприятия и планов подземных горных работ в единой системе координат обеспечивает взаимное совмещение как всей съемки в целом, так и отдельных ее частей. Такое совмещение позволяет определить местоположение любого участка подземных горных работ относительно земной поверхности. Точность определения положения подземных выработок зависит от точности способов ориентирования.

В зависимости от схемы вскрытия месторождения различают три основных вида ориентировки: через один вертикальный ствол; через два вертикальных ствола, соединенных между собой горными выработками на ориентируемом горизонте; через наклонный ствол или штольню.

Последний вид ориентировки не требует особых комментариев и выполняется известными методами геодезии – прокладка разомкнутых теодолитных ходов. Особое внимание заслуживает ориентировка через вертикальные стволы.

Современная маркшейдерия поставленные задачи решает двумя способами: геометрическим и гироскопическим ориентированием [1].

В учебном пособии предусмотрено решение задач по ориентированию через один и два вертикальных ствола геометрическим способом и с использованием гирокомпаса.

Учитывая ответственность указанных видов работ, в Инструкции [1] предусматривают двукратное независимое ориентирование, выполненное одним или разными методами.

Расхождение в результатах ориентирования одной и той же стороны не должно превышать 3'. За окончательное значение принимают среднее арифметическое из двух результатов.

Гироскопический способ ориентирования рекомендуется применять во всех случаях. Среднеквадратическая погрешность гироскопического ориентирования не должна превышать ±30″.

Геометрическое ориентирование применяют при глубине шахтного ствола не более 500 м.

Центрирование сети, передача плановых координат в шахту через вертикальный ствол выполняют как при гироскопическом, так и

при геометрическом ориентировании с помощью отвесов.

Координаты отвесов на земной поверхности определяют от опорных геодезических сетей проложением подходного полигона. Количество сторон от исходных пунктов до отвесов – не более трех.

Производство данных видов ориентировок *включает три основных этапа*: проектирование точек с земной поверхности на ориентируемый горизонт в шахту; примыкание (измерение) к проектируемым точкам на земной поверхности и к их проекциям на ориентируемом горизонте в шахте; вычисление ориентировки.

2.2. Геометрический способ ориентирования

Задача 1. Ориентирно-соединительная съемка через одну вертикальную выработку

Работа выполняется в учебном здании университета на специально оборудованном учебном полигоне с закрепленными маркшейдерскими пунктами в почве (в полу) – земная поверхность и в кровле (в потолке) – ориентируемый горизонт горной выработки.

При ориентировании через одну вертикальную выработку (ствол) необходимо руководствоваться следующими положениями:

1) расстояние между отвесами должно быть максимальным;

2) соединительный треугольник для решения задачи примыкания к отвесам должен быть наиболее выгодной формы, при которой неизбежные ошибки измерений оказывают минимальное влияние на точность решения задачи примыкания – это значит, что острые углы в соединительном треугольнике должны быть не более 2-3°.

Методические указания по выполнению ориентирно-соединительной съемки

Проектирование координат и дирекционного угла с земной поверхности на ориентируемый горизонт выполняется с помощью двух отвесов $О_С$ и $О_Ю$ (рис. 2.1, а, б).

На земной поверхности и на ориентируемый горизонт измеряются:

– горизонтальные углы γ, δ, θ в примычной точке C, горизонтальные длины a, b, c соединительного треугольника на земной поверхно-

сти, γ_1, δ_1, θ_1 в точке C_1 и a_1, b_1, c_1 соединительного треугольника в шахте (см. рис. 2.1, а, схема 1);

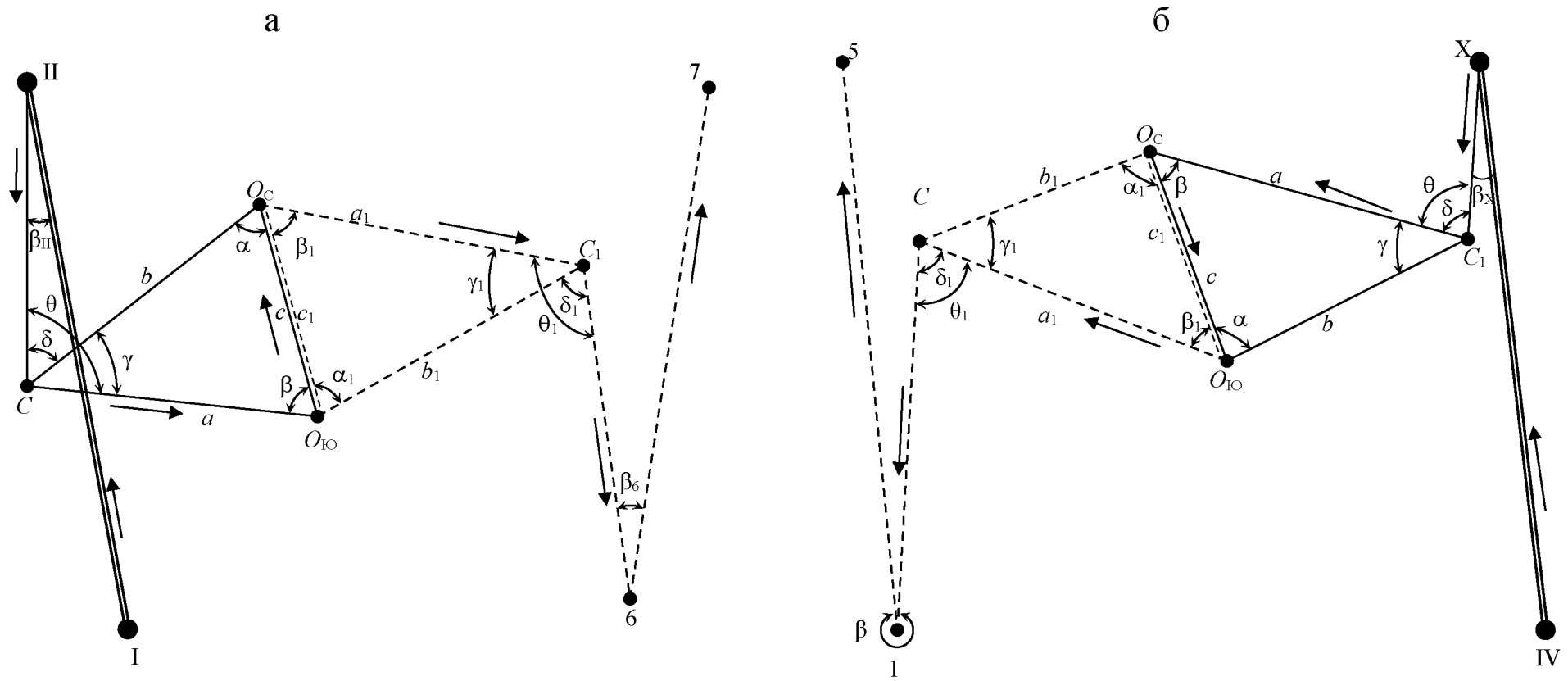


Рис. 2.1. Ориентирно-соединительная съемка через одну вертикальную выработку
а – схема 1; б – схема 2;

теодолитный ход на земной поверхности, пункты заложены в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, пункты заложены в кровле (в потолке);

исходная сторона (опорные сети на земной поверхности);

направление вычисления ориентировки

– горизонтальные углы γ, δ, θ в примычной точке C_1, горизонтальные длины a, b, c соединительного треугольника на земной поверхности, γ_1, δ_1, θ_1, a_1, b_1, c_1 соединительного треугольника в шахте (см. рис. 2.1, б, схема 2).

Измерение углов производится тремя круговыми приемами, допустимая невязка между приемами ±10". Разность углов (θ – δ – γ) не должна превышать ±10". В расчеты принимают среднеарифметическое значение углов из трех приемов. Допускаемая угловая невязка распределяется в измеренные углы (θ – δ – γ=0).

Стороны соединительного треугольника измеряются компарированной стальной рулеткой не менее пяти раз с точностью отсчитывания ±1 мм при постоянном натяжении 10 кгс. Разность между отдельными измерениями длины допускается до ±2 мм**.** За окончательный результат принимают среднеарифметическое значение из пяти измерений.

Контроль измерения горизонтальных сторон соединительного треугольника осуществляется сравнением измеренного расстояния между отвесами (C) и вычисленного по формуле:

$$C^2_{\text{выч}} = a^2 + b^2 - 2\ a\,b\cos\gamma\,.$$

Допустимое расхождение ΔC не должно превышать ± 3 мм:

$$\Delta C = C_{\text{выч}} - C_{\text{изм}} \le \pm 3 \text{ мм}.$$

Для решения задач примыкания на земной поверхности – определения координат примычного пункта C; координат отвесов $O_{\text{С}}$, $O_{\text{Ю}}$; дирекционных углов сторон соединительного треугольника и створа отвесов $\alpha_{O_{\text{Ю}}O_{\text{С}}}$ (схема 1); координат примычного пункта C_1; координат отвесов $O_{\text{С}}$, $O_{\text{Ю}}$; дирекционных углов сторон соединительного треугольника и створа отвесов $\alpha_{O_{\text{Ю}}O_{\text{С}}}$ (схема 2) (см. 2.1 а, б) проходится теодолитный ход от пунктов опорных сетей I, II (схема 1) и VI, X (схема 2).

На ориентируемом горизонте для определения: координат примычного пункта C_1; координат пунктов подземной опорной сети 6 и 7; дирекционных углов сторон соединительного треугольника и ориентируемой стороны $\alpha_{6\text{-}7}$ (схема 1); координат примычного пункта C; координат пунктов подземной опорной сети 1 и 5; дирекционных уг-

лов сторон соединительного треугольника и ориентируемой стороны $\alpha_{1\text{-}5}$ (схема 2) (см. рис 2.1 а, б) проходится теодолитный ход от спроектированных с земной поверхности на ориентируемый горизонт точек отвесов $O_С$, $O_Ю$ и дирекционного угла створа отвесов $\alpha_{O_Ю O_С}$ (схема 1), (схема 2).

Направление теодолитных ходов и вычисления ориентировки показаны стрелками (см. рис. 2.1 а, б).

Углы в теодолитных ходах β_{II}, β_6 (схема 1), β_1, β_X (схема 2) измеряются двумя приемами или одним приемом левый и правый углы по направлению теодолитного хода. Допустимые расхождения между приемами $\Delta\beta = 1{,}5\, m_\beta$, где m_β – точность прибора не более 10″.

Длины сторон теодолитных ходов на земной поверхности и на ориентируемом горизонте измеряются дважды металлической рулеткой при постоянном натяжении ее 10 кгс. Отсчеты берутся с точностью 1 мм, допустимое расхождение в двух измерениях ±2 мм.

Вычисление ориентировки начинаются с проверки полевых журналов и расчета средних значений углов и длин.

Пример обработки длин приведен в табл. 2.1, где $\Delta l_к$, Δl_t, Δl_h, Δl_f – поправки в измеренные длины соответственно за компарирование рулетки, за разность температуры при компарировании рулетки и измерении длины, за наклон линии, за провес рулетки.

Поправки вычисляют до 0,1 мм, а значения длин – до 1 мм.

Таблица 2.1

Ведомость обработки длин

Номера станов	Измеренная длина, м		Средняя длина интервала, м	$t°_{ср}$	Поправки, мм					Исправленная длина интервала, мм	Окончательная длина интервала, м
	прямой ход	обратный ход			$\Delta l_к$	Δl_t	Δl_h	Δl_f	$\Sigma\Delta l$		
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	15
1 - 2	20,007	20,009	20,008	21°	-3,2	0	0	0	-3,2	20004,8	20,005

Вычисление углов α и β, α_1 и β_1 при отвесах $O_С$ и $O_Ю$ (см. рис. 2.1, а, б) производится по формулам синусов:

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\sin\gamma; \quad \sin\beta = \frac{b}{c}\sin\gamma;$$

$$\sin\alpha_1 = \frac{a_1}{c_1}\sin\gamma_1; \quad \sin\beta_1 = \frac{b_1}{c_1}\sin\gamma_1.$$

При этом угловая невязка в соединительном треугольнике не должна превышать допустимой ±10" и распределяется во все углы поровну с обратным знаком, т. е. ($\gamma+\alpha+\beta=180^\circ$).

Вычисление дирекционных углов сторон и координат пунктов полигонометрического хода на ориентируемом горизонте производится по схеме (см. рис. 2.1, а, б) в направлении, указанном стрелками. При этом передача дирекционного угла с исходной стороны на створ отвесов на земной поверхности и от створа отвесов на ориентируемый горизонт выполняется через *длинную* сторону соединительных треугольников.

Дирекционные углы, приращения координат и координаты вычисляются по известным формулам прямой геодезической задачи:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \beta_л - 180^\circ; \qquad \alpha_n = \alpha_{n-1} - \beta_n + 180^\circ;$$

$$\Delta x = d_{n-(n-1)} \cdot \cos\alpha_{n-(n-1)}; \quad \Delta y = d_{n-(n-1)} \cdot \sin\alpha_{n-(n-1)};$$

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x; \qquad y_n = y_{n-1} + \Delta y,$$

где $\beta_л$ и $\beta_п$ – измеренные горизонтальные углы левый и правый соответственно; d – горизонтальное проложение измеренных длин сторон. Точность вычисления координат до ± 1 мм.

Пример решения задачи 1. **Вычисление ориентировки через одну вертикальную выработку, схема 1** (см. рис. 2.1).

Исходные данные: координаты пунктов и дирекционные углы сторон опорной сети на земной поверхности:

$X_I = 640723{,}255$ м; $Y_I = 6125312{,}051$ м; $\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55''$.

Результаты измерений для решения соединительного треугольника:

$a = 14{,}380$ м, $b = 11{,}351$ м, $\gamma = 2°\,04'\,11''$;

$a_1 = 13{,}650$ м, $b_1 = 10{,}622$ м, $\gamma_1 = 2°\,16'\,52''$.

Расстояние между отвесами:

На земной поверхности $c_{изм} = 3{,}063$ м;

$$c_{выч} = \sqrt{14{,}380^2 + 11{,}351^2 - 2 \cdot 14{,}380 \cdot 11{,}351 \cdot \cos 2^\circ 04' 11''} = 3{,}064 \text{ м};$$

$$\Delta c = 3{,}064 - 3{,}063 = 0{,}001 \text{ м} \leq 3 \text{ мм};$$

На ориентируемом горизонте $c_{изм} = 3{,}063$ м.

$$c_{выч} = \sqrt{14{,}380^2 + 11{,}351^2 - 2 \cdot 14{,}380 \cdot 11{,}351 \cdot \cos 2^\circ 04' 11''} = 3{,}066 \text{ м};$$

$$\Delta c = 3{,}066 - 3{,}063 = 0{,}003 \text{ м}.$$

Разность расстояний между вычислениями ($c_{выч}$) и измеренными ($c_{изм}$) в пределах допустимой величины не более 3 мм.

Вычисление углов при отвесах соединительного треугольника:

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\sin\gamma, \quad \sin\beta = \frac{b}{c}\sin\gamma.$$

На земной поверхности:

$$\sin\alpha = \frac{14{,}380}{3{,}063} \cdot \sin 02°04'11" = 0{,}16955; \quad \alpha = 170°14'17";$$

$$\sin\beta = \frac{11{,}351}{3{,}063} \cdot \sin 02°04'11" = 0{,}13384; \quad \beta = 07°41'29";$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 170°14'17" + 07°41'29" + 02°04'11" = 179°59'57".$$

Угловая невязка в треугольнике $f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_{теор} = 179°59'57'' - 180°00'00'' = -3''$ в пределах допустимой величины, не более 10″.

Полученная невязка 3″ распределяется во все углы поровну (α, β, γ) с обратным знаком:

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= 170°14'17"+1" = 170°14'18"\\ \beta &= 07°41'29"+1" = 07°41'30"\\ \gamma &= 02°04'11"+1" = 02°04'12"\end{aligned}\right\};$$

$$\alpha+\beta+\gamma = 170°14'18"+07°41'30"+02°04'12" = 180°00'00".$$

На ориентируемом горизонте в шахте:

$$\sin\alpha_1 = \frac{13{,}650}{3{,}063}\cdot\sin 02°16'52" = 0{,}177738, \quad \alpha_1 = 169°46'59";$$

$$\sin\beta_1 = \frac{10{,}622}{3{,}063}\cdot\sin 02°16'52" = 0{,}138028, \quad \beta_1 = 07°56'02";$$

$$\alpha_1+\beta_1+\gamma_1 = 169°47'00"+07°56'02"+02°16'52" = 179°59'54".$$

Угловая невязка в треугольнике $180°00'00" - 179°59'54" = -6"$ в пределах допустимой величины, не более 10″.

Полученная невязка – 6″ распределяется во все углы поровну с обратным знаком:

$$\left.\begin{aligned}\alpha' &= 169°47'00"+2" = 169°47'02"\\ \beta' &= 07°56'02"+2" = 07°56'04"\\ \gamma' &= 02°16'52"+2" = 02°16"54"\end{aligned}\right\};$$

$$\alpha_1+\beta_1+\gamma_1 = 169°47'02"+07°56'04"+02°16'54" = 180°00'00".$$

Вычисления плановых координат X_6, Y_6 начального пункта (6) и дирекционного угла начальной стороны (α_{6-7}) подземных опорных сетей (см. рис. 2.1, а) приведены в табл. 2.2 (схема 1).

Контроль. Выполняется вторая независимая ориентировка. Допустимые отклонения при вычислении дирекционного угла начальной стороны и координат первого пункта полигонометрического хода на ориентируемом горизонте $\Delta\alpha_{6\text{-}1} \le 3'$; ΔX_6: $\Delta Y_6 \le 5$см.

Пример вычисления ориентировки через одну вертикальную выработку, схема 2 (см. рис. 2.2).

Исходные данные: координаты пунктов и дирекционные углы

сторон опорной сети на земной поверхности.

$X_{VI} = 640710{,}100$ м; $Y_{VI} = 6125350{,}040$ м; $\alpha_{I\text{-}II} = 65°30'30''$.

Результаты измерений решения соединительного треугольника:

$a = 13{,}585$ м, $b = 10{,}554$ м, $\gamma = 2°17'48"$,
$a_1 = 14{,}385$ м, $b_1 = 11{,}348$ м, $\gamma_1 = 2°05'02"$.

Расстояние между отвесами:
На земной поверхности $c_{изм} = 3{,}072$ м;

$$c_{выч} = \sqrt{10{,}554^2 + 13{,}585^2 - 2 \cdot 10{,}554 \cdot 13{,}585 \cdot \cos 2°17'48"} = 3{,}069 \text{ м};$$

$$\Delta c = 3{,}069 - 3{,}072 = -0{,}003 \text{ м}.$$

На ориентируемом горизонте $c_{изм}$=3,072 м;

$$c_{выч} = \sqrt{14{,}385^2 + 11{,}348^2 - 2 \cdot 11{,}348 \cdot 14{,}385 \cdot \cos 2°05'02"} = 3{,}072 \text{ м}.$$

$$\Delta c = 3{,}072 - 3{,}072 = 0 \text{ м};$$

Разность между вычисленными ($c_{выч}$) и измеренными ($c_{изм}$) расстояниями в пределах допустимой не более 3 мм.

Вычисление углов при отвесах соединительного треугольника

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\sin\gamma\,;\ \sin\beta = \frac{b}{c}\sin\gamma\,.$$

На земной поверхности:

$$\sin\alpha = \frac{13{,}585}{3{,}072} \cdot \sin 2°17'48" = 0{,}17721;\quad \alpha = 169°47'33";$$

$$\sin\beta = \frac{10{,}554}{3{,}072} \cdot \sin 2°17'48" = 0{,}13767;\quad \beta = 7°54'48";$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 169°47'33" + 7°54'48" + 2°17'48" = 180°00'09".$$

Таблица 2.2

Вычисление ориентировки через одну вертикальную выработку

Схема 1

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
I						24,461	6,130	6125 312,050	640 723,255	I	
	II	25,217			75 55 55			336,512	729,385	II	
II	I		0 15 14			-17,232	-4,238				
	С	17,745			256 10 58			319,280	725,147	*С*	
С	II		94 22 47			2,358	-14,185				
	$О_{ю}$	14,380			170 33 45			321,638	710,961	$О_{ю}$	
$О_{ю}$	*С*		7 41 30			-0,093	3,062				
	$О_{с}$	3,063			358 15 16			321,545	714,023	$О_{с}$	
$О_{с}$	$О_{ю}$		7 56 04			-1,472	-13,570				
	$С_1$	13,650			186 11 19			320,073	700,452	$С_1$	
$С_1$	$О_{с}$		250 27 25			-5,793	-1,375				
	6	5,954			256 38 44			314,280	699,077	6	
6	$С_1$		17 19 50			21,023	-1,461				
	7	21,074			93 58 35			335,303	697,616	7	

Схема 2

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
VI						22,027	10,034	6125 350,040	640 710,100	VI	
	X	24,205			65 30 30			372,067	720,134	X	
X	VI		3 50 15			-17,719	-6,679				
	C_1	18,936			249 20 44			354,348	713,455	C_1	
C_1	II		272 03 03			-4,334	12,875				
	O_c	13,585			341 23 47			350,014	726,330	O_c	
O_c	C		7 54 45			0,570	-3,019				
	$O_ю$	3,072			169 18 32			350,548	723,312	$O_ю$	
$O_ю$	O_c		352 16 50			-4,543	13,649				
	C	14,385			341 35 23			346,041	736,960	C	
C	$O_ю$		84 39 24			-6,535	-2,876				
	1	7,140			246 14 47			339,506	734,084	1	
1	C		356 11 00			16,467	8,598				
	5	18,576			62 25 47			355,973	742,682	5	

Угловая невязка в треугольнике $f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_{теор} = 180°00'09" - 180°00'00" = +9"$ в пределах допустимой.

Полученная невязка +9" распределяется поровну во все углы поровну с обратным знаком.

$$\alpha = 169°47'33" - 3" = 169°47'30";$$
$$\beta = 7°54'48" - 3" = 7°54'45";$$
$$\gamma = 2°17'48" - 3" = 2°17'45".$$
$$\alpha + \beta + \gamma = 169°47'30" + 7°54'45" + 2°17'45" = 180°00'00".$$

На ориентируемом горизонте в шахте:

$$\sin\alpha_1 = \frac{14{,}385}{3{,}072} \cdot \sin 2°05'02" = 0{,}17027; \quad \alpha_1 = 170°11'48".$$

$$\sin\beta_1 = \frac{11{,}348}{3{,}072} \cdot \sin 2°05'02" = 0{,}13432; \quad \beta_1 = 7°43'10".$$

$$\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 = 170°11'48" + 7°43'10" + 2°05'02" = 180°00'00".$$

Угловая невязка в треугольнике равна 0.

Вычисления плановых координат X, Y начального пункта (1) и дирекционного угла начальной стороны ($\alpha_{1\text{-}5}$) подземных опорных сетей (см. рис. 2.1, б) приведены в табл. 2.2 (схема 2).

Контроль: Вторая независимая ориентировка. Допустимые отклонения при вычислении дирекционного угла начальной стороны и координат первого пункта полигонометрического хода на ориентируемом горизонте $\Delta\alpha_{1\text{-}5} < 3'$, ΔX_1, $\Delta Y_1 \leq 5$см.

Задача 2. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки

Проведение ориентирно-соединительной съемки через две вертикальные выработки возможно, когда вертикальные выработки (стволы шахт) на ориентируемом горизонте соединены между собой горизонтальной выработкой. Геометрическая связь между пунктами опорных сетей на земной поверхности и опорными пунктами на ориентируемом горизонте осуществляется с помощью двух отвесов, опускаемых по одному в каждую вертикальную выработку. В этом

случае расстояние между отвесами увеличивается до сотен метров и, как следствие, угловая погрешность проектирования значительно уменьшится:

$$\theta = \frac{e}{c}\rho'',$$

где θ – угловая погрешность ориентирования, сек; *e* – линейная погрешность ориентирования, мм; *c* – расстояние между отвесами, мм; ρ – градусное выражение радиана в секундах:

$$\rho^{\circ} = \frac{360^{\circ}}{2\pi} \approx 57{,}3^{\circ};$$

$$\rho' = \frac{360 \cdot 60'}{2\pi} \approx 3438';$$

$$\rho'' = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60''}{2\pi} \approx 206265''.$$

Таким образом, основным достоинством ориентирно-соединительной съемки через два ствола является незначительная угловая погрешность проектирования, что исключает необходимость наблюдений за качанием отвесов.

Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки проводится на учебном полигоне университета.

Методика измерений. На земной поверхности (пункты теодолитного хода закрепляются в почве) и на ориентируемом горизонте (пункты закреплены в кровле) проходятся теодолитные ходы.

Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряются двумя приемами или одним приемом левый и правый угол по направлению теодолитного хода. Допустимая невязка в измеренных углах между приемами ±10". Длины измеряются металлической рулеткой дважды с точностью отсчитывания 1 мм, допустимое расхождение между двумя измерениями не более 2 мм, или электронными инструментами.

В точках примыкания к отвесам углы измеряются тремя круговыми приемами с допустимой невязкой между приемами 10", длины измеряются металлической рулеткой с точностью отсчитывания 1 мм пять раз с допустимым расхождением между всеми измерениями 2

мм или электронными инструментами. Для расчетов принимаются среднеарифметические значения измеренных углов и длин.

Пример решения задачи 2. Вычисление ориентировки через две вертикальные выработки

Схема 3 (рис. 2.2, а)
Исходные данные:

$$X_{I} = 640723{,}255 \text{ м}; \quad Y_{I} = 6125312{,}051 \text{ м};$$
$$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55".$$

Схема 4 (рис. 2.2, б)
Исходные данные:

$$X_{VI} = 640710{,}100 \text{ м}; \quad Y_{VI} = 6125350{,}040 \text{ м};$$
$$\alpha_{VI\text{-}X} = 65°30'30".$$

Методика вычислений. Вычисление ориентировки начинается с обработки результатов измерений – вычисления среднеарифметических значений горизонтальных углов и длин линий теодолитных ходов.

В ведомости расчета координат записывается: порядок расчета ориентировки (номера пунктов), среднеарифметические значения измеренных горизонтальных проложений длин линий, измеренные горизонтальные углы, вычисленные дирекционные углы и приращения координат и координаты исходного и последующих пунктов.

Расчет ориентировки ведется в следующей последовательности:

1. На земной поверхности (точки в почве) от исходной стороны I – II – схема 3 (см. рис. 2.2, а) и VI – X – схема 4 (см. рис. 2.2, б) вычисляют координаты отвесов O_1 и O_2 – схема 3, O_3 и O_4 – схема 4 в системе координат, принятой на земной поверхности. Пример расчета приведен в табл. 2.3 – схема 3, 4.

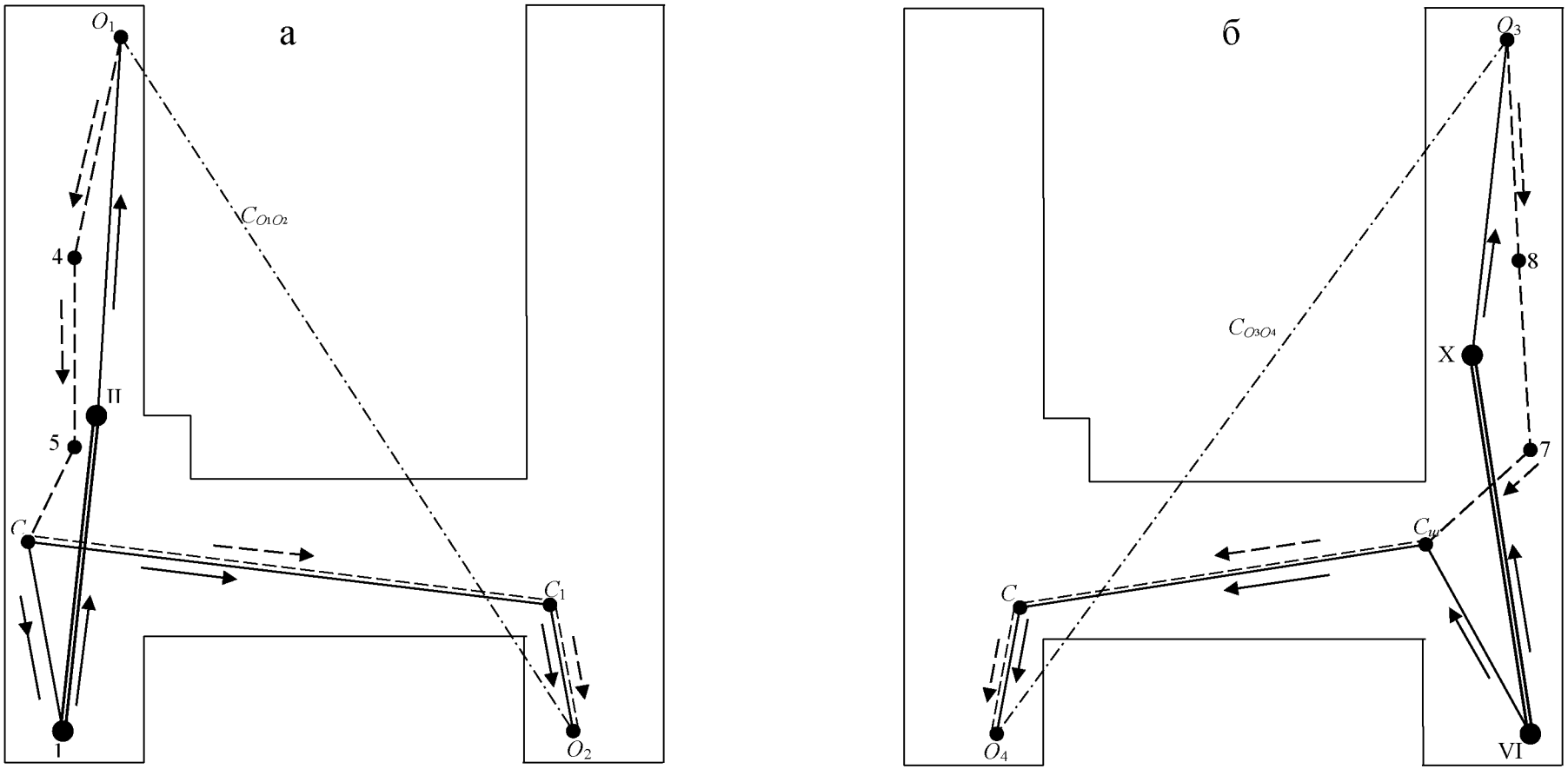


Рис. 2.2. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки.
а – схема 3; б – схема 4

теодолитный ход на земной поверхности, пункты в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, пункты в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки на земной поверхности;

направление вычисления ориентировки на ориентируемом горизонте

Таблица 2.3

Ориентировка через две вертикальные выработки.
Вычисление координат отвесов на земной поверхности

Схема 3

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
I						24,461	6,130	6125 312,051	640 723,255	I	
	II	25,217			75 55 55			336,512	729,385	II	
II	I		179 52 37			26,370	6,668				
	O_1	27,200			75 48 32			362,882	736,053	O_1	
I	II		0 39 37		255 55 55	9,932	2,367	6125 312,051	640 723,255	I	
	C	10,210			76 35 32			321,983	725,622	C	
C	I		274 15 16			4,091	-25,391				
	C_1	25,718			170 50 48			326,074	700,231	C_1	
C_1	C		251 18 52			-6,028	-3,183				
	O_2	6,817			242 09 40			320,046	697,048	O_2	

Окончание табл. 2.3

Схема 4

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
VI						22,027	10,034	6125 350,040	640 710,100	VI	
	X	24,205			65 30 30			372,067	720,134	X	
X	VI		184 00 03			25,783	9,635				
	O_3	27,524			69 30 33			397,850	729,769	O_3	
VI	X		346 34 23		245 30 30	4,305	3,354	6125 350,040	640 710,100	VI	
	C_1	5,457			52 04 53			354,345	713,454	C_1	
C_1	VI		108 28 54			-8,297	23,511				
	C	24,932			340 33 47			346,048	736,965	C	
C	C_1		85 40 48			-6,535	-2,876				
	O_4	7,140			246 14 35			339,513	734,089	O_4	

2. По вычисленным координатам отвесов на земной поверхности (точки в почве), решая обратную геодезическую задачу, вычисляют дирекционный угол линии створа отвесов и расстояние между отвесами.

Схема 3 (см. рис. 2.2, а)

$$\text{arctg}\alpha_{O_1O_2} = \frac{Y_{O_2} - Y_{O_1}}{X_{O_2} - X_{O_1}} = \frac{6125320{,}046 - 6125362{,}882}{640697{,}048 - 640736{,}053} = \frac{-42{,}836}{-39{,}005} = 1{,}098218;$$

$$\alpha_{O_1O_2} = 227^\circ 40'48'';$$

$$C_{O_1O_2} = \frac{Y_{O_2} - Y_{O_1}}{\sin\alpha_{O_1O_2}} = \frac{X_{O_2} - X_{O_1}}{\cos\alpha_{O_1O_2}} = \frac{-42{,}836}{\sin 227^\circ 40'48''} = \frac{-39{,}005}{\cos 227^\circ 40'48''} = 57{,}934 \text{ м}.$$

Схема 4 (см. рис. 2.2 , б)

$$\text{arctg}\alpha_{O_3O_4} = \frac{Y_{O_4} - Y_{O_3}}{X_{O_4} - X_{O_3}} = \frac{6125339{,}513 - 61253972{,}850}{640734{,}089 - 640729{,}769} = \frac{-58{,}337}{4{,}320} = 13{,}5039352;$$

$$\alpha_{O_3O_4} = 274^\circ 14'06'';$$

$$C_{O_3O_4} = \frac{Y_{O_4} - Y_{O_3}}{\sin\alpha_{O_3O_4}} = \frac{X_{O_4} - X_{O_3}}{\cos\alpha_{O_3O_4}} = \frac{-58{,}337}{\sin 274^\circ 14'06''} = \frac{4{,}320}{\cos 274^\circ 14'06''} = 58{,}498 \text{ м}.$$

3. На ориентируемом горизонте (точки в кровле) вводят условную систему координат.

За начало координат принимается:

Схема 3 (см. рис. 2.2, а) отвес O_1, в этом случае $Y'_{O_1} = 0$; $X'_{O_1} = 0$; ось x' направляем по первой стороне подземного теодолитного хода, $\alpha'_{o_1-4} = 0^\circ 00'00''$.

Схема 4 (см. рис. 2.2, б) отвес O_3, в этом случае $Y'_{O_3} = 0$; $X'_{O_3} = 0$; ось x' направляем по первой стороне подземного теодолитного хода, $\alpha'_{o_3-8} = 0^\circ 00'00''$.

По этим исходным данным вычисляют условные координаты

всех пунктов подземного теодолитного, в том числе отвесов O_2 (схема 3) и O_4 (схема 4).

Пример расчета координат точек подземного теодолитного хода и отвесов в условной системе координат приведен в табл. 2.4 (схемы 3, 4).

4) по вычисленным координатам в условной системе координат отвесов на ориентируемом горизонте, решая обратную геодезическую задачу, вычисляют дирекционный угол линии створа отвесов и расстояние между отвесами.

Схема 3

$$\operatorname{arctg}\alpha'_{O_1O_2} = \frac{Y'_{O_2} - Y'_{O_1}}{X'_{O_2} - X'_{O_1}} = \frac{-30{,}173}{49{,}454} = -0{,}610110;$$

$$\alpha'_{O_1O_2} = 328^\circ 36'44'';$$

$$C'_{O_1O_2} = \frac{Y'_{O_2} - Y'_{O_1}}{\sin\alpha_{O_1O_2}} = \frac{X'_{O_2} - X'_{O_1}}{\cos\alpha_{O_1O_2}} = \frac{-30{,}173}{\sin 328^\circ 36'44''} = \frac{49{,}454}{\cos 328^\circ 36'44''} = 57{,}933 \text{ м}.$$

Схема 4

$$\operatorname{arctg}\alpha'_{O_3O_4} = \frac{Y'_{O_4} - Y'_{O_3}}{X'_{O_4} - X'_{O_3}} = \frac{27{,}393}{51{,}695} = 0{,}529896;$$

$$\alpha'_{O_3O_4} = 27^\circ 55'08'';$$

$$C'_{O_3O_4} = \frac{Y'_{O_4} - Y'_{O_3}}{\sin\alpha_{O_3O_4}} = \frac{X'_{O_4} - X'_{O_3}}{\cos\alpha_{O_3O_4}} = \frac{27{,}393}{\sin 27^\circ 55'08''} = \frac{51{,}695}{\cos 27^\circ 55'08''} = 58{,}504 \text{ м}.$$

5. Контроль результатов вычислений и измерений осуществляется сопоставлением расстояний между отвесами, вычисляемых в истинной системе координат на поверхности (C) и на ориентируемом горизонте, в условной системе координат (C'). Расхождение $\Delta C = C - C'$ не должно превышать относительной погрешности 1:2000, или рассчитанной по формуле, с учетом формы полигона

$$\Delta C = \pm 2\sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2}\left[R_{x_i}^2\right] + \mu^2\left[l_i \cos^2\varphi_i\right] + \lambda^2 C^2},$$

Таблица 2.4

Ориентирование через две вертикальные выработки.
Вычисление координат отвесов в условной системе координат (ориентируемый горизонт)

Схема 3

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекцион-ные углы	Приращения		Координаты		Номер пункт-тов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "	° ' "	ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
O_1						0,000	17,267	0,000	0,000	O_1	
	4	17,267			0 00 00					4	
4	O_1		175 55 21			-1,140	15,993				
	5	16,034			355 55 21					5	
5	4		172 56 27			-2,139	10,865				
	C	11,074			348 51 48					C	
C	5		100 28 22			-24,921	-0,289				
	C_1	24,923			269 20 10					C_1	
C_1	C		251 18 56			-1,973	5,618				
	O_2	5,954			340 39 06			-30,173	49,455	O_2	
		P = 75,252									

Схема 4

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
O_3						0,000	17,594	0,000	0,000	O_3	
	8	17,594			0 00 00					8	
8	O_3		180 53 48			0,265	16,926				
	7	16,928			0 53 47					7	
7	8		190 11 03			2,299	11,741				
	C_1	11,964			11 04 50					C_1	
C_1	7		262 50 39			24,870	-1,706				
	C	24,928			93 55 29					C	
C	C_1		85 44 44			-0,041	7,140				
	O_4	7,140			359 40 13			27,393	51,694	O_4	
		$P = 78{,}554$									

где m_β – среднеквадратическая погрешность измерения угла на ориентируемом горизонте, сек; μ и λ – коэффициенты случайного и систематического влияния при измерении длин линий, μ = 0,0005 м$^{1/2}$, λ = 0,00005; l_i – длины сторон теодолитного хода на ориентируемом горизонте, м; φ_i – угол между стороной l_i и створа отвесов; $[R^2_{xi}]$ – сумма квадратов расстояний от пунктов теодолитного хода на ориентируемом горизонте до створа отвесов; C – расстояние между отвесами.

Схема 3

$$\Delta C = C - C' = 57{,}934 - 57{,}933 = 0{,}001 \text{ м},$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{1}{57934} < \frac{1}{2000}.$$

Схема 4

$$\Delta C = C - C' = 58{,}498 - 58{,}504 = 0{,}006 \text{ м},$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{8}{58498} = \frac{1}{7312} < \frac{1}{2000}.$$

6. Вычисляет угол поворота осей условной системы координат относительно системы координат, принятой на земной поверхности, т. е. определяют дирекционный угол первой стороны теодолитного хода на ориентируемом горизонте:

Схема 3

$$\Delta\alpha = \alpha_{o_1o_2} - \alpha'_{o_1o_2} = \alpha_{o_{1-4}} = 227^\circ 40'48'' - 328^\circ 36'44'' = 259^\circ 04'04'';$$

Схема 4

$$\Delta\alpha = \alpha_{o_3o_4} - \alpha'_{o_3o_4} = \alpha_{o_{3-8}} = 274^\circ 14'06'' - 27^\circ 55'08'' = 246^\circ 18'58''.$$

7. Вычисляют координаты пунктов теодолитного хода и отвеса O_2 (схема 3) и отвеса O_4 (схема 4) на ориентируемом горизонте в системе координат, принятой на земной поверхности.

Расчет ведется от отвеса O_1 (схема 3) и от отвеса O_3 (схема 4). Координаты отвесов O_1 и O_3 принимают равными координатам, полученным на земной поверхности (см. табл. 2.3).

Результаты вычислений приведены в табл. 2.5 (схема 3 и 4).

Таблица 2.5

Ориентирование через две вертикальные выработки.
Вычисление координат пунктов теодолитного хода на ориентируемом горизонте в системе координат, принятой на земной поверхности

Схема 3

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
O_1						-16,954	-3,275	6125362,882	640736,053	O_1	
	4	17,267			259 04 04			345,928	732,778	4	
4	O_1		175 55 21			-15,487	-4,152				
	5	16,034			254 59 25			330,441	728,626	5	
5	4		172 56 27			-10,263	-4,161				
	C	11,074			247 55 52			320,178	724,465	C	
C	5		100 28 22			5,010	-24,414				
	C_1	24,923			168 24 14			325,188	700,051	C_1	
C_1	C		251 18 56			-5,142	-3,002				
	O_2	5,954			239 43 10			320,046	697,049	O_2	
		P = 75,252									

Схема 4

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
O_3						-16,112	-7,067	6125397,850	640729,769	O_3	
	8	17,594			246 18 55			381,738	722,702	8	
8	O_3		180 53 48			-15,607	-6,557				
	7	16,928			247 12 43			366,131	716,145	7	
7	8		190 11 03			-11,676	-2,611				
	C_1	11,964			257 23 46			354,455	713,534	C_1	
C_1	7		262 50 39			-8,428	23,460				
	C	24,928			340 14 25			346,027	736,994	C	
C	C_1		85 44 44			-6,522	-2,906				
	O_4	7,140			245 59 09			339,505	734,088	O_4	
		$P = 78,554$									

8. Проводят дополнительный контроль результатов измерений и вычислений. Вычисляют линейную невязку, т. е. разница в координатах отвеса O_2 (схема 3) и отвеса O_4 (схема 4), полученных на земной поверхности (см. табл. 2.3) и на ориентируемом горизонте (см. табл. 2.5).

Схема 3

$$f_X = X^{\text{ш}}_{o_2} - X^{\text{п}}_{o_2} = 640697{,}049 - 640697{,}049 = 0{,}000 \text{ м};$$

$$f_Y = Y^{\text{ш}}_{o_2} - Y^{\text{п}}_{o_2} = 6125320{,}046 - 6125320{,}046 = 0{,}000 \text{ м};$$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ мм}.$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{C} = \frac{0}{57934} = 0 \le \frac{1}{3000}.$$

Схема 4

$$f_X = X^{\text{ш}}_{o_4} - X^{\text{п}}_{o_4} = 640734{,}088 - 640734{,}088 = 0{,}000 \text{ м};$$

$$f_Y = Y^{\text{ш}}_{o_4} - Y^{\text{п}}_{o_4} = 6125339{,}505 - 6125339{,}513 = -0{,}008 \text{ м};$$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = \sqrt{0^2 + 8^2} = 8 \text{ мм}.$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{C} = \frac{8}{58497} = \frac{1}{7312} \le \frac{1}{3000}.$$

где f_x, f_y – линейные невязки, мм; $X^{\text{Ш}}_{O2}$, $X^{\text{П}}_{O2}$, $Y^{\text{Ш}}_{O2}$, $Y^{\text{П}}_{O2}$, $X^{\text{Ш}}_{O4}$, $X^{\text{П}}_{O4}$, $Y^{\text{Ш}}_{O4}$, $Y^{\text{П}}_{O4}$ – координаты отвесов на поверхности и на ориентируемом горизонте, соответственно схемы 3 и 4; $f_{\text{абс}}$, $f_{\text{отн}}$ – абсолютная и относительная погрешности.

9. Производится распределение линейной невязки в приращения координат теодолитного хода на ориентируемом горизонте с обратным знаком пропорционально длинам сторон. Вычисляют координаты пунктов теодолитного хода в системе координат, принятой на земной поверхности. В приведенных расчетах (см. табл. 2.5) линейные невязки практически отсутствуют. В случае получения линейной невязки ее величина не должна превышать допустимого значения. Если условие не выполняется, т. е. $f_{\text{отн}} > \frac{1}{3000}$, ориентирование повторяется.

2.3. Гироскопический способ ориентирования

Процесс определения дирекционного угла стороны гирокомпасом называется гироскопическим ориентированием.

Гирокомпас (или гиротеодолит) – это угломерный инструмент, в котором конструктивно объеденены гироскоп и теодолит. Гироскоп служит для указания направления меридиана, а с помощью теодолита фиксируется положение стороны теодолитного хода относительно этого направления, т. е. определяется ее дирекционный угол [3].

Гироскопическое ориентирование начинается с вычисления поправки гирокомпаса, величина которой определяется на стороне с известным дирекционным углом (рис. 2.3, б):

$$\delta = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0.$$

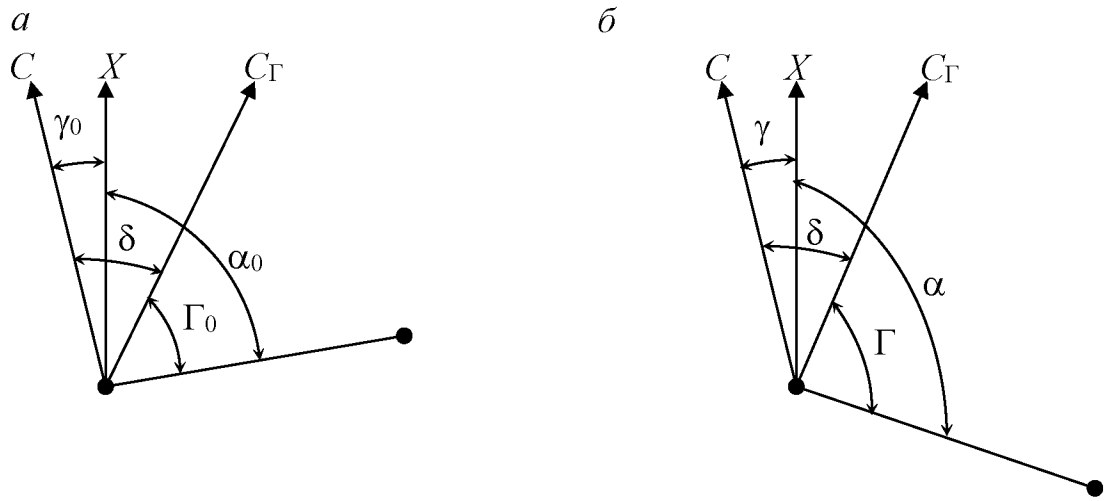


Рис. 2.3. Схема производства гироскопического ориентирования:
а – на исходной стороне с известным дирекционным углом α_0,
б – на ориентируемой стороне с дирекционным углом α

После выполнения гироскопического ориентирования одной или нескольких сторон в шахте поправка гирокомпаса определяется еще раз и в расчеты дирекционных углов берется ее среднее арифметическое значение. Дирекционный угол ориентируемой стороны (рис. 2.3, *б*) определяется из выражения:

$$\alpha = \delta + \Gamma - \gamma,$$

с учетом предыдущего выражения

$$\alpha = \alpha_0 + \Gamma - \Gamma_0 + \delta\gamma,$$

где α_0 – дирекционный угол исходной стороны;
Γ, Γ_0 – гироскопический азимут ориентируемой и исходной сторон, соответственно;
$\delta\gamma = \gamma_0 - \gamma = \mu_0(y_0 - y)$ – разность сближения меридианов для пунктов стояния гирокомпаса на исходной стороне (γ_0) и ориентируемой стороне (γ).

Задача 3. Ориентирование через одну вертикальную горную выработку с использованием гирокомпаса

При ориентировании данным способом задачи центрирования (передача координат) и ориентирования (определение дирекционного угла) подземной опорной сети решаются раздельно.

Передача координат в шахту осуществляется с помощью одного отвеса, а определение дирекционного угла одной из сторон в шахте – гироскопическим ориентированием.

Выполнение работ производится в следующей последовательности:

1) проектирование точки с поверхности в шахту с помощью отвеса;

2) примыкание к отвесу на поверхности и в шахте;

3) гироскопическое ориентирование стороны подземного теодолитного хода на ориентируемом горизонте;

4) вычисление координат первых двух пунктов подземного теодолитного хода (подземной маркшейдерской опорной сети).

Работа выполняется на учебном полигоне. На рис. 2.4, а, б показаны две ориентировки: схемы 5 и 6.

Методические указания по выполнению ориентирно-соединительной съемки через одну вертикальную выработку с использованием гирокомпаса

Проектирование координат с земной поверхности на ориентируемый горизонт выполняется с помощью одного отвеса, опущенного в вертикальную выработку: $О_Ю$, схема 5; $О_С$, схема 6 (см. рис. 2.4). На земной поверхности и на ориентируемом горизонте измеряются (см. рис. 2.4):

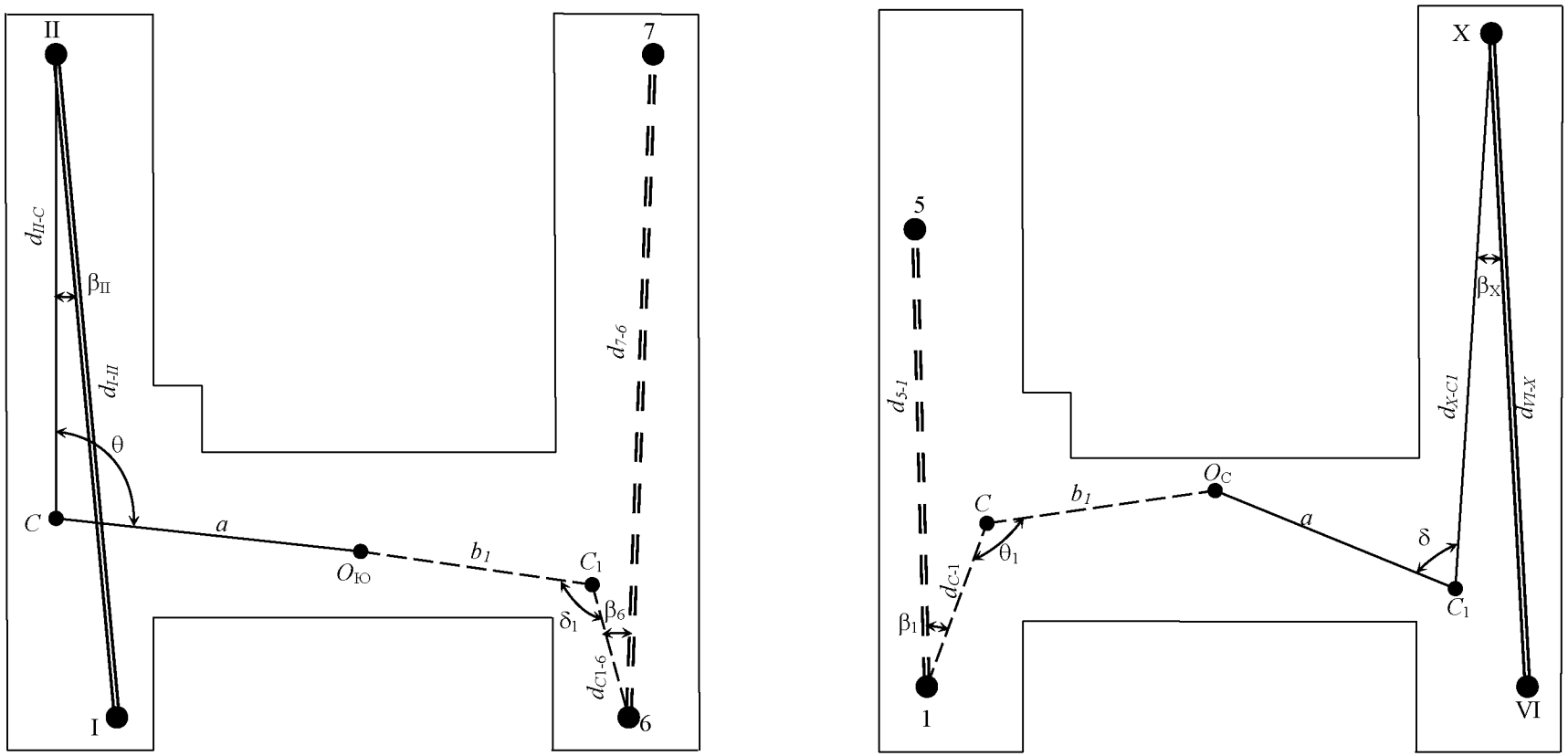


Рис. 2.4. Ориентирно-соединительная съемка через одну вертикальную выработку с использованием гирокомпаса.
а - схема 5; *б* - схема 6

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

исходная сторона (опорные сети на земной поверхности);

гиросторона подземной опорной сети на ориентируемом горизонте

- горизонтальные углы β_{II}, θ и горизонтальные длины линий $d_{I\text{-}II}$; $d_{II\text{-}C}$, и a – на земной поверхности, β_6; δ_1 и $d_{7\text{-}6}$; $d_{6\text{-}C1}$; b_1 – на ориентируемом горизонте (см. рис. 2.4, а, схема 5);
- горизонтальные углы β_X; δ и горизонтальные длины линий $d_{VI\text{-}X}$; $d_{X\text{-}C1}$; a – на земной поверхности, β_1, θ_1 и $d_{5\text{-}1}$; $d_{1\text{-}C}$, b_1 – на ориентируемом горизонте (см. рис. 2.4, б, схема 6).

Углы измеряются теодолитом класса Т5 не менее чем двумя приемами, допустимая невязка между приемами ±10″. За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение из двух приемов.

Измерение длин производится металлической рулеткой или лазерным дальномером дважды в прямом и обратном направлениях с относительной погрешностью 1:3000.

На ориентируемом горизонте гироскопическим способом определяются дирекционные углы сторон $\alpha^{Г}_{7\text{-}6}$ (см. рис. 2.4, а, схема 5) и $\alpha^{Г}_{5\text{-}1}$ (см. рис. 2.4, б, схема 6). Среднеквадратическая погрешность ориентирования $m_{\alpha г}$±30″.

Решение задачи 3

Исходные данные: координаты пунктов и дирекционные углы сторон опорной сети на земной поверхности:

см. рис. 2.4, а, схема 5: X_I = 640723,255 м,
Y_I = 6125312,051 м,
$\alpha_{I\text{-}II}$ = 75°55′55″;

см. рис. 2.4, б, схема 6: X_{VI} = 640710,100 м,
Y_{VI} = 6125350,040 м,
$\alpha_{VI\text{-}X}$ = 65°30′30″.

Дирекционный угол (гиросторона) опорной сети на ориентируемом горизонте:
см. рис. 2.4, а, схема 5: $\alpha^{Г}_{7\text{-}6}$ = 273°59′12″;
см. рис. 2.4, б, схема 6: $\alpha^{Г}_{5\text{-}1}$ = 242°25′50″.

Вычисление координат пунктов на ориентируемом горизонте

Вычисление плановых координат X_7, Y_7 начального пункта (7) на ориентируемом горизонте (см. рис. 2.4, а, схема 5) и X_5, Y_5 начального пункта (5) на ориентируемом горизонте (см. рис. 2.4, б,

схема 6) подземных опорных сетей приведены в табл. 2.6, соответственно.

Контроль ориентировки: сравниваются координаты пунктов X_7, Y_7 (схема 5) и пунктов X_5, Y_5 (схема 6) с координатами этих же пунктов, вычисленных по схеме 1 и 2. Допустимое расхождение: $\Delta X, \Delta Y \leq \pm 50$ мм.

Задача 4. Ориентирование через две вертикальные горные выработки с использованием гирокомпаса

Проведение ориентирно-соединительной съемки через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса возможно при условии, когда вертикальные выработки (стволы шахт) соеденены между собой горной выработкой (штрек, квершлаг), на которой проходится теодолитный ход (подземная маркшейдерская опорная сеть).

Задачи центрирования (передача координат) и ориентирования (определение дирекционного угла) подземной опорной сети решаются раздельно. Проектирование координат на ориентируемый горизонт выполняется с помощью двух отвесов, а определение дирекционного угла одной стороны подземного теодолитного хода – гироскопическим ориентированием.

Работы выполняются на учебном полигоне в следующей последовательности:

1) проектирование координат точек с земной поверхности на ориентируемый горизонт;
2) примыкание к проектируемым точкам на земной поверхности и на ориентируемом горизонте;
3) гироскопическое ориентирование одной стороны подземного теодолитного хода;
4) вычисление координат пунктов подземного теодолитного хода опорных сетей.

Схемы ориентировки 7 и 8 представлены на рис. 2.5 и 2.6, соответственно.

Таблица 2.6

Ориентировка через одну вертикальную выработку с использованием гирокомпаса.
Вычисление координат пунктов первой стороны теодолитного хода на ориентируемом горизонте

Схема 5

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
I						24,461	6,130	6125 312,051	640 723,255	I	
	II	25,217			75 55 55			336,512	729,385	II	
II	I		00 15 42			-17,232	-4,235				
	C	17,745			256 11 37			319,279	725,150	*C*	
C	II		94 22 47			2,355	-14,186				
	$O_{ю}$	14,380			170 34 23			321,635	710,964	$O_{ю}$	
$O_{ю}$					186 11 57	-1,140	-10,492	321,635	710,964	$O_{ю}$	
	C_1	10,554			6 11 57			320,495	700,472	C_1	
C_1	$O_{ю}$		правый 250 27 25		256 39 22	-5,793	-1,374				
	6	5,954			76 39 22			314,702	699,098	6	
6	*C*		правый 17 19 50		93 59 12	21,023	-1,465				
	7	21,074			273 59 12			335,725	697,632	7	

Схема 6

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекцион-ные углы	Приращения		Координаты		Номер пункт-тов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "	° ' "	ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
VI						22,027	10,034	6125 350,040	640 710,100	VI	
	X	24,205			65 30 30			372,067	720,134	X	
X	VI		3 50 15			25,783	9,635				
	C_1	18,936			249 20 44			354,348	713,455	C_1	
C_1	X		272 03 03								
	*О*с	13,585			341 23 47			350,014	726,330	*О*с	
*О*с					339 18 32	-4,010	10,618	350,014	726,330	Ос	
	С	11,350			159 18 32			339,469	736,948	*С*	
С	*О*с		правый 86 56 18		246 14 50	-6,535	-2,876				
	1	7,140			66 14 50			355,936	734,072	1	
1	*С*		правый 356 11 00		62 25 50	16,467	8,597				
	5	18,576			242 25 50			355,936	742,670	5	

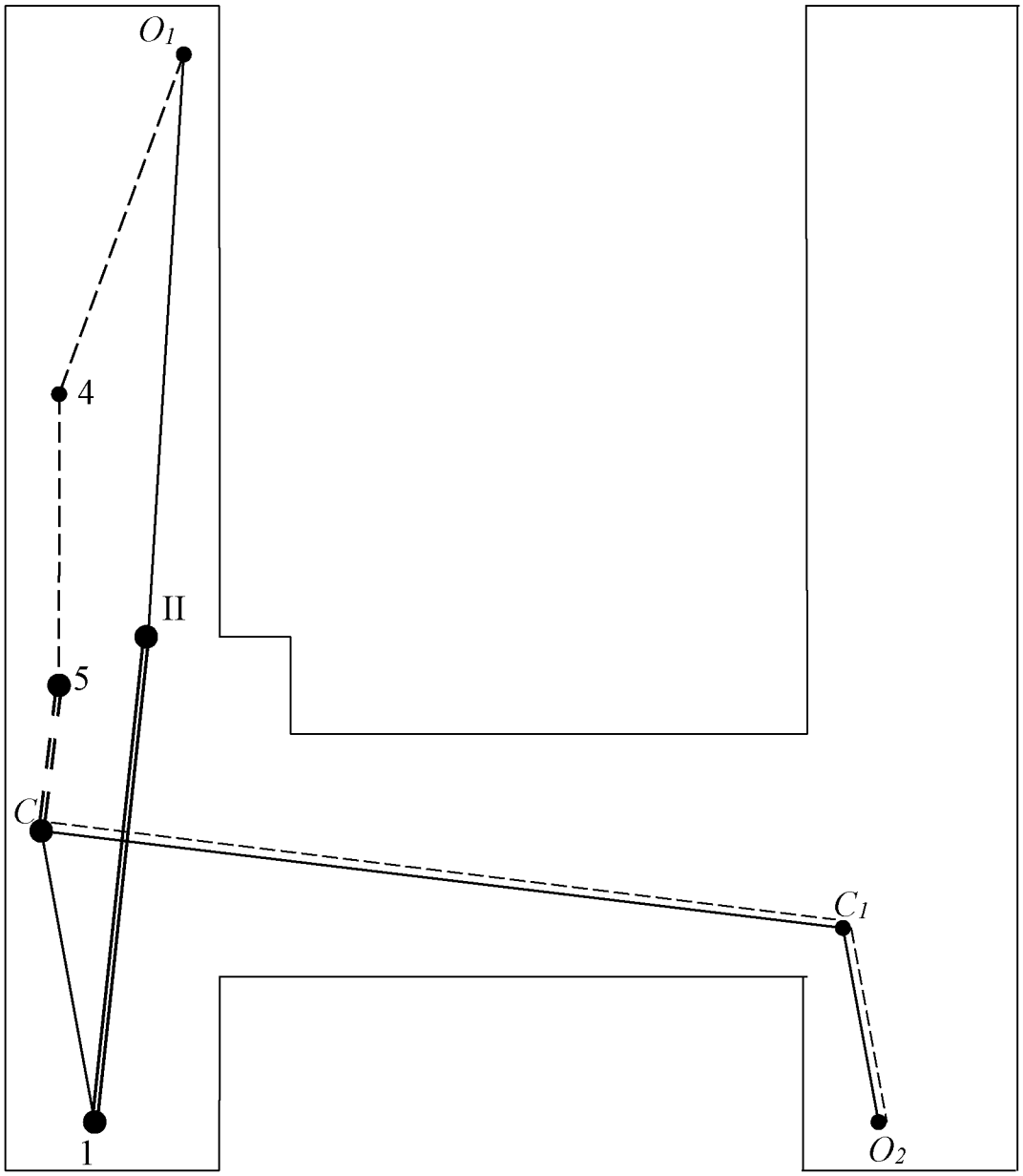


Рис. 2.5. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса (схема 7)

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

исходная сторона (опорные сети на земной поверхности);

гиросторона подземной опорной сети $\alpha^{Г}_{5\text{-}C}$

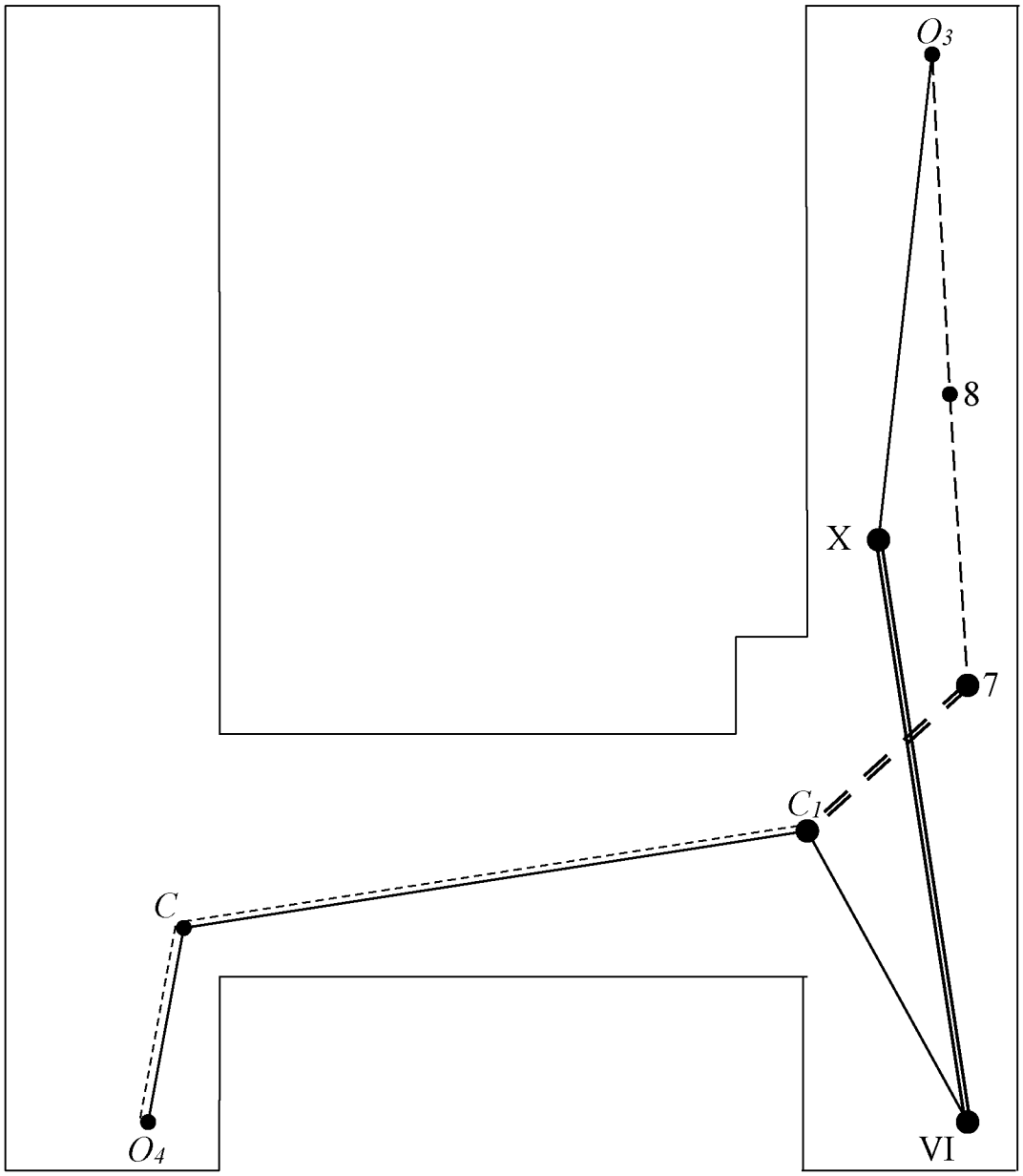


Рис. 2.6. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса (схема 8)

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

исходная сторона (опорные сети на земной поверхности);

гиросторона подземной опорной сети $\alpha^{Г}_{7\text{-}C1}$

Методические указания по выполнению ориентирно-соединительной съемки через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса

Проектирование координат с земной поверхности на ориентируемый горизонт выполняется с помощью двух отвесов, опущенных в вертикальные выработки: O_1 и O_2 (схема 7) и O_3 и O_4 (схема 8) (см. рис. 2.5 и 2.6).

На земной поверхности и на ориентируемом горизонте измеряются (см. рис. 2.5 и2.6):

- горизонтальные углы и длины линий теодолитного хода между отвесами O_1, O_2 на земной поверхности (пункты II, I, С, $С_1$) и на ориентируемом горизонте (пункты 4, 5, С, $С_1$) – схема 7;
- горизонтальные углы и длины линий теодолитного хода между отвесами O_3, O_4 на земной поверхности (пункты X, VI, $С_1$, $С$) и на ориентируемом горизонте (пункты 8, 7, $С_1$, $С$) – схема 8.

Углы измеряются двумя приемами теодолита класса Т5, допустимая невязка между приемами ±10″. За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение из двух приемов.

Измерение длин производится металлической рулеткой или лазерным дальномером дважды в прямом и обратном направлениях с относительной погрешностью 1:3000.

На ориентируемом горизонте определяются дирекционные углы сторон $\alpha^{Г}_{5\text{-}С}$ – схема 7 и $\alpha^{Г}_{7\text{-}С1}$ – схема 8 (см. рис. 2.5, 2.6), гироскопическим способом. Среднеквадратическая погрешность ориентирования $m_{\alpha г} \pm 30''$.

Решение здадачи 4

Исходные данные: координаты пунктов и дирекционные углы сторон на земной поверхности (см. рис. 2.5, схема 7)

$X_I = 640723{,}255$ м,

$Y_I = 6125312{,}051$ м,

$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55''$;

(см. рис. 2.6, схема 8)

$X_{VI} = 640710{,}100$ м,

$Y_{VI} = 6125350{,}040$ м,

$\alpha_{VI\text{-}X} = 65°30'30''$;

дирекционный угол (гиростороны) опорной сети на ориентируемом горизонте

$\alpha^{Г}_{5\text{-}С} = 247°56'45''$ – (см. рис. 2.5, схема 7)

$\alpha^{Г}_{7\text{-}C1} = 257°24'26''$ – (см. рис. 2.6, схема 8)

Вычисление координат пунктов теодолитного хода и отвесов на земной поверхности представлено в табл. 2.7, схема 7 (см. рис. 2.5), в табл. 2.8, схема 8 (см. рис. 2.6).

Вычисление координат пунктов теодолитного хода подземных опорных сетей на ориентируемом горизонте выполняется от координат отвесов, полученных на земной поверхности O_1 и гироскороны $\alpha^{Г}_{5\text{-}C}$ (см. рис. 2.5, схема 7) и O_3 и гироскороны $\alpha^{Г}_{7\text{-}C1}$ (см. рис. 2.7, схема 8). Расчеты приведены в табл. 2.9, схема 7 и в табл. 2.10, схема 8.

Последовательность расчета дирекционных углов на ориентируемом горизонте выполняется от гироскорн к отвесам, при этом учитывается знак горизонтальных углов по ходу теодолитного хода: левые ($+ \beta_л$), правые ($- \beta_п$).

Контроль ориентировки – сравниваются координаты:

отвеса O_2 (см. рис.2.5, схема 7), полученных на поверхности (табл. 2.7) и на ориентируемом горизонте (см. табл. 2.8):

$$X^{ш}_{O2} - X^{п}_{O2} = \Delta X = 697{,}059 - 697{,}049 = 11 \text{ мм};$$

$$Y^{ш}_{O2} - Y^{п}_{O2} = \Delta Y = 320{,}037 - 320{,}046 = -9 \text{ мм};$$

отвеса O_4 (см. рис. 2.7, схема 8), полученных на поверхности (см. табл. 2.9) и на ориентируемом горизонте (см. табл. 2.10):

$$X^{ш}_{4} - X^{п}_{O4} = \Delta X = 734{,}100 - 734{,}088 = 12 \text{ мм};$$

$$Y^{ш}_{O4} - Y^{п}_{O4} = \Delta Y = 339{,}506 - 339{,}513 = -7 \text{ мм}.$$

Допустимое отклонение $\Delta X, \Delta Y \leq \pm 50$ мм.

Полученные невязки распределяются с обратным знаком в приращения координат, пропорционально длинам сторон (см. стр. 35-36).

Таблица 2.7

Ориентировка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса. Вычисление координат пунктов теодолитного хода и отвесов O_1, O_2 на земной поверхности (*схема 7*)

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
I						24,461	6,130	6125 312,051	640 723,255	I	
	II	25,217			75 55 55			336,512	729,385	II	
II	I		179 52 37			26,370	6,668				
	O_1	27,200			75 48 32			362,882	736,053	O_1	
I	II		0 39 37		255 55 55	9,932	2,367	6125 312,051	640 723,255	I	
	C	10,210			76 35 32			321,983	725,622	C	
C	I		274 15 16			4,091	-25,391				
	C_1	25,718			170 50 48			326,074	700,231	C_1	
C_1	C		251 18 52			-6,028	-3,183				
	O_2	6,817			242 09 40			320,046	697,048	O_2	

Таблица 2.8

Ориентировка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса. Вычисление координат пунктов теодолитного хода и отвесов O_3, O_4 на земной поверхности (*схема 8*)

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
VI						22,027	10,034	6125 350,040	640 710,100	VI	
	X	24,205			65 30 30			372,067	720,134	X	
X	VI		184 00 03			25,783	9,635				
	O_3	27,524			69 30 33			397,850	729,769	O_3	
VI	X		346 34 23		245 30 30	4,305	3,354	6125 350,040	640 710,100	VI	
	C_1	5,457			52 04 53			354,345	713,454	C_1	
C_1	VI		108 28 54			-8,297	23,511				
	C	24,932			340 33 47			346,048	736,965	C	
C	C_1		85 40 48			-6,535	-2,876				
	O_4	7,140			246 14 35			339,513	734,089	O_4	

Таблица 2.9

Ориентировка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса.
Вычисление координат пунктов теодолитного хода подземных опорных сетей от отвеса O_1 (*схема 7*)

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
O_1						-16,954	-3,270	6125362,882	640736,053	O_1	
	4	17,267			259 04 56			345,927	732,783	4	
4	O_1		175 55 21			-15,488	-4,149				
	5	16,034			254 00 17			330,439	728,634	5	
5	4		172 56 27			-10,264	-4,158				
	C	11,074			**247 56 00**			320,175	724,476	C	
C	5		100 28 22			5,004	-24,416				
	C_1	24,923			168 25 07			325,179	700,060	C_1	
C_1	C		251 18 56			-5,142	-3,001				
	O_2	5,954			239 44 03			320,037	697,059	O_2	
		$P = 75,252$									

Таблица 2.10

Ориентировка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса.
Вычисление координат пунктов теодолитного хода подземных опорных сетей от отвеса O_3 (*схема 8*)

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	Эскиз
стоян.	набл.		измеренные ° ' "	исправленные ° ' "		ΔY	ΔX	Y	X		
						в метрах					
O_3						-16,113	-7,066	6125397,850	640729,769	O_3	
	8	17,594			246 19 08			381,736	722,705	8	
8	O_3		180 53 48			-15,607	-6,556				
	7	16,928			247 12 56			366,128	716,151	7	
7	8		190 11 03			-11,676	-2,610				
	C_1	11,964			**257 24 00**			354,452	713,543	C_1	
C_1	7		262 50 39			-8,426	23,461				
	C	24,928			340 14 38			346,029	737,005	C	
C	C_1		85 44 44			-6,522	-2,905				
	O_4	7,140			245 59 22			339,506	734,100	O_4	
		P = 78,554									

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 2

Геометрический способ ориентирования

Задача 1. Выполнить расчет ориентирно-соединительной съемки через одну вертикальную выработку, если дано:

Схема 1 (см. рис. 2.1, а)

$X_{\text{I}} = 640723{,}255$ м, $Y_{\text{I}} = 6125312{,}051$ м, $\alpha_{\text{I-II}} = 75°55'55'' + N^{o} + N' + N''$,

Схема 2 (см. рис. 2.1, б)

$X_{VI} = 640710{,}100$; $Y_{VI} = 6125350{,}040$; $\alpha_{\text{VI-X}} = 65°30'30'' + N^{o} + N' + N''$,

где N – номер варианта, град, мин, сек.

Результаты полевых измерений см. в табл. 2.2, схема 1; см. табл. 2.2, схема 2, или самостоятельное выполнение полевых работ на учебном полигоне.

Задача 2. Выполнить расчет ориентирно-соединительной съемки через две вертикальные выработки если дано:

Схема 3 (см. рис. 2.2, а):

$X_{\text{I}} = 640723{,}255$ м, $Y_{\text{I}} = 6125312{,}051$ м, $\alpha_{\text{I-II}} = 75°55'55'' + N^{o} + N' + N''$.

Схема 4 (см. рис. 2.2, б):

$X_{VI} = 640710{,}100$; $Y_{VI} = 6125350{,}040$, $\alpha_{\text{VI-X}} = 65°30'30'' + N^{o} + N' + N''$,

где N – номер варианта, град, мин, сек.

Результа2ты полевых измерений см. в табл. 2.3, 2.4, 2.5; схема 3, табл. 2.3, 2.4, 2.5 , схема 4, или самостоятельное выполнение полевых работ на учебном полигоне.

Гироскопический способ ориентирования

Задача 3. Выполнить расчет ориентирно-соединительной съемки через одну вертикальную горную выработку с использованием гирокомпаса, если дано:

Схема 5 (см. рис. 2.4, а):

$X_{\text{I}} = 640723{,}255$ м, $Y_{\text{I}} = 6125312{,}051$ м;

$$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55'' + N^{o} + N' + N'',\ \alpha^{Г}_{7\text{-}6} = 273°59'12'' + N^{o} + N' + N''.$$

Схема 6 (см. рис. 2.4, б):

$$X_{VI} = 640710{,}100 \text{ м},\ Y_{VI} = 6125350{,}040 \text{ м},$$

$$\alpha_{VI\text{-}X} = 65°30'30'' + N^{o} + N' + N'',\ \alpha^{Г}_{5\text{-}1} = 245°25'50'' + N^{o} + N' + N'',$$

где N – номер варианта, град, мин, сек.

Результаты полевых измерений см. в табл. 2.6, схема 5; табл. 2.6, схема 6, или самостоятельное выполнение полевых работ на учебном полигоне.

Задача 4. Выполнить расчет ориентирно-соединительной съемки через две вертикальные горные выработки с использованием гирокомпаса, если дано:

Схема 7 (см. рис. 2.5):

$$X_{I} = 640723{,}255 \text{ м},\ Y_{I} = 6125312{,}051 \text{ м};$$

$$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55'' + N^{o} + N' + N'',\ \alpha^{Г}_{5\text{-}C} = 247°56'45'' + N^{o} + N' + N''.$$

Схема 8 (см. рис. 2.6)

$$X_{VI} = 640710{,}100 \text{ м},\ Y_{VI} = 6125350{,}040 \text{ м};$$

$$\alpha_{VI\text{-}X} = 65°30'30'' + N^{o} + N' + N'',\ \alpha^{Г}_{7\text{-}C1} = 257°24'26'' + N^{o} + N' + N'',$$

где N – номер варианта, град, мин, сек.

Результаты полевых измерений см. в табл. 2.7, 2.9, схема 7; табл. 2.8, 2.10, схема 8, или самостоятельное выполнение полевых работ на учебном полигоне.

3. ПОДЗЕМНАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА

3.1. Общие положения

Вертикальная съемка подземных горных выработок – это комплекс измерений и вычислений, производимых для определения превышений между отдельными пунктами. По высотным отметкам исходных пунктов и превышениям между точками вычисляют высотные отметки (координата Z) различных объектов съемки.

В подземных горных выработках определяют координаты Z пунктов опорной, съемочной сетей и отдельных точек при решении инженерных задач. Вертикальная съемка в шахте проводится для следующих основных целей: определение координат Z пунктов, заложенных в горных выработках; контроль уклонов основных откаточных выработок; задание направления и контроль проходки выработок в вертикальной плоскости; исследования и изображения формы залегания полезных ископаемых [3].

Определение высотных отметок в подземных горных выработках необходимо для пространственной увязки горных выработок между собой и с земной поверхностью в вертикальной плоскости.

Вертикальная съемка включает: геометрическое нивелирование на земной поверхности от пунктов государственной сети (не ниже IV класса точности) до устья ствола шахты, передачу высотной отметки в шахту, геометрическое или тригонометрическое нивелирование в горных выработках.

В зависимости от схемы вскрытия месторождения передача высотной отметки в шахту выполняется: через наклонный ствол или штольню; через вертикальную выработку (ствол, шурф, восстающий). Передача высотной отметки через наклонный ствол или штольню – это общеизвестные методы геометрического или тригонометрического нивелирования из курса геодезии и в данном учебном пособии не рассматриваются.

Передача высоты (координаты Z) выполняется дважды. Разности координат, полученных двумя независимыми способами, не должны превышать:

- при передаче через вертикальный ствол

$$\Delta Z \leq 0{,}0003\ H \text{ мм},$$

где H – глубина вертикальной выработки, м;
- при передаче по горизонтальной выработке, мм:

$$\Delta Z \le 50\sqrt{L};$$

- при передаче по наклонной выработке, мм:

$$\Delta Z \le 100\sqrt{L},$$

где L – длина нивелирного хода, км.

При допустимых расхождениях за окончательный результат принимается среднеарифметическое значение из двух.

3.2. Передача высотной отметки через вертикальные горные выработки

Передача высотной отметки через вертикальные выработки производится тремя способами: длинномером (глубиномером) ДА-2, длинной лентой (рулеткой), светодальномером (лазерной рулеткой).

Задача 1. Передача высотной отметки длинномером ДА-2

Длинномер (глубиномер) маркшейдерский, предназначен для измерения глубины вертикальных горных выработок.

В приборе стальная проволока диаметром 0,8 мм с барабана лебедки через направляющий ролик проходит по окружности мерного диска (угол обхвата более 180°) и под действием закрепленного на конце груза (груз-рейка и контрольная рейка) опускается в вертикальную горную выработку. Опускание груза контролируется вращением мерного диска, число оборотов которого (целое число и доли) определяется отсчетами по счетчику оборотов. Глубина опускания груза (конца проволоки):

$$\Delta H = \mu(N_{\text{П}} - N_{\text{Ш}}),$$

где μ – цена деления счетчика оборотов; $N_{\text{П}}$, $N_{\text{Ш}}$ – отсчеты по счетчику оборотов мерного диска до и после опускания груза.

Методика выполнения. На земной поверхности (верхний горизонт) (рис. 3.1) устанавливается длиномер ДА-2. На уровне визирного

луча нивелира, установленного на верхнем горизонте между ДА-2 и репером $R_п$, подвешивается груз-рейка. На репер $R_п$, высотная отметка которого известна, устанавливается нивелирная рейка. Берутся отсчеты: по груз-рейке ($n_п$), нивелирной рейке ($a_п$) и по счетчику мерного диска ДА-2 ($N_п$), мм.

Далее груз-рейку опускают вниз примерно на 0,5 м и на уровне визирного луча нивелира закрепляют контрольную рейку. Берутся отсчеты: по контрольной рейке ($n'_п$), нивелирной рейке ($a'_п$) и по счетчику мерного диска ДА-2 ($N'_п$), мм.

После этого груз-рейка и контрольная рейка опускаются до уровня визирного луча нивелира, установленного на нижнем горизонте. На репер ($R_ш$), высотную отметку которого требуется определить на нижнем горизонте, устанавливает нивелирную рейку. Берут отсчеты поочередно по груз-рейке ($n_ш$), нивелирной рейке ($a_ш$) и по счетчику мерного диска ДА-2 ($N_ш$), мм, по контрольной рейке ($n'_ш$), нивелирной рейке ($a'_ш$) и по счетчику мерного диска ДА-2 ($N'_ш$), мм.

Второй прием передачи высотной отметки проводится при подъеме груз-рейки и контрольной рейки в обратном направлении снизу вверх, если разница глубины при опускании, полученная между груз-рейкой и контрольной рейкой, превышает допустимую $\Delta Z_{доп} \leq 0{,}0003\,H$, мм, где H – глубина, м. Перед выполнением второго приема предварительно изменяют положение контрольной рейки по высоте или устанавливают другой горизонт нивелира с целью получения нового отсчета.

Отсчеты по груз-рейке, контрольной рейке и нивелирной рейке берутся с точностью до миллиметра.

Результаты измерений записывают в полевой журнал (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Полевой журнал для записей измерений длиномерами ДА-2

Наименование операций	Отсчеты, мм						$t_п$, град	$t_ш$, град
	$N_п$	$n_п$	$a_п$	$N_ш$	$n_ш$	$a_ш$		
Спуск груз-рейка	12000	220	1150	512000	370	1500	25	10
контр. рейка	12500	210	1150	512500	365	1500	$t_{ср}$=17,5	
Подъем груз-рейка контр. рейка								

Примечание: $N_п$, $N_ш$ – отсчеты по мерному диску при нахождении груз-рейки и контрольной рейки на верхнем (поверхность) и на нижнем (шахты) горизонтах соответственно;
$n_п$, $n_ш$ – отсчеты по груз-рейке и контрольной рейке на верхнем (поверхность) и на нижнем (шахта) горизонтах соответственно;
$a_п$, $a_ш$ – отсчеты по нивелирной рейке на верхнем (поверхность) и на нижнем (шахта) горизонтах соответственно.

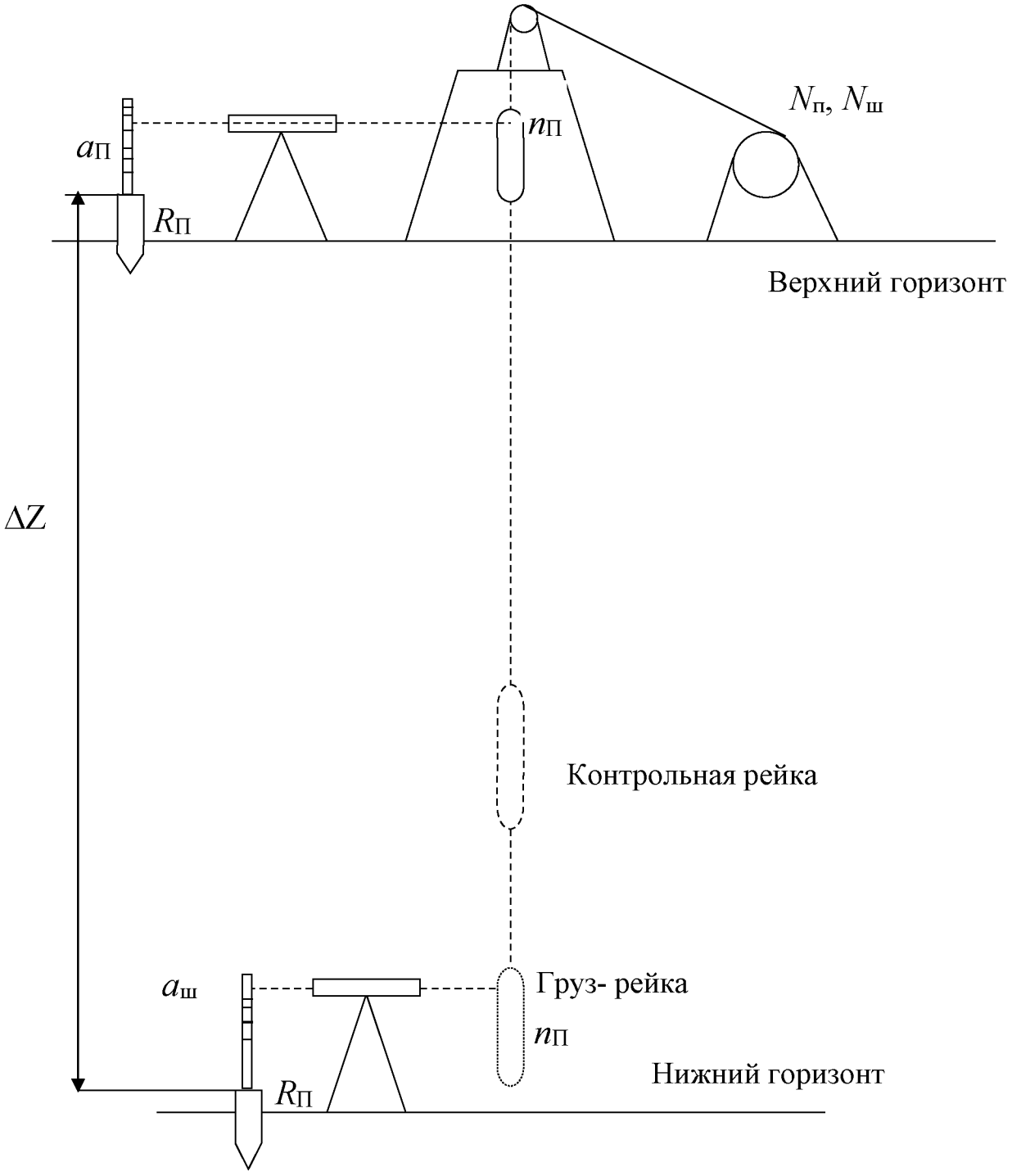


Рис. 3.1. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длиномером (глубомером) ДА-2

Камеральная обработка результатов измерений

Превышение ΔZ определяется в каждом полуприеме раздельно для груз-рейки и контрольной рейки по формуле:

$$\Delta Z = (N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}) + (a_{\text{п}} - a_{\text{ш}}) + (n_{\text{ш}} - n_{\text{п}}).$$

Груз-рейка:

ΔZ_1=(12000–512000)+(1150–1500)+(220–370) = -499500 мм = -499,500 м.

Контрольная рейка:

ΔZ_2=(12500–512500)+(1150–1500)+(220–370) = -499495 мм = -499,495 м.

Контроль: $\Delta Z=\Delta Z_1-\Delta Z_2$ = 499,500 – 499,495 = 0,005 м

$\Delta Z_{\text{доп}}$ = 0,0003 H = 0,0003·500 = 150 мм

$\Delta Z_{\text{ср}}$ = ($\Delta Z_1+\Delta Z_2$)/2= -499,498 м

В вычисленное превышение вводят поправки:

1) за диаметр проволоки, мм,

$$\Delta L_d = 0{,}001\pi d(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}),$$

где d – диаметр проволоки, мм (0,8 мм); $N_{\text{п}}$, $N_{\text{ш}}$ – отсчеты по мерному диску ДА-2, м; $\pi = 3{,}1416$,

$$\Delta L_d = 0{,}001 \cdot 3{,}14 \cdot 500 = +1{,}57 \text{мм};$$

2) за разность температуры проволоки в вертикальной выработке и на земной поверхности:

$$\Delta L_t = \alpha(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}})(t_{\text{ср}} - t_{\text{п}}); \quad t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{ш}}}{2},$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлена проволока (для стали α = 0,0000115); $t_{\text{п}}, t_{\text{ш}}$ – температура воздуха на земной поверхности и на ориентируемый горизонт, соответственно, град;

$$\Delta L_t = 0{,}0000115 \cdot 500 \cdot (17{,}5 - 25) = -0{,}043 \text{ мм};$$

3) за разность температуры мерного диска при измерении и компарировании

$$\Delta L_{Д} = \alpha_{Д}\left(N_{П} - N_{Ш}\right)\left(t_{n} - t_{0}\right),$$

где $\alpha_д$ – коэффициент линейного расширения металла мерного диска $\alpha_д$ = 0,000011; t_n, t_0 – температура мерного диска при измерении и компарировании, соответственно ($t = 25°$, $t_0 = 20°$),

$$\Delta L_{Д} = 0{,}000011\left(12000 - 512000\right)\left(20 - 25\right) = -0{,}028 \text{ мм};$$

4) за компарирование мерного диска

$$\Delta L_{К} = \left(N_{П} - N_{Ш}\right)\left(l - 1\right),$$

где l – длина окружности мерного диска по паспорту завода (l = 996,8996 мм),

$$\Delta L_{К} = 500 \cdot (0{,}9968996 - 1) = -1{,}5 \text{ мм}.$$

Исправленное превышение $\Delta Z_{И}$ вычисляется для каждого полуприема, т. е. по груз-рейке и контрольной рейке по формуле:

$$\Delta Z_{И} = \Delta Z + \Delta L_{d} + \Delta L_{t} + \Delta L_{Д} + \Delta L_{К}.$$

Груз-рейка:

$$\Delta Z_{И1} = 499500 + 1{,}57 - 0{,}043 - 0{,}028 - 1{,}5 = 499500 \text{ мм}.$$

Контрольная рейка:

$$\Delta Z_{И2} = 499495 + 1{,}57 - 0{,}043 - 0{,}028 - 1{,}5 = 499495 \text{ мм}.$$

Расхождение между превышениями, определенными по груз-рейке ($\Delta Z_{И1}$) и контрольной рейке ($\Delta Z_{И2}$):

$$\delta Z_{И} = \Delta Z_{И_1} - \Delta Z_{И_2} = 499500 - 499495 = 5 \text{ мм}.$$

Окончательный контроль:

$$\delta Z_{\text{И}} = \Delta Z_{\text{И}_1} - \Delta Z_{\text{И}_2} = 5\text{мм} < \Delta Z_{\text{доп}} = 0{,}0003 \cdot H = 150 \text{ мм},$$

где H – глубина вертикальной выработки ($H = N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}$), м.

Среднее арифметическое значение $\Delta Z_{\text{ср}}$:

$$\Delta Z_{\text{ср}} = \frac{\Delta Z_{И_1} + \Delta Z_{И_2}}{2} = \frac{499{,}500 + 499{,}495}{2} = 499{,}498 \text{ м}.$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте:

$$Z_{\text{ш}} = Z_{\text{п}} + \Delta Z_{\text{ср}} = 210{,}000 + (-499{,}498) = -289{,}498 \text{ м},$$

где $Z_{\text{ш}}$, $Z_{\text{п}}$ – высотная отметка реперов соответственно на ориентируемом горизонте и на земной поверхности ($Z_{\text{п}} = 210{,}000$ м).

Задача 2. Передача высотной отметки длинной лентой (рулеткой)

Длинная лента – это лебедка, на барабан которой (диаметром 30 мм) намотана лента. Длина ленты может быть от 100 до 500 м. При передаче высотной отметки на глубину до 100 м используется металлическая компарированная рулетка.

В учебном пособии приведен пример выполнения данных работ на учебном полигоне. Суть примера состоит в передаче высотной отметки с верхнего горизонта (земная поверхность) на нижний горизонт (шахта).

Приборы и оборудование: длинная лента (рулетка), металлическая линейка с миллиметровыми делениями длиной 50 мм, нивелир, нивелирная рейка.

Методика выполнения: на земной поверхности (верхний горизонт) (рис. 3.2) устанавливается лебедка с лентой.

В производственных условиях на конце ленты подвешивается временный груз не более 3 кг и лента опускается на ориентируемый горизонт, где на ее конце подвешивается постоянный груз Q по массе, равной грузу, при котором производится компарирование ленты Q_0. На учебном полигоне лента опускается ниже уровня визирного луча нивелира и на конце ее подвешивается постоянный груз.

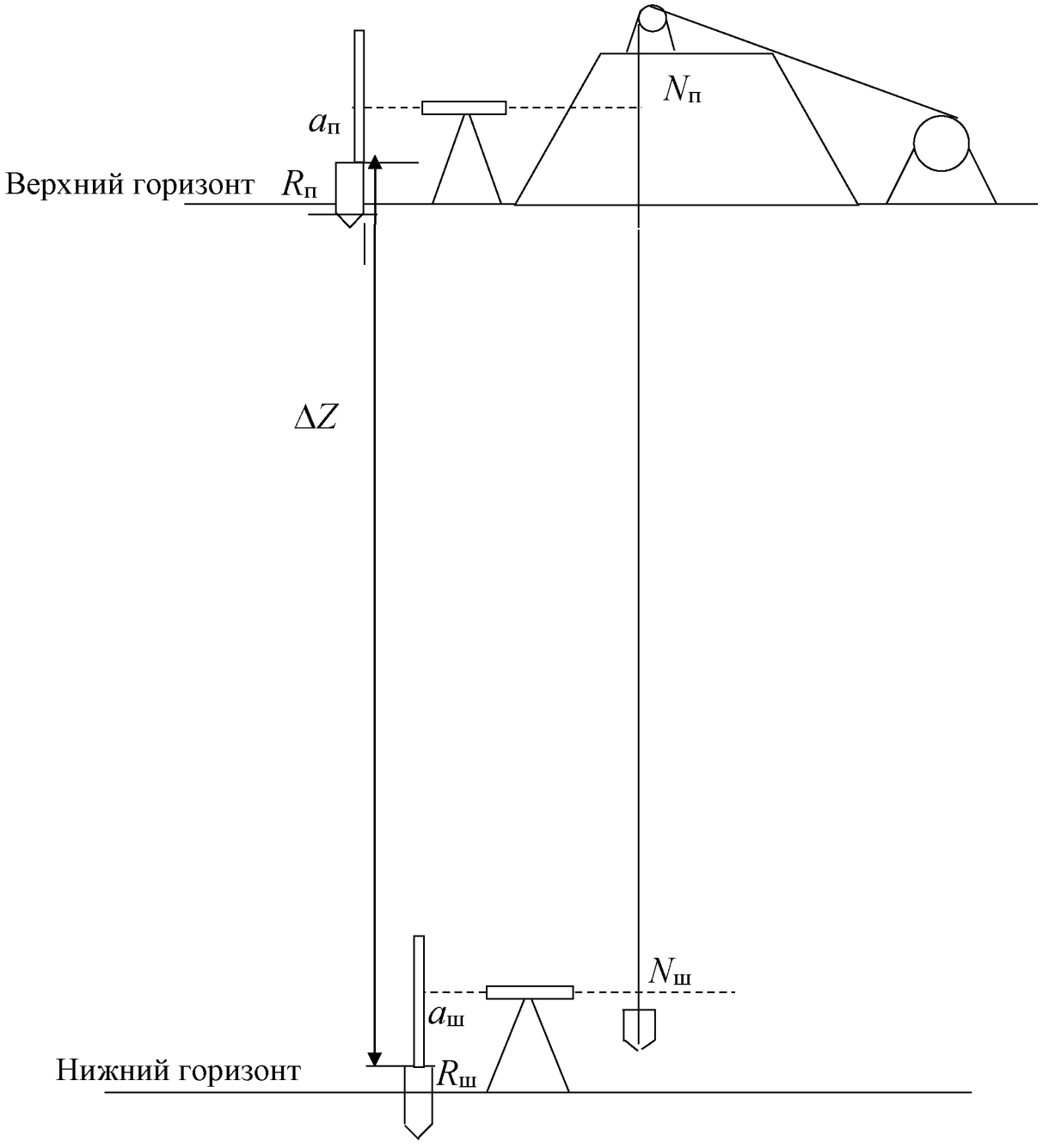


Рис.3.2. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длинной лентой (рулеткой)

На земной поверхности (верхний горизонт) и на ориентируемом горизонте (нижний горизонт) устанавливаются нивелиры, так, чтобы через трубу нивелира были видны лента и нивелирная рейка, установленная на репере $R_{\text{п}}$, высотная отметка которого известна, и $R_{\text{ш}}$, высотную отметку которого нужно определить (см. рис. 3.2).

При измерениях по визирной оси нивелира берут отсчеты с точностью до миллиметра: по ленте, используя металлическую линейку, на земной поверхности (верхний горизонт) $N_{\text{п}}$ и на ориентируемом горизонте (нижний горизонт) $N_{\text{ш}}$; по нивелирным рейкам, установленным на реперах, соответственно на земной поверхности (верхний горизонт) $a_{\text{п}}$, на ориентируемом горизонте $a_{\text{ш}}$. Измеряется температура воздуха на земной поверхности (верхний горизонт) $t_{\text{п}}$ и на ориентируемом горизонте $t_{\text{ш}}$.

Передача высотной отметки выполняется дважды. При втором измерении меняется или высота инструментов (нивелиров) или положение ленты. Во втором случае лента должна быть приподнята или опущена на 10 - 20 см.

Запись результатов измерений производится в полевой журнал (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Полевой журнал для записей длинной лентой (рулеткой)

Положение ленты	Отсчеты, мм				Температура, град	
	$N_{\text{п}}$	$N_{\text{ш}}$	$a_{\text{п}}$	$a_{\text{ш}}$		
1	1300	501305	1150	1500	$t_{\text{п}}$	25
					$t_{\text{ш}}$	10
2	1310	501315	1150	1500		$t_{\text{ср}}$=17,5

Камеральная обработка

Превышение ΔZ при каждом положении ленты определяется по формуле:

$$\Delta Z = (N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}) + (a_{\text{п}} - a_{\text{ш}}).$$

Первое положение $\Delta Z_1 = (1300 - 501305) + (1150 - 1500) = -500355$ мм.

Второе положение $\Delta Z_2 = (1300 - 501310) + (1150 - 1500) = -500350$ мм.

В вычисленное превышение вводят поправки, м:

1) поправка за растяжение ленты от собственного веса

$$\Delta L_1 = \frac{L^2 \cdot \gamma \cdot q}{2E},$$

где $L = (N_n - N_ш)$ – длина ленты на измеренном участке: γ – плотность металла ленты (7874 кг/м^3); $q = 9{,}81$ м/с^2; E – модуль упругости стали, $E = 2{,}5 \cdot 10^{11}$ Па, $E = 2 \cdot 10^6$ кг/см^2;

2) поправка за температуру

$$\Delta L_t = \alpha L(t_{ср} - t_0),$$

где α – коэффициент линейного расширения металла (для стали α=0,0000115), температура воздуха, соответственно, $t_{ср}$ – средняя (верхний и нижний этаж); t_0 – при компарировании ленты;

3) поправка за компарирование $\Delta L_к$;

4) поправка за расстояние ленты от груза Q:

$$\Delta L_2 = \frac{L(Q - Q_O) \cdot q}{ES}.$$

Исправленное превышение $\Delta Z_и$ вычисляется для каждого положения ленты

$$\Delta Z_и = \Delta Z + \Delta L_1 + \Delta L_t + \Delta L_к + \Delta L_2.$$

В вычисления, выполненные на учебном полигоне, поправки не вводятся.

Расхождение между превышениями, определенными при первом положении ленты ΔZ_1 и втором ΔZ_2, не должно превышать, м:

$$\Delta Z = \Delta Z_1 - \Delta Z_2 \le 0{,}0003 \cdot H,$$

где H – глубина вертикальной выработки ($H = N_П - N_Ш$) м.

Из двух положений ленты определяется среднее:

$$\Delta Z_{ср} = \frac{\Delta Z_1 + \Delta Z_2}{2} = \frac{500355 + 500350}{2} = 500352 \text{ мм}.$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте

$$\Delta Z_{Ш} = Z_{П} + \Delta Z_{ср} = 210{,}850 + (-500{,}352) = -289{,}502 \text{ м},$$

где $Z_{П}$ – высотная отметка репера на земной поверхности, $Z_{П} = 210{,}850$ м.

Задача 3. Передача высотной отметки светодальномером (лазерной рулеткой)

Приборы и оборудование: светодальномер (лазерная рулетка), нивелир, нивелирная рейка, барометр, термометр.

Методика выполнения: на земной поверхности (верхний горизонт) (рис. 3.3) устанавливается светодальномер (лазерная рулетка) на ориентируемом горизонте (нижний горизонт) – отражатель.

С помощью нивелира берут отсчеты: на верхнем горизонте по рейке, установленной на репере $R_{п}$ с известной высотной отметкой – отсчет $a_{п}$ и по рейке, установленной на светодальномере – отсчет $b_{п}$; на нижнем горизонте – отсчет по рейке $a_{ш}$, установленной на репере $R_{ш}$, высотную отметку которого требуется определить и по рейке, установленной на отражателе $b_{ш}$. Светодальномером измеряют расстояние L.

Измерения повторяют не менее двух приемов, изменив высоту нивелира или светодальномера и отражателя.

Запись результатов измерений ведут в полевом журнале (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Полевой журнал для записей измерений светодальномером (лазерной рулеткой)

Номера измерений (приемов)	Отсчеты, мм					Температура, t, град	Атмосферное давление, P	Примечания
	L	$b_{п}$	$a_{п}$	$b_{ш}$	$a_{ш}$			
1	500000	1600	1500	1300	1600	20	760	
2	500000	1500	1400	1400	1500			

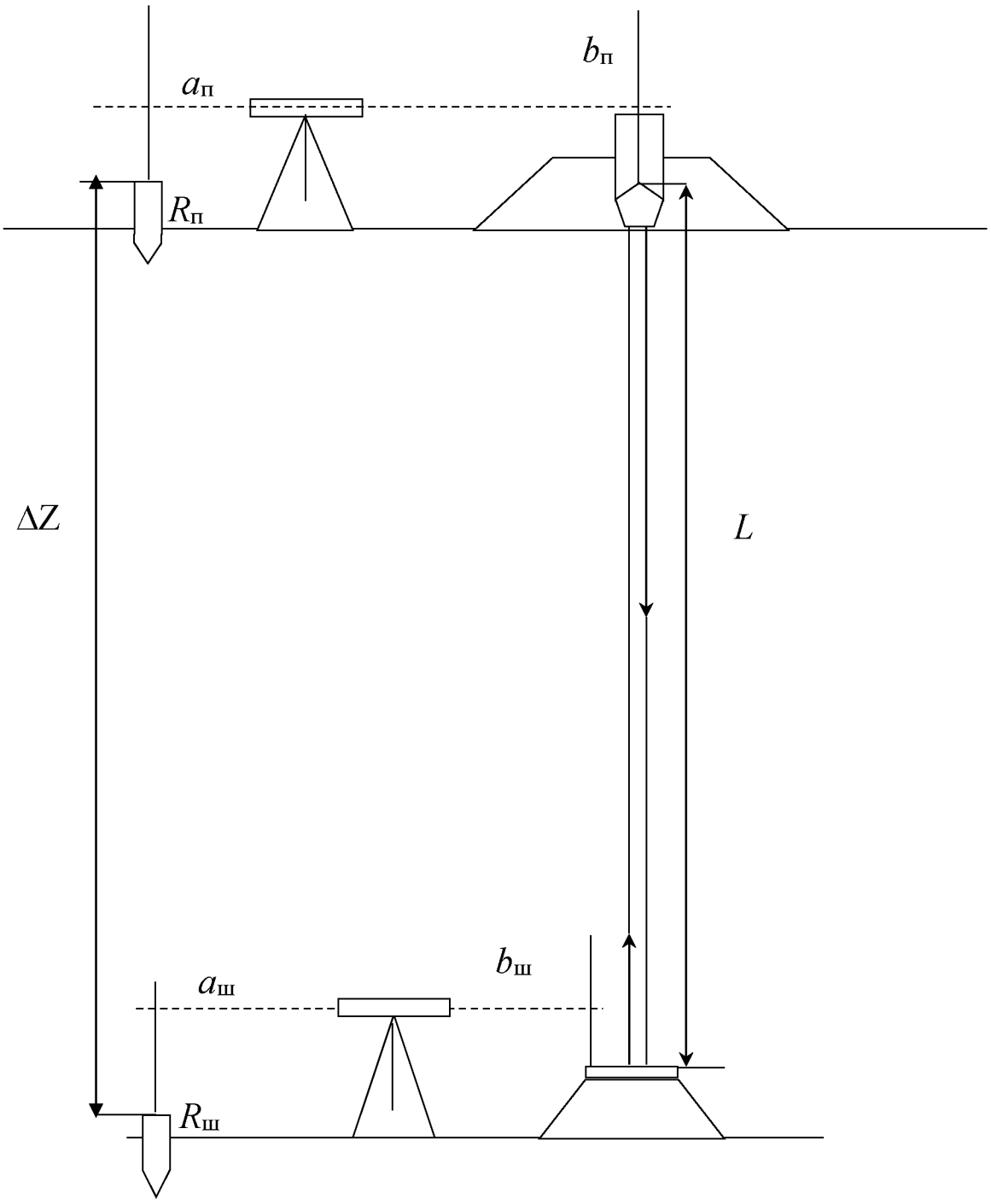


Рис. 3.3. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку светодальномером (лазерной рулеткой)

Камеральная обработка

Превышение ΔZ при каждом приеме определяется по формуле:

$$\Delta Z = L - (a_{\text{п}} - b_{\text{п}}) + (a_{\text{ш}} - b_{\text{ш}}).$$

Первый прием $\Delta Z_1 = 499900 - (1500 - 1600) + (1500 - 1300) = -499800$ мм.
Второй прием $\Delta Z_2 = 499900 - (1400 - 1500) + (1600 - 1400) = -499800$ мм.

В вычисленные превышения вводятся поправки:
- поправка за температуру воздуха ΔL_t;
- поправка за атмосферное давление ΔL_p;
- постоянная поправка светодальномера ΔL_c.

Исправленное превышение $\Delta Z_{\text{и}}$ вычисляется для каждого приема:

$$\Delta Z_{\text{и}} = \Delta Z + \Delta L_t + \Delta L_p + \Delta L_{\text{с}}.$$

Расхождение между превышениями, определенными в каждом приеме, не должно превышать величины

$$\delta Z = \Delta Z_{\text{И1}} - \Delta L_{\text{И2}} \le 0{,}0003H,$$

где H – глубина вертикальной выработки, м.

Окончательно принимается среднеарифметическое значение

$$\Delta Z_{\text{ср}} = \frac{(\Delta Z_{\text{И1}} + \Delta Z_{\text{И2}})}{2} = 499{,}800 \text{ м}.$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте равна

$$Z_{\text{Ш}} = Z_{\text{П}} + \Delta Z_{\text{ср}} = 210{,}300 + (-499{,}800) = -289{,}500 \text{ м},$$

где $Z_{\text{П}}$ – высотная отметка репера на верхнем горизонте, $Z_{\text{П}}$=210,300 м.

Благодаря прогрессу электроники и микропроцессорной техники в самом конце XX века появился новый класс компактных и лег-

ких приборов для точного измерения расстояний до нескольких десятков и даже сотен метров – ручные лазерные безотражательные светодальномеры (РЛБС). За малые габариты и вес, высокую точность измерений и функциональность они получили название лазерных рулеток и в последние 15 лет сменились уже три поколения этих приборов.

В настоящее время в России при маркшейдерско-геодезических работах используется множество различных РЛБС, в основном 3-го и 4-го поколений, различных типов и модификаций от многочисленных зарубежных производителей. Все они, за исключением бытовых РЛБС, включены в Единый государственный реестр средств измерений и их применение разрешено на территории России.

С целью выбора оптимального типа лазерной рулетки для передачи координаты Z в шахту по вышеприведенной схеме (см. рис. 3.3) с учетом функциональных и метрологических характеристик рекомендуются рулетки фирм *Leica* и *BOSH*, диапозон измерений расстояний которых до 100 м, погрешность измерения 1-1,5 мм.

Передача высотной отметки через вертикальные горные выработки с помощью проекциометров

В маркшейдерской практике используются несколько моделей проекциометров. Основное назначение маркшейдерского проекциометра – выполнение соединительных съемок через глубокие шахтные стволы. Проекциометр предназначен для передачи плановых координат X, Y и абсолютной высоты, координаты Z через вертикальные горные выработки.

Кроме того, он может быть использован для определения вертикальных направлений при контроле вертикальности возведений высотных сооружений.

В учебном пособии в качестве ознакомительного курса приводится техническая характеристика нескольких моделей проекциометров (табл. 3.4).

Проекциометр состоит из следующих основных частей: микрометрического уровня; лебедки с тросом диаметром 1-1,3 мм; штатива с основанием; груз-рейки; направляющих блоков.

Таблица 3.4

Технические характеристики моделей проекциометров

Техническая характеристика	ПМ11	ПМ4	ПМ100	ПМ10
Глубина измерения H, м	2000	1000	210	2000
Погрешность измерения глубины	0,0001H	0,0001H	0,00013H	0,001H
Погрешность отклонения от вертикали	0,0012H	0,0012H	0,017H	0,002H
Погрешность проектирования координат X, Y	0,0001H	0,0001H	0,0001H	0,00005H
Температура окружающего воздуха	-25…+35 °С	-25…+40 °С	-25…+35 °С	-15…+40 °С

Принципиальная схема передачи координаты Z через вертикальную горную выработку проекциометром аналогична схеме передачи глубиномером ДА-2.

Задачи для самостоятельных упражнений по разделу 3

Задача 1. Выполнить расчет превышения ΔZ и координаты $Z_ш$ при передаче высотной отметки через вертикальную горную выработку длинномером ДА-2 (см. рис. 3.1), если дано:
отсчеты при груз-рейке $N'_п$=12000 мм +N, м; $N_ш$=512000+N, м;
отсчеты при контрольной рейке $N'_п$=12500 мм +N, м; $N_ш$ = 512000 мм +N, м; отметка репера $R_п$=$Z_п$=210,000 м + N, м,
где N – номер варианта в метрах.

Задача 2. Выполнить расчет превышения ΔZ и координаты $Z_ш$ при передаче высотной отметки через вертикальную горную выработку длинной лентой (см. рис. 3.2), если дано:
отсчеты при первом положении ленты $N_п$=1300 мм +N, м;
отсчеты при втором положении ленты $N_п$=1310 мм +N, м;
отсчеты по нивелирной рейке на земной поверхности
$a_п$ = 1150 мм + N мм;
отсчеты по нивелирной рейке в шахте $a_ш$ = 1500 мм + N мм;
отметка репера $R_п$ – $Z_п$=210,850 м + N, м,
где N – номер варианта.

Задача 3. Выполнить расчет превышения ΔZ и координаты $Z_ш$ при передачи высотной отметки через вертикальную горную выработку светодальномером (см. рис 3.3), если даны отсчеты (см. табл. 3.3) и высотная отметка репера на верхнем горизонте $Z_п$=210,300 м + N, м, где N – номер варианта.

Список литературы

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ, серия 07. Нормативные документы по вопросам охраны недр геолого-маркшейдерского контроля. Выпуск 15. Охрана недр и геолого-маркшейдерского контроля. М., 2003. 118 с.

2. Терминологический словарь по маркшейдерскому делу. М.: Недра, 1987. 191 с.

3. Маркшейдерское дело/ Д. Н. Оглоблин и др. М.: Недра, 1981. 704 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Земских Г.В., Шевелёв А.А.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебно-методическое пособие

к курсовой работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по лабораторным работам предназначены для студентов первого и второго курсов маркшейдерской специальности, изучающих курс "Маркшейдерия". Лабораторные работы проводятся с целью закрепить знания студентов в области теории, методики и камеральной обработки основных видов маркшейдерских работ, проводимых в шахте. Изучение курса завершается учебной практикой на действующем горном предприятии после окончания второго курса. В порядке подготовки к учебной практике с целью закрепления теоретических знаний и отработки практических навыков в программе лабораторных занятий предусмотрено выполнение комплекса полевых и камеральных работ основных видов маркшейдерских съемок при подземной разработке. Лабораторные работы проводятся в учебном здании университета на специальном учебном полигоне бригадами в составе 6 - 7 человек с обязательным прохождением каждым студентом всех видов работ (наблюдателем, журналистом, вспомогательным рабочим). Вычислительные работы и отчет по лабораторным работам выполняется каждым студентом индивидуально.

В комплект отчетной документации по лабораторным работам входят:

а) полевые ведомости с записью результатов измерений (бригадные);

б) расчеты, выполненные по прилагаемым формам (индивидуальные);

в) чертежи, схемы, выполненные на бумаге формата А4 (индивидуальные).

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Маркшейдерия» и учитывают изменения, произошедшие в изложении курса.

1. ПОДЗЕМНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЪЕМКИ

1.1. Общие сведения

Подземная маркшейдерская съемка – это комплекс пространственно-геометрических измерений и вычислений,

проводимых с целью [1, 2]:

- графическое изображение на планах и разрезах контуров залегания полезного ископаемого, горных выработок, инженерных сооружений в единой с земной поверхностью системе координат;

- решение горно-геометрических задач, возникающих на всех стадиях освоения месторождения (разведки, строительства и эксплуатации горного предприятия).

Подземные маркшейдерские съемки разделяются:

- подземная теодолитная съемка для построения главной геометрической основы горизонтальных съемок (опорные и съемочные сети);

- ориентирно-соединительная съемка для установления геометрической связи подземных съемок со съемками на земной поверхности. Данная съемка позволяет совмещать планы горных выработок с планами земной поверхности;

- съемка нарезных и очистных горных выработок, проводимая упрощенными способами с целью определения границ горных работ и объемов добытой горной массы;

- подземная вертикальная съемка для определения относительного расположения по высоте горных выработок и земной поверхности. Эта съемка включает: передачу высотной отметки с земной поверхности в шахту; геометрическое нивелирование в горизонтальных и тригонометрическое нивелирование в наклонных горных выработках.

Все виды, указанных выше подземных маркшейдерских съемок, выполняются в соответствии с требованиями инструкции по производству маркшейдерских работ, в основе которых предусмотрены *три основные принципа*:

- съемка должна вестись от общего к частному, т. е. от более точного (опорные сети) к менее точному (съемка подробностей);

- съемка должна выполняться с необходимой и достаточной точностью, обусловленной требованиями производства (технологией добычи). Недостаточная точность может привести к браку горных работ, а в некоторых случаях может явиться причиной несчастного случая. Излишняя точность требует ненужных, непроизводительных затрат труда маркшейдера;

- все измерения и вычисления, выполняемые в каждом из видов съемок, должны выполняться с обязательным объективным контролем. Наличие контроля обеспечивает необходимую точность

результатов съемки и исключает возможность появления грубых ошибок в измерениях и вычислениях.

1.2. Основные понятия ориентирования и единиц мер измерения

При выполнении топографо-геодезических, картографических и маркшейдерских работ используется система геодезических и система плоских координат Гаусса-Крюгера 1942 г. – это дата определения размеров эллипсоида Красовского. Вычисление подземных маркшейдерских съемок проводится в плоских прямоугольных координатах в конформной (равноугольной) проекции. Сущность данной системы заключается в том, что поверхность эллипсоида делится с запада, от Гринвичского меридиана, на восток на шестиградусные зоны. При этом осевой меридиан и экватор изображаются двумя взаимно перпендикулярными линиями (рис. 1).

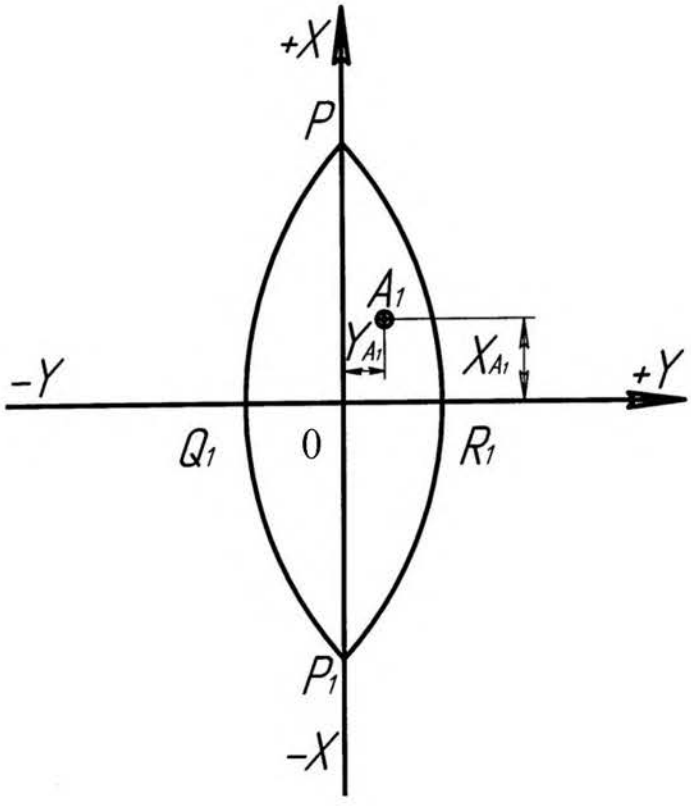


Рис. 1. Плоские прямоугольные координаты Гаусса точки A_1 земного эллипсоида

Осевой меридиан на плоскости – прямая POP_1, перпендикуляр к нему - линия экватора Q_1R_1, начало координат точка пересечения О.

Некоторая точка A на земном эллипсоиде с геодезическими координатами (широта и долгота) изображается на плане точкой A_1 с плоскими прямоугольными координатами $X_{A_1} Y_{A_1}$.

Между геодезическими координатами и плоскими существует определенная математическая зависимость, позволяющая осуществлять пересчет из одной системы в другую. Имея исходные прямоугольные плоские координаты и проектируя измеренные длины на плоскость, дальнейшее вычисление координат определяемых точек ведется по формулам аналитической геометрии. Плановое положение пункта подземной теодолитной съемки определяется тремя величинами: долготой осевого меридиана, в которой находится точка; абсциссой – расстоянием от точки до экватора; ординатой – расстоянием от точки до осевого меридиана. На территории нашей страны, находящейся в северном полушарии, абсциссы точек только положительны, ординаты могут быть как положительны, так и отрицательны. Например, $X_{A_1} = 5057$ км и $Y_{A_1} = 3575$ км, т. е. точка A_1 находится на расстоянии 5057 км к северу от экватора, в 3-й зоне на расстоянии 575 км к востоку от осевого меридиана.

На горных предприятиях существует также так называемая условная система координат, которая имеет определенную связь с системой координат 1942 г.

Разности координат двух точек называют *приращением координат* (ΔX и $\Delta У$). В зависимости от значений координат точек приращения могут иметь знак (+) или (-).

При расчетах в системе прямоугольных координат важное значение имеет умение решать прямую и обратную геодезические задачи. Прямая геодезическая задача заключается в определении координат искомой точки B относительно исходной точки A по горизонтальной проекции линии d_{AB} и дирекционному углу этой линии α_{AB} по известным формулам:

$$X_B = X_A + d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} = X_A + \Delta X_{AB};$$

$$Y_B = Y_A + d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} = Y_A + \Delta Y_{AB}.$$

Обратная геодезическая задача заключается в определении дирекционного угла α_{AB} линии АВ и горизонтальной проекции длины линии по известным координатам точек этой линии

X_A, Y_A, X_B, Y_B:

$$r_{AB} = \text{arctg}\left(\frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}\right) = \text{arctg}\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right);$$

$$d_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin r_{AB}} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos r_{AB}} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2},$$

где r_{AB} – табличный угол (румб), по которому определяется значение дирекционного угла.

При вычислении дирекционного угла α_{AB} необходимо учитывать знаки приращений координат (+) или (-), следуя правилу:

ΔX	ΔY	α, град.		
		от	до	
+	+	0	90	$\alpha_{AB} = r_{AB}$
-	+	90	180	$\alpha_{AB} = 180° - r_{AB}$
-	-	180	270	$\alpha_{AB} = 180° + r_{AB}$
+	-	270	360	$\alpha_{AB} = 360° - r_{AB}$

Расположение точек по вертикали называется высотой точек (высотная отметка, координата Z). В нашей стране высоты точек отсчитываются от уровня Балтийского моря - нуля Кронштатского футштока (Балтийская система высот $Z_0 = 0$). Выше исходного уровня высоты точек со знаком (+), ниже исходного уровня – со знаком (-). Разница между высотами двух точек называется превышением (h). В зависимости от взаиморасположения точек превышения имеют знак (+) или (-) и определяются по формуле: $h = Z_A - Z_B$, где Z_A è Z_B - высоты точек A и B.

Если известны значения координат двух точек, например X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, по их значениям могут быть определены:

1) длина линии (l);

$$l = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2},$$

2) горизонтальное проложение линии (d) – проекция на горизонтальную плоскость длины линии (l);

$$d = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} = l \cdot \cos\delta,$$

3) угол наклона линии (δ) – угол между направлением линии (l) и ее горизонтальным проложением;

$$\delta = \text{arctg}\left(\frac{Z_B - Z_A}{d}\right);$$

при известных значениях превышения h и длины l

$$d = \sqrt{l^2 - h^2}; \quad \delta = \arcsin\left(\frac{h}{l}\right);$$

тангенс угла наклона линии, уклон линии (i)

$$i = \text{tg}\delta = \frac{h}{d}.$$

Ориентирование линий в маркшейдерской съемке осуществляется по дирекционному углу и румбу. *Дирекционным углом* α называется горизонтальный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления осевого меридиана или линии параллельной ему до направления ориентируемой линии. Дирекционные углы могут иметь значения от 0 до 360°. Дирекционные углы двух смежных линий взаимосвязаны между собой

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \beta_л - 180^\circ = \alpha_i - \beta_п + 180^\circ,$$

где α_{i+1}, α_i - дирекционные углы соответственно предыдущей и последующих линий; $\beta_л$ и $\beta_п$ - горизонтальные углы между смежными линиями соответственно левый и правый по направлению хода.

Румбы имеют значения от 0 до 90^0, образованные ближайшими северным или южным концом осевого меридиана и направлением ориентируемой линии. Угловая величина румба называется *табличным углом.*

При выполнении маркшейдерских съемок измеряют в

основном линейные и угловые величины.

Длины линий выражают в метровой мере за единицу длины, в которой считается 1 метр (м), длина которого с 1960 г. принята равной 1650763,73 длины излучения спектра атома криптона – 86 в вакууме:

1 м = 100 см, 1 см = 10 мм, 1000 м = 1 км.

Углы выражаются в градусной, радиальной и децимальной мерах. В градусной мере единицей угла принят 1 градус, равный 1/90 части прямого угла.

1° = 60' (минут) = 360" (секунд); 1' = 60" (секунд).

В радиальной мере единицей угла принято считать 1 радиан, равный соотношению длины дуги в один радиус к величине соответствующего радиуса:

1 рад = 1 при $\alpha = 57°17'45''$, т. е.

$\alpha^r = \alpha^0/57{,}3° = \alpha'/3138'' = \alpha''/206265''$.

Для малых углов, близких 0°, $\alpha^r = \sin\alpha^0 = \operatorname{tg}\alpha^0$.

В децимальной мере единицей угла принято считать 1 градус, равный 1/100 части прямого угла: 1 град = 100^c (градовых минут); $1^c = 100^{cc}$ (градовых секунд).

1.3. Теодолитная съемка в шахте

Подземная теодолитная съемка выполняется с целью определения плановых координат системы пунктов, расположенных в горных выработках, и является плановой основой горизонтальных маркшейдерских съемок, а также используется для аналитического решения задач, возникающих в процессе работы горного предприятия (задание направления горных выработок, проведение сбоек и др.) Теодолитная съемка осуществляется путем проведения теодолитных ходов по горным выработкам.

Теодолитная съемка в шахте включает выполнение следующих операций: рекогносцировка участка съемки и закрепление вершин пунктов теодолитного хода; измерения горизонтальных и вертикальных углов; измерения длин сторон хода; съемки контуров горных выработок и других объектов; камеральная обработка результатов съемки.

При выполнении лабораторных работ по данному разделу студенты выполняют: измерение углов и длин теодолитного хода, съемку подробностей (контуров), камеральную обработку

результатов измерений.

1.3.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов

Перед началом измерения углов обязательно проводятся поверки теодолита. Теодолит должен удовлетворять следующим основным условиям:

1. Подъемные винты подставки, закрепительные и наводящие винты горизонтального лимба и алидады, а также зрительной трубы должны вращаться плавно без люфтов и качки.

2. Ось цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна, а ось круглого уровня – параллельной вертикальной оси вращения инструмента.

3. Оптические системы зрительной трубы, оптического центрира и отсчетного микроскопа должны обеспечивать качественное фокусирование на визирные цели.

4. Одной из основных поверок теодолита является определение коллимационной погрешности, т. е. определение величины отклонения визирной оси трубы от перпендикуляра к горизонтальной оси ее движения. Коллимационную погрешность вычисляют по формуле

$$c = \frac{\left(a_{л1} - a_{п1} \pm 180^\circ\right) + \left(a_{л2} + a_{п2} \pm 180^\circ\right)}{4},$$

где $a_{л1}, a_{л2}, a_{п1}, a_{п2}$ - отсчеты по лимбу горизонтального круга, взятые при наведении прибора на одну и ту же точку соответственно при круге слева (КЛ) и круге справа (КП).

В случае превышения коллимационной погрешности допустимой величины (для теодолитов технического класса точности 1') условие перпендикулярности оси считается несоблюденным. Для выполнения данного условия вычисляют правильные отсчеты

$$a = a_{Л} - c;$$
$$a = a_{П} - c,$$

и производят юстировку прибора.

При измерении горизонтального угла полным приемом (КЛ и КП) коллимационная погрешность на точность полученного

значения угла не влияет.

Измерение горизонтальных углов проводится способом приемов и круговых приемов.

В качестве визирных целей на закрепленные в кровле (в потолке) маркшейдерские точки подвешивают шнуровые отвесы, в почве (в полу) устанавливаются центры-шляпки дюбелей. На каждой точке производится центрирование теодолита с точностью до 1 мм.

При измерении угла способом приемов необходимо соблюдать следующий порядок действий:

1. В точке *C* (рис. 2) устанавливается (центрируется и горизонтируется) теодолит. В точках *A* и *B* подвешиваются отвесы или устанавливаются сигналы. Точность центрирования теодолита и сигналов 1 - 2 мм.

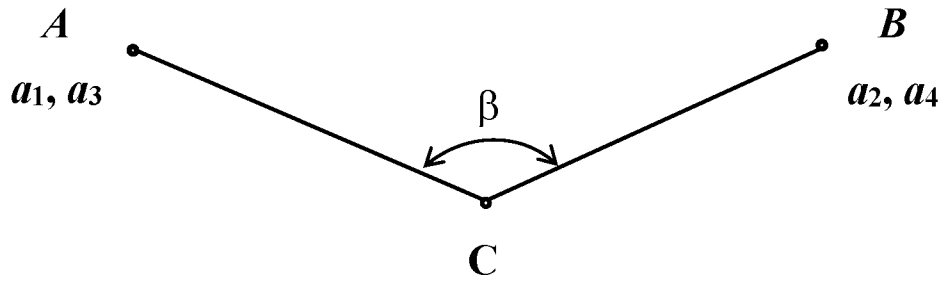


Рис. 2. Измерение горизонтального угла теодолитного хода

2. Визируют (наводят теодолит) при КЛ на заданную точку *A* и берут отсчет по горизонтальному кругу лимба a_1. Отсчет a_1 устанавливают юстировочным винтом несколько более 0° (2 – 5').

3. Визируют на переднюю точку *B* и берут отсчет a_2 .

4. Переводят зрительную трубу через зенит, визируют на заднюю точку *A* при КП и берут отсчет a_3.

5. Визируют на переднюю точку *B* при КП и берут отсчет a_4.

Значение угла из одного полуприема вычисляют по формулам:

$$\beta_{\text{êë}} = \grave{a}_2 - \grave{a}_1; \quad \beta_{\text{êï}} = \grave{a}_4 - \grave{a}_3 .$$

Значение угла и коллимационная погрешность теодолита из одного приема равны:

$$\beta = \frac{\beta_{\text{кл}} + \beta_{\text{кп}}}{2} = \frac{(a_2 - a_1) + (a_4 - a_3)}{2},$$

$$c = \frac{\beta_{\text{кл}} - \beta_{\text{кп}}}{2},$$

где $\beta_{кл}$, $\beta_{кл}$ - значения угла при круге слева и справа, соответственно, *с* – коллимационная погрешность.

При измерении угла *n* приемами значение угла определяется как среднее арифметическое из *n* приемов. Каждый последующий прием выполняется аналогичным образом. Начальный отсчет второго и последующих приемов устанавливается несколько более величины $\grave{a} = \frac{180^0}{n}$, где *n* – число приемов. В лабораторных работах на точках с двумя направлениями выполняется 2 приема, а на примычных точках (3и направления) – 3 круговых приема.

При измерении углов способом круговых приемов порядок действий повторяется, как и при измерении способом приемов, с дополнительным визированием на заднюю точку. Пример записи измерений и расчеты углов приведены в табл. 1.

Вертикальные углы (углы наклона сторон) подземного теодолитного хода определяются с целью определения горизонтальных проложений сторон и превышения смежных вершин. В условиях выполнения лабораторных работ вертикальные углы не измеряются.

1.3.2. Измерения длин сторон теодолитных ходов

Линейные измерения в теодолитных ходах, как правило, выполняют одновременно с угловыми измерениям. Длины сторон измеряют стальными, тесьмянными рулетками или светодальномерами, обеспечивающими необходимую точность [1, 2].

Стальные рулетки и светодальномеры применяются для измерения длин сторон опорных и съемочных сетей, а тесьмянные – при выполнении съемок очистных выработок и различных замеров.

Измерение линий опорных и съемочных сетей выполняют при постоянном натяжении рулетки, равном 10 кг. Силу натяжения фиксируют пружинным динамометром.

Отчеты при измерении интервалов линий берут с точностью до 1 мм. Каждый интервал измеряют не менее двух раз. Второе и последующие измерения интервала выполняют при смещении рулетки. Расхождение между двумя измерениями интервала не должно превышать ±2 мм, что соответствует точности опорный сетей. Каждая сторона теодолитного хода должна быть измерена

независимо дважды в прямом и обратном направлениях. Разность между прямым и обратным направлениями не должна превышать 1:3000 длины измеренной стороны. За окончательный результат принимают в начале среднее арифметическое значение из двух измерений интервала, и за тем среднее арифметическое из прямого и обратного направлений.

Длины сторон в подземных теодолитных ходах чаще всего измеряют рулеткой на весу. Например, между точками *A*, *B* и *C* требуется измерить расстояние (рис. 3).

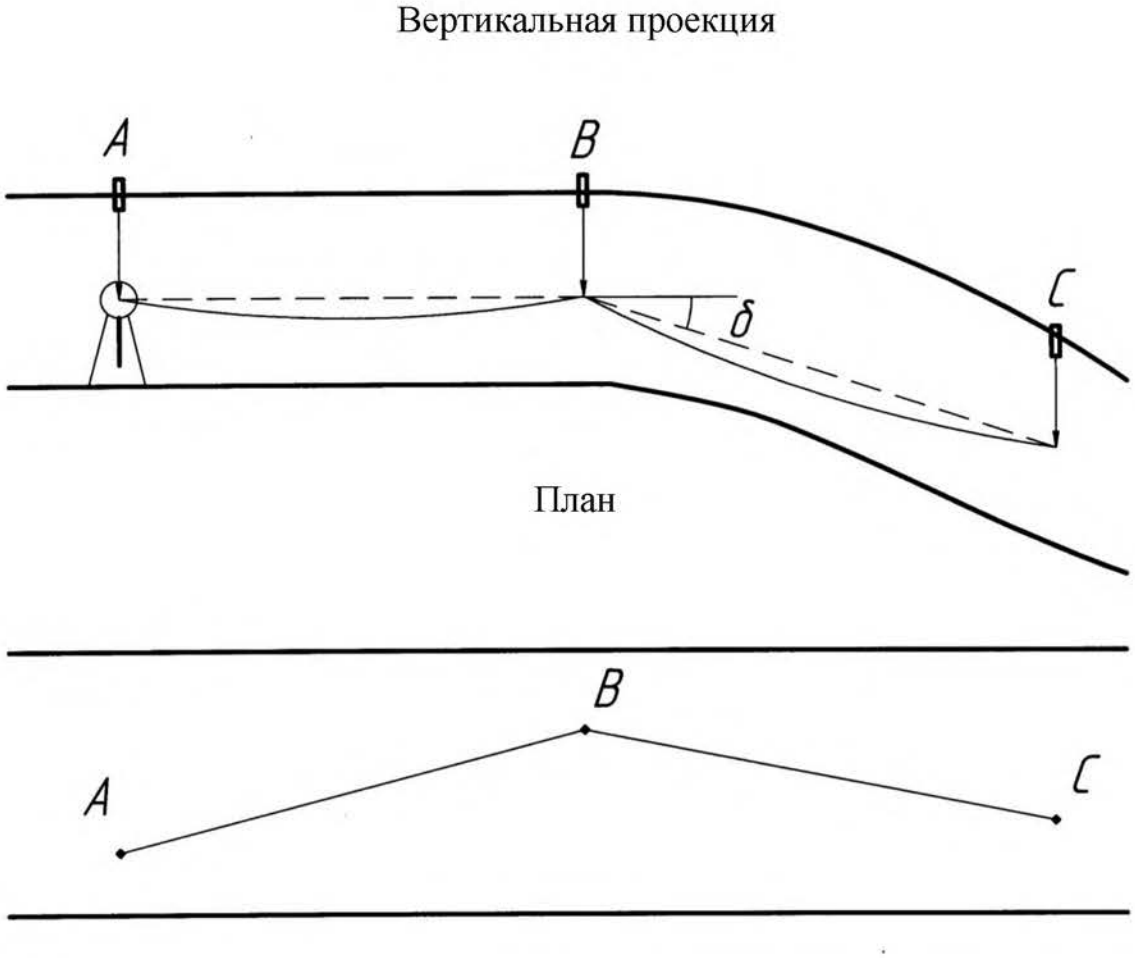


Рис. 3. Измерение длин сторон теодолитного хода рулеткой на весу

Для этого в точке *A* устанавливается теодолит, в точке *B* подвешивают шнуровой отвес. Если сторона горизонтальна, то удобно на отвесе отметить горизонт инструмента. Если сторона наклонная, то на шнуре отвеса в точке *C* отмечают точку визирования (*C*) при измерении угла наклона стороны. Результаты измерений записываются в полевой журнал (см. табл. 1).

1.3.3. Съемка подробностей (контуров)

Съемка подробностей в шахте производтся от пунктов и сторон теодолитного хода. Объектами съемки являются контуры горных выработок, инженерные сооружения, геологические особенности, другие подробности, связанные с технологией допроходки горных выработок.

Съемка подробностей проводится способом ординат, полярным способом, ультрозвуковым, способом светопрофиля и лазерным сканированием.

В программе лабораторных работ предусмотрен способ ординат и полярный способ для съемки стен коридоров.

1.4. Лабораторная работа № 1

Подземная теодолитная съемка

Лабораторная работа включает:

- прокладку теодолитного хода (замкнутый полигон) по точкам в почве (в полу) и по точкам в кровле (в потолке) (рис. 4);
- определение угловой и линейной невязок, уравнивание хода и расчет координат вершин теодолитного хода по точкам в почве (в полу) и по точкам в кровле (в потолке);
- съемка подробностей.

Исходные данные - дирекционные углы начальной стороны и координаты (точки) в почве:

Полигон № 1

$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55''+N°\ N'\ N''$; $X_I = 640720{,}200$; $Y_I = 6125312{,}050$.

Полигон № 2

$\alpha_{VI\text{-}VII}=70°30'30''+N°\ N'\ N''$; $X_{VI} = 640710{,}100$; $Y_{VI} = 6125350{,}040$,

N – номер варианта (выдается преподавателем).

Требуется измерить - по точкам в почве и в кровле:

Полигон № 1

$\beta_1, \beta_2, \ldots \beta_5$ - горизонтальные углы;

$d_1, d_2, \ldots d_5$ - горизонтальные линии;

Полигон № 2

$\beta_6, \beta_7, \ldots \beta_{10}$ - горизонтальные углы;

$d_6, d_6, \ldots d_{10}$ - горизонтальные линии;

Методика измерений:

- горизонтальные углы измеряются двумя приемами. Допустимое расхождение между приемами 10";

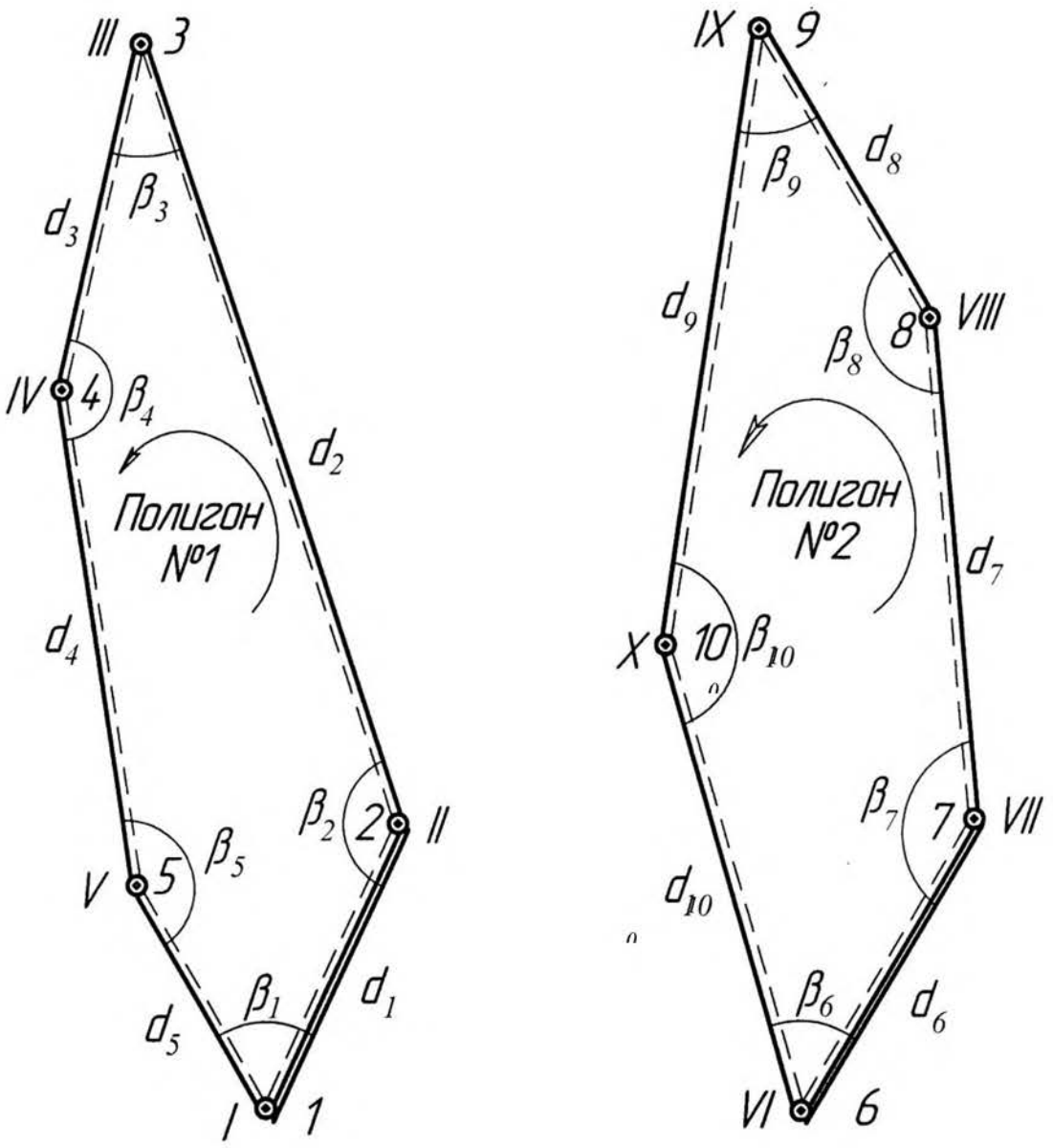


Рис. 4. Замкнутый полигон теодолитного хода:

_____ теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве в полу);

_ _ _ _ _ _ _ _ теодолитный ход в шахте, точки в кровле (в потолке);

═══════ исходные стороны, точки в почве (в полу);

β – горизонтальные углы;
d – горизонтальные линии

- горизонтальные линии измеряются металлической рулеткой с точностью отсчитывания 1 мм, дважды в прямом и дважды в обратном направлениях. Допустимое расхождение между измерениями ± 2 мм. Направление хода указано стрелкой (см. рис. 4).

В расчеты принимаются среднеарифметические значения углов и длин.

Камеральная обработка результатов измерений.

Требуется определить: координаты вершин точек теодолитного хода, расположенных в почве.

$X_{II}, Y_{II}, X_{III}, Y_{III}, X_{IV}, Y_{IV}, X_{V}, Y_{V}$ - полигон № 1;

$X_{VII}, Y_{VII}, X_{VIII}, Y_{VIII}, X_{IX}, Y_{IX}, X_{X}, Y_{X}$ - полигон № 2;

в кровле

$X_2, Y_2, X_3, Y_3, X_4, Y_4, X_5, Y_5$ - полигон № 1;

$X_7, Y_7, X_8, Y_8, X_9, Y_9, X_{10}, Y_{10}$ - полигон № 2.

Методика вычислений:

1) рассчитывается угловая невязка хода

$f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_{теор};$

$\Sigma\beta_{теор.} = 180^\circ(n-2)$ - внутренние углы;

$\Sigma\beta_{теор.} = 180^\circ(n+2)$ - внешние углы;

$f_\beta \le f_{доп};$

$f_{доп.} = m_\beta\sqrt{n},$

где n – число измеренных углов в полигоне,

m_β - среднеквадратическая погрешность измерения горизонтальных углов ($20''$);

2) при соблюдении условия $f_\beta \le f_{доп}$ угловая невязка f_β распределяется с обратным знаком во все углы полигона поровну;

3) после распределения угловой невязки рассчитываются дирекционные углы всех сторон полигона, приращения координат точек вершин хода и линейные невязки:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad f_{отн.} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{f_{абс}}{\Sigma d_i}; \qquad f_{отн} \le f_{доп} \le \frac{1}{3000},$$

где f_x, f_y - линейные невязки хода; P – периметр полигона;

$f_{отн}, f_{доп}$ - относительная и допустимая невязки хода;

4) при соблюдении условия $f_{\text{отн}} \le f_{\text{доп}} \le \frac{1}{3000}$, линейные невязки f_x, f_y распределяются в приращения координат с обратным знаком пропорционально длинам сторон

$$f_{x_i} = \frac{f_x}{P} \cdot d_i; \qquad f_{y_i} = \frac{f_y}{P} \cdot d_i;$$

5) после уравнивания (распределения линейной невязки) выполняется расчет координат всех вершин полигона. Вычисление дирекционных углов и координат вершин проводится по известным из курса геодезии формулам (решение прямой геодезической задачи). Формулы приведены в разделе 1.2.

Пример расчета координат точек вершин полигона приведен в табл. 2.

1.5. Компарирование рулетки

Металлические рулетки, предназначенные для измерения длин сторон теодолитных ходов опорных и съемочных сетей должны быть прокомпарированы. Компаратор представляет собой металлическую балку, укрепленную на кронштейнах, заделанных в стену. Относительная погрешность компарирования не должна превышать 1:15000 [1].

Компарирование это сравнение длины рулетки с эталонной длиной контрольной линейки или длиной полевого компаратора, длина которых определена с высокой точностью не ниже 1:50000.

Для выполнения лабораторных работ компарирование рулетки выполняется на стационарном компараторе, представляющем собой металлическую балку, укрепленную на кронштейнах в стене учебного здания.

1.5.1. Лабораторная работа № 2
Компарирование рулетки

Приборы и оборудование: компаратор, рулетка, контрольная линейка, градусник.

Методика выполнения компарирования.

Рулетка укладывается на компаратор, один конец ее закрепляется при помощи струбцины, а к другому концу при

помощи прово-

локи, пропущенной через блок, подвешивается груз, равный 10 кг. Контрольная линейка укладывается на полотно рулетки, начиная с начального метрового интервала. Отсчеты берутся по контрольной линейке относительно штрихов метрового интервала рулетки с точностью отсчитывания до 0,1 наименьшего деления. Наименьшая цена деления контрольной линейки равна 0,02 мм, т. е. точность отсчета равна 0,02 мм.

Наблюдатели фиксируют отсчеты по правому срезу метровых штрихов рулетки в целых миллиметрах и долях наименьшего деления контрольной линейки (табл. 3).

Затем делают сдвиг контрольной линейки и берут вторую пару отсчетов. Длина метрового интервала рулетки вычисляется для каждого положения контрольной линейки. Разность в длине интервала из двух положений не должна превышать 0,06 мм. При большей величине вышеуказанной разности отсчеты повторяются при новом сдвиге контрольного метра. Компарирование проводится в прямом и обратном направлениях.

Таблица 3

Компарирование рулетки № 57 контрольно-измерительной линейкой завода "Аэрогеоприбор" » № 1061
Уравнение линейки $L = 1000 + 0{,}02 + 0{,}0185\ (t - 20°)$
Наблюдатели: I) Ларионова Л. А. 2) Мулин В. И., записывающий Кремлев В. Г.

Интервалы рулетки	Правый конец			Левый конец			Разность отсчетов, мм	Средняя длина интервала, мм	Температура, град
	целые миллиметры	доли		целые миллиметры	доли				
		деления линейки	мм		деления линейки	мм			
0 - 1	1003	2,4	0,48	3	1,8	0,36	1000,12	1000,11	22
	1005	4,4	0,88	5	3,9	0,78	1000,10		
1 - 2	1001	3,3	0,66	1	4,2	0,84	999,82	999,84	
	1006	2,5	0,50	6	3,2	0,64	999,86		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 –30	1004	2,4	0,48	4	1,8	0,36	1000,12	1000,11	22
	1006	2,4	0,88	6	3,9	0,78	1000,10		

В процессе компарирования измеряют температуру воздуха с точностью до 0,1° С. Измерение температуры производится в начале, середине и конце прямого хода, в середине и конце обратного хода.

Обработка результатов компарирования рулетки производится в последовательности, указанной в табл. 4. В колонки 2 и 3 выписывают из полевого журнала (см. табл. 3) средние значения метровых интервалов из прямого и обратного ходов, а в колонку 4 - среднюю температуру компарирования. Рассчитывается средняя

длина каждого

интервала (колонка 5), вводятся поправки (колонки 6 - 9), исправленная длина интервала (колонка 10), длина рулетки от начального интервала (колонка 11) и поправка за компарирования (колонка 12).

Далее определяют точность компарирования рулетки, для чего находят разность в длине рулетки из прямого ($\sum l_{\text{пр}}$) и обратного ($\sum l_{\text{обр}}$) ходов.

$$\Delta l = \sum l_{\text{пр}} - \sum l_{\text{обр}} = 30003{,}0 - 30001{,}5 = 1{,}5 \text{ м}.$$

Эта разность, отнесенная к длине рулетки, определит точность компарирования, которая должна быть более 1:15000.

$$f_к = \frac{1{,}5}{30000} = \frac{1}{20000} \langle \frac{1}{15000}.$$

В противном случае полевые работы переделываются. Поправку за контрольную линейку берут из уравнения контрольной линейки. Уравнение контрольной линейки № 1061 следующее:

$$L = 1000{,}02 + 0{,}0185\ (t^\circ - 20^\circ) \text{ мм}.$$

Длина контрольной линейки, определенная на заводе при температуре 20 °С, равна 1000,02 мм. Поправка за контрольную линейку равна +0,02 мм. Поправку за температуру компарирования (колонка 7, табл. 4) вычисляют по формуле:

$$\Delta l_t = 0{,}0185\left(t^\circ - 20^\circ\right)\text{мм},$$

где 0,0185 – коэффициент линейного расширения материала, из которого изготовлена контрольная линейка; t° - температура компарирования рулетки из колонки 4, град; 20° – температура, при которой определена длина контрольной линейки на заводе.

Поправку за приведение рулетки к 20° (колонка 8) вычисляют по формуле:

$$\Delta l_{20} = 0{,}0125\left(20^\circ - t^\circ\right)\text{мм},$$

где 0,0125 – коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлена рулетка; t° - температура компарирования рулетки, град.

В колонке 9 определяют суммарные поправки в средние длины метровых интервалов рулетки.

В колонке 10 производят вычисление исправленных длин метровых интервалов рулетки.

В колонке 11 определяют длину рулетки от начального штриха.

В колонке 12 вычисляют поправки за компарирование, округленные до десятых долей мм.

2. ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

Цель работы – ознакомление с основными видами полевых работ и камеральной обработки результатов измерений, при производстве ориентирования подземных маркшейдерских опорных сетей.

Ориентирно-соединительная съемка – это комплекс специальных работ, выполняемых для осуществления геометрической связи между маркшейдерскими съемками, проводимых на земной поверхности и в шахте.

По результатам ориентирно-соединительной съемки в шахте, на ориентируемом горизонте, получают плановые координаты начального пункта и дирекционный угол начальной стороны подземных опорных сетей в системе координат, принятой на земной поверхности.

В маркшейдерской практике наиболее распространены *два вида ориентирно-соединительных съемок: геометрическое и гироскопическое*.

В зависимости от схемы вскрытия месторождения выполняют ориентирно-соединительные съемки через один, через два вертикальных ствола, через наклонный ствол или штольню.

В программе лабораторных работ предусмотрено выполнение ориентирно-соединительной съемки геометрическим способом через один и через два вертикальных ствола.

Производство данных видов ориентировок *включает три основных этапа*: проектирование точек с земной поверхности на ориентируемый горизонт в шахту; примыкание (измерение) к

проектируемым точкам на земной поверхности и к их проекциям в шахте; вычисление ориентировки.

Проектирование точек, т. е. проектирование плановых координат и дирекционного угла на ориентируемый горизонт в шахту осуществляется с использованием вертикальной плоскости, которая создается с помощью двух ответов, опущенных с земной поверхности через вертикальный ствол на ориентируемый горизонт в шахту.

При ориентировании через один вертикальный ствол в качестве контроля качества ориентировки предусмотрено проведение двух независимых ориентировок. Это достигается путем двойного примыкания к отвесам после их смещения между первым и вторым примыканием. В результате получают два значения плановых координат начальной точки и два значения дирекционного угла начальной стороны опорной сети в шахте. Расхождение в координатах начальной точки, полученных по результатам первого и второго примыкания, не должно превышать 5 см при $H < 500$ м или величины 0,01H, см, при $H > 500$ м, где H - глубина ствола в метрах. Разница в дирекционных углях не более 3' [1].

2.1. Лабораторная работа № 3 Ориентирно-соединительная съемка через одну вертикальную выработку

Лабораторная работа выполняется в учебном здании университета на специально оборудованном полигоне с закрепленными маркшейдерскими точками в почве (в полу) и в кровле (в потолке) горной выработки (здания).

При ориентировании через одну вертикальную выработку (ствол) необходимо руководствоваться следующими положениями:

1) расстояние между отвесами должно быть максимальным;

2) соединительный треугольник для решения задачи примыкания к отвесам должен быть наиболее выгодной формы, при которой неизбежные ошибки измерений оказывают минимальное влияние на точность решения задачи примыкания.

На рис. 5 и 6 приведены схемы ориентировки через один вертикальный ствол.

Исходные данные:

Схема 1 (см. рис. 5)

$$X_{\text{I}} = 640723{,}255; Y_{\text{I}} = 6125312{,}051;$$

$$\alpha_{\text{I–II}} = 75^\circ 55' 55'' + N^\circ + N' + N'',$$

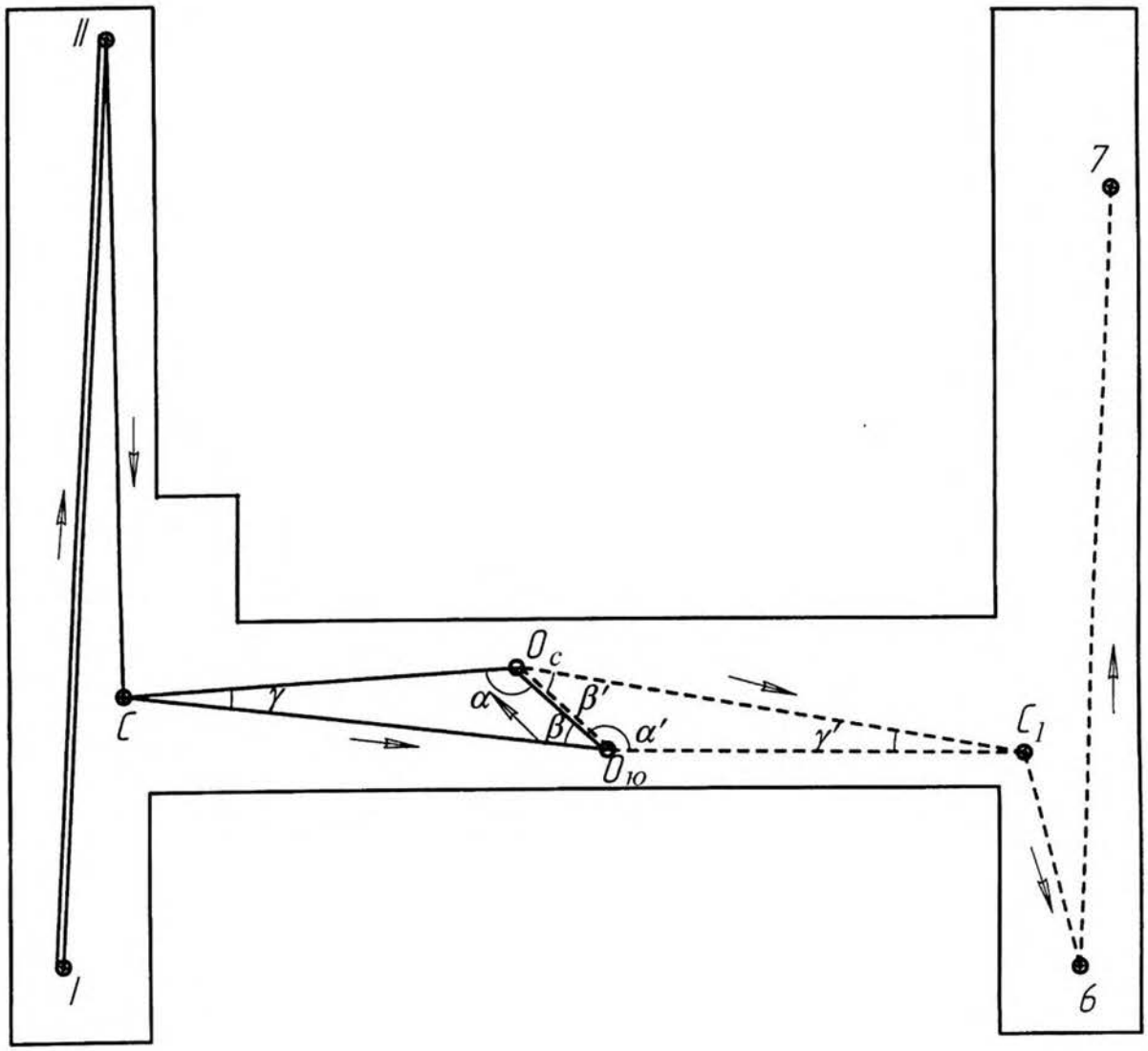


Рис. 5. Схема 1. Ориентировка через одну вертикальную выработку:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки

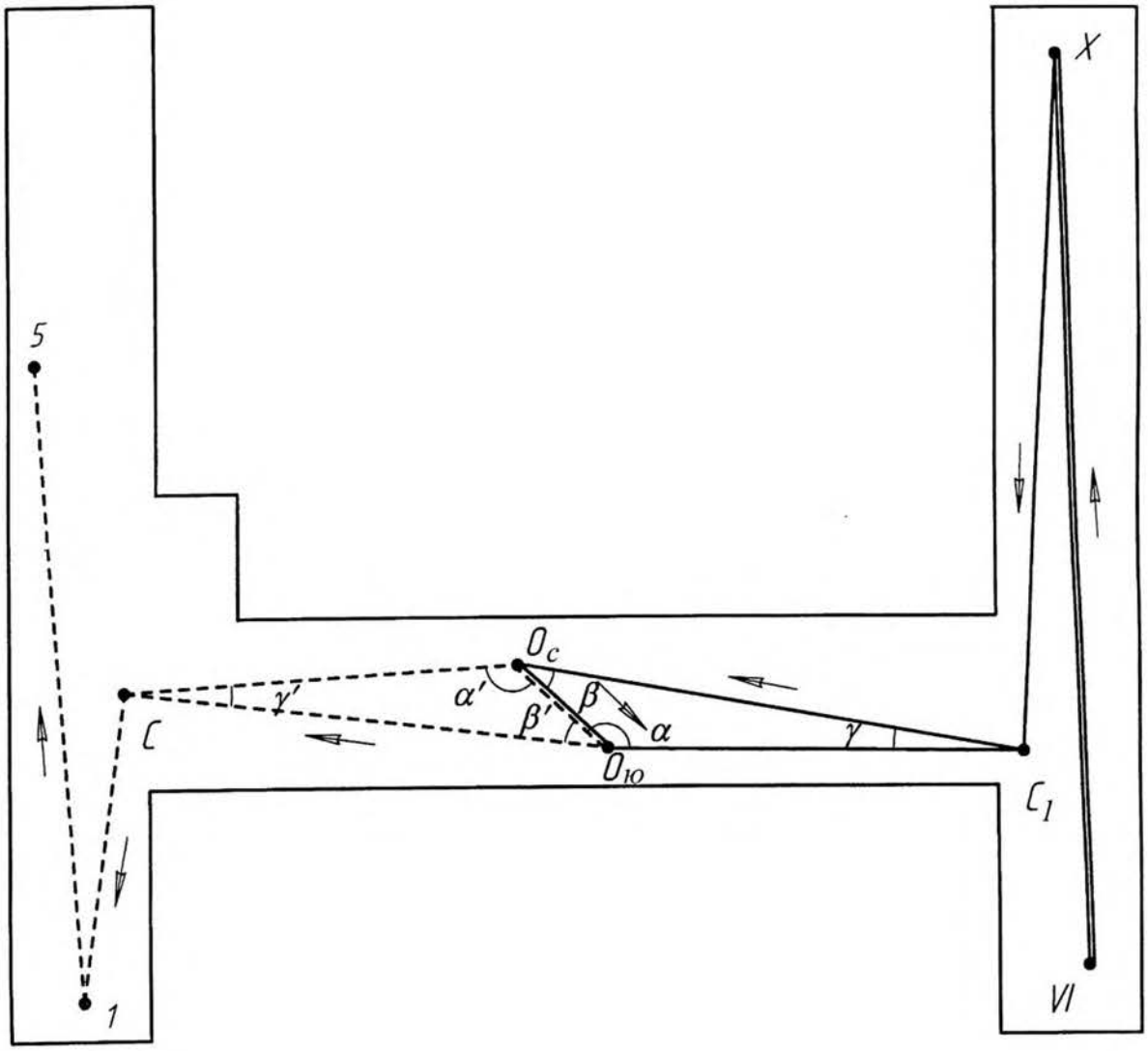


Рис. 6. Схема 2. Ориентировка через одну вертикальную выработку:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки

Схема 2 (см. рис.6)

$$X_{\text{VI}} = 640710{,}100; Y_{\text{I}} = 6125350{,}040;$$

$$\alpha_{\text{VI}-\text{X}} = 65^\circ 30' 30'' + N^\circ + N' + N'',$$

где N - номер варианта.

Методические указания для выполнения лабораторной работы

Для решения задачи примыкания измеряются: на земной поверхности в точке C – схема 1, в точке C_1 – схема 2 и в шахте в точке C_1 – схема 1, в точке C - схема 2, все три стороны (a, $в$, c) соединительного треугольника и углы γ, δ, ε при точке C и C_1 (рис. 7, 8).

Стороны соединительного треугольника измеряются компарированной стальной рулеткой по горизонтальному лучу визирования не менее пяти раз с точностью отсчитывания ±1 мм при постоянном натяжении 10 кгс. Разность между отдельными измерениями длины допускается до ±2 мм**.** За окончательный результат измерения принимают среднее арифметическое значение из пяти.

Измерение углов производится тремя круговыми приемами, допустимая невязка между приемами ±10". Разность углов (ε – δ - γ) не должна превышать ±10". Углы при точке C и C_1 должны быть уравнены (ε – δ – γ=0). В расчеты принимают среднеарифметическое значение углов из трех приемов.

Контроль правильности измерения сторон соединительного треугольника осуществляется сравнением измеренного расстояния между отвесами (C) и вычисленного по формуле:

$$C^2_{\text{выч}} = a^2 + в^2 - 2\ a\,в\cos\gamma.$$

Разность между вычисленным значением ($C_{\text{выч}}$) стороны и ее непосредственно измеренным ($C_{\text{изм}}$) не должна превышать ± 3 мм,

$$\Delta C = C_{\text{выч}} - C_{\text{изм}} \le \pm 3 \text{ мм}$$

Проектирование точек выполняется с помощью двух отвесов

$O_с$ и $O_ю$ (см. рис. 5, 6).

На земной поверхности для определения координат примычных точек $X_с$, $Y_с$ – схема 1, X_{c_1}, Y_{c_1} – схема 2 приходится теодолитный ход от исходной стороны I – II схема 1 и VI - X - схема 2. Исход-

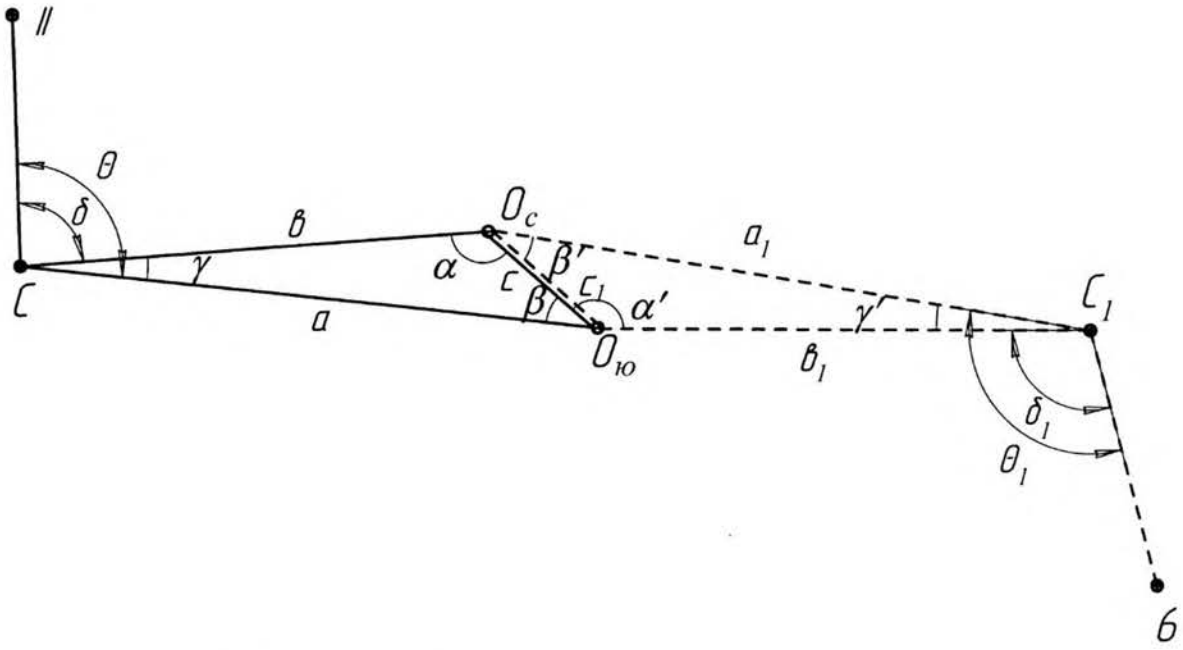


Рис. 7. Схема 1. Соединительный треугольник:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);
теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке)

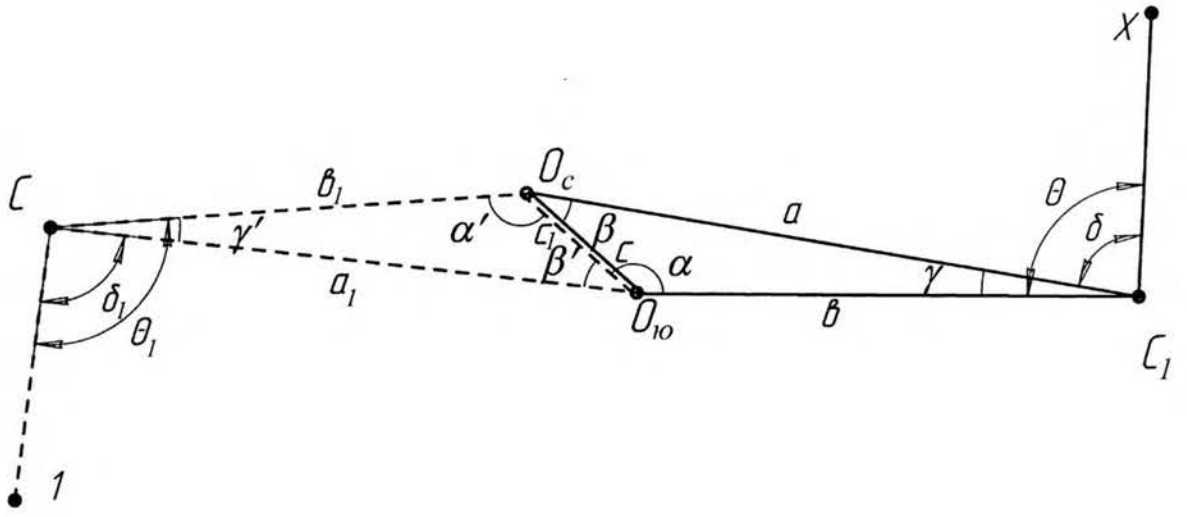
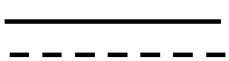


Рис. 8. Схема 2. Соединительный треугольник:



теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);
теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке)

ные данные выдаются каждому студенту в соответствии с его вариантом.

На ориентируемом горизонте проходится теодолитный ход от линии створа отвесов $O_с$, $O_ю$ до ориентируемой стороны 6 - 7 схемы 1, 1 - 5 – схема 2. Углы в теодолитных ходах измеряются двумя приемами или одним приемом левый и правый по направлению теодолитного хода. Допустимые невязки $\pm 10"$.

Длины сторон теодолитных ходов на земной поверхности и на ориентируемом горизонте измеряются дважды металлической рулеткой при постоянном натяжении ее 10 кгс. Отсчеты берутся с точностью 1 мм, допустимое расхождение в двух измерениях ±2 мм. За окончательный результат принимается среднеарифметическое значение углов и длин.

Вычисление ориентировки начинаются с проверки полевых журналов (ведомостей) и расчета средних значений углов и длин. Проверяющий расписывается на странице журнала и ставит дату проверки. При обработке длин (табл. 5) в среднее арифметическое их значение вводятся поправки за компарирование рулетки $\Delta l_к$, за разность температуры при компарировании рулетки и измерении длины Δl_t.

Поправки за превышение Δl_h и за провес рулетки Δl_f не вводятся, в связи с особыми условиями измерений. Поправки вычисляют до 0,1 мм, а средние значения длин - до 1 мм.

Таблица 5

Ведомость обработки длин

Номера станов	Измеренная длина, мм		Средняя длина интервала, м	$t^0_{ср}$	Поправки, мм					Исправленная длина интервала, мм	Окончательная длина интервала, м
	прямой ход	обратный ход			$\Delta l_к$	$\Delta l_к$	Δl_n	Δl_f	$\Sigma\Delta l$		
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	15
1 - 2	20,006	20,010	20,008	21^0	-3,2	0	0	0	-3,2	20004,8	20,005

Вычисление углов α и β, α' и β' при отвесах $O_с$ и $O_ю$ (см. рис. 7, 8) производится по формуле синусов

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\sin\gamma; \quad \sin\beta = \frac{в}{c}\sin\gamma;$$

$$\sin\alpha' = \frac{a_1}{c_1}\sin\gamma'; \quad \sin\beta' = \frac{в_1}{c_1}\sin\gamma',$$

при этом угловая невязка в соединительном треугольнике не должна превысить ±10". Допустимая угловая невязка (менее 10") в треугольнике распределяется во все углы поровну, т. е. ($\gamma+\alpha+\beta=180^\circ$).

Вычисление дирекционных углов сторон и координат пунктов полигонометрического хода на ориентируемом горизонте производится по схеме (см. рис. 5, 6) в направлении, указанном стрелками. При этом передача дирекционного угла с исходной стороны на створ отвесов на земной поверхности и от створа отвесов на ориентируемый горизонт выполняется через длинную сторону соединительных треугольников.

Дирекционные углы, приращения координат и координаты вычисляются по известным формулам прямой геодезической задачи

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \beta_л - 180^\circ;$$

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} - \beta_n + 180^\circ;$$

$$\Delta x = l \cdot \cos\alpha; \ \Delta y = l \cdot \sin\alpha;$$

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x; \ y_n = y_{n-1} + \Delta y,$$

где $\beta_л$ и $\beta_п$ - измеренные горизонтальные углы левый и правый, соответственно; d – горизонтальное проложение измеренных длин сторон.

Точность вычисления координат до ± 1 мм.

Пример вычисления ориентировки через одну вертикальную выработку. Схема 1 (см. рис. 5, 7).

Результаты измерений:

a=14,380 м, $в$=11,351 м, $\gamma = 2^\circ 04' 11''$;

a_1=13,650 м, $в_1$=10,622 м, $\gamma = 2° 16' 52''$.

Расстояние между отвесами:

на земной поверхности $C_{изм} = 3{,}063$ м

$$C_{выч} = \sqrt{14{,}380^2 + 11{,}351^2 - 2 \cdot 14{,}380 \cdot 11{,}351 \cdot \cos 2°04'11''} = 3{,}064 \text{ м}.$$

$$\Delta C = 3{,}064 - 3{,}063 = 0{,}001 \text{ м},$$

на ориентируемом горизонте $C_{изм} = 3{,}063$ м.

$$C_{выч} = \sqrt{14{,}380^2 + 11{,}351^2 - 2 \cdot 14{,}380 \cdot 11{,}351 \cdot \cos 2°04'11''} = 3{,}066 \text{ м};$$

$$\Delta C = 3{,}066 - 3{,}063 = 0{,}003 \text{ м}.$$

Разность между расстояниями вычислениями ($C_{выч}$) и измеренными ($C_{изм}$) в пределах допустимой не более 3 мм.

Вычисление углов при отвесах соединительного треугольника

$$\sin \alpha = a / c \sin \gamma, \quad \sin \beta = b / c \sin \gamma.$$

На земной поверхности:

$$\sin \alpha = \frac{14{,}380}{3{,}063} \sin 02°04'11'' = 0{,}16955; \quad \alpha = 170°14'17'';$$

$$\sin \beta = \frac{11{,}351}{3{,}063} \sin 02°04'11'' = 0{,}13384; \quad \beta = 07°41'29'';$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 170°14'17'' + 07°41'29'' + 02°04'11'' = 179°59'57''.$$

Угловая невязка в треугольнике $179°59'57'' - 180° = -3''$ в пределах допустимой.

Полученную невязку $3''$ распределяем поровну во все углы с обратным знаком

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= 170^\circ 14' 17'' + 1'' = 170^\circ 14' 18'';\\ \beta &= 07^\circ 41' 29'' + 1'' = 07^\circ 41' 30'';\\ \gamma &= 02^\circ 04' 11'' + 1'' = 02^\circ 04' 12'';\end{aligned}\right\}$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 170^\circ 14' 18''+07^\circ 41' 30'' + 02^\circ 04' 12'' = 180^\circ.$$

На ориентируемом горизонте в шахте:

$$\sin \alpha = \frac{13{,}650}{3{,}063}\sin 02^\circ 16' 52'' = 0{,}17773; \quad \alpha' = 169^\circ 47' 00'';$$

$$\sin \beta' = \frac{10{,}622}{3{,}063}\sin 02^\circ 16' 52'' = 0{,}13803; \quad \beta' = 07^\circ 56' 02'';$$

$$\alpha' + \beta' + \gamma' = 169^\circ 47' 00'' + 07^\circ 56' 02'' + 02^\circ 16' 52'' = 179^\circ 59' 54''.$$

Угловая невязка в треугольнике $180^\circ - 179^\circ 59' 54'' = -6''$ в пределах допустимой.

Полученную невязку $-6''$ распределяем поровну во все углы с обратным знаком

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= 169^\circ 47' 00'' + 2'' = 169^\circ 47' 02'';\\ \beta &= 07^\circ 56' 02'' + 2'' = 07^\circ 56' 04'';\\ \gamma &= 02^\circ 16' 52'' + 2'' = 02^\circ 16' 54'';\end{aligned}\right\}$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 169^\circ 47' 02'' + 07^\circ 56' 04'' + 02^\circ 16' 54'' = 180^\circ.$$

Вычисления плановых координат X, Y начального пункта (6) и дирекционного угла начальной стороны (α_{6-7}) подземных опорных сетей (см. рис. 5) приведены в табл. 6.

Пример вычисления ориентировки через одну вертикальную выработку. Схема 2 (см. рис. 6).

Результаты измерений:

a = 13,585 м, $в$ = 10,554 м, $\gamma = 2°17'48"$,

a_1 = 14,385 м, $в_1$ = 11,348 м, $\gamma_1 = 2°05'02"$.

Расстояние между отвесами:
на земной поверхности $C_{изм} = 3{,}072$ м.

$$C_{выч} = \sqrt{10{,}554^2 + 13{,}585^2 - 2 \cdot 10{,}554 \cdot 13{,}585 \cdot \cos 2°17'48''} = 3{,}069 \text{ м};$$

$$\Delta C = 3{,}069 - 3{,}072 = -0{,}003 \text{ м}.$$

На ориентируемом горизонте $C_{изм}$=3,072 м.

$$C'_{\text{выч}} = \sqrt{14{,}385^2 + 11{,}348^2 - 2 \cdot 11{,}348 \cdot 14{,}385 \cdot \cos 2°05'02''} = 3{,}072 \text{ м}.$$

$$\Delta C = 3{,}072 - 3{,}072 = 0.$$

Разность между вычисленными ($C_{\text{выч}}$) и измеренными ($C_{\text{изм}}$) расстояниями в пределах допустимой не более 3 мм.

Вычисление углов при отвесах соединительного треугольника

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\sin\gamma\,;\ \sin\beta = \frac{в}{c}\sin\gamma\,.$$

На земной поверхности:

$$\sin\alpha = \frac{13{,}585}{3{,}072}\sin 2°17'48'' = 0{,}17721; \quad \alpha = 169°47'33''.$$

$$\sin\beta = \frac{10{,}554}{3{,}072}\sin 2°17'48'' = 0{,}13767; \quad \beta = 7°54'48''.$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 169°47'33'' + 7°54'48'' + 2°17'48'' = 180°00'09''.$$

Угловая невязка в треугольнике 180°00'09" - 180° = +9" в пределах допустимой.

Полученную невязку +9" распределяем поровну во все углы с обратным знаком.

$$\alpha = 169°47'33'' - 3'' = 169°47'30'';$$
$$\beta = 7°54'48'' - 3'' = 7°54'45'';$$
$$\gamma = 2°17'48'' - 3'' = 2°17'45''.$$
$$\alpha + \beta + \gamma = 169°47'30'' + 7°54'45'' + 2°17'45'' = 180°.$$

На ориентируемом горизонте в шахте:

$$\sin\alpha' = \frac{14{,}385}{3{,}072}\sin 2°05'02'' = 0{,}17027; \quad \alpha' = 170°11'48''.$$

$$\sin\beta' = \frac{11{,}348}{3{,}072}\sin 2°05'02'' = 0{,}13432; \quad \beta' = 7°43'10''.$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 170°11'48'' + 7°43'10'' + 2°05'02'' = 180°.$$

Угловая невязка в треугольнике равна 0.

Вычисления плановых координат X, Y начального пункта (1) и дирекционного угла начальной стороны ($\alpha_{1\text{-}5}$) подземных опорных сетей (см. рис. 6) приведены в табл. 7.

2.2. Лабораторная работа № 4
Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки

Ориентирно-соединительная съемка через два вертикальных ствола проводится в учебном корпусе университета на специальном полигоне. Схемы ориентировки приведены на рис. 9 и 10.

На земной поверхности (пункты теодолитного хода закрепляются в почве) и на ориентируемом горизонте (пункты закреплены в кровле) проходятся теодолитные ходы.

Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряются двумя приемами или одним приемом левый и правый угол по направлению теодолитного хода. Допустимая невязка в измеренных углах между приемами ±10". Длины измеряются металлической рулеткой дважды с точностью отсчитывания 1 мм, допустимое расхождение между двумя измерениями не более 2 мм.

В точках примыкания к отвесам углы измеряются тремя круговыми приемами с допустимой невязкой между приемами 10", длины измеряются металлической рулеткой с точностью отсчитывания 1 мм пять раз с допустимым расхождением между всеми измерениями 2 мм. Для расчетов принимается среднеарифметическое значение измеренных углов и длин.

Пример вычисления ориентировки через две вертикальные выработки.

Исходные данные:

Схема № 3

$$X_{\text{I}} = 640723{,}255; \quad Y_{\text{I}} = 6125312{,}051;$$

$$\alpha_{\text{I-II}} = 75°55'55" + N° \, N' \, N",$$

где N – номер варианта студента.

Вычисление ориентировки начинается с обработки результатов измерений – вычисления среднеарифметических значений горизонтальных углов и длин линий теодолитных ходов.

В ведомости расчета координат записывается: порядок расчета ориентировки, среднеарифметические значения горизонтальных проложений длин линий, горизонтальных углов, координаты исходных пунктов и дирекционный угол исходной линии с учетом варианта студента.

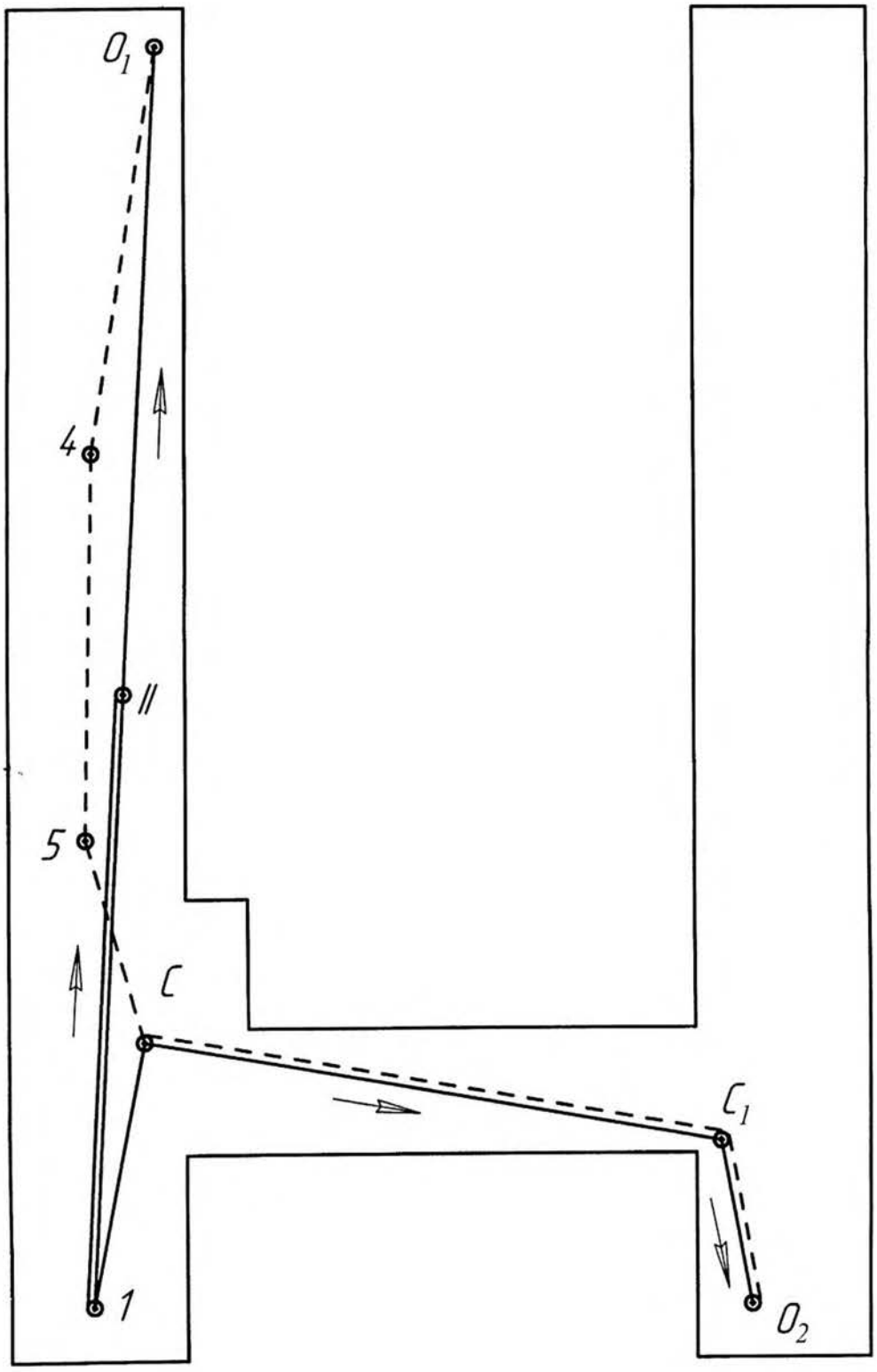


Рис. 9. Схема 3. Ориентировка через две вертикальные выработки:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки

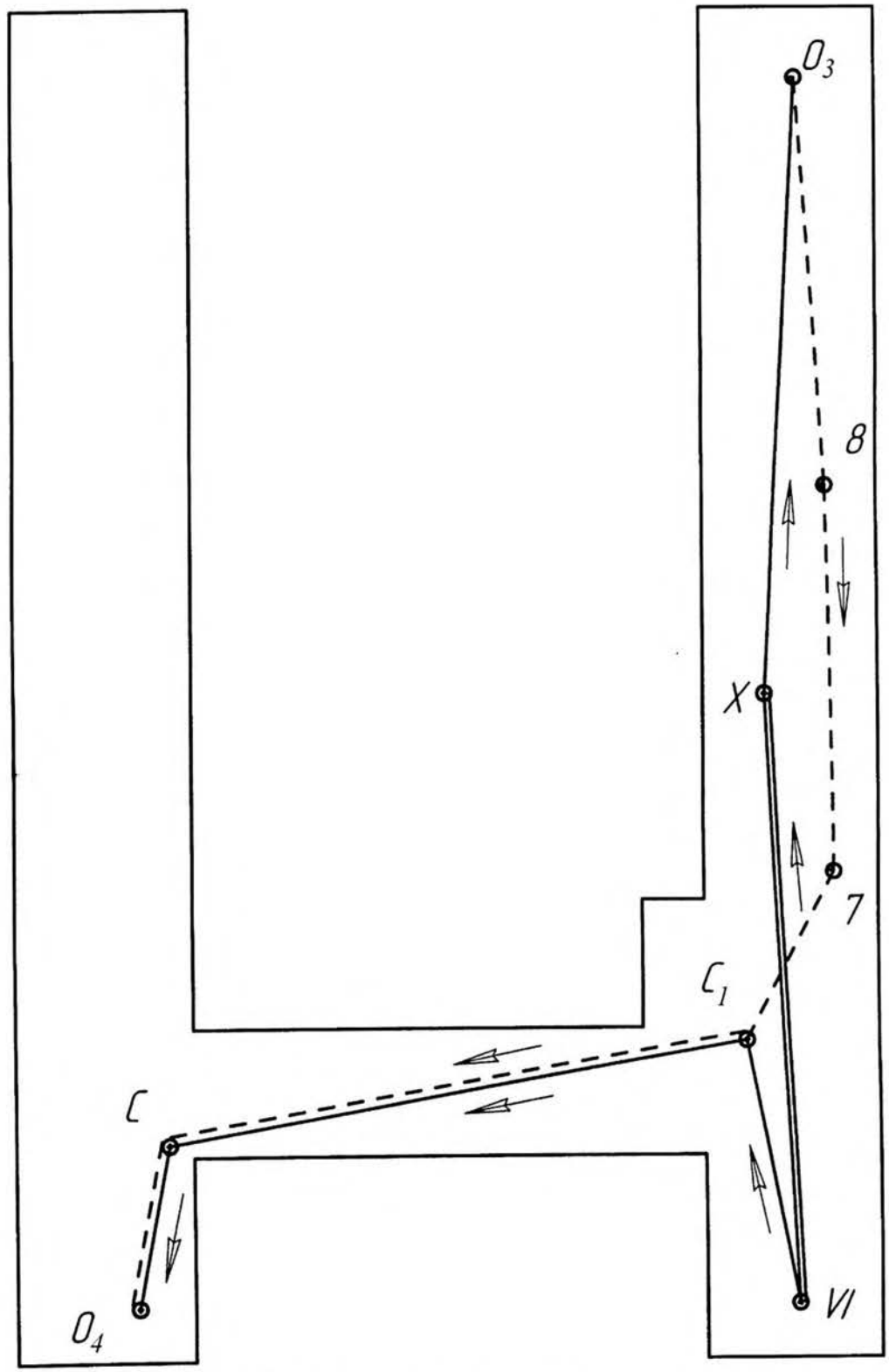


Рис. 10. Схема 4. Ориентировка через две вертикальные выработки:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки.

Расчет ориентировок ведется в следующей последовательности:

1. На земной поверхности (точки в почве) от исходной стороны I – II – схема 3 (см. рис. 9) и VI – X – схема 4 (см. рис. 10) вычисляются координаты отвесов O_1 и O_2 – схема 3, O_3 и O_4 – схема 4 в системе координат, принятой на земной поверхности. Пример расчета приведен в табл. 8 – схема 3, табл. 9 - схема 4.

2. По вычисленным координатам отвесов на земной поверхности (точки в почве), решая обратную геодезическую задачу, определяем дирекционный угол линии створа отвесов и расстояние между отвесами.

Схема 3

$$\operatorname{arctg}\alpha_{o_1o_2} = \frac{Y_{o_2} - Y_{o_1}}{X_{o_2} - X_{o_1}} = \frac{6125320{,}046 - 6125362{,}882}{640697{,}048 - 640736{,}053} = \frac{-42{,}836}{-39{,}005} = 1{,}098;$$

$$\alpha_{o_1o_2} = 227^\circ 40'47'';$$

$$C_{o_1o_2} = \frac{Y_{o_2} - Y_{o_1}}{\sin\alpha_{o_1o_2}} = \frac{X_{o_2} - X_{o_1}}{\cos\alpha_{o_1o_2}} = \frac{42{,}836}{\sin 227^\circ 40'47''} = \frac{39{,}005}{\cos 227^\circ 40'47''} = 57{,}934\ м$$

Схема 4

$$\operatorname{arctg}\alpha_{o_3o_4} = \frac{Y_{o_4} - Y_{o_3}}{X_{o_4} - X_{o_3}} = \frac{6125339{,}513 - 61253972{,}850}{640734{,}089 - 640729{,}769} = \frac{-58{,}337}{4{,}320} = 13{,}504;$$

$$\alpha_{o_3o_4} = 274^\circ 14'07'';$$

$$C_{o_3o_4} = \frac{Y_{o_4} - Y_{o_3}}{\sin\alpha_{o_3o_4}} = \frac{X_{o_4} - X_{o_3}}{\cos\alpha_{o_3o_4}} = \frac{58{,}337}{\sin 274^\circ 14'07''} = \frac{4{,}32}{\cos 274^\circ 14'07''} = 58{,}497\ м$$

3. На ориентируемом горизонте (точки в кровле) вычисляем координаты всех точек теодолитного хода и отвесов в условной системе координат.

За начало координат принимаем:

1. *Схема 3* (см. рис. 9) отвес O_1, в этом случае $Y'_{o_1} = 0$; $X'_{o_1} = 0$; ось x' направляем по первой стороне подземного теодолитного хода, т. е. $\alpha'_{o_1-4} = 0°0'0''$.

2. Схема 4 (см. рис. 10) отвес O_4, в этом случае $Y'_{o_4} = 0$; $X'_{o_4} = 0$; ось x' направляем по первой стороне подземного теодолитного хода, т. е. $\alpha'_{o_4-8} = 0°0'0''$.

Пример расчета координат точек подземного теодолитного хода и отвесов в условной системе координат приведен в табл. 10 (схема 3) и табл. 11 (схема 4).

3. По вычисленным координатам отвесов (на ориентируемом горизонте (точке в кровле)) в условной системе координат, решая обратную геодезическую задачу, определяем дирекционный угол линии створа отвесов и расстояние между отвесами в условной системе координат.

Схема 3

$$\operatorname{arctg}\alpha'_{o_1o_2} = \frac{Y'_{o_2} - Y'_{o_1}}{X'_{o_2} - X'_{o_1}} == \frac{-30{,}173}{49{,}454} = 0{,}610;$$

$$\alpha'_{o_1o_2} = 328°36'42'';$$

$$C'_{o_1o_2} = \frac{Y'_{o_2} - Y'_{o_1}}{\sin\alpha'_{o_1o_2}} = \frac{X'_{o_2} - X'_{o_1}}{\cos\alpha'_{o_1o_2}} = \frac{30{,}173}{\sin 328°36'42''} = \frac{49{,}454}{\cos 328°36'42''} = 57{,}932 \text{ м}$$

Схема 4

$$\operatorname{arctg}\alpha'_{o_3o_4} = \frac{Y'_{o_4} - Y'_{o_3}}{X'_{o_4} - X'_{o_3}} = \frac{27{,}393}{51{,}695} = 0{,}530;$$

$$\alpha'_{o_3o_4} = 27°55'08'';$$

$$C'_{o_3o_4} = \frac{Y'_{o_4} - Y'_{o_3}}{\sin \alpha'_{o_3o_4}} = \frac{X'_{o_4} - X'_{o_3}}{\cos \alpha'_{o_3o_4}} = \frac{27{,}393}{\sin 27^\circ 55'08''} = \frac{51{,}695}{\cos 27^\circ 55'08''} = 58{,}504 \text{ м}$$

4. Контроль результатов вычислений и измерений:

Схема 3

$$\Delta C = C - C' = 57{,}934 - 57{,}932 = 0{,}002$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{2}{57934} = \frac{1}{28967} < 1:2000.$$

Схема 4

$$\Delta C = C - C' = 58{,}497 - 58{,}504 = 0{,}007$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{7}{58497} = \frac{1}{8357} < 1:2000.$$

5. Вычисляем угол поворота осей условной системы координат относительно системы координат на земной поверхности, т. е. определяем дирекционный угол первой стороны теодолитного хода на ориентируемом горизонте:

Схема 3

$$\Delta\alpha = \alpha_{o_1o_2} - \alpha'_{o_1o_2} = \alpha_{o_{1-4}} = 227^\circ 40'47'' - 328^\circ 36'42'' = 259^\circ 04'05'';$$

$$\alpha_{o_{1-4}} = 259^\circ 04'05''.$$

Схема 4

$$\Delta\alpha = \alpha_{o_3o_4} - \alpha'_{o_3o_4} = \alpha_{o_{3-8}} = 227^\circ 14'07'' - 27^\circ 55'08'' = 246^\circ 18'59'';$$

$$\alpha_{o_{3-8}} = 246^\circ 18'59''.$$

6. Вычисляем координаты пунктов теодолитного хода и отвеса O_2 (схема 3) и отвеса O_4 (схема 4) на ориентируемом горизонте в системе координат, принятой на земной поверхности.

Расчет ведется от отвеса O_1 (схема 3) и от отвеса O_3 (схема 4).

Координаты отвесов O_1 и O_3 принимаются равными координатам, полученными на земной поверхности (см. табл. 8, 9).

Результаты вычислений приведены в табл. 12 (схема 3) и табл. 13 (схема 4).

7. Вычисляем линейную невязку, т. е. разницу в координатах отвеса O_2 (схема 3) и от отвеса O_4 (схема 4), полученных на земной поверхности (см. табл. 8, 9) и на ориентируемом горизонте (см. табл. 12, 13).

Схема 3

$$f_x = X^{\text{ш}}_{o_2} - X^{\text{п}}_{o_2} = 640697{,}049 - 640697{,}048 = 0{,}001 \text{ м};$$

$$f_y = Y^{\text{ш}}_{o_2} - Y^{\text{п}}_{o_2} = 6125320{,}046 - 6125320{,}046 = 0{,}000 \text{ м};$$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{1^2 + 0} = 1 \text{ мм}.$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{C} = \frac{1}{57934} \le \frac{1}{5000}.$$

Схема 4

$$f_x = X^{\text{ш}}_{o_4} - X^{\text{п}}_{o_4} = 640734{,}090 - 640734{,}089 = 0{,}001 \text{ м};$$

$$f_y = Y^{\text{ш}}_{o_4} - Y^{\text{п}}_{o_4} = 6125339{,}506 - 6125339{,}513 = 0{,}007 \text{ м};$$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{1^2 + 7^2} = 7{,}1 \text{ мм}.$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{C} = \frac{7{,}1}{58497} = \frac{1}{8239} \le \frac{1}{5000}.$$

8. Производится распределение линейной невязки в приращения координат теодолитного хода на ориентируемом горизонте с обратным знаком пропорционально длинам сторон и вычисляются координаты пунктов теодолитного хода в системе координат, принятой на земной поверхности. В приведенных расчетах (см. табл. 12 и 13) линейные невязки практически отсутствуют. В случае получения $f_{\text{отн}} \rangle \frac{1}{5000}$, ориентирование переделывается.

3. ПОДЗЕМНАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ СЪЕМКА

Вертикальная съемка горных выработок – это комплекс измерений и вычислений, в результате которых определяют высотные отметки (координаты Z) отдельных точек.

Определение высотных отметок в подземных горных выработках необходимо для пространственной увязки горных выработок между собой и с земной поверхностью в вертикальной плоскости.

Вертикальная съемка включает: геометрическое нивелирование на земной поверхности от пунктов государственной сети (не ниже IV класса точности) до устья ствола шахты, передачу высотной отметки в шахту, геометрическое или тригонометрическое нивелирование в горных выработках.

В зависимости от схемы вскрытия месторождения передача высотной отметки в шахту выполняется: через наклонный ствол или штольню; через вертикальную выработку (ствол, шурф, восстающий).

В программе лабораторных работ предусмотрено выполнение передачи высотной отметки через вертикальные горные выработки и геометрическое нивелирование горных выработок.

3.1. Передача высотной отметки через вертикальные горные выработки

Передача высотной отметки через вертикальные выработки производится тремя способами: длинномером (глубиномером) ДА-2, длинной лентой (рулеткой), светодальномером (лазерной рулеткой).

Высоты в подземные горные выработки передают независимо дважды. Разность в превышениях из двух независимых значений ($\Delta Z = \Delta Z_1 - \Delta Z_2$) не должна превышать величины [1] $\Delta Z \le 0{,}0003H$, м, где H – глубина вертикальной выработки в м.

При выполнении геометрического нивелирования расхождения между двумя превышениями допускается не более 4 мм. За окончательный результат принимается среднеарифметическое значение.

3.1.1. Лабораторная работа № 5
Передача высотной отметки длиномером ДА-2

Длиномер (глубиномер) маркшейдерский, предназначен для измерения глубины вертикальных горных выработок. Лабораторная работа выполняется в учебном здании университета и состоит в передаче высотной отметки с этажа на этаж (с земной поверхности на ориентируемый горизонт).

Приборы и оборудование: длиномер ДА-2, нивелир, нивелирная рейка.

Методика выполнения. На земной поверхности (верхний этаж) (рис. 11) на временном полке устанавливается длиномер ДА-2. На уровне визирного луча инструмента (нивелира), установленного на верхнем этаже, подвешивается груз-рейка. На репер $R_{\text{п}}$ устанавливается нивелирная рейка. Фиксируются отсчеты с точностью до миллиметров по груз-рейка $n_{\text{п}}$, нивелирной рейка $a_{\text{п}}$ и по счетчику мерного диска ДА-2 $N_{\text{п}}$.

Далее, груз-рейку опускают вниз примерно на 1 м и на уровне визирного луча нивелира закрепляют контрольную рейку. Фиксируются отсчеты по контрольной рейке $n_{\text{п}}$, нивелирной рейке $a_{\text{п}}$ и по счетчику мерного диска ДА-2 $N_{\text{п}}$.

После этого груз-рейку опускается на нижний этаж до уровня визирного луча нивелира, установленного на нижнем этаже. На репер $R_{\text{ш}}$ на нижнем этаже устанавливается нивелирная рейка. Фиксируются отсчеты с точностью до миллиметра по груз-рейке $n_{\text{ш}}$, нивелирной рейке $a_{\text{ш}}$ и по счетчику мерного диска ДА-2 $N_{\text{ш}}$.

Затем, груз-рейка опускается вниз и на уровне визирного луча нивелира устанавливается контрольная рейка. Фиксируются отсчеты по контрольной рейке $n_{\text{ш}}$, нивелирной рейке $a_{\text{ш}}$ и по счетчику мерного диска ДА-2 $N_{\text{ш}}$.

Второй прием передачи высотной отметки проводится при подъеме груз-рейки и контрольной рейки в обратном направлении снизу вверх. Перед выполнением второго приема предварительно изменяют положение контрольной рейки по высоте или устанавливают другой горизонт нивелира с целью получения нового отсчета.

Запись результатов измерений производится в полевом журнале (табл. 14).

При выполнении каждого приема измеряется температура воздуха на каждом этаже $t_{\text{п}}$, $t_{\text{ш}}$ с точностью до 1°С.

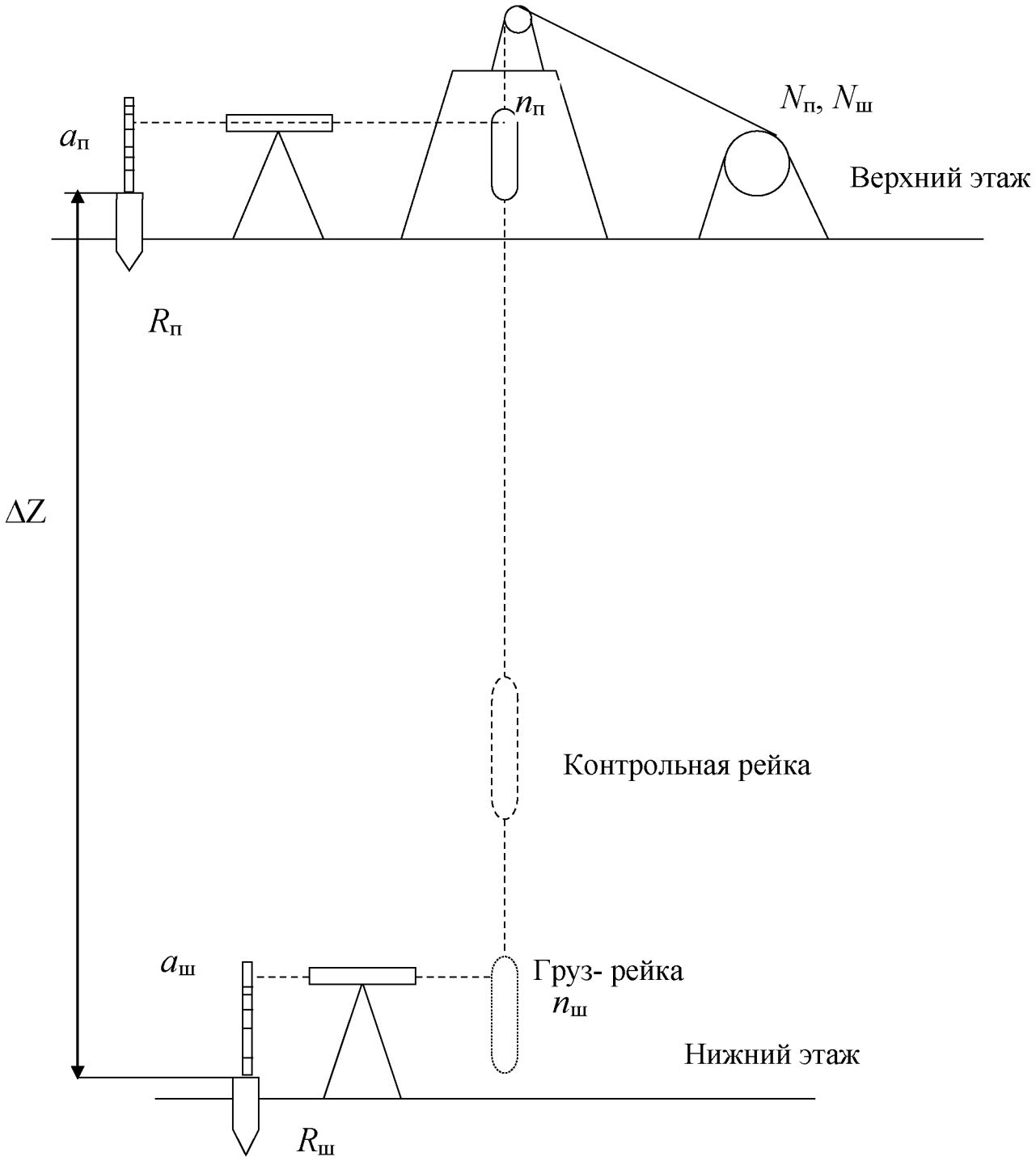


Рис. 11. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длиномером (глубомером) ДА-2

Таблица 14

Полевой журнал для записей измерений длиномерами ДА-2

Наименование операций	Отсчеты, мм						$t_{\text{П}}$, град	$t_{\text{Ш}}$, град
	$N_{\text{П}}$	$n_{\text{п}}$	$a_{\text{п}}$	$N_{\text{п}}$	$n_{ш}$	$a_{ш}$		
Спуск груз-рейка контр. рейка								
Подъем груз-рейка контр. рейка								

Отсчеты по нивелирным рейкам и груз-рейке фиксируются до миллиметров.

Камеральная обработка результатов измерений

Превышение ΔZ в каждом полуприеме определяется (раздельно для груз-рейки и контрольной рейки) по формуле:

$$\Delta Z = (N_{\text{П}} - N_{\text{Ш}}) + (a_{\text{П}} - a_{\text{Ш}}) + (\lambda_{\text{Ш}} - \lambda_{\text{П}}).$$

В вычисленное превышение вводят поправки, м:

1) за диаметр проволоки

$$\Delta L_d = 0{,}001 \Pi d (N_{\text{П}} - N_{\text{Ш}}), \text{ м},$$

где d - диаметр проволоки, мм (0,8 мм); $N_{\text{П}}, N_{\text{Ш}}$ - отсчеты по мерному диску ДА-2, м; $\pi = 3{,}1416$;

2) за разность температуры проволоки в вертикальной выработке и на земной поверхности

$$\Delta L_t = \alpha (N_{\text{П}} - N_{\text{Ш}})(t_{\text{ср}} - t_{\text{П}}); \; t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{П}} + t_{\text{Ш}}}{2},$$

где α - температурный коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлена проволока (для стали $\alpha = 0{,}0000115$); $t_{\text{П}}, t_{\text{Ш}}$ - температура воздуха на земной поверхности на ориентируемый горизонт, соответственно, град. Для лабораторных работ $t_{\text{П}} = t_{\text{Ш}}$ и

поправки ΔL_t не вводятся;

3) за разность температуры мерного диска при измерении и компарировании

$$\Delta L_Д = \alpha_Д (N_п - N_ш)(t - t_0),$$

где $\alpha_Д$ - коэффициент линейного расширения металла мерного диска; t, t_0 - температура мерного диска при измерении и компарировании, соотвественно;

4) за компарирование мерного диска

$$\Delta L_к = (N_п - N_ш)(l - 1),$$

где l - длина окружности мерного диска по паспорту завода, м.

Исправленное превышение $\Delta Z_и$ вычисляется для каждого полуприема, т. е. по груз-рейке и контрольной рейке по формуле:

$$\Delta Z_и = \Delta Z + \Delta L_d + \Delta L_t + \Delta L_Д + \Delta L_к .$$

Расхождение между привышениями $\Delta Z_и$, определении по груз-рейке ($\Delta Z'_и$) и контрольной рейке ($\Delta Z''_и$)

$$\Delta Z'_и - \Delta Z''_и \le 0{,}0003H \text{ , м,}$$

где H - глубина вертикальной выработки ($H = N_п - N_ш$) в м;

$$\Delta Z_{ср} = \frac{\Delta Z'_и + \Delta Z''_и}{2}, \text{ м.}$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте равна

$$Z_ш = Z_п + \Delta Z_{ср}, \text{ м,}$$

где $Z_ш, Z_п$ - высотная отметка реперов соответственно на ориентируемом горизонте и на земной поверхности.

3.1.2. Лабораторная работа № 6
Передача высотной отметки длинной лентой (рулеткой)

Длинная лента – это лебедка, на барабан которой (диаметром 30 мм) намотана лента. Длина ленты может быть от 100 до 500 м. При передаче высотной отметки на глубину до 100 м используется рулетка.

Лабораторная работа выполняется в учебном здании университета и состоит в передаче высотной отметки с этажа на этаж (с земной поверхности на ориентируемый горизонт).

Приборы и оборудование: длинная лента (рулетка), металлическая линейка с миллиметровыми делениями длиной 50 мм, нивелир, нивелирная рейка.

Методика выполнения: на земной поверхности (верхний этаж) (рис. 12) на временной полке устанавливается лебедка с лентой.

Лента опускается на ориентируемый горизонт (нижний этаж), где на ее конце подвешивается груз Q по массе, равной грузу, при котором производится компарирование ленты Q_0. На земной поверхности (верхний этаж) и на ориентируемом горизонте (нижний этаж) устанавливаются нивелиры, так чтобы через трубу нивелира были видны лента и нивелирная рейка, установленная на репере $R_п$ и $R_ш$ (см. рис 12).

При измерениях по визирной оси нивелира берут отсчеты: с точностью до миллиметра по ленте, используя металлическую линейку, на земной поверхности (верхний этаж) $N_п$ и на ориентируемом горизонте (нижний этаж) $N_ш$; по нивелирным рейкам, установленным на реперах, соответственно на земной поверхности (верхний этаж) $a_п$, на ориентируемом горизонте (нижний этаж) $a_ш$. Измеряется температура воздуха на земной поверхности (верхний этаж) $t_п$ и на ориентируемом горизонте (нижний этаж) $t_ш$.

Передача высотной отметки должна быть выполнена дважды. При втором измерении меняется высота инструментов (нивелиров) или положение ленты. В этом случае лента должна быть приподнята или опущена на 10 - 20 см.

Запись результатов измерений производится в полевой журнал (табл. 15).

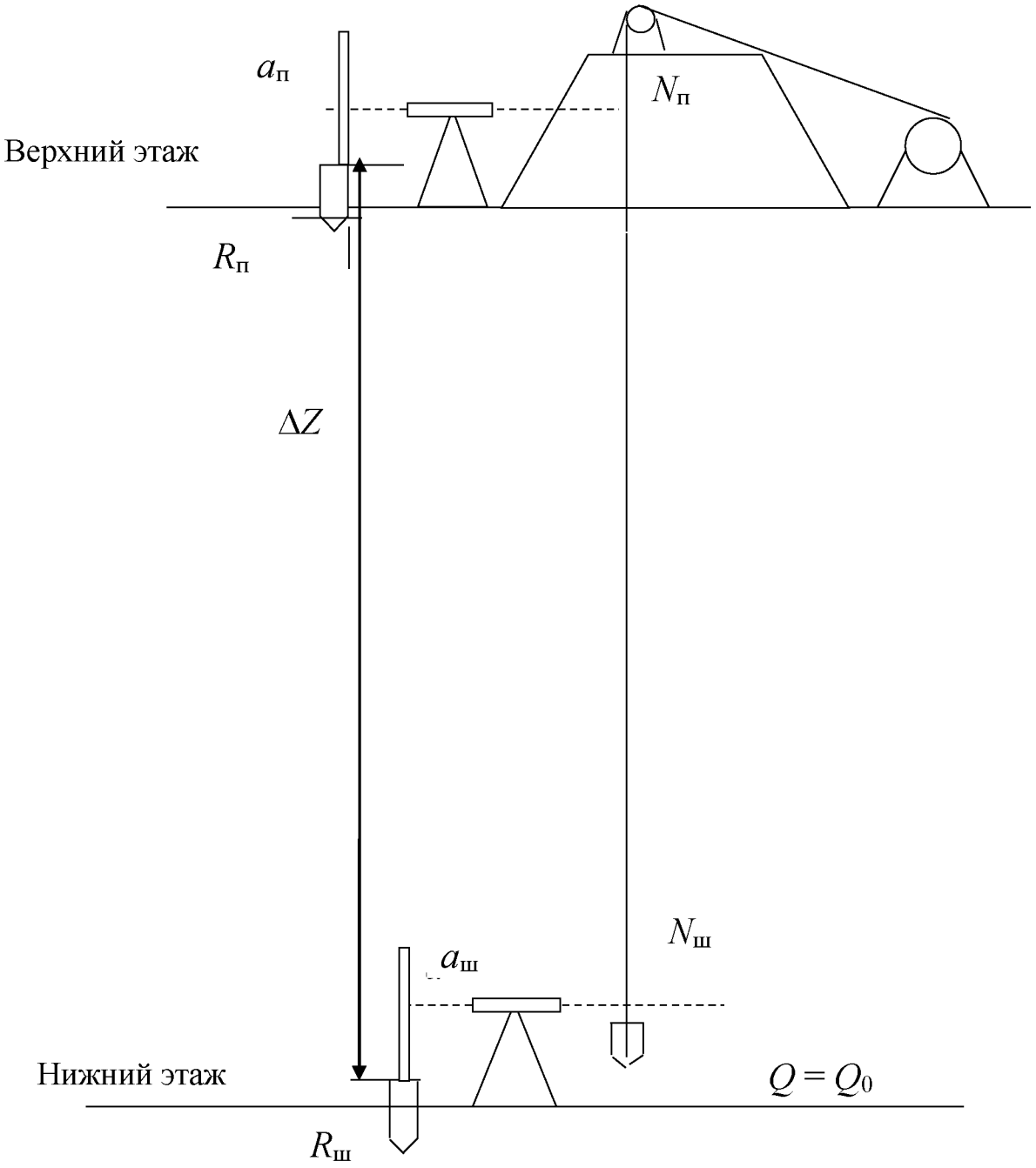


Рис. 12. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длинной лентой (рулеткой)

Таблица 15

Полевой журнал для записей длинной лентой (рулеткой)

Положение ленты	Отсчеты, мм				Температура, град	
	$n_{\text{п}}$	$n_{\text{ш}}$	$a_{\text{п}}$	$a_{\text{ш}}$		
1					$t_{\text{п}}$	
					$t_{\text{ш}}$	
2					$t_{\text{п}}$	
					$t_{\text{ш}}$	

Камеральная обработка

Превышение ΔZ при каждом положении ленты определяется по формуле:

$$\Delta Z = (N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}) + (a_{\text{п}} - a_{\text{ш}}).$$

В вычисленное превышение вводят поправки, м:

1) поправка за расстояние ленты от собственного веса

$$\Delta L_Q = \frac{L^2 \cdot \gamma \cdot q}{2E},$$

где $L = (N_{\text{п}} - N_{\text{ш}})$- длина ленты на измеренном участке: γ- плотность металла ленты (7874 кг/м^3), q= 9,81 м/с^2, E – модуль упругости стали, $E = 2{,}5 \cdot 10^{11}\ Па$, $E = 2 \cdot 10^6$ кг/см^2;

2) поправка за температуру

$$\Delta L_t = \alpha L(t_{\text{ср}} - t_0),$$

где α- коэффициент линейного расширения металла (для стали α=0,0000115), температура воздуха, соответственно, $t_{\text{ср}}$ - средняя (верхний и нижний этаж), t_0 - при компарировании ленты;

3) поправка за компарирование $\Delta L_{к}$.

Исправленное превышение $\Delta Z_{и}$ вычисляется для каждого положения ленты

$$\Delta Z_{и} = \Delta Z + \Delta L_{Q} + \Delta L_{t} + \Delta L_{к}.$$

Расхождение между превышениями $\Delta Z_{и}$, определенными при первом положении ленты $\Delta Z'_{и}$ и вторым $\Delta Z''_{и}$, не должно превышать величины

$$\Delta Z'_{и} - \Delta Z''_{и} \leq 0{,}003H, \text{ м},$$

где H - глубина вертикальной выработки (Н= $N_{п} - N_{ш}$), м,

$$\Delta Z_{ср} = \frac{(\Delta Z'_{и} + \Delta Z''_{и})}{2}, \text{ м}.$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте равна

$$\Delta Z_{ш} = Z_{п} + \Delta Z_{ср}, \text{ м},$$

где $Z_{ш}, Z_{п}$ - высотная отметка реперов соответственно на ориентируемый горизонте и на земной поверхности.

3.1.3. Лабораторная работа № 7
Передача высотной отметки светодальномером (лазерной рулеткой)

Лабораторная работа выполняется в учебном здании университета и состоит в передаче высотной отметки с этажа на этаж (с земной поверхности на ориентируемый горизонт).

Приборы и оборудование: светодальномер (лазерная рулетка), нивелир, нивелирная рейка.

Методика выполнения: на земной поверхности (верхний этаж) (рис. 13) на временной полке устанавливается светодальномер (лазерная рулетка) на ориентируемом горизонте (нижний этаж) отражатель.

При измерениях берут отсчеты в нивелиры на земной поверхности (верхний этаж) по рейке, установленной на

светодальномере

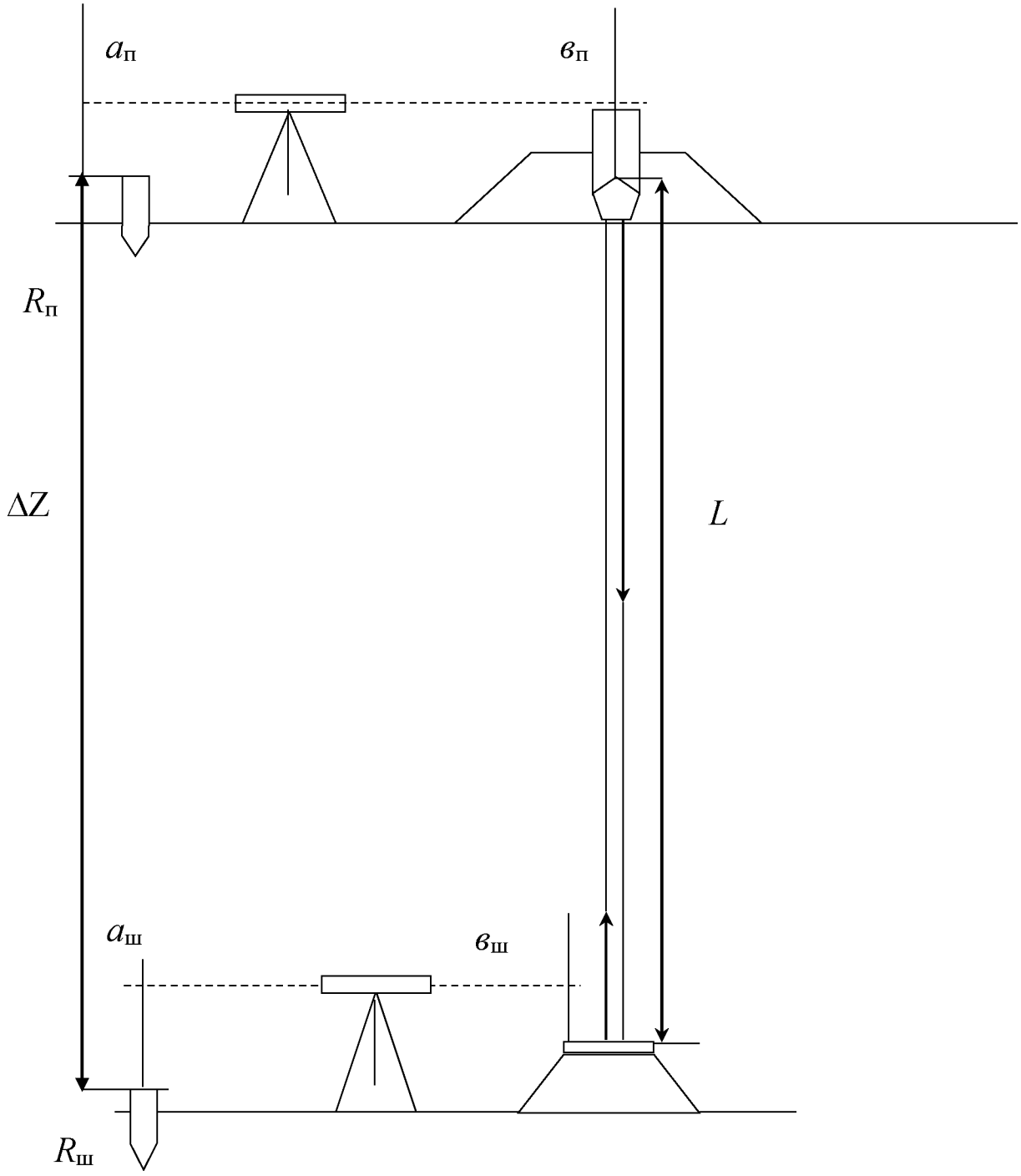


Рис. 13. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку светодальномером (лазерной рулеткой)

(лазерной рулетке) ($в_п$) и на репере ($n_п$); на ориентируемом горизонте (нижний этаж) по рейке, установленной на отражателе ($в_ш$) и на репере ($n_ш$). Записывают измеренное светодальномером (лазерной рулеткой) расстояние (L).

Измерения повторяют, не менее двух приемов, изменив высоту нивелира, светодальномера и отражателя.

Запись результатов измерений ведут в полевом журнале (табл. 16).

Таблица 16

Полевой журнал для записей измерений светодальномером (лазерной рулеткой)

Номера измерений (приемов)	Отсчеты, мм					Температура, t, град	Атмосфер. давл., P	Примечание
	L	$в_{П}$	$а_{П}$	$в_{Ш}$	$а_{Ш}$			
1								
2								

Камеральная обработка

Превышение ΔZ при каждом приеме определяется по формуле:

$$\Delta Z = L - (а_{П} - в_{П}) + (а_{Ш} - в_{Ш}).$$

В вычисленное превышения вводятся поправки, м:

- поправка за температуру воздуха ΔL_t,
- поправка за атмосферное давление ΔL_p ,
- постоянная поправка светодальномера ΔL_c.

Исправленное превышение $\Delta Z_{и}$ вычисляется для каждого приема

$$\Delta Z_{и} = \Delta Z + \Delta L_t + \Delta L_p + \Delta L_{с}.$$

Расхождение между превышениями, определенными в каждом приеме, не должно превышать величины $\Delta Z'_{и} - \Delta Z''_{и} \le 0{,}003L$, м.

Окончательно принимается среднеарифметическое значение

$$\Delta Z_{ср} = \frac{(\Delta Z'_{и} + \Delta Z''_{и})}{2}, \text{ м.}$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте равна

$$\Delta Z_{\text{ш}} = Z_{\text{п}} + \Delta Z_{\text{ср}}, \text{ м},$$

где $Z_{\text{ш}}$, $Z_{\text{п}}$ - высотные отметки реперов соответственно на ориентируемом горизонте и на земной поверхности.

Список литературы

1. *Инструкция по производству маркшейдерских работ*, серия 07. Нормативные документы по вопросам охраны недр геолого-маркшейдерского контроля. Выпуск 15. Охрана недр и геолого-маркшейдерского контроля. М.: 2003. – 118 с.

2. *Оглоблин Д. Н. и др.* Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1981. – 704 с.

Содержание

Введение……...3
1. Подземные маркшейдерские съемки……....3
1.1. Общие сведения……3
1.2. Основные понятия ориентирования и единиц мер измерения.5
1.3. Теодолитная съемка в шахте……9
1.3.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов……9
1.3.2. Измерения длин сторон теодолитных ходов……12
1.3.3. Съемка подробностей (контуров)……...15
1.4. Лабораторная работа № 1. Подземная теодолитная съемка...15
1.5. Компарирование рулетки……...18
1.5.1. Лабораторная работа № 2. Компарирование рулетки……..18
2. Ориентирно-соединительные съемки……..24
2.1. Лабораторная работа № 3. Ориентирно-соединительные съемка через одну вертикальную выработку……25
2.2. Лабораторная работа № 4. Ориентирно-соединительные съемка через две вертикальные выработки……37
3. Подземная вертикальная съемка……..50
3.1. Передача высотной отметки через вертикальные горные …. выработки……..50
3.1.1. Лабораторная работа № 5. Передача высотной отметки длиномером ДА-2……...50
3.1.2. Лабораторная работа № 6. Передача высотной отметки длинной лентой (рулеткой)……55
3.1.3. Лабораторная работа № 7. Передача высотной отметки светодальномером (лазерной рулеткой)……57
Список литературы……62
Содержание……63

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебно-методическое пособие

к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента 6
2. Содержание Курса. Контрольные вопросы и задачи по темам дисциплины 7
Рекомендуемая литература 11

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента составляет 288 часов или 8 зачетных единиц. Из них 149 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерия» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых практических работ; решение и защита типовых маркшейдерских задач по отдельным темам курса. Дополнительная самостоятельная работа связана с углубленным изучением отдельных разделов курса на основе научно-исследовательской работы студента (НИРС).

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Маркшейдерия». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины на кафедре маркшейдерского дела имеется учебные пособия для решения типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом [2]. Эта учебное пособие программа может быть скопирована студентом для использования на домашнем компьютере.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] изучите каждую тему дисциплины,

используйте указанную дополнительную литературу[2]. Консультацию можете получить у преподавателя.

3. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные задачи. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

4. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

5. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в конце каждого раздела учебного пособия [2]. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Содержание курса

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Ознакомиться с календарно-тематическим планом самостоятельной работы обучающихся.

3. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

4. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы студента преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется проверка расчетно-графических работ, опрос, курсовая работа. Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов (СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента по данной учебной дисциплине. Объемы и виды трудозатрат по всем отдельным видам представлены в разделе 7. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы студентов, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРС, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стре-

миться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служит опрос.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, студентам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

2.2. Контрольные вопросы

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

1. Каковы задачи маркшейдерской службы?
2. Где зародилась специальность маркшейдерское дело?
3. Задачи, решаемые маркшейдерской службой на действующих шахтах.
4. Каковы виды и принципы маркшейдерских съемок в плане и по высоте?
5. Какими приборами пользуются маркшейдеры для измерения углов, расстояний?

Тема 2: Маркшейдерские опорные сети на земной поверхности

1. Опорные маркшейдерские сети – цель и задачи.
2. Что является главной геометрической основой всех видов съемки горного предприятия?

3. Назовите исходные пункты для построения маркшейдерских опорных сетей.
4. Кем создаются маркшейдерские опорные сети?
5. Какие основные методы создания опорных сетей?
6. Как закрепляются центры опорных сетей?
7. Какой класс точности координат центров опорных сетей?

Тема 3: Геометрический способ ориентирования подземных горных выработок

1. Цель и задачи геометрического способа ориентирования.
2. Практическое значение геометрического способа ориентирования.
3. Какие способы ориентирования в зависимости от схемы вскрытия месторождения?
4. Методика и схемы ориентирования через наклонный ствол или штольню.
5. Схема ориентирования через один вертикальный ствол.
6. Схема ориентирования через два вертикальных ствола.
7. Оценка точности геометрических способов ориентирования.

Тема 4: Гироскопический способ ориентирования подземных горных выработок

1. Цель и задачи гироскопического способа ориентирования.
2. Практическое значение гироскопического способа ориентирования.
3. Какие схемы ориентирования в зависимости от схемы вскрытия месторождения?
4. Методика и схема ориентирования через один вертикальный ствол.
5. Методика и схема ориентирования через два вертикальных ствола.
6. Основные понятия теории гироскопического ориентирования.

Тема 5: Вертикальная соединительная съемка подземных горных выработок

1. Цель и задачи вертикальной соединительной съемки.
2. Практическое значение вертикальной соединительной съемки.
3. Какие методы и схемы передачи высотной отметки в шахту?
4. Методика и схема передачи высотной отметки в шахту глубиномером ДА-2.
5. Методика и схема передачи высотной отметки в шахту шахтной лентой или рулеткой.
6. Методика и схема передачи высотной отметки в шахту светодальномером.
7. Оценка точности вертикальной соединительной съемки.

Тема 6: Маркшейдерские подземные опорные сети

1. Цель и задачи маркшейдерских подземных опорных сетей.
2. Способы создания опорных подземных сетей.
3. Основные требования при создании и реконструкции подземных опорных сетей.
4. Закрепление пунктов подземных опорных сетей.
5. Методика и требования при измерении углов и длин подземных опорных сетей.

6. Методика и способы определения высотной отметки пунктов подземных опорных сетей.
7. Оценка точности определения плановых координат и высотной отметки пунктов подземных опорных сетей.

Тема 7: Маркшейдерская съемка в подземных горных выработках

1. Цель и задачи маркшейдерской съемки подземных горных выработок.
2. Способы создания и реконструкции маркшейдерских съемочных сетей.
3. Закрепление пунктов подземных съемочных сетей.
4. Методика и требования при измерении углов и длин съемочных сетей.
5. Цель и задачи маркшейдерской съемки контуров подземных горных выработок.
6. Схемы и методика производства маркшейдерской съемки контуров подземных горных выработок.
7. Камеральная обработка и оценка точности съемочных сетей и съемки контуров подземных горных выработок.

Тема 8: Маркшейдерский контроль проходки подземных горных выработок

1. Цель и задачи маркшейдерского контроля проходки подземных горных выработок.
2. Исходные данные для задания направления на проходку горных выработок.
3. Задание направления в горизонтальной плоскости.
4. Задание направления в вертикальной плоскости.
5. Использование лазерных указателей направления.
6. Замер проходки горных выработок.
7. Замер остатков полезного ископаемого и горной массы на складах и отвалах.

Рекомендуемая литература

1.Оглоблин Д.Н. и другие. «Маркшейдерское дело»: Учебник.- М. Недра,1981г..-704 с.

2.Голубко Б.П., Земских Г.В., Раева О.С. Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2017. – 96с.

Маркшейдерия: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» / Б.П. Голубко; Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: 2019. – 12 с.

Автор

Голубко Борис Павлович

Корректура кафедры маркшейдерского дела

Подписано к печати

Формат бумаги 60х84 1/16

Печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ №

Цена С

Лаборатория множительной техники УГГГА

620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Земских Г.В., Шевелёв А.А.

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Учебно-методическое пособие

к курсовой работе и практическим занятиям

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

Введение

Курсовая работа «Маркшейдерско-геодезические приборы» выполняется в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего образования, по специальности 21.05.04 «Горное дело», специализации «Маркшейдерское дело».

В соответствии с «Законом об обеспечении единства измерений» маркшейдерско-геодезические приборы, как средства измерений входящие в сферу государственного контроля, должны поверяться органами Государственной метрологической службы или аккредитованными метрологическими службами юридических лиц, индивидуальными предпринимателями. Величина межповерочного интервала указывается в сертификате утверждения типа, для геодезических приборов его величина составляет 1 год.

В межповерочный интервал выполняется периодическая технологическая поверка, в задачу которой входит определение соответствия точности измерений паспортным значениям и поддержание применяемых приборов в постоянной рабочей готовности.

Содержанием курсовой работы является освоение методики технологической поверки основных маркшейдерско-геодезических приборов, выполняемой с целью определения действительных значений их технических характеристик, а после их исправления (при необходимости), подтверждения готовности приборов к полевым измерениям. Технологическую поверку выполняет исполнитель геодезических или маркшейдерских работ, как правило, перед их началом или по специальному графику, если работы выполняются круглогодично. Операции, выполняемые при технологической поверке, упрощены, по сравнению с метрологической поверкой и, как правило, не требуют специального лабораторного оборудования и эталонов.

Готовность прибора к работе, обеспеченная и подтвержденная в процессе технологической поверки, означает соответствие геометрических и иных конструктивных требований, предъявляемых к исправному прибору. Исправный теодолит должен обеспечивать измерение горизонтальных и вертикальных углов, электронный тахеометр – углов и длин, нивелир – соответствующих превышений с погрешностями, не выходящими за границы допусков указанных в паспорте.

Методика исследования теодолитов и нивелиров изложена в основных нормативных документах Агентства по техническому регулированию и метрологии (Госстандарт России): ГОСТ 10529-96. Теодолиты. Общие технические условия, ГОСТ 10528-96. Нивелиры. Общие технические условия. Методика исследований ряда маршейдерско-геодезических приборов изложена в справочной и учебной литературе[1, 2, 3] в ведомственных инструкциях Роскартографии [4, 5, 6] и в руководствах по эксплуатации приборов. Данное методическое пособие не заменяет перечисленные нормативные документы, но, в определённой мере, обобщает и дополняет, так как методики исследований приборов изложены с учётом возможности их применения маркшейдерами на горных предприятиях.

Перечень операций по исследованию приборов, в курсовой работе несколько расширен в учебных целях, по сравнению с требованиями, как метрологической [2, 3], так и технологической [1] поверки.

На время выполнения курсовой работы за каждым студентом закрепляются необходимые приборы, за которые он несет личную ответственность. Перед началом измерительных работы студент сдаёт зачёт по правилам эксплуатации геодезических приборов. После окончания измерительных работ студент сдает преподавателю приборы в рабочем состоянии.

В случае, когда невозможно выполнить юстировку или ремонт прибора в условиях лаборатории кафедры, к курсовой работе прилагается

дефектная ведомость с перечнем неисправностей, подлежащих исправлению в специализированной мастерской.

Курсовая работа является индивидуальным документом, в котором приводятся результаты собственных полевых измерений (на уровне отсчетов), результаты математической обработки и выводы.

В заключительной части курсовой работы исполнитель должен приложить таблицу с указанием технических характеристик средства измерений по паспорту и фактическими результатами выполненных исследований.

Многолетняя практика выполнения данной курсовой работы показывает, что студенту для выполнения измерительных, расчетных и оформительских работ требуется 40…50 часов. На исследование приборов в учебном плане отводится 24 часа лабораторных занятий, остальное время предусмотрено за счет часов, отведенных для выполнения расчетной части курсовой работы и ее оформления, а также за счет часов самостоятельной работы студентов.

1. Оптические теодолиты

1.1. Условия проведения поверки

Перед началом поверки маркшейдерско-геодезические приборы и все используемые при ее проведении технические средства должны быть приведены в рабочее состояние в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

При выполнении поверки в помещении должны выполняться следующие требования: температура окружающего воздуха должна быть в пределах (+ 20 ± 5)°С;

скорость изменения температуры не должна быть более 3°С в час;

относительная влажность не более 90 %.

При проведении поверки вне помещения:

условия видимости должны быть благоприятными, колебания изображения – минимальными;

на приборы не должны падать прямые лучи солнца;

скорость ветра не должна превышать 4 м/с;

измерения должны проводиться при полном отсутствии осадков.

В процессе поверки необходимо соблюдать правила работы с приборами, указанные в эксплуатационной документации, а также правила по технике безопасности. Все результаты поверки заносятся в индивидуальный журнал, который прикладывается к отчёту.

1.2. Внешний осмотр и проверка комплектности

Проверку внешнего состояния и комплектности производят осмотром. Визуально проверяют чистоту оптических деталей зрительной трубы, контрастность и четкость одновременной наблюдаемой сетки нитей. Убеждаются в отсутствии коррозии, царапин и других дефектов на приборе, которые могут повлиять на точность измерений.

Маркировка прибора и футляра должна соответствовать ГОСТ 10529, техническим условиям на данный тип и содержать один и тот же порядковый номер прибора.

Комплектность должна соответствовать комплекту поставки, приведенному в паспорте.

1.3. Опробование

Проверку работоспособности теодолита и взаимодействие его подвижных узлов производят опробованием. При опробовании обращают внимание на исправность всех частей, отсутствие качаний в наводящих и закрепительных винтах; плавность вращения окуляра, перемещения фокусирующей линзы. Проверяют исправность зеркала подсветки шкал,

затяжку всех стопорных и юстировочных (регулировочных) винтов. При проверке теодолита с компенсатором необходимо убедиться, что подвесная система компенсатора и демпфер в пределах диапазона компенсации работают нормально. Трубу теодолита устанавливают в плоскости проходящей через ось симметрии подставки. Изменение наклона подставки от горизонтального положения вращением подъемного винта расположенного на оси симметрии подставки на ± 3' (± 1/6 оборота) не должно приводить к изменению отсчёта по вертикальному кругу.

Проверяют исправность штатива. Подтягивают все винты и гайки на штативе и проверяют его устойчивость. Для этого прибор устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение; наводят трубу на визирную марку (расстояние 30…40м) и запоминают отсчет. Затем к головке штатива прилагаются легкие вращательное (вокруг вертикальной оси) и вертикальное (сверху вниз) усилия, после чего проверяют величину отсчёта. При устойчивом штативе отсчет не должен отличаться более чем на 0,5 значения средней квадратической погрешности прибора данного типа.

1.4. Определение метрологических характеристик зрительной трубы

Исследованию зрительной трубы должно предшествовать изучение ее конструкции по техническому описанию, справочнику [4] или учебному пособию [5]. *В тексте отчета рекомендуется поместить схему принципиального устройства трубы, выданного теодолита с кратким указанием назначения каждого компонента.*

1.4.1. Определение увеличения зрительной трубы

Увеличение зрительных (визирных) труб в технической литературе делят на три основных вида: видимое, продольное, угловое. Понятие «видимое увеличение» относится к случаю, когда оптическая система

работает совместно с глазом. Приближённое значение видимого увеличения V можно определить совмещением видимого в окуляр увеличенного изображения участка нивелирной рейки с участком, видимым невооружённым глазом.

Более точное значение видимого увеличения зрительных труб определяется отношением диаметра зрачка входа $D_{вх}$ к диаметру зрачка выхода $D_{вх}$

$V = D_{вх} / D_{вых.}$

В большинстве современных зрительных труб зрачком входа является оправа объектива, внутренний диаметр которой измеряется с помощью штангенциркуля. Измерение зрачка входа следует производить с точностью до 0,1мм.

Зрачок выхода – это диаметр изображения объектива видимого в окуляр при фокусировке трубы на удаленный предмет. Величина зрачка выхода измеряется на удалении 2…3мм от оправы окуляра на прозрачном экране с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Для обеспечения чёткого изображения зрачка выхода перед объективом рекомендуется установить источник света (подсветку).

Наиболее точный способ измерения зрачка выхода – при помощи динаметра (специального микроскопа), позволяющего производить отсчеты до 0,01 мм. Если конструкция трубы неизвестна (возможно установлена внутренняя апертурная диафрагма), то для точного определения увеличения трубы на объектив накладывают диафрагму из плотной бумаги с отверстием диаметром 10мм, измеряют соответствующий диаметр зрачка выхода $D_{вых}$ и рассчитывают увеличение

$$V = 10 / D_{вых.}$$

У маркшейдерских теодолитов $V \approx (20…30)^x$, где x - символ кратности увеличения (крат).

1.4.2.Определение величины поля зрения трубы

Выбирается четкая, хорошо видимая удаленная визирная цель. Поочерёдно наводятся на нее диаметрально противоположными краями поля зрения и берут отсчеты по лимбу β_1 и β_2. Разность отсчетов $\Theta = \beta_1 - \beta_2$. является углом поля зрения трубы. Угол поля зрения трубы ограничивает полевая диафрагма (у большинства зрительных труб теодолитов роль полевой диафрагмы выполняет оправа сетки нитей).

Если известно значение увеличения зрительной трубы, то величину угла поля зрения можно рассчитать по формуле $\Theta \approx 28°/V$, где $28° \approx 0{,}5$ рад. Сходимость полученных результатов является подтверждением достоверности определенных значений.

1.4.3. Разрешающая способность зрительной трубы

Разрешающая способность зрительной трубы (критический угол зрения) относится к числу важнейших характеристик теодолита. Необходимая разрешающая способность трубы, характеризующаяся наименьшим углом, под которым две точки воспринимаются раздельно, рассчитывается по известной из теоретических основ дифракционной оптики формуле

$$\psi_т = 138'' / D_{вх},$$

где $D_{вх}$ - диаметр входного отверстия объектива.

Увеличение, при равных значениях разрешающей способности глаза и зрительной трубы ($\psi_г = \psi_т$), принято называть нормальным

$$V_н = (\psi_г'' / 138'') / D_{вх} = 0{,}43\, D_{вх},$$

где $\psi_г'' = 60''$ – среднее статистическое значение угловой разрешающей способности нормального глаза.

$$\psi_г'' = (d_г / ф_г)\,\rho,$$

где $d_г$ – расстояние между светочувствительными элементами глаза (≈ 0,005мм);

$ф_г$ – величина фокусного расстояния глаза (≈ 23мм);

$\rho'' = 206265''$- величина радиана в угловых секундах.

При $\psi_г'' = 60''$ на расстоянии 250мм (расстояние, при котором глаз работает без перенапряжения) глаз способен различить величину линейного интервала $d = (\psi_г / \rho'')\,250 = 0{,}073 \approx 0{,}1$мм.

Именно это свойство глаза лежит в основе достаточно точного отсчитывания доли интервала шкалы «на глаз».

Зрительные трубы маркшейдерско-геодезических приборов, предназначенных для работы в условиях плохой освещенности (подземные горные выработки) обычно имеют видимое увеличение в 1,5…2 раза больше нормального (порядка 30^x).

Отсюда угловая разрешающая способность глаза (60″), вооруженного зрительной трубой при $V = 30^x$

$$\psi_\Sigma = 60''/ V = 2''.$$

В лабораторных условиях разрешающая способность определяется на длиннофокусном коллиматоре ($f \geq 1000$мм) при рассматривании миры, установленной вместо окуляра коллиматора. Мира (многозначная угловая мера) представляет собой стеклянную пластинку, на которую с большой точностью нанесены группы белых и черных штрихов разной ширины [4]. Угловое расстояние между центрами соседних черных штрихов подписано на мире для каждой группы. Рассматривая миру в центре поля зрения трубы теодолита через объектив коллиматора, можно определить, в какой группе (с

наименьшим угловым расстоянием) видны штрихи всех направлений. Угловое расстояние этой группы и будет являться угловой разрешающей способностью глаза, вооруженного зрительной трубой. Затем определяется разрешающая способность в краевых частях поля зрения трубы по вертикальному и горизонтальному диаметрам.

При отсутствии коллиматора приблизительное значение разрешающей способности ψ_Σ можно определить по формуле:

$$\psi_\Sigma = d \cdot \rho'' / S_м,$$

где d – чётко видимый через трубу интервал между соседними делениями шкалы масштабной линейки в мм, ρ" = 206265", $S_м$ – максимальная величина расстояния до шкалы в мм, при котором чётко различается интервал d.

При расстоянии S = 50м, d = 0,5мм, ψ_Σ = 2".

1.4.4. Определение погрешности визирования

Расчётное значение средней квадратической погрешности визирования в работе [7] рекомендуется определять по формуле

$$m''_в = \pm\frac{\Delta''}{12},$$

где Δ" - величина углового расстояния биссектора сетки нитей.

Угловое расстояние биссектора нитей Δ" определяется по горизонтальной миллиметровой линейке, расположенной в области предмета на расстоянии S от объектива трубы, перпендикулярно лучу визирования. Рекомендуется величину S выбирать на 1-2 метра больше минимального расстояния фокусирования трубы. По обеим нитям биссектора берутся отсчеты по миллиметровой линейке a_1 и a_2. Угловое расстояние биссектора вычисляется по формуле

$$\Delta'' = \frac{(a_1 - a_2)_{мм}}{S_{мм}} \cdot \rho'' .$$

В работе [7] приведены экспериментальные данные погрешности визирования: при визировании одиночным штрихом $m_в''=10''/V$; при биссектировании $m_B''=15''/V$.

Меньшее значение $m_в''$ при визировании одиночным штрихом объясняется тем, что при визировании по принципу совмещения штрихов сетки и визирной марки, угловое расстояние Δ" одного штриха меньше углового расстояния биссектора. Определение достоверного расчётного значения погрешности визирования $m_в$ является достаточно трудной задачей: так, например, разрешающая способность глаза колеблется от 40" до 80", угловое расстояние биссектора сетки Δ" также не является постоянной величиной.

В ряде учебников величину $m_в$ приравнивают к разрешающей способности вооружённого глаза $m_в = \psi_{\Sigma}$, что не со всем бесспорно, т.к. не учитывается влияние параметров сетки нитей зрительной трубы и линий визирной марки.

Таким образом, при определении погрешности и визирования необходимо соблюдать общее правило: следует учитывать расстояние до марки и геометрические параметры линий сетки и марки.

1.5. Определение и юстировка инструментальных погрешностей

1.5.1. Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения прибора и юстировка уровней

Для проверки перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения прибора

необходимо установить уровень параллельно двум подъемным винтам подставки и, вращая их в противоположных направлениях, привести пузырек уровня на середину. После этого повернуть алидаду горизонтального круга на 180° вокруг вертикальной оси. Если пузырек уровня отклонится от середины, то половину отклонения следует устранить исправительными винтами уровня, а затем повторить проверку.

Проверку и юстировку следует выполнять до тех пор, пока после поворота алидады на 180° пузырек уровня не будет отклоняться более чем на 0,5 деления уровня.

При наличии круглого уровня в теодолите должно выполняться следующее условие: ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения теодолита.

Операция его проверки осуществляется аналогичным образом.

1.5.2. Определение и исправление (юстировка) коллимационной погрешности

Неперпендикулярность визирной оси зрительной трубы к горизонтальной оси ее вращения вызывает коллимационную погрешность C.

Для проверки теодолита с двусторонней отсчетной системой по лимбу необходимо после приведения прибора в рабочее положение, навести зрительную трубу при КЛ на удаленную в бесконечность (∞ при S ≥ 150 м) отчетливо видимую цель находящуюся на горизонте прибора (в пределах одного, двух градусов) и записать отсчет КЛ. Затем перевести трубу через зенит, навести ее на ту же цель и записать отсчет КП. Разность отсчетов КЛ – КП должна быть равна 180°. Отклонение разности от 180° равно двойной коллимационной погрешности: $2C$ = КЛ – КП ± 180°.

В теодолитах (Т5, Т15, Т30) с односторонней системой отсчетов по лимбу разность отсчетов *КЛ – КП* будет искажена не только влиянием коллимационной погрешности C, но и влиянием эксцентриситета алидады,

величина которого в отдельных приборах может достигать ± 1'. В этой связи определение коллимационной погрешности указанных теодолитов следует выполнять следующим образом.

После установки теодолита в рабочее положение, визируют его на одну и ту же точку при двух положениях теодолита $КЛ_1$ и $КП_1$ и вычисляют разность отсчетов $КЛ_1 - КП_1$.

Затем открепляют винт подставки, поворачивают теодолит в подставке на 180°, приводят пузырёк цилиндрического уровня в средне положение, вновь наводят на ту же точку при двух положениях круга и получают разность $КЛ_2 - КП_2$. Величина двойной коллимационной погрешности будет

$$2C = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{2}.$$

Для устранения коллимационной погрешности необходимо изменить положение визирной оси относительно оси вращения трубы смещением сетки нитей в горизонтальном направлении или путем изменения направления визирной оси зрительной трубы с помощью клина установленного между объективом и корпусом трубы. Выполняя данную юстировку, не обязательно полностью исправлять коллимацию, достаточно чтобы она не превышала двойного значения СКО измерения угла данным теодолитом.

Теодолиты 2Т2, 2Т5К и их модификации не имеют исправительных винтов сетки, поэтому коллимацию можно исправить только поворотом клина, расположенного перед объективом или между объективной частью трубы и осью ее вращения. Поворот клина приводит к изменению не только коллимации, но и места нуля вертикального круга. Поэтому выполнение данной операции рекомендуется производить в условиях специализированной мастерской.

1.5.3. Определение и юстировка места нуля (места зенита)

Отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении зрительной трубы должен быть равен или близок к 0° при оцифровке круга от горизонта или к 90° при оцифровке круга от зенита.

Место нуля *М*0 (место зенита MZ) вертикального круга определяют визированием на четко видимую, удалённую на 50 – 100 метров точку, расположенную приблизительно на горизонте прибора, при двух положениях круга и взятием отсчетов КЛ и КП по вертикальному кругу. Перед взятием отсчетов приводят пузырек уровня при вертикальном круге на середину (за исключением приборов с компенсатором).

Вычисление *М*0 (*MZ*) в зависимости от системы оцифровки круга производят по формуле, указанной в инструкции по эксплуатации на конкретный тип теодолита.

Изменение места нуля (места зенита) может быть вызвано различными причинами. Основные из них следующие: изменилось положение оси уровня при вертикальном круге, сместилась сетка нитей в вертикальном направлении, нарушилась балансировка маятника компенсатора.

Для исправления *М*0 (MZ) в теодолитах 2Т2, 2Т2П, 2Т2А совмещают концы пузырька уровня при вертикальном круге и берут отсчет по микрометру. Вращением шкалы микрометра изменяют отсчет на величину места зенита (при круге слева отсчет должен быть уменьшен). Вращением наводящего винта уровня точно совмещают изображение штрихов вертикального круга в центральном окне отсчетного микроскопа, после чего юстировочными винтами уровня совмещают концы пузырька уровня. После этого поверку повторяют.

В теодолитах с компенсаторами порядок исправления не отличается от предыдущего, но после внесения в отсчет исправления на величину MZ

смещение штрихов производят специальным юстировочным винтом компенсатора.

В теодолитах Т30, 2Т30, 2Т30П, 4Т30П М0 (MZ) исправляют смещением сетки нитей зрительной трубы в вертикальном направлении с помощью юстировочных винтов.

1.5.4. Проверка правильности хода фокусирующей линзы

Погрешность за перефокусирование трубы, связанную с изменением расстояния до марки (визирной цели), необходимо определять по колебаниям коллимации С и М0 (MZ), получаемым при наблюдении марок, установленных на разных расстояниях от прибора. Наблюдаемые марки должны по возможности располагаться в одном створе и на одном горизонте (отклонение не более 3°). При исследовании электронных тахеометров и теодолитов, а также оптических теодолитов типа Т2 и Т5 марки располагаются на удалении от теодолита 2 м; 10 м и (50…100)м, а для оптических технической точности и типа Т15, Т30 – 1,5 м; 5 м; 10 м; (30…60)м.

Измерения проводят в следующей последовательности:

а) устанавливают прибор в положение КЛ, вращением кольца фокусирующей линзы по ходу часовой стрелки добиваются получения чёткого изображения марки, выполняют визирование на центр марки. Отсчитывают по вертикальному и горизонтальному кругам величину визирных направлений для каждого наведения при заданных расстояниях;

б) то же, что и по пункту «а» при фокусировании на марки движением кольца фокусирующей линзы против хода часовой стрелки и наблюдении марок в обратном направлении, сопровождаемом отсчетами по кругам;

в) переводится труба через зенит, выполняется фокусировка трубы по подпункту «б» и регистрация визирных направлений при КП;

г) выполнение операций при круге право по подпункту «а».

Описанные операции составляют одну серию определений значений C и М0 (MZ); таких серий должно быть выполнено не менее двух.

Значения C и М0 (MZ) вычисляют по формулам, приведенным в инструкциях по эксплуатации приборов.

Расхождение отдельных значений C и М0, относящихся к одним и тем же расстояниям, не должны быть более указанных в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Нормативные расхождения определяемых C и М0.

СКП измерения углов (секунды)	Z	5	15	30
Допустимые расхождения для C и М0 (MZ), секунды	2,5	10	15	60

Изменения C и М0 (MZ) в зависимости от неправильного хода фокусирующей линзы зрительной трубы и внецентренности зрительной оси определяются по формулам:

$$\Delta C_{i_{cp}} = C_{i_{cp}} - C_{\infty_{cp}},\ \Delta M0_{i_{cp}} = M0_{i_{cp}} - M0_{\infty_{cp}},$$

где индексы «i» и «∞» при C и $M0$ относятся к конечному (i) расстоянию до марки к положению фокусирующей линзы близкому к «бесконечности» (150м и более).

Значения $\Delta C_{i_{cp}}$ и $\Delta M0_{i_{cp}}$ не должны превышать ошибки измерения углов одним приемом для испытуемого прибора.

1.5.5. Определение цены деления уровней

Определение цены деления цилиндрических уровней приборов необходимо для того, чтобы установить соответствует ли точность уровней паспортному значению (убедиться в отсутствии брака при изготовлении ампул).

Уровни, имеющие излишнюю точность, являются причиной неоправданных затрат времени на установку инструмента; недостаточная точность может привести к ошибкам в измерениях.

Определение цены деления цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга по способу наклонного лимба.

Инструмент ставится на жесткое основание так, чтобы один из подъемных винтов был направлен на удаленный, хорошо видимый предмет и приводится в рабочее положение.

Труба наводится на удаленный предмет и берется отсчет по вертикальному кругу β_0. После чего труба наклоняется на угол v.

Центр сетки нитей при этом смещается с зрительной цели. На вертикальном круге устанавливается отсчет

$$\beta_1 = \beta_0 - v.$$

Вращая передний подъемный винт подставки, трубу снова наводят на тот же удаленный предмет. Таким образом, вертикальная ось инструмента и плоскость лимба будут наклонены на угол v. Для приборов высокой точности ($m\beta \leq 5''$) следует брать угол v порядка 20 – 40'; для инструментов технической точности ($m\beta \geq 15''$) порядка 1°20'.

Алидада поворачивается до тех пор, пока пузырек испытываемого уровня не установится в положении 1 (рис. 1.1), берут отсчет по горизонтальному кругу α_1. Алидаду вращают дальше, пока пузырек уровня не займет положение 2 и берут второй отсчет по горизонтальному кругу α_2. Находят разность $\Delta\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2|$, величина которой может колебаться от 5 до 20° в зависимости от v и τ уровня.

Вычисляют цену деления уровня для высокоточных инструментов по формуле:

$$\tau = \frac{\Delta\alpha \cdot v}{\rho \cdot n},$$

для инструментов технической точности по формуле:

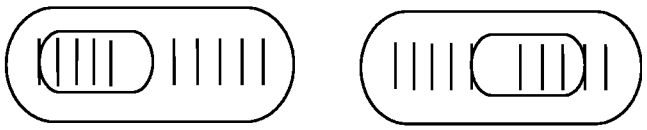
$$\tau = 2\rho \frac{\sin(\Delta\alpha/2)\cdot \sin v}{n},$$

где $\Delta\alpha$" - разность отсчетов по горизонтальному кругу;

v"– угол наклона вертикальной оси инструмента;

n – число промежутков между делениями уровня, на которое переместился пузырек (рис. 1.1).

положение 1 положение 2



n = 4

Рис.1.1. К определению цены деления уровня

Определение цены деления уровня при трубе.

Теодолит (2Т30П, 4Т30П) устанавливается на столе или на штативе. Пузырек уровня при трубе приводится в положение 1 (рис 1.1) с помощью микрометренного винта трубы и берется отсчет по вертикальному кругу β_1, затем пузырек перемещается в положение 2 и берется второй отсчет по вертикальному кругу β_2.

Цена деления уровня определяется по формуле

$$\tau = \frac{\beta_1 - \beta_2}{n} = \frac{\Delta'' \beta}{n},$$

где n – число делений, на которое переместится пузырек.

Определение цены деления уровней на экзаменаторе.

На экзаменаторе может быть определена цена деления любого уровня, в том числе установочного (круглого), а также проверена работоспособность и оценена чувствительность, диапазон работы компенсатора.

Прибор устанавливается на столик экзаменатора таким образом, чтобы на исследуемый уровень был направлен вдоль базовой балки. Балка, с установленным на ней прибором, с помощью микровинта может отклоняться от горизонтального положения в диапазоне ± 20'. Цена деления лимба лабораторного экзаменатора равна 0",5. Данный способ определения цены деления уровня является наиболее точным.

Отсчеты по лимбу экзаменатора берутся при совмещении левого конца пузырька с крайними штрихами левой половины шкалы цилиндрического уровня (рис.1.1), а затем при совмещении правого конца пузырька с крайними штрихами правой половины шкалы. Отсчеты заносятся в таблицу произвольной формы. Вычисляется цена делений для правой и левой половины шкалы уровня по формуле

$$\tau = \frac{\Delta v}{n},$$

где Δv – разность отсчетов по лимбу экзаменатора;

n – количество делений уровня, соответствующее наклону балки экзаменатора на угол Δv.

1.5.6. Проверка работы компенсатора в полевых условиях (для теодолитов с самоустанавливающимся индексом вертикального круга)

Для проверки компенсатора теодолитов, имеющих самоустанавливающийся отсчетный индекс вертикального круга, прибор устанавливают на штативе так, чтобы один из подъемных винтов подставки был расположен в направлении зрительной цели. Горизонтируют прибор по уровню при алидаде горизонтального круга наводятся на визирную цель и

производят отсчет по вертикальному кругу. Действуя подъемным винтом подставки, наклоняют теодолит на γ (наклон задают по вертикальному кругу), где γ - угол, соответствующий диапазону работы компенсатора. Рабочий диапазон компенсатора примем равным ± 5′.

Наводят зрительную трубу на ту же точку и берут второй отсчет по вертикальному кругу.

Наклоняют ось вращения алидады на угол γ от горизонтального положения, но в противоположную сторону, берут третий отсчет. При нормальной работе компенсатора разность между отсчетами (первым и вторым, вторым и третьим) должна оставаться в допустимых пределах (2 $m\beta$). Проверку повторяют 2 – 3 приемами. Среднее значение разности, отнесенное к величине наклона прибора в минутах, характеризует систематическую погрешность компенсации на 1″ наклона вертикальной оси прибора.

Для ускорения процесса установления угла γ его величину можно определить по формуле:

$$\gamma = (0{,}5/90)\cdot\rho',$$

где 0,5 –стандартное значение шага резьбы подъёмного винта, мм;

90 - длина радиуса от центра подставки до центра подъёмного винта, мм;

ρ' = 3438'.

Один оборот подъёмного винта соответствует величине γ = 20', 1/6 оборота подъёмного винта соответствует γ = 5'. Таким образом, наклон вертикальной оси прибора на ± 5' обеспечивается поворотом соответствующего подъемного винта на ¼ оборота против часовой стрелки от горизонтального положения.

1.5.7. Исследование отсчетных приспособлений

М и к р о с к о п - о ц е н щ и к применяется в теодолитах технической точности (Т30, Theo120). Для правильной работы микроскопа-оценщика требуется, чтобы он имел достаточное увеличение, т.е. чтобы наименьшее деление лимба было видно размером 1,5 – 2мм, нить индекса микроскопа была параллельна делениям лимба и видна без параллакса.

Ш к а л о в ы й м и к р о с к о п применяется, как правило, в теодолитах с точностью отсчета до 0,1 интервала шкалы (2Т30П, Т5).

Для правильной работы шкалового микроскопа необходимо соблюдение следующих условий:

деления лимба и шкалы должны быть видны без параллакса;

штрихи делений лимба должны быть параллельны штрихам делений шкалы;

штрихи шкалы должны приблизительно на 1/10 часть их длины накладываться на штрихи лимба.

Выполнение трех перечисленных условий достигается следующим образом:

вращением окулярного фокусирующего (диоптрийного) кольца добиваются отчетливой видимости шкалы, перемещением верхней линзы объектива (находится в стойке трубы) обеспечивается четкое изображение штрихов лимба.

Еще одним условием, обеспечивающим правильную работу шкаловых микроскопов, является равенство изображения одного деления лимба и расстояния между крайними штрихами шкалы.

Если окажется, что величина изображения деления лимба больше длины шкалы (рен отсчетной системы), то это значит, что увеличение микроскопа излишнее. Для исправления передвигают нижнюю линзу объектива микроскопа вверх, при этом изображение штрихов лимба расфокусируется, тогда перемещением верхней линзы снова добиваются резкого изображения штрихов и отсутствия параллакса. В случае необходимости эту операцию повторяют. Если окажется, что изображение

интервала лимба меньше, чем длина шкалы, то это значит, что увеличение недостаточное. Для исправления нижнюю линзу микроскопа необходимо опустить, а верхней линзой устранить расфокусировку.

Как бы тщательно не была произведена установка микроскопов, строгого равенства величины интервала лимба величине интервала шкалы во всём диапазоне лимба добиться сложно из-за погрешностей делительной машины, поперечных колебаний лимба и т.д. Поэтому определение рена отсчетной системы является одной из основных операций.

Определение рена отсчетных приспособлениий

Определение рена шкалового микроскопа (теодолиты 2Т30П, Т5) производится по результатам сопоставления длины шкалы с расстояниями между штрихами лимба. Нулевой штрих шкалы с максимальной точностью совмещается со штрихом лимба и берется отсчет «*а*» по правому концу шкалы.

Сопоставление шкалы с делениями лимбов производится на следующих установках

Горизонтальный круг

Прямой ход 0; 60; 120; 180; 240; 300°.

Обратный ход 30; 90; 150; 210; 270; 330°.

Вертикальный круг

Прямой ход 354; 357; 0; 3; 6; 9°.

352; 355; 358; 1; 4; 7°.

Среднее значение рена находят по формуле

$$r = \frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12} a .$$

Среднее значение рена не должно превышать средней квадратической ошибки измерения угла одним приемом исследуемым теодолитом.

Проверка рена о д н о с т о р о н н е г о о п т и ч е с к о г о м и к р о м е т р а выполняется в следующем порядке[3]: устанавливают алидаду на отсчёт 0°, измеряют интервал между штрихами лимбов. Для теодолита ТТ4 0 и 20' далее - на отсчёт 45°, измеряют интервал между штрихами 20 и 40' далее - на отсчёт 90°, измеряют интервал между штрихами 40 и 60' далее на отсчёт 135° - вновь измеряют интервал между штрихами 20 и 40' т.д. Порядок измерений, записи результатов, вычислений приведен также в учебнике Гусева Н.А. [12].

Чтобы определить рен д в у х с т о р о н н е г о о п т и ч е с к о г о м и к р о м е т р а (теодолиты серии Т2, Theo 010), на шкале исследуемого теодолита устанавливают отсчет, близкий к нулю, и приблизительно совмещают с помощью наводящего винта алидады диаметрально противоположные штрихи А и (А + 180°) верхнего и нижнего изображений лимба. После этого по барабану оптического микрометра берут отсчеты при трех точных совмещениях штрихов:

A_1 – при совмещении штрихов А и (А + 180°);

A_2 – при совмещении штрихов(А + 180°) и (А - μ);

A_3 – при совмещении штрихов (А + 180° - μ) и А,

где μ =20' - величина наименьшего деления круга (лимба).

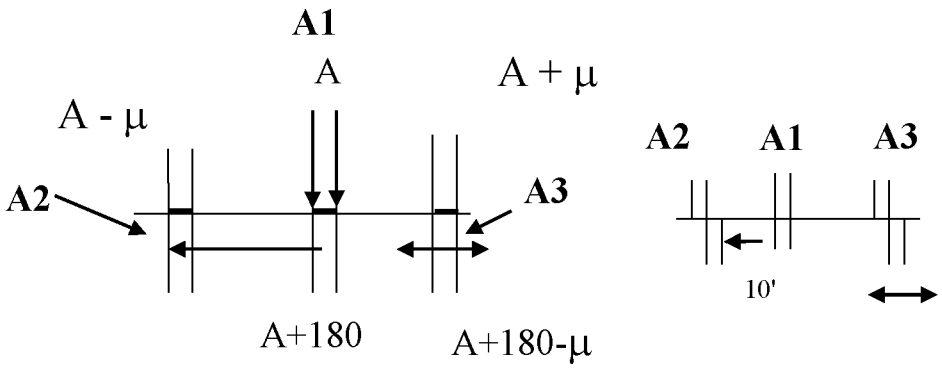


Рис. 1.2. Схема перемещения и совмещения штрихов

Рен верхнего и нижнего изображений находят по формулам

$$r_{\text{в}} = (A_1 - A_2)\mu_0 + \mu / 2;$$

$$r_{\text{н}} = (A_1 - A_3)\mu_0 + \mu / 2,$$

где μ_0 – цена деления шкалы микрометра.

Далее вычисляют среднее значение рена

$$r = (r_{\text{в}} + r_{\text{н}}) / 2.$$

Установка алидады горизонтального круга для теодолитов с делениями 20' (типа Т2):

Прямой ход 0°00'; 45°20'; 90°40'; 135°00'; 180°20'; 225°40'; 270°00'; 315°20'.

Обратный ход 22°20'; 67°40'; 113°00'; 157°20'; 202°40'; 248°00'; 292°20'; 337°40'.

Если величина рена превышает допустимую, то в результаты измерений вводят поправки

$$\delta_a = 2ra / \mu,$$

где a – отсчет по микрометру.

Установку вертикального круга выбирают в диапазоне ± 10° относительно горизонтального положения трубы через интервал (2° + μ) в прямом и обратном ходах.

В полевых условиях допускается выборочный контроль рена на четырех установках алидады 0°, 90°, 180° и 270° (для вертикального круга 358°, -2°, 0°, + 2°).

1.5.8. Определение эксцентриситетов горизонтального круга (лимба) и алидады

Эксцентриситет горизонтального круга ($\varepsilon_{г.к.}$) теодолитов типа Т2, Theo 010 (двухсторонний отсчет) определяют по изменению разностей отсчетов при совмещении диаметрально противоположных штрихов круга «*a*» (для установок круга через 60° отсчет «*a*» по шкале микрометра делают всегда 5'00") и одного из штрихов круга с индексом «*a'*». Для теодолитов Т2 вместо индекса используют штрих вертикального круга, видимый после поворота переключающей призмы на 45°. Для каждой установки круга получают разности

$$v = 4(a - a_1).$$

Пример определения параметров эксцентриситета горизонтального круга (лимба) для теодолита Т2, расчетным способом приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Определение эксцентриситета горизонтального круга

Дата 18.03.2016 г. Теодолит Т2 № 105125

$a = 5'00''$

$v = 4(a - a_1)$

φ	Прямой ход		Обратный ход		v	$v\sin\varphi$	$v\cos\varphi$	$x\sin\varphi$	$y\cos\varphi$	v''
	a_1"	v"	a_1"	v"						
0°	4'53	+ 28	4’54	+ 24	+ 26	0,0	+ 26,0	0,0	- 0,6	+ 25,4
60	52	+ 32	52	+ 32	+ 32	+	+ 16,0	+ 6,2	- 0,3	+ 31,9
	51	+ 36	50	+ 40	+ 38	27,8	1,0	+ 7,1	0,0	+ 33,1

120 … 300	… 4′54"	… +24	… 4′54"	… + 24	… + 24	+ 38,0 … -12,0	… + 20,9	… -3,6	… + 0,5	… + 22,9
				Σ	156"	+21,2	+ 1,9	0,0	0,0	+ 156"

$$v = (v' + v'') / 2; \quad v° = v_0 + x\sin\varphi + y\cos\varphi;$$

$$v_0 = \sum v / 6 = + 26"; \quad \mathrm{tg}\varphi_{эк} = \frac{-\sum v\cos\varphi}{\sum v\sin\varphi} = \frac{-1{,}9}{21{,}2} = - 0{,}09;$$

$$x = \frac{\Sigma v\sin\varphi}{n/2} = \frac{+21{,}2}{3} = + 7{,}1"; \quad \varphi_{ЭК} = 355°;$$

$$y = \frac{-\Sigma v\cos\varphi}{n/2} = \frac{-1{,}9}{3} = - 0{,}6"; \quad \varepsilon_{г.к.} = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2} = 3{,}6";$$

$$l_{г.к.} = \varepsilon_{г.к.} \cdot R / \rho" = \frac{3{,}6 \cdot 45000}{206265} = 0{,}76 \text{ мкм},$$

где $\varphi_э$ – отсчет по лимбу, соответствующий направлению линейного эксцентриситета лимба;

$\varepsilon_{г.к.}$ – эксцентриситет лимба в угловой мере;

$l_{г.к.}$ – линейный эксцентриситет горизонтального круга, мкм;

R – радиус горизонтального круга, мкм.

На рисунке 1.3 приведен график, характеризующий эксцентриситет круга. Величина $2\varepsilon_{г.к.}$ соответствует амплитуде кривой, изображенной на графике.

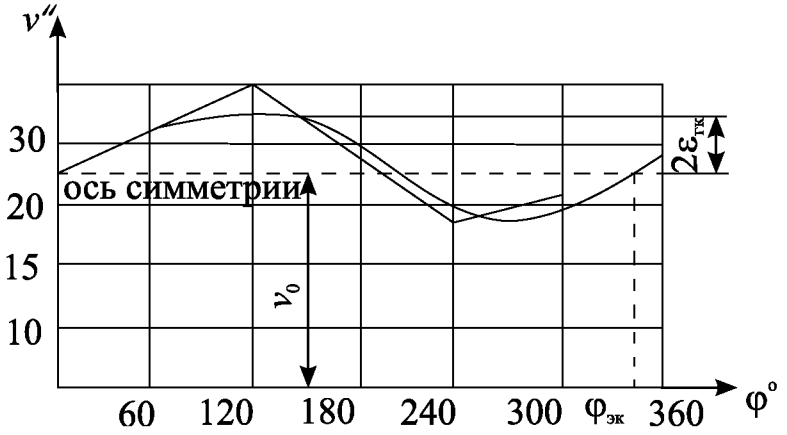


Рис. 1.3. График углового эксцентриситета лимба и определение его элементов $2\varepsilon_{г.к.}$ $\varphi_{эк}$

Эксцентриситет горизонтального круга теодолитов Т 5, О Т Ш, Т Т 4, Т 15, Т 30, Theo 015B (односторонний отсчет) определяют по изменению горизонтального угла, близкого к 180°, задаваемого установками φ и φ + 180° алидады при отсчете φ по лимбу, т.е. производится измерение угла при КП между двумя марками, расположенными на одной прямой с теодолитом.

В этом случае $v = \beta_\varphi - \frac{1}{n}\sum_1^n \beta_\varphi$,

где β_φ - значение угла на установке φ круга;

n – количество установок круга (n = 6).

Измерения проводят в пределах одного оборота круга в прямом и обратном ходах.

Эксцентриситет алидады теодолитов типа Т 2 (двухсторонний отсчет) проверяется следующим образом.

На каждой установке алидады (через 60°) совмещают изображение диаметрально противоположных штрихов круга (отчет «a»), а затем совмещают изображение верхнего штриха с неподвижным индексом в поле зрения отсчетного микроскопа (отсчет «a'»). Изменения разностей $v = 4(a - a')$ характеризует эксцентриситет алидады.

Конструкция системы осей оптических теодолитов такова, что для характеристики вращения алидадной части необходимо снятие отсчетов «*a*» и «*a*'» при двух полных оборотах алидады.

Эксцентриситет алидады горизонтального угла у теодолитов с односторонним отсчетом (Theo 015B, T 5, О Т Ш, Т Т 4, Т 15, Т 30) определяют по изменению значения 2*C* (двойная коллимация) при наблюдении визирных марок, расположенных через 60° на одном горизонте и приблизительно равном удалении от теодолита.

Труба теодолита наводится поочередно на марки при КЛ и берутся отсчеты. Делается два оборота алидады. Затем аналогично выполняются наблюдения при КП.

Вычисляются средние отсчеты на марки.

$$КП i = (КП i_1 + КП i_2) / 2; \qquad КЛ i = (КЛ i_1 + КЛ i_2) / 2.$$

Находят разности

$$v_i = КП i - КЛ i.$$

Вычисление параметров эксцентриситета алидады горизонтального круга и их графическое определение производятся аналогично приведенным в таблице 1.2 и на рисунке.1.3.

При анализе результатов исследования эксцентриситета следует иметь в виду, что, при качественно выполненных измерениях, значения величин *v* и *v*° должны совпадать в пределах точности измерения углов данным теодолитом.

После определения эксцентриситетов круга ($\varepsilon_{г.к.}$) и алидады (ε_a) рассчитываются эксцентриситет оси ($\varepsilon_{оси}$) и максимальный эксцентриситет (ε_{max})

$$\varepsilon_{\text{оси}} = \sqrt{\varepsilon_a^2 - 2\varepsilon_a \cdot \varepsilon_{гк} \cdot \cos(\varphi_{эа} - \varphi_{эк}) + \varepsilon_{гк}^2}\ ;$$

$$\varepsilon_{max} = \varepsilon_{\text{оси}} + \varepsilon_{\text{г.к.}}$$

В табл.1.3 приведены допустимые значения углового эксцентриситета алидады для различных теодолитов, а также значения эксцентриситета, установленные заводом-изготовителем.

За допустимый максимальный эксцентриситет (ε_{max}) принимается двойной заводской допуск на ε_a.

Таблица 1.3

Допустимые значения углового эксцентриситета

	Для теодолитов		
	2Т2, 2Т2П, 2Т2А, 3Т2КП	2Т5К, 2Т5КП, 3Т5КП	Т30, 2Т30, 2Т30П
Допустимый	40"	40"	7'
Заводской	30"	30"	30"

Для определения максимального влияния эксцентриситета вертикального круга выбирают линию на местности длиной не менее 300 м. На одном ее конце устанавливают поверяемый теодолит, приводят в рабочее положение и тщательно измеряют рулеткой высоту прибора до горизонтальной оси (l) с округлением результата до 1 мм. На другом конце устанавливают рейку, веху или марку на штативе так, чтобы точка визирования находилась на высоте горизонтальной оси теодолита l. Измеряют угол наклона $a_{\text{пр}}$ полным приемом. Затем меняют теодолит и визирную цель местами и измеряют угол $a_{\text{обр}}$ в обратном направлении, сохранив при установке теодолита высоту горизонтальной оси l.

Максимальное влияние эксцентриситета вертикального круга определяют по формуле

$$\varepsilon_{\text{вк}} = \frac{a_{пр} - a_{обр}}{2\cos\alpha},$$

где a – среднее значение угла из прямых и обратных измерений.

Для контроля погрешности $\varepsilon_{вк}$ измерение повторяют и за окончательный результат принимают среднее значение.

1.5.9. Определение наклона горизонтальной оси теодолита (электронного теодолита) (неравенство подставок)

Для точных и высокоточных теодолитов (при C < 2") наклон горизонтальной оси (p), обусловленный неперпендикулярностью оси вращения трубы и вертикальной оси теодолита, определяют по изменению коллимационных ошибок C_0, C_1 и C_2, получаемых при наблюдении визирных целей, расположенных в одном створе с отклонением от створа не более ±1° в горизонтальной плоскости и расположенных под углом $\alpha_0 = 0°$, $\alpha_1 \geq 20°$ и $\alpha_2 \geq -20°$ в вертикальной плоскости.

С целью исключения влияния качки вертикальной оси вращения число приемов определения значений C_0, C_1 и C_2 должно быть четным и составлять два и более.

Значение p вычисляют по формуле

$$p = \frac{1}{2}\left(\frac{C_1 - C\sec\alpha_1}{tg\alpha_1} + \frac{C_2 - C\sec\alpha_2}{tg\alpha_2}\right).$$

Среднюю квадратическую погрешность определения p вычисляют по формуле

$$m_p = \frac{m_c}{\cos\alpha_1}\sqrt{1+\sin^2\alpha_1},$$

где m_c – средняя квадратическая погрешность значения C, вычисляемая по внутренней сходимости результатов определения коллимационной погрешности.

Результаты измерений помещаются в таблицу произвольной формы.

Если у поверяемого точного или высокоточного теодолита $C > 2''$, то применяется упрощенная методика определения неперпендикулярности оси вращения трубы и вертикальной оси прибора.

После тщательной поверки положения цилиндрического уровня теодолита, наводят зрительную трубу на четкую точку, расположенную под углом не менее 15° к горизонту. Берут отсчеты КП и КЛ по горизонтальному кругу. Значение неперпендикулярности осей p вычисляют по формуле

$$p = 1 / 2(КЛ - КП \pm 180°)ctg\alpha,$$

где α - угол наклона линии визирования.

Для теодолитов технической точности, у которых преобладающей является погрешность отсчитывания, рекомендуется способ без использования отсчетного приспособления.

Теодолит тщательно горизонтируют (отклонение не больше 0,5 деления цилиндрического уровня) и наводят трубу на высоко расположенную точку ($\alpha > 20°$) последовательно при двух положениях круга. После каждого наведения проецируют центр сетки нитей на шкалу линейки или штриховой меры, установленной горизонтально в 20 – 30 м от теодолита, примерно на уровне горизонта прибора, перпендикулярно к линии визирования. При проецировании берут отсчеты α_1 и α_2 по шкале. Значение p вычисляют по формуле

$$p = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2S} \rho ctg\alpha ,$$

где S – расстояние от прибора до шкалы; $\rho = 206265''$.

Измерения должны выполняться четным числом приемов (2) с целью исключения влияний качки вертикальной оси, и за окончательное значение p принимают среднее из всех приемов.

1.5.10. Проверка оптического центрира

В отъюстированном теодолите визирная ось оптического центрира должна совпадать с вертикальной осью вращения.

Для проверки выполнения данного условия теодолит устанавливают на штатив, закрепляют становым винтом и тщательно горизонтируют. Под штатив кладут лист бумаги с нанесенным на ней крестом.

Окуляр оптического центрира устанавливают на резкое изображение перекрестия (или кольца), а перемещением объектива добиваются резкого изображения креста, отмеченного на листе бумаги. Передвижением листа в нужном направлении добиваются совмещения креста на листе с центром сетки оптического центрира.

Поворачивают трижды верхнюю часть теодолита на 120° и отмечают проекцию центра сетки на листе бумаги. В отъюстированном центрире при повороте алидады изображение выбранной точки должно совпадать с проекцией центра сетки нитей.

Если это условие не выполняется, при помощи отвертки вращают винты, которые изменяют положение оправы призмы центрира. Положение призмы необходимо изменить настолько, чтобы уменьшить вдвое видимое смещение центра сетки относительно изображения выбранной точки. После этого с помощью подъемных винтов заново центрируют и повторяют юстировку до тех пор, пока при вращении алидады не будет смещения проекции центра сетки относительно выбранной точки.

2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕОДОЛИТЫ

2.1 Поверка погрешности визирования

Поверка визирной системы (зрительной трубы) электронного теодолита, принципиально ничем не отличается от поверки аналогичных

систем оптико-механических приборов т.к. в том и другом случае основным критерием точности визирования является разрешающая способность вооружённого глаза и параметры визирной сетки (см. раздел 1.1).

В автоматизированных приборах основным критерием, определяющим погрешность визирования, является разрешающая способность фотоэлектрической матрицы, на которую проецируется изображение визирной марки (цели). Существует эмпирическая формула [8], связывающая разрешающую способность фотоэлектрической матрицы $\psi_ф$ и объектива $\psi_о$

$$\psi_{\Sigma ф} = (\psi_ф \cdot \psi_о) \ / (\psi_ф + \psi_о).$$

Так, например, при погрешности визирования тахеометра Leica Geosystems типа TS – 30 $m_в = 0{,}5''$ и разрешающей способности объектива $\psi_о = 2''$, принимая $\psi_{\Sigma ф} \approx m_в$, получим разрешающую способность матрицы $\psi_ф \approx 0{,}7''$.

Дальнейшее уменьшение погрешности визирования достигается определением центра изображения марки на фотоэлектрической матрице визирного устройства. Погрешности визирования подобных автоматизированных электронных тахеометров $m_в = 0{,}5''\ldots\ 1''$ [8].

2.2. Отсчётные устройства

Отсчётные устройства электронных угломерных приборов по принципу считывания величины угла можно разделить (рис.3.9) на четыре основных типа: односторонний (на алидаде закреплена одна фотоэлектрическая матрица А), двусторонний (две матрицы А и В), четырёхсторонний (две пары матриц А,В и С,D).

Средняя квадратическая погрешность измерения углов при увеличении количества матриц уменьшается в $\sqrt{n}$ раз, где n- количество считывающих матриц.

Примером угломерного устройства с 4–мя матрицами является отсчетная система тахеометра Leica Geosystems TS – 30 с точность отсчитывания 0,1". Фактическая погрешность отсчитывания электронных теодолитов (тахеометров) не может быть определена как самостоятельный параметр. Она входит как составляющая в погрешность измерения угла, которая определяется на эталонной автоколлимационной установке в лабораторных условиях при метрологических исследованиях.

2.3. К определению эксцентриситета горизонтального круга, алидады, коллимационной погрешности С и отсчета по вертикальному лимбу при горизонтальном положении трубки (места нуля М0)

Причиной образования погрешности эксцентриситета является (как и в оптических теодолитах) практическая невозможность совместить без погрешностей центр вращения алидады o_2 с центром вращения кодового диска o_1. При смещении o_2 на величину r образуется угловая погрешность $\Delta\varphi = (\arcsin r/R) \cdot \sin \Theta$ или с учётом малой величины $\Delta\varphi$

$$\Delta''\varphi = (r \cdot \rho'' / R) \cdot \sin \Theta^\circ,$$

где Θ° - угол поворота алидады;

R – радиальное значение длины радиуса от центра вращения алидады до считывающей фотоэлектрической матрицы.

При наличии эксцентриситета радиус R можно представить в виде радиуса переменной величины, длина которого изменяется в зависимости от угла поворота $R' = R \cdot \sin \Theta^\circ$. Путь, пройденный считывающей фотоэлектрической матрицей, размещённой на алидаде, при переменном значении радиуса алидады R', является окружностью эллипса (рис.2.1).

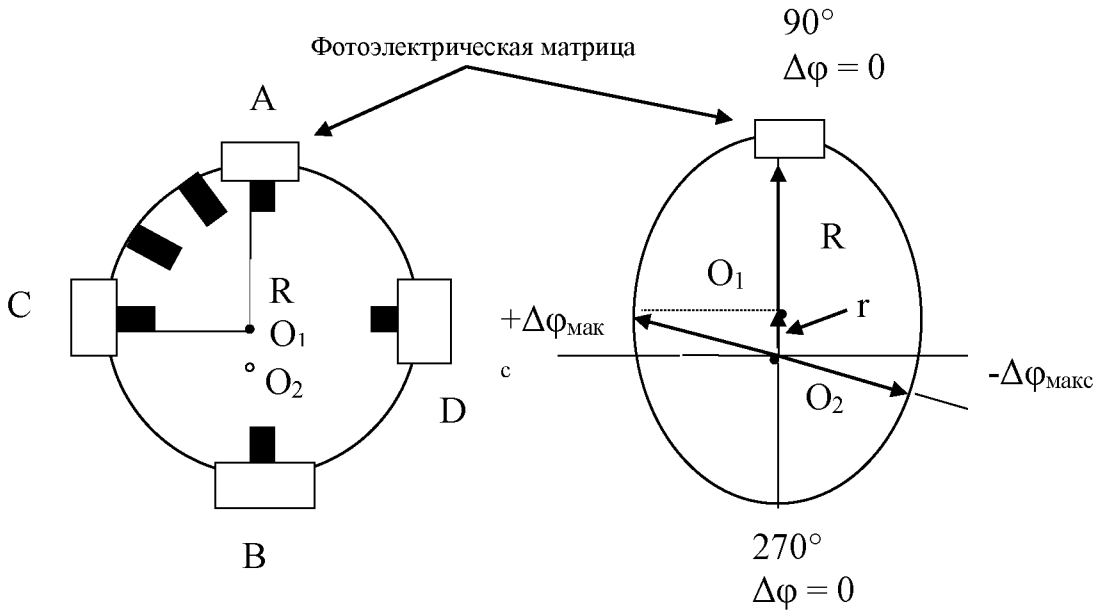


Рис. 2.1 Зависимость погрешности Δφ от угла поворота алидады.

Эллипсоидальный характер кривой зависимости погрешности Δφ от угла поворота алидады при наличии эксцентриситета, позволяет сделать вывод, что наличие погрешности Δφ, указывает на возможность образования и рена отсчётной системы, особенно в ортогональных направлениях.

Кроме смещения центра вращения алидады погрешность типа Δφ может возникнуть при смещении самих фотоэлектрических матриц. Поэтому определение эксцентриситета лимба или алидады при отсутствии специальной юстировочной аппаратуры является сложной задачей. В электронных теодолитах влияние погрешности эксцентриситета сводится к минимуму в процессе поверки (калибровки) коллимации С и места нуля М0 в режиме «настройка», которые определяются с учётом влияния эксцентриситета и коллимационной погрешности. При значениях С и М0 превышающих допуск, на дисплее появляется сообщение о превышении допустимого значения. Однако, даже при отсутствии предупреждения, рекомендуется получить подтверждение результата калибровки повторной поверкой коллимации С и места нуля М0 традиционным способом, так как

работать на границе допуска не рекомендуется из-за возможного риска образования предельно допустимых погрешностей измерений.

В отличие от оптических теодолитов в электронных в результат измерений автоматически вносится поправка за С и место нуля М0.

Подтверждение соответствия коллимации С и места нуля М0 на разные визирные цели значениям С и М0 прибора определенным при поверке, свидетельствует о правильном согласовании кодового диска, фотоэлектрических матриц установленных на алидаде, о согласованном положении визирной оси и отсутствии ошибки хода фокусирующей линзы. Методика определения изложена в разделах 1.5.4, 1.5.8.

В высокоточных приборах предусмотрена программа поверки наклона горизонтальной оси вращения трубы (неравенство подставок). Методика определения изложена в разделе 1.5.9.

В заключение следует отметить, что в электронных теодолитах, в отличие от оптикомеханических, в результаты измерений автоматически вводятся фиксированные поправки за С и М0, не смотря на то, что их значения могут меняться для различных визирных целей в результате влияния выше упомянутых инструментальных погрешностей. Таким образом, измерение углов полным приемом электронными теодолитами не приводит к исправлению инструментальных погрешностей, а лишь увеличивает количество измерений.

3. ОПТИЧЕСКИЕ НИВЕЛИРЫ

3.1. Условия проведения поверки

Перед началом поверки маркшейдерско-геодезические приборы и все используемые при ее проведении технические средства должны быть приведены в рабочее состояние в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

При выполнении поверки в помещении должны выполняться следующие требования:

температура окружающего воздуха должна быть в пределах (+ 20 ± 5)° С;

скорость изменения температуры не должна быть более 3°С в час;

относительная влажность не более 90 %.

При проведении поверки вне помещения:

условия видимости должны быть благоприятными, колебания изо - бражения – минимальными;

на приборы не должны падать прямые лучи солнца;

скорость ветра не должна превышать 4 м/с;

измерения должны проводиться при полном отсутствии осадков.

В процессе поверки необходимо соблюдать правила работы с приборами, указанные в эксплуатационной документации, а также правила по технике безопасности. Все результаты поверки заносятся в индивидуальный журнал, который прикладывается к отчёту.

3.2. Внешний осмотр и проверка комплектности

Проверку внешнего состояния и комплектности производят осмотром. Визуально проверяют чистоту оптических деталей зрительной трубы, контрастность и четкость одновременной наблюдаемой сетки нитей, концов пузырька контактного уровня, шкалы микрометра (для высокоточных нивелиров) и зрительной цели (рейки). Убеждаются в отсутствии коррозии, царапин и других дефектов на приборе, которые могут повлиять на точность измерений.

Маркировка прибора и футляра должна соответствовать ГОСТ 10528, техническим условиям на данный тип нивелира и содержать один и тот же порядковый номер прибора.

Комплектность нивелира должна соответствовать комплекту поставки, приведенному в паспорте.

3.3. Опробование

Проверку работоспособности нивелира и взаимодействие его подвижных узлов производят опробованием. При опробовании обращают внимание на исправность всех частей нивелира, отсутствие качаний в подъемных, наводящих и закрепительных винтах; плавность вращения окуляра, элевационного винта, регулирующего наклон зрительной трубы в вертикальной плоскости и перемещения фокусирующей линзы. Проверяют исправность зеркала подсветки уровня, затяжку всех стопорных и юстировочных (подстроечных) винтов, фиксирующих наклон уровня. Юстировочные винты должны занимать среднее положение. При проверке нивелира с компенсатором необходимо убедиться, что подвесная система компенсатора и демпфер в пределах диапазона компенсации работают нормально (изменение наклона трубы от горизонтального положения при вращении подъемного винта подставки на ± (1-2) оборота не должно приводить к изменению положения зрительной оси трубы).

Проверяют исправность штатива. Подтягивают все винты и гайки на штативе и проверяют его устойчивость. Для этого нивелир с контактным уровнем устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение; наводят трубу на рейку (расстояние до рейки 30 … 40 м) и запоминают отсчет. Затем к головке штатива прилагаются легкие вращательное (вокруг вертикальной оси) и вертикальное (сверху вниз) усилия, после чего опять отсчитывают по рейке. При устойчивом штативе отсчет по рейке не должен отличаться более чем на 0,5 мм для нивелира типа Н-05 и на 1 и 2 мм для нивелиров типа Н-3 и Н-10 соответственно.

3.4. Проверка правильности установки цилиндрического

и установочного уровней

Проверка правильности установки цилиндрического уровня производится следующим образом. Ось цилиндрического уровня располагается параллельно двум подъемным винтам нивелира и пузырек уровня выводится на середину. Верхняя часть нивелира поворачивается на 180°. Если пузырек отклонится от среднего положения, то его перемещают к середине на половину отклонения вертикальными юстировочными винтами уровня, а оставшуюся половину – подъемными винтами нивелира. Затем нивелир поворачивается на 90° и третьим винтом пузырек уровня приводится в среднее положение.

Проверка выполняется несколько раз, до соблюдения условия, когда отклонение пузырька от середины при повороте нивелира на 180° не превышает 2 мм.

После юстировки цилиндрического уровня пузырек установочного (круглого) уровня должен находиться в центре круговой шкалы. Если условие не соблюдено, следует выполнить приведение пузырька в центр (нуль-пункт) юстировочными винтами установочного уровня.

Отвесная плоскость, проходящая через ось цилиндрического уровня, должна быть параллельна отвесной плоскости, проходящей через визирную ось.

Для проверки данного условия нивелир устанавливается на расстоянии (40 … 50 м) от рейки, при этом один подъемный винт подставки должен быть направлен в сторону рейки. Прибор по показаниям цилиндрического уровня тщательно горизонтируется и по центру сетки нитей берется отсчет по рейке.

Далее правый и левым подъемными винтами, вращая их на один - два полных оборота, нивелир наклоняется вправо, а затем влево (при этом отсчет по рейке не должен изменятся).

Если при наклонах нивелира с контактным уровнем концы пузырька контактного уровня расходятся, то уровень приводится на середину с помощью его боковых юстировочных винтов.

3.5. Проверка правильности установки сетки нитей

Проверку правильности установки сетки нитей производят для того, чтобы убедиться, что вертикальная нить сетки тщательно отгоризонтированного прибора совпадает с отвесной линией, а горизонтальная нить сетки перпендикулярна к вертикальной оси нивелира.

На удалении 10 – 15 м от нивелира подвешивают отвес. Приводят нивелир в рабочее положение и наводят вертикальную нить сетки на нить отвеса. Если один конец вертикальной нити сетки отклоняется от нити отвеса более чем на 0,5 мм (определяется при помощи линейки), то установку сетки нитей исправляют. Для этого отвинчивают винты, крепящие окулярную часть, и отсоединяют ее от корпуса трубы, тем самым освобождают доступ к оправе сетки нитей. Ослабив винты, крепящие оправу, слегка поворачивают в нужном направлении (до совпадения изображения вертикальной нити сетки и нити отвеса). После этого винты закрепляют и устанавливают на место окулярную часть.

3.6. Определение угла непараллельности между осью цилиндрического уровня и визирной осью зрительной трубы (угол *i*)

В полевых условиях определение угла *i* может быть выполнено одним из следующих способов:

1) нивелирование вперед;

2) нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперед;

3) нивелирование из середины с различными плечами.

Количество приемов измерений в любом из способов должно быть не менее трех. За окончательное значение угла *i* принимается среднее

арифметическое из трех результатов, если расхождение между ними не превышает 5″. Окончательное значение угла i по абсолютной величине не должно быть более 10″ для всех типов нивелиров.

Более точным из перечисленных способов является первый, более оперативными – второй и третий.

Порядок определения угла i вторым способом следующий.

На точках 1 и 2, расположенных на взаимном расстоянии 40 – 60м, устанавливаются рейки (рис.3.1). Нивелир устанавливают посередине на точке А и берут отсчеты по рейкам l_1 и l_2. Переносят нивелир в точку 3, удаленную от точки 2 на 6 – 8 м внутри створа между рейками, и берут отсчеты l_1 и l_2 по рейкам. Выполняют не менее 3-х приемов измерений.

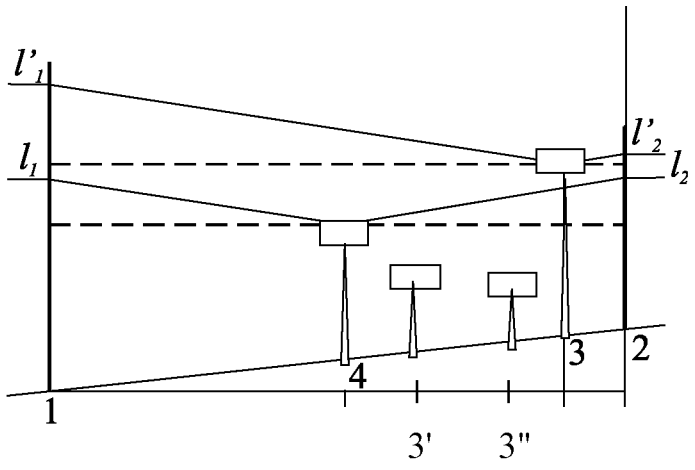


Рис.3.1. Взаимное расположение нивелира и реек при определении угла i

Значение угла I вычисляют по формуле:

$$i = \frac{[(l'_1 - l'_2) - (l_1 - l_2)]\rho''}{S_{1,3} - S_{2,3}} = \frac{h' - h}{S_{1,3} - S_{2,3}}\rho'', \qquad (3.1)$$

где $S_{1,3}$ – расстояние между точками 1 и 3;

$S_{2,3}$ – расстояние между точками 3 и 2.

С целью уменьшения возможного искажения результатов измерений за счет неправильного хода фокусирующей линзы расстояние $S_{2,\ 3}$ должно быть не менее 6 м. Образец записи и обработки результатов определения угла *i* приведен в таблице 3.1.

В приведенном примере угол *i* не превышает нормативного допуска ± 10″. **Если среднее из трех приемов значение угла *i* превышает 10″, то необходимо произвести его исправление. Для этого элевационным винтом нивелира установленного в точке 3 наводят на такой отсчет по рейке в точке 1, чтобы, в соответствии с приведенным примером, выполнялось условие $l'_1 - l'_2 = 315{,}3$ мм. При этом пузырек контактного уровня отклонится от среднего положения, которое необходимо восстановить с помощью вертикальных юстировочных винтов уровня.**

Пример определения угла *i*

Дата: 18.02.2016 г. Нивелир Н-3 №

Время: 14 ч. 10 мин. $S_{1\text{-}2} = 56{,}5$ м

$t^o = 22°$ $S_{3\text{-}2} = 6{,}0$ м

Таблица 3.1

Результаты измерений и вычислений при определении угла *i*.

№ приема		1	2	3	
Отсчеты по рейкам	l_1	1400	1148	1357	
превышения, измеренные из	l_2	1715	1464	1672	
середины (т.4)	h	-315	-316	- 315	$h_{ср}$=315,3
Отсчеты по рейкам	l'_1	1470	1111	1485	
превышения, измеренные	l'_2	1787	1429	1803	
при неравноплечии (т.3)	h'	- 317	- 318	- 318	$h'_{ср}$=317,6
Разность превышений	h'- h	-2	-2	-3	$h'_{ср}$- $h_{ср}$ = - 2,3
Углы *i*	*i*	- 8,2"	- 8,2"	- 12,3"	

$$i_{ср} = \frac{-2{,}3мм \cdot 206265}{50500мм} = 9{,}4",$$

Для нивелиров с компенсаторами угол *i* исправляется с помощью юстировочных винтов сетки нитей. После проведения перечисленных операций повторяется прием поверки.

После исправления угла *i* определяют ошибку измерений превышений за счет смещения визирной оси при перефокусировании трубы.

3.7. Определение ошибки измерения превышений за счет смещения зрительной оси при перефокусировании трубы (поверка правильности хода фокусирующей линзы)

Проверка правильности хода фокусирующей линзы в полевых условиях может быть выполнена на базисе, разбитом на ровной поверхности. Принципиально эта работа ничем не отличается от проверки правильности хода фокусирующей линзы теодолита.

Для выполнения данного радела курсовой работы, используется линейно – высотный базис. Линии базиса закреплены стальными знаками, закреплёнными в бетонном полу.

Схема взаимного расположения нивелира и нивелируемых знаков приведена на рис.3.2.

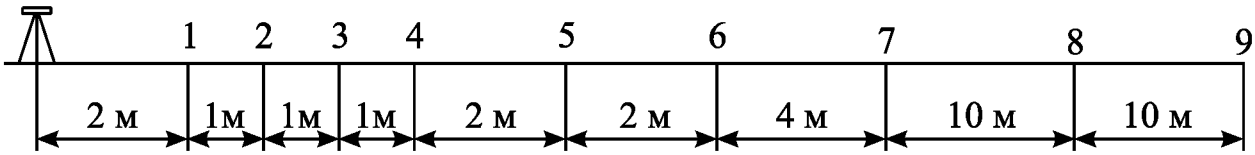


Рис.32. Схема базиса для исследования хода фокусирующей линзы

Определение превышений между точками базиса производится по результатам нивелирования вперед в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.2. Нивелирование выполняется дважды, результаты помещаются в таблицу (табл.3.2), где сопоставляются с эталонными значениями превышений, указанными в паспорте на нивелирный полигон или

определёнными путём нивелирования высокоточным нивелиром типа Н05, поверенным метрологической службой.

Таблица 3.2

Результаты исследования хода фокусирующей линзы

Наименование показателя	Превышения, определяемые между точками базиса, мм Удаление точек от нивелира (s)							
	т.1-т.2 3 м	т.1-т.3 4 м	т.1-т.4 5 м	т.1-т.5 7 м	т.1-т.6 8 м	т.1-т.7 13 м	т.1-т.8 23 м	т. 1-т.9 33 м
1-ый прием (h_{1i})	-7.0		-6,0			-5,0		-7,0
2-ой прием (h_{2i})	-6,0		-4,0			-7,0		-9,0
Средние превышения ($h_{ср\,i}$)	-6,5		-5,5			-6,0		-8,0
Эталонные превышения ($h_{эi}$)	-2,1		-3.3			-6,5		-8,2
Δhi = hcp i- hэi	-4,4		-2,2			-0,5		-0,2

Таким образом, значения ошибок превышений за счет неправильного хода фокусирующей линзы определяются как разность средних превышений, определенных нивелированием вперед и эталонных значений превышений или – превышений, определенных высокоточным поверенным нивелиром в процессе выполнения данной работы.

Величины, характеризующие смещение зрительной оси при изменении фокусного расстояния трубы не должны превышать 2 мм.

Если любое из значений разностей $\Delta h_i = h_{ср i} - h_{эi}$ превышает 2 мм, то следует построить график зависимости Δh_i от S_i (от расстояний удаления точек от нивелира) и изложить рекомендации по методике нивелирования нивелиром с неправильным ходом фокусирующей линзы.

Определение ошибки измерения превышений за счет смещения визирной оси при перефокусировании трубы, можно выполнить в процессе определения угла i путём последовательной переустановки нивелира из точки 4 в точки 3, 3',3" (Рис.3.1) и подстановкой в формулу (3.1) полученных значений превышений и заданных значений расстояний $S_{2,3} \approx$ 3 – 4 м.,

$S_{2,\,3''} \approx 7$ - 8 м.,; $S_{2,\,3'} \approx 10$ - 12 м.

После обработки результатов измерений необходимо построить график зависимости угла i от величины расстояний $S_{2,\,3}$; $S_{2,\,3''}$; $S_{2,\,3'}$ (или указанных в таблице 3.2, с изложением кратких выводов.

3.8. Определение диапазона работы компенсатора (для нивелиров с компенсатором)

Диапазон работы компенсатора характеризуется максимальным наклоном нивелира, при котором ошибка в положении зрительной линии не выходит за установленный допуск.

При выполнении курсовой работы разрешается пользоваться приближенным способом определения диапазона работы компенсатора.

Нивелир приводится в рабочее положение и наводится на рейку, установленную в направлении одного из подъемных винтов на удалении 30…40м. При вращении указанного подъемного винта по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки от горизонтального положения, отслеживается момент, когда отсчет по рейке начнет изменяться, то – есть, в определенном для данного нивелира диапазоне наклонов трубы, компенсатор удерживает визирную ось нивелира в горизонтальном или стабильном положении (отсчет по рейке не изменяется). У большинства нивелиров диапазон компенсации около ± 15'. Фактическое значение диапазона в полевых условиях оценивается по положению пузырька уровня или исходя из того, что один полный оборот подъемного винта обеспечивает изменение наклона трубы приблизительно на 20'. Рекомендуется проверить это экспериментально.

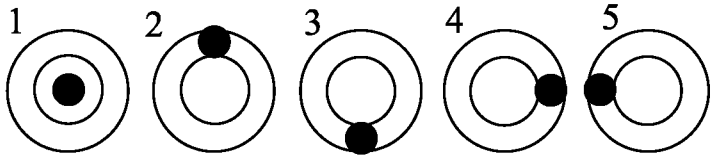
3.9. Определение ошибки недокомпенсации (для нивелиров с компенсаторами)

При постоянном использовании нивелира, данное исследование рекомендуется проводить раз в два месяца [2].

Для определения погрешности недокомпенсации в полевых условиях измеряют превышения на станции при длине луча 25 м.

Нивелир, во время измерений, должен находиться в створе между рейками, на равных расстояниях от них (допустимое неравенство расстояний до реек не более 1м). Поочередно измеряют превышение между точками установки реек при отсутствии наклона оси нивелира и при ее наклоне на угол v в продольном и поперечном направлениях. Величину угла наклона оси нивелира определяют по установочному круглому уровню по следующей схеме:

Измерения превышений на станции заключается в снятии отсчетов по шкалам обеих реек при положениях пузырька уровня 1, 2, 3, 4, 5,



что составляет один прием. Должно быть сделано не менее 5 приемов. При переходе к последующему приему необходимо изменять горизонт нивелира.

Угол наклона нивелира при перемещении пузырька уровня из положения 16 положения 2, 3, 4 и 5 определяется, что полный оборот подъемного винта обеспечивает наклон прибора 20′

Систематическую погрешность компенсации на одну минуту наклона оси нивелира вычисляют по формуле:

$$\sigma_k = \frac{(h_v - h_0)\rho''}{2Sv},$$

где h_v – среднее превышение, полученное при наклоне оси нивелира v = 15';

h_0 – среднее превышение, полученное при отсутствии наклона оси нивелира $v = 0$;

S – длина визирного луча в мм;

$\rho = 206265''$;

v – угол наклона нивелира.

Результаты нивелирования и его обработки необходимо поместить в таблицу произвольной формы.

Если величина $\sigma_k > 0{,}5''$, то устранение ошибки необходимо проводить в заводских условиях с применением специальных коллиматоров.

3.10. Определение средней квадратической погрешностии измерения превышения на станции ($m_{ст}$)

При проведении данного исследования определяется качество работы всех узлов и деталей нивелира в комплексе.

Выполняется нивелирование двух точек из середины. Неравноплечие должно быть менее 2 м, расстояние от нивелира до реек 50-100 м. При выполнении курсовой работы допускается нивелирование двух максимально удаленных друг от друга выбранных точек в коридоре 4-го учебного здания.

Объем измерений должен быть не менее 10 серий. Каждая серия должна состоять из пяти независимых определений превышений между точками установки реек. При переходе от серии к серии изменяют горизонт нивелира.

Среднюю квадратическую погрешность $m_{ст}$ вычисляют по формуле:

$$m_{ст} = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + ... + m_{10}^2}{10}},$$

где $m_{1,\ 2,\ ...\ 10}$ – средняя квадратическая погрешность измерения превышения на станции для серии наблюдений.

Значения погрешностей $m_{1,\,2,\,\ldots\,10}$ определяют по формуле.

$$m_{1,\,2,\,\ldots\,10} = \sqrt{\frac{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2 + \Delta h_3^2 + \Delta h_4^2 + \Delta h_5^2}{4}},$$

где Δh – отклонение измеренного превышения от его среднего значения в серии.

Средняя квадратическая погрешность измерения превышения на станции для точных и технических нивелиров не должна быть более 2 мм.

4. Электронные нивелиры

4.1. Поверка положения визирной оси цифрового нивелира при измерениях по кодовой рейке

В цифровых нивелирах имеется две совмещённых визирных оси: визуальная - заданная положением визирной сетки и, так называемая - «фотоэлектрическая (цифровая), заданная положением фотоэлектрической матрицы,

Для нормальной работы цифрового нивелира должны быть выполнено требование по обеспечению соосности фотоэлектрической (цифровой) и визуальной визирных осей. Соблюдение горизонтальности линий этих визирных осей является главным условием эксплуатации цифрового нивелира.

4.1.1. Методы поверки положения фотоэлектрической визирной оси

Существует четыре основных метода поверки нивелира в комплекте с кодовой рейкой:

1. Нивелирование из середины с разными плечами (метод Ферштнера**)**

Устанавливают две рейки (А и В) на расстоянии около 45м друг от друга.

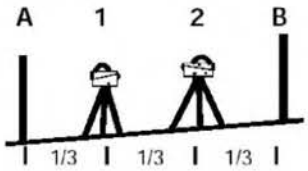


Рис 4.1 - Метод Ферштнера

Расстояние делят примерно на три части и определяют положение двух нивелирных станций (1 и 2) на расстоянии примерно 15 м от реек между ними. Выполняют измерения на обе рейки с каждой из этих станций.

2. Нивелирование вперёд (метод Нобауера**)**

Юстировка положения зрительной оси нивелира методом Нобауера аналогична методу Ферштнера. Разбивается линия примерно 45 метров длинной и делится примерно на три части.

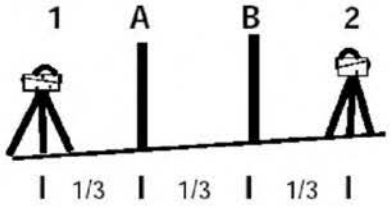


Рис 4.2 - Метод Нобауера

Определяется положение двух нивелирных станций (1 и 2) по обе стороны от реек (А и В), установленных на расстоянии 15 метров друг от друга, примерно в 15 метров от них. Затем выполняют измерения с нивелирной станции 1 на обе рейки. После этого нивелир переносят из точки 1 в точку 2 и повторяют измерения с нивелирной станции 2 на обе рейки (А и В).

3. Нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперёд (метод Куккамэки)

Сущность метода Куккамэки заключается в следующем. На расстоянии примерно 20 метров друг от друга устанавливаются две рейки (А и В). Посредине этого расстояния устанавливается нивелирная станция 1 и с нее выполняют измерения на обе рейки (сначала на рейку А, затем на В).

После наблюдения со станции 1 повторно производятся измерения, но уже со станции 2, которая расположена на продолжении линии, соединяющей обе рейки приблизительно на расстоянии 20 метров от вынесенного расстояния.

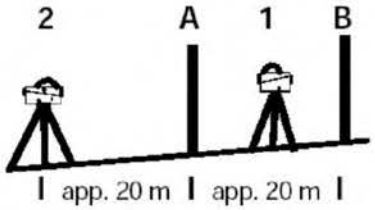


Рис 4.3 - Метод Куккамэки

4. Нивелирование по японскому методу

Этот метод идентичен предыдущему.

Отличие состоит в том, что расстояние между рейками должно быть около 30 метров, а нивелирная станция 2 должна находиться в 3 метрах от рейки А.

Вычисление угла i при калибровке для всех четырёх способов

выполняется по единой формуле, что стало возможным благодаря наличию дальномера

$$i = [(l_{a2}-l_{b2})-(l_{a1}-l_{b1})/(S_{a2}-S_{b2})-(S_{a1}-S_{b1})]\ \rho'', \qquad (4.1)$$

где S_{a2}- расстояние от рейки А до точки стояния нивелира 2 и т.д.

4.1.2 Пример выполнения поверки по методу Ферштнера

Рассмотрим пример поверки на примере цифрового нивелира Trimble DiNi 22 по методу Ферштнера как наиболее зарекомендовавшему себя. Две рейки (A и B) устанавливаются на расстоянии около 45 метров друг от друга. Затем это расстояние необходимо поделить примерно на три части и определить две нивелирные станции на расстоянии примерно 15 метров от реек между ними. Нивелирным станциям присваиваются порядковые номера (1 и 2). Для выполнения поверки в пункте меню Adjustment (Юстировка) имеется четыре указанных способа поверки и юстировки. Выбираем **«Förstner mehod».**

После вызова функции поверки на дисплее появляется предыдущее значение поправки за наклон зрительной оси.

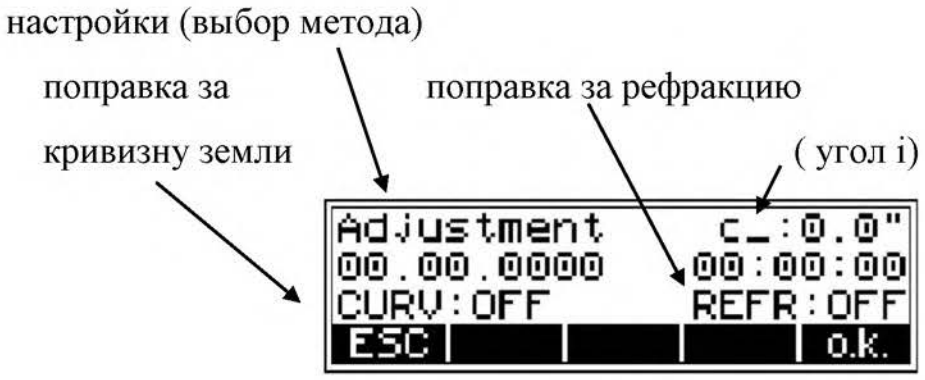


Рис. 4.4 - Дисплей поправок

Пользователь получает запрос о выполнении измерений в соответствии требованиями выбранного метода юстировки. Для этого используйте либо кнопку пуска на правой стороне нивелира, либо кнопку MEAS на панели управления.

Можно выбрать режим многократных измерений (например 3-х или 5-ти кратных). При данном режиме на дисплее отображаются, средние значения отсчетов по рейкам, измеренные расстояния и стандартные отклонения.

Следующим шагом поверки прибора является поочередное наблюдение кодовых реек с нивелирных станций в очередности, которая

определяется схемой взаимного положения нивелира и реек, обозначенных на мониторе. Со станции 1 производится наведение и снятие показаний с рейки А, затем с рейки В. После этого программа нивелира попросит поменять станцию наблюдения и перейти на точку 2. С новой станции производятся аналогичные наблюдения реек А и В. После успешного завершения процесса поверки, новое значение поправки за наклон зрительной оси подсчитывается автоматически. После выполнения измерений, выполняется проверка требований, предъявляемых в данном методе к расстояниям, что гарантирует эффективную защиту от ошибок. В случае несоответствия требований, появляется сообщение об ошибке.

После снятия отчета с последней рейки программа нивелира выводит на электронное табло значение полученного угла $i_к$ (ΔC-) .



Рис 4.5 - Вывод значения угла $i_к$ (ΔC-)

Одновременно с этим задается вопрос о подтверждении полученного значения угла *i* для дальнейшего использования его для автоматического вычисления и введения поправки в процессе измерений. При уверенности, что все условия юстировки были соблюдены для подтверждения значения необходимо нажать функциональную клавишу «**ok**» (Да).



Рис 4.6 - Старое и новое значение угла i

Новое значение угла будет записано в память при этом старое значение будет удалено. Если в процессе калибровки нивелира по каким либо причинам не удалось выполнить все условия метода или некоторые отчеты были сняты заведомо неправильно, то программа прибора при запросе подтверждения поправки всегда предлагает произвести повторную калибровку. Для повтора операции калибровки нажмите клавишу «**rpt**» (повторить).

Полученные значения угла наклона зрительной оси инструмента должны различаться в пределах единиц секунд. Предпосылками для достижения хорошего результата, являются устойчивость инструмента и идентичные условия окружающей среды во время процесса поверки и соответствие визирных расстояний указанных в описании метода.

Здесь необходимо дать пояснение к величине угла $i_к$ (ΔC-).

ΔC- это величина поправки за угол i. Величина(ΔC-). может доходить до 60**″.** Если нет сообщения о превышении допуска, то подтверждаете командой Ok ввод полученного значения в память. После чего, для контроля, выполняется поверка рабочего угла $i_р$ в режиме измерения превышений, по классическим схемам, рекомендуемым для оптических нивелиров. Получение достоверного значения угла $i_к$ в цифровых нивелирах является более важным, чем в оптических визуальных, так как в цифровых нивелирах при измерениях автоматически вводятся поправки за угол $i_к$:

$\Delta h = S \cdot \operatorname{tg} i_к$, что позволяет во многих случаях отказаться от соблюдения равноплечия при сохранении высокой точности определения превышений.

4.1.3 Юстировка положения визирной оси

Если принимается новое значение поправки, то одновременно на дисплее появляется запрос о контроле положения сетки нитей (для визуального считывания). В этом случае разверните рейку метрической оцифровкой в сторону нивелира, возьмите отсчёт и сравните его с

электронным. Если разница превысит 2 мм, то следует отъюстировать положение сетки нитей. Для этого отверните защитную крышку (1) и юстировочными винтами сетки нитей, расположенными под окуляром, установите сетку нитей на нужный отсчёт.



Рис. 4.7 - Юстировка положения сетки нитей

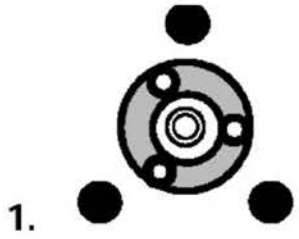
Для надёжности рекомендуется повторить юстировку.

С помощью компенсатора, зрительная ось инструмента автоматически устанавливается в горизонтальное положение в пределах рабочего диапазона компенсатора как для визуальных наблюдений так и для электронных измерений. При повороте инструмента вокруг вертикальной оси, круглый уровень прибора должен оставаться в пределах нуль-пункта.

При прецизионных измерениях, круглый уровень всегда должен оставаться в центре нуль-пункта. В случае не выполнения этого условия, необходимо произвести юстировку круглого уровня.

4.1.4. Поверка круглого уровня

С помощью подъемных винтов приведите инструмент в горизонтальное положение, т.е. до тех пор пока пузырек круглого уровня не займет положение в центре нуль-пункта.



Поворачивая инструмент на 180° вокруг вертикальной оси, необходимо убедится, что пузырек уровня остается в нуль-пункте.

Если пузырек выходит за пределы нуль-пункта, то необходимо выполнить юстировку круглого уровня.

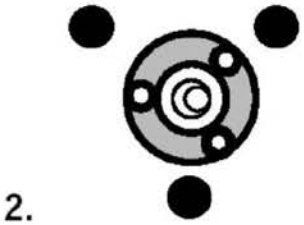




Рис. 4.8. - Юстировка круглого уровня

Для юстировки круглого уровня необходимо открутить винт защитной крышки (рис.4.8) и снять ее. Затем с помощью трех подъемных винтов, привести инструмент в горизонтальную плоскость. Повернуть нивелир на 180° вокруг вертикальной оси.

С помощью исправительных винтов уровня, пузырек переместить в нуль-пункт на половину дуги отклонения, а затем подъемными винтами приводится в центр в центр. После этого необходимо повторите процедуру еще раз и проверить отклонение.

По окончании юстировки нужно зафиксировать защитную крышку в исходное положение.

4.1.5. Распределение поправок в отсчет по рейке и в нивелирные плечи

Поверенный и отъюстированный цифровой нивелир автоматически вводит поправку в отсчет по рейке по следующим формулам:

$$l = l_0 \pm l_x - K_1 + K_2 \pm K_3,$$

где: K_1 – поправка за кривизну Земли

$$K_1 = S/(2R),$$

K_2 – поправка за рефракцию

$$K_2 = rkS/(2R),$$

K_3= - поправка за наклон зрительной оси

$$K_3 = S\ tg(i),$$

l_0 – неисправленный отсчет по рейке,

S – длина плеча,

i – величина угла i в секундах,

l_x – постоянная рейки (+Rˆ при измерении по нормальной рейке, -Rˆ при измерении по перевернутой рейке),

R – радиус Земли, R=6380000 метров,

rk – коэффициент рефракции,

$\rho'' = 206265''$

$S = S_0 + A.$

S_0 –неисправленная длина плеча,

A – постоянная дальномера.

Исходя из того, что угол i является сравнительно небольшим возможно использование следующей формулы вычисления поправки за наклон зрительной оси $K_3 = i\ S/\rho''$.

4.1.6. Проверка угла i и СКП измерения превышений на эталонном полигоне

Проверка выполняется в четвертом учебном здании на эталонном полигоне с известными значениями превышений точек.

Пример записи результатов измерений представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Результаты измеренных превышений на эталонном полигоне

Станция стояния	Станция наведения	Индикация дисплея	Величина, м	Превышение, мм	$h_{эт}$	Δh
30	5	SR (σ)	0.0001	-16.2		
		R (l)	0.1703			
		HD (S)	25.09		-15,6	-0,6
	25	SR	0.0000			
		R	0.1541			
		HD	5.14			
15	25	SR	0.0001	-15.8		
		R	0.1444			
		HD	10.00		-15,6	-0,2
	5	SR	0.0000			
		R	0.1602			
		HD	10.00			

Полученное предельное значение угла i = (Δh/S) ρ" = 4" не превышает допуска точных нивелиров.

Величина постоянной поправки $K_3 = (i / \rho'') \cdot S = (4" / \rho") \cdot 20000 = 0{,}58$мм.

Значение величины σ (скп) ≤ 0,1мм, свидетельствует о достаточном качестве измерений.

5. Светодальномеры (лазерные дальномеры)

5.1 Определение постоянных поправок дальномера и отражателя

Наиболее частой причиной образования погрешностей измерений расстояний является неправильное определение постоянной поправки дальномера. Постоянная поправка численно равна систематической погрешности δ, взятой с обратным знаком $К_д = – δ$. Причиной образования систематической погрешности является неравенство геометрической длины пути прохождения дальномерного сигнала от источника излучения до приёмника, геометрической длине между точками крепления отражателя (марки) и дальномера.

Существует два способа поверки постоянной поправки дальномера при условии использования штатной призмы: технологический способ поверки и метрологический способ поверки.

Технологический способ поверки основан на принципе измерения неизвестного расстояния в целом и по частям (трехштативный способ). Этот способ не требует наличия известного значения измеряемого расстояния, поэтому может применяться для контроля правильности выбранного значения постоянной поправки в полевых условиях.

На ровном участке местности в створе линии визирования устанавливается три штатива (Рис.5.1).

Дальномер устанавливают над точкой 1, измеряют расстояния S_1 и S_2, затем переносят дальномер в точку 2 или 3 и измеряют расстояние S_3. Величину расстояния S_3 рекомендуется выбирать в диапазоне от 50 до 100 метров (в учебных целях – произвольные значения).

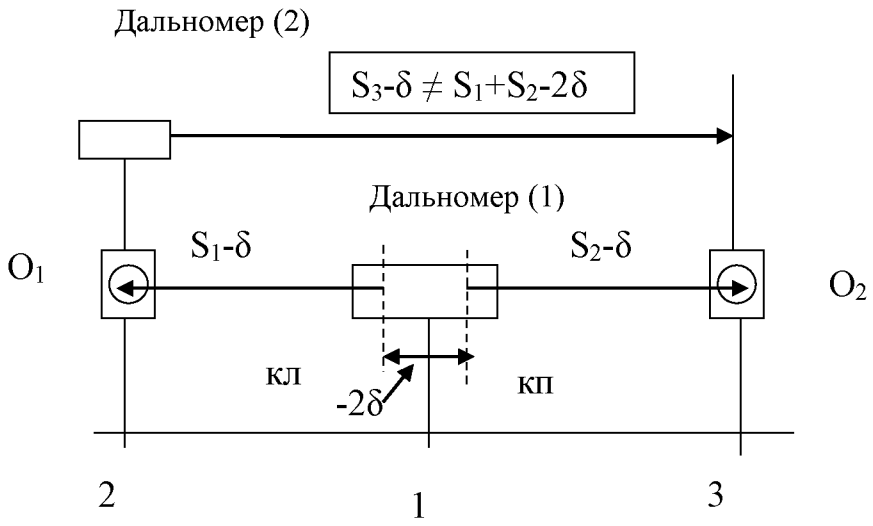


Рис.5.1 Определение постоянной поправки дальномера

При отсутствии систематической погрешности разность (S1 + S2) –S_3 = 0. При наличии систематической погрешности δ, вызванной например смещением оси вращения прибора относительно электронно-оптического центра системы начального отсчёта, разность (S1 + S2 – 2 δ) – (S_3 – δ)= – δ, или, окончательно, величина систематической погрешности

$$– \delta = S1 + S2 – S_3.$$

Величина постоянной поправки $К_д$ = + δ, знак которой зависит от параметров оптических и электрических цепей, Более точное значение $К_д$ определяется путём измерения известных расстояний.

Метрологическая поверка постоянной поправки основывается на измерении эталонных расстояний, погрешность определения которых не превышает $1+1 \cdot 10^{-6}$ S.

Определение поправки $К_д$ проводите следующим образом:

1. Установите дальномер на линейном компараторе, на котором размечены точки, расстояния которых от приемопередатчика равны $L_э$ = (A+i), где A - расстояние от дальномера до первой точки интервалы i = 10,20,30м, измеренные более точным прибором с погрешностью не более

±1мм, и принятые за эталонные расстояния. Введите значения температуры и давления.

2. Отражатель установите на выбранные точку и измерьте пятью приёмами расстояние $L_{изм i}$, до каждой из точек и вычислите значения $K_{Дi}$ по результатам измерений каждого расстояния по формуле

$$K_{Дi} = L_{Эi} - L_{изм.i}$$

Далее

$$Кд = \frac{\sum_{i}^{n} K_{Дi}}{n},$$

где n - число измеренных расстояний.

Сравните полученные значения поправок Кд для первого и второго способа и дайте заключение.

Постоянная поправка отражателя (марки) определяется измерением любого расстояния, величина которого определена измерением более точным прибором (СКП средства поверки должна быть равна половине СКП поверяемого средства).

Постоянную поправку призмы (марки) Кпр определяют в обязательном порядке при применении призмы не входящей в комплект прибора с учетом известной поправки дальномера.

Постоянная поправка призмы зависит от её размеров и способа крепления относительно центра подставки. На рис. 5.2 приведены три примера различных вариантов.

С целью упрощения объяснений для анализа выбран центральный луч падающий на вершину призмы, исходя из законов геометрической оптики его длина равна длине любого луча падающего на призму параллельно центральному.

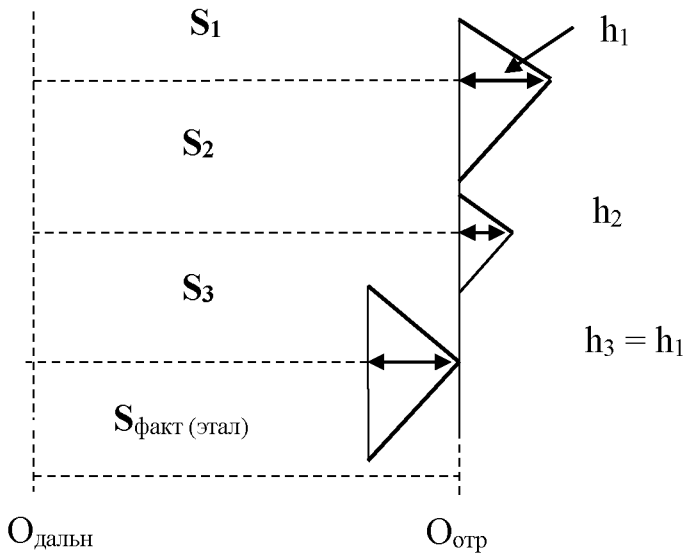


Рис.5.2. Определение постоянной поправки призмы

Из анализа рис.5.2. следует:

1. $Кпр_1 = S_{факт.} - S_1 = -h_1$.
2. $Кпр_2 = S_{факт.} - S_2 = -h_2$.
3. $Кпр_3 = S_{факт.} - S_3 = 0$,

где h – высота призмы.

Из приведённых примеров следует выделить 1 и 3 варианты.

При равных значениях высот призм h, но при разных вариантах крепления призмы относительно вертикальной оси вращения, имеем разные значения Кпр.

Методика поверки постоянной поправки для плёночных или других марок с диффузным отражающим покрытием аналогична рассмотренным вариантам.

В современных дальномерах (дальномерных модулях тахеометров) значение постоянной поправки призмы нанесено на корпус призмы. Предусмотрено два варианта учёта её значения при выявленных отклонениях при поверке. Первый вариант предусматривает изменение величины поправки призмы, второй вариант – изменение постоянной поправки

дальномера. Первый является предпочтительным, т.к. при втором варианте есть вероятность изменения поправок для других режимов измерений.

5.2. Определении средней квадратической погрешности измерения расстояний

Среднюю квадратическую погрешность (СКП) измерения расстояния дальномером определяют по результатам многократного измерения эталонного расстояния или любого расстояния, величина которого остаётся неизменной в процессе измерения. Каждое расстояние должно быть измерено не менее чем шестью приемами. В каждом приеме выполняется 4 наведения на отражатель и регистрируется по 5 отсчётов при каждом наведении.

Значение средней квадратической погрешности измерения расстояния одним приемом

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n \Delta_i^2}{n}} \quad \text{или} \quad \sigma' = \sqrt{\frac{\sum_i^n \Delta_i^2}{n-1}}, \qquad (5.1)$$

где σ - СКП вычисленная по отклонениям результата измерения $S_и$ от эталонного значения ($\Delta = S_э - Sизм_i$), с учётом всех поправок за систематические погрешности;

σ' - СКП вычисленная по отклонениям от среднего значения измеренного расстояния ($\Delta = Sизм_{ср} - Sи_i$) без учёта поправок;

n - количество приёмов измерения.

6. Метрологическая ситтестация электронных тахеометров

6.1. Краткие сведения о тахеометрах и их метрологической аттестации

Тахеометр – оптико-электронный прибор, включающий в себя электронный теодолит, светодальномер, вычислительное устройство и блок памяти.

Электронный тахеометр предназначен для выполнения крупномасштабных топографических съемок, для создания сетей планово-высотного обоснования, для автоматизированного решения в полевых условиях различных геодезических и инженерных задач при помощи прикладных программ.

Тахеометром можно производить измерения углов (вертикальных и горизонтальных), выполнять измерения полярных координат, получать результаты измерения в виде горизонтальных проложений и превышений, а так же в виде вычисленных прямоугольных координат. Результаты измерений могут быть записаны в память. В соответствии с существующим порядком все приборы, используемые для официальных измерений подлежат ежегодной метрологической поверке. **Методика поверок изложена изготовителем в инструкции по эксплуатации тахеометра и по многим пунктам в отношении угломерного модуля тахеометра совпадает с рекомендациями по поверке теодолитов [9, 10].**

Метрологическая аттестация электронных тахеометров, равно как и других маркшейдерско-геодезических приборов утвержденного Росстандартом типа, производят аккредитованной организацией или физическим лицом в лабораторных условиях, с использованием аттестованных в установленном порядке эталонов. **Организации и лица, эксплуатирующие приборы, как правило, не могут получать право производства официальной метрологической аттестации и выдачи метрологических свидетельств. По этой причине разделы 6 и 7 данных методических указаний носят информационный характер и могут быть нужны для студентов, которые в своей дальнейшей деятельности будут в той или иной мере, причастны к метрологической аттестации тахеометров.**

Поверка электронного тахеометра (на примере отечественного прибора 3Та5Р)

Основные характеристики

Температура окружающего воздуха, ˚С от – 20 до +50

Относительная влажность воздуха

При t = +25 ˚С, %, не более 95

Атмосферное давление, мм рт. ст. от 450 до 800

Напряжение питания, в от 6,5 до 8,6

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом, не более:

Горизонтального угла 5″ (1,5 мгон)

Вертикального угла (зенитного расстояния) 7″ (1,5 мгон)

Наклонного расстояния $(5+ 3\cdot10^{-6} S)$ мм

Диапазон измерения:

Горизонтального угла от 0 до 360˚ (от 0 до 400 гон)

Вертикального угла от + 45 до -45˚ (от+50 до -50 гон)

Зенитного расстояния от 45 до 135˚ (от+50 до 150 гон)

Наклонного расстояния, м

Нижний предел 2

Верхний предел с 1 призмой 1000

Верхний предел с 6 призмами 2000

Диапазон работы датчика наклона

от – 5 до +5′(-90 до+90 мгон)

Систематическая погрешность компенсации

На 1′ (18.5 мгон) наклона, не более 3″(0,9 мгон)

6.2. Средства поверки.

При проведении поверки должны применяться эталоны и вспомогательные средства поверки, приведенные в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Номер пункта данных методических указаний	Наименование СИ или вспомогательного средства поверки и их основные метрологические и технические характеристики
7.2	Марка с миллиметровой сеткой
7.4 - 7.7	Коллиматор с фокусным расстоянием не менее 500 мм
7.8, 7.10, 7.11	Два коллиматора с фокусным расстоянием не менее 500 мм, расположенные в створе с электронным тахеометром
7.9, 7.12	Два коллиматора с фокусным расстоянием не менее 500 мм, вертикальный угол между которыми 60°
7.4	Экзаменатор с ценой деления 1” (типа ЭГЕМ)
7.13	Отражатель из комплекта тахеометра

Допускается применять другие средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик с точностью, удовлетворяющей требованиям настоящей рекомендации. Для учебных целей коллиматоры можно заменить неподвижно закреплёнными визирными марками с визирными направлениями около –30° и +30 в вертикальной и горизонтальной плоскостях, величина которых измерена теодолитом Т2.

6.3 Требования к квалификации поверителей

К проведению поверки электронных тахеометров допускаются лица, изучившие эксплуатационные документы на поверяемые электронные тахеометры и сдавшие зачёт на оценку не ниже «хорошо».

6.4. Требования безопасности

При проведении поверки электронных тахеометров меры безопасности должны соответствовать требованиям по технике безопасности согласно эксплуатационной документации на электронные тахеометры и поверочное оборудование, правилам по технике безопасности, действующим

на месте проведения работ и правилам по технике безопасности при производстве топографо-геодезических работ (ПТБ-88).

6.5. Биологическая (медицинская) безопасность

Мощность излучения $P_{изл}$ > 100мвт и относится к классу 2, продолжительность облучения глаза не должно превышать 0,25сек.

6.6. Условия поверки

При проведении поверки в лабораторном помещении должны соблюдаться следующие условия измерения:

- температура окружающего воздуха (20±10)˚С;
- относительная влажность воздуха (60±20)%;
- изменение температуры воздуха в помещении во время поверки не должно превышать 1˚С в час.

До начала измерений должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- электронный тахеометр должен быть выдержан в рабочем помещении не менее 2,5 часов;
- электронный тахеометр и средства поверки должны быть установлены на прочных и устойчивых основаниях (бетонные тумбы, столбы, массивные металлические столы, штативы), не подвергающихся механическим и температурным воздействиям;
- перед началом поверки электронный тахеометр и средства поверки должны быть приведены в рабочее состояние в соответствии с эксплуатационной документацией.

7. Проведение поверки

7.1. Внешний осмотр и проверка комплектности

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие электронного тахеометра следующим требованиям:

- комплектность прибора должна соответствовать спецификации комплекта поставки в прилагаемой эксплуатационной документации (при первичной поверке) и отвечать установленным требованиям качества их функционирования;
- прибор и футляр не должны иметь механических повреждений, следов коррозии и других дефектов, затрудняющих работу с прибором;
- поверхности оптических деталей должны быть чистыми, без пятен, царапин, следов расклейки, сколов, поле зрения оптической системы должно быть равномерно освещено;
- маркировка прибора должна соответствовать требованиям эксплуатационной документации.

7.2. Опробование

При опробовании должны быть проверены:

- работоспособность замков и устройств, фиксирующих прибор в футляре;
- плавность и легкость вращения корпуса электронного тахеометра вокруг вертикальной оси;
- плавность и легкость вращения зрительной трубы электронного тахеометра вокруг горизонтальной оси;
- работоспособность закрепительных, наводящих и подъемных винтов;
- плавность и легкость вращения фокусирующего устройства зрительной трубы, оптического центрира, диоптрийных колец окуляра и оптического центрира;
- правильность установки уровней (в случае необходимости провести юстировку цилиндрического и круглого уровня согласно эксплуатационной документации);

- отсутствие наклона сетки нитей (в случае необходимости устранить наклон сетки нитей согласно эксплуатационной документации);
- устойчивость подставки, надежность крепления прибора в трегере, работоспособность защелки трегера;
- работоспособность дисплеев и функциональных клавиш;
- работоспособность подсветки дисплеев и сетки нитей;
- правильность установки оптического центрира (в случае необходимости провести юстировку оптического центрира согласно эксплуатационной документации).

7.3. **Определение ошибки индекса (места нуля) датчика углов наклона**

Цилиндрический уровень должен быть установлен как можно более тщательно, допускается ошибка установки уровня, не превышающая ¼ деления ампулы уровня.

Включить прибор и войти в режим датчика углов наклона. Записать значения датчиков углов наклона, выведенные на дисплей, как X1 и Y1 (X – положение датчика углов наклона по оси X, совпадающей с визирной осью зрительной трубы, Y- положение датчика углов наклона по оси Y, перпендикулярной оси X в горизонтальной плоскости, или совпадающей с осью зрительной трубы).

Повернуть электронный тахеометр вокруг вертикальной оси на 180˚ согласно отсчету горизонтального угла на дисплее. Выдержать паузу не менее 5 секунд для стабилизации пузырька ампулы цилиндрического уровня и записать значения датчика углов наклона, выведенные на дисплей, как X2 и Y2.

Рассчитать значение ошибки индекса датчика углов наклона по формулам:

$X = (X1+X2)/2$ - ошибка индекса по оси X

$Y = (Y1 +Y2)/2$ - ошибка индекса по оси Y.

Полученные значения не должны превышать допустимые для поверяемого прибора (приложение Б). В случае превышения допуска устранить ошибку места нуля датчика углов наклона согласно руководству по эксплуатации.

7.4. **Определение диапазона работы и погрешности датчика углов наклона**

Прибор устанавливается в положение, при котором один из подъемных винтов подставки (трегера) расположен на оси, образованной зрительной трубой и коллиматорной целью.

Цилиндрический уровень должен быть установлен как можно более тщательно, допускается ошибка установки уровня, не превышающая ¼ деления ампулы уровня.

Включить прибор и войти в режим измерения углов.

Совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора или с центром визирной цели установленнных в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (отсчет по вертикальному кругу равен 90˚00'00").

Установить значение горизонтального угла равным 0˚00'00".

Наводящим винтом вертикального круга установить значение вертикального угла 90˚03'00" (изменить значение вертикального угла на +3'00").

Войти в режим датчика углов наклона и записать значения датчика углов наклона, выведенные на дисплей, как X1 и Y1.

С помощью подъемного винта, расположенного на оси, образованной зрительной трубой и коллиматорной целью, снова совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора. Записать значение датчика углов наклона по оси X, выведенное на дисплей, как X2.

Повернуть электронный тахеометр на 90˚в горизонтальной плоскости (отсчет по горизонтальному углу составит 90˚00'00"). Записать значение датчика углов наклона по оси Y, выведенное на дисплей, как Y2.

Рассчитать погрешности работы датчика углов наклона по формулам:

ΔX+3'=X2-X1-3'00" - погрешность датчика углов наклона по оси X при изменении вертикального угла на +3'00"

ΔY+3'=Y2-Y1+3'00" - погрешность датчика углов наклона по оси Y при изменении вертикального угла на +3'00".

Повторить пункты операции, изменяя значение вертикального угла на величину -3'00".

Рассчитать погрешности работы датчика углов наклона по формулам:

ΔX-3'=X2-X1+3'00" - погрешность датчика углов наклона по оси X при изменении вертикального угла на -3'00"

ΔY-3'=Y2-Y1-3'00" - погрешность датчика углов наклона по оси Y при изменении вертикального угла на -3'00"

Значения, полученные для углов +3′00 и - 3′00, не должны превышать допустимых для поверяемого прибора (±1″).

Операции, приведенные в данном разделе, можно повторить для определения погрешности работы датчика углов наклона при наклоне ± 1'00" и при наклоне ± 2'00".

Углы наклона ± 1'00", ± 2'00", ± 3'00"можно задавать с помощью экзаменатора, что упрощает операцию поверки.

Систематическую погрешность компенсации измерения вертикальных углов при наклоне вертикальной оси от отвесного положения на 1' определяют на коллиматоре УК-1 или по визирной цели следующим образом.

Подготавливают тахеометр к работе в соответствии с приложением В.

Проверяемый тахеометр устанавливают так, чтобы один из подъемных винтов подставки расположился по направлению центральной трубы коллиматора или визирной цели. Горизонтируют тахеометр.

Тщательно наводят зрительную трубу на горизонтальный штрих сетки трубы коллиматора (цели) и берут отсчет по вертикальному кругу b0,1 , повторяют наведение трубы и берут отсчет b0,2 (измерения проводят в соответствии с приложением В).

Подъемным винтом подставки наклоняют тахеометр в сторону коллиматора на 2'±15"(величину наклона контролируют по табло тахеометра), после чего снова наводят зрительную трубу на тот же штрих сетки трубы коллиматора и берут отсчет b1,1 , повторяют наведение трубы и берут отсчет b1,2.

Подъемным винтом подставки приводят вертикальную ось в отвесное положение, наводят зрительную трубу на сетку трубы коллиматора и берут отсчет b0,3 , повторяют наведение трубы и берут отсчет b0,.4.

Подъемным винтом подставки наклоняют тахеометр в противоположную сторону (от коллиматора) на 2'±15", после чего наводят зрительную трубу на сетку трубы коллиматора и берут отсчет b2,1 , повторяют наведение трубы и берут отсчет b2,2.

Подъемным винтом подставки приводят тахеометр в исходное положение (по уровню), наводят трубу, снимают отсчеты b0,5 , b0,6 ,- на этом заканчивается один прием. Таких приемов необходимо сделать не менее трех, причем второй и третий прием выполняют, используя для наведения верхний и нижний горизонтальные штрихи сетки зрительной трубы соответственно.

Вычисляют систематические погрешности установки компенсатора на одну минуту наклона тахеометра по формулам:

$$\sigma_k = \frac{(h_v - h_0)\rho''}{2Sv},$$

Погрешность компенсации вычисляют по формуле:

$$\Delta K = \frac{2\sum_{n=1}^{h}(\sigma_{K_i} - \sigma_{кср})}{n-1}$$

где n – число приемов.

Для получения погрешности компенсации, приведенной к одной минуте, полученное значение Δк необходимо разделить на два.

Систематическая погрешность Δк /2 должна быть не более требуемого значения $\geq 3''$.

7.5. Определение наклона (качки) вертикальной оси

Включить прибор и войти в режим измерения углов.

Совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой.

Поворачивая электронный тахеометр на 360˚ по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки, измерить разницу между положениями горизонтального штриха сетки нитей зрительной трубы прибора и горизонтального штриха сетки нитей коллиматора. Повторить операцию не менее шести раз, среднее арифметическое принять за окончательный результат.

Выполняя перестановку горизонтального круга последовательно на 90˚, 180˚ и 270˚, повторить измерения.

Максимальное измеренное значение не должно превышать допустимого для поверяемого прибора.

7.6. Определение люфта горизонтальной оси (оси зрительной трубы)

Включить прибор и войти в режим измерения углов.

Совместить вертикальный штрих сетки нитей зрительной трубы электронного тахеометра с вертикальным штрихом сетки нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой.

Поворачивая зрительную трубу вокруг горизонтальной оси на 360˚ по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки, измерить разницу между положениями вертикального штриха сетки нитей зрительной трубы прибора и вертикального штриха сетки нитей коллиматора. Повторить операцию не менее шести раз, среднее арифметическое принять за окончательный результат.

Максимальное измеренное значение не должно превышать допустимого для поверяемого прибора.

7.7. Определение смещения визирной оси, вызываемое перефокусировкой зрительной трубы

Совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора.

Перефокусировать зрительную трубу вращением головки фокусирующего устройства по ходу и против хода часовой стрелки. Повторить перефокусировку не менее 10 раз, наблюдая за положением сетки нитей зрительной трубы относительно сетки нитей коллиматора в горизонтальном и вертикальном направлении.

Смещение изображения сетки нитей не должно превышать двойную толщину штриха сетки зрительной трубы.

Смещение визирной оси зрительной трубы при ее перефокусировании проверяют на коллиматоре УК-1.

Наводят зрительную трубу тахеометра последовательно на перекрестия сеток нитей коллиматора, установленных на бесконечность и на 10м, фокусируют ее вращением кремальеры по ходу и против хода часовой стрелки.

Сравнивают смещение перекрестий сеток нитей зрительной трубы и коллиматора с шириной штриха сетки нитей зрительной трубы. Допустимому смещению соответствуют 1,5 ширины штриха. (≥1,5″)

7.8. Определение коллимационной погрешности (неперпендикулярности визирной оси зрительной трубы к горизонтальной оси электронного тахеометра)

Включить прибор и войти в режим измерения углов.

При положении «круг слева» совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (коллиматор А).

Перевести зрительную трубу на коллиматор, установленный в створе линии «коллиматор А – электронный тахеометр» (коллиматор В) и оценить разницу между положениями вертикального штриха зрительной трубы электронного тахеометра и вертикального штриха коллиматора В, записав значение разницы как α1.

$(\alpha 1 = КЛ_A - (КЛ_B - 180^\circ)$

Повторить измерения при положении «круг справа» и оценить смещение вертикального штриха сетки нитей зрительной трубы электронного тахеометра и вертикального штриха сетки нитей коллиматора В как α2.

$(\alpha 2 = КП_A - (КП_B - 180^\circ)$

Рассчитать значение коллимационной погрешности до целого числа секунд по формуле:

$$C = (\alpha 1 - \alpha 2)/2$$

Выше описана одна серия определения С. Необходимо выполнить не менее двух серий, среднее арифметическое значение коллимационной ошибки принять за окончательный результат.

Коллимационную погрешность при визировании на «бесконечность» при совмещенных энергетической и визирной осях определяют на коллиматоре УК-1.

Устанавливают тахеометр на столике коллиматора по уровню с погрешностью 0,5 деления ампулы.

Определяют коллимационную погрешность при визировании на перекрестие сетки нитей горизонтальной трубы коллиматора, имитирующую «бесконечность».

Изменение коллимационной погрешности и места нуля (зенита) при визировании от 10м до бесконечности проверяют на коллиматоре УК-1.

Устанавливают тахеометр на столике коллиматора по уровню.

Определяют коллимационные погрешности и значения места нуля при визировании на перекрестия сеток нитей горизонтальной трубы коллиматора, имитирующие 10м и «бесконечность».

Вычисляют изменение коллимационной погрешности (ΔC) и изменения места нуля ($\Delta M0$), в угловых секундах, по формулам:

$$\Delta C = C_{10} - C_{\infty};$$
$$\Delta M0 = M0_{10} - M0_{\infty},$$

где C_{10} , C_{∞} ($\leq 1'$) - коллимационные погрешности, определенные при визировании тахеометра на сетки нитей УК-1, имитирующие 10м и «бесконечность». $M0_{10}$, $M0_{\infty}$ ($\leq 8''$) - значения места нуля, определенные при визировании на сетки нитей УК-1, имитирующие 10м и «бесконечность».

В измеренные значения горизонтальных углов автоматически вводится поправка на коллимационную погрешность, значение которой определяется в процессе начальных установок и хранится в памяти тахеометра до переопределения значения поправки.

При измерении вертикальных углов автоматически вводится поправка в место нуля вертикального круга, а в режиме измерения с учетом угла наклона автоматически вводится поправка в наклон вертикальной оси.

7.9. Определение наклона горизонтальной оси (неперпендикулярности оси вращения зрительной трубы к вертикальной оси электронного тахеометра)

Для проведения поверки необходимо установить два коллиматора в вертикальной плоскости с вертикальными углами $\alpha 1 = +30^{\circ}(\pm 2')$ от горизонта (коллиматор А) и $\alpha 2 = -30^{\circ}(\pm 2')$ от горизонта (коллиматор В).

При положении «круг слева» (КЛ) совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора А.

Перевести зрительную трубу на коллиматор В и оценить разницу между положениями вертикального штриха сетки нитей зрительной трубы электронного тахеометра и вертикального штриха сетки нитей коллиматора В, записав значение разницы как $\alpha 1$.

Повторить измерения при положении «круг справа» (КП) и оценить смещение вертикального штриха сетки нитей зрительной трубы электронного тахеометра и вертикального штриха сетки нитей коллиматора В как $\alpha 2$.

Рассчитать значение наклона горизонтальной оси до целого числа секунд по формуле:

$$i = (\alpha 1 - \alpha 1/2).$$

Повторить измерения при КЛ и КП не менее двух раз, среднее арифметическое значение i принять за окончательный результат.

Отклонение от перпендикулярности горизонтальной оси относительно вертикальной оси для тахеометра 3 Та 5 проверяют на коллиматоре УК-1 по трубам, наклоненным на углы $\pm 45^{\circ}$ или $\pm 25^{\circ}$ одним из методов, указанных ниже.

Метод 1.

Устанавливают тахеометр по уровню с погрешностью 0,5 деления ампулы и совмещают перекрестие сетки нитей зрительной трубы с изображением перекрестия сетки нитей верхней трубы коллиматора (+45˚ или +25˚);

наклоняют зрительную трубу вниз до совмещения горизонтального штриха ее сетки нитей с изображением горизонтального штриха сетки нитей нижней трубы коллиматора (-45˚ или -25˚);

если перекрестия сеток нитей зрительной трубы и нижней трубы коллиматора не совпали, то половину несовпадения устраняют вращением одного из подъемных винтов подставки, а вторую половину – наводящим винтом для наведения в горизонтальной плоскости;

повторяют наведение на нижнюю и верхнюю трубы до тех пор, пока коллимационная плоскость зрительной трубы не пройдет через перекрестия сеток нитей коллиматора;

переводят зрительную трубу через зенит, поворачивают тахеометр на 180˚ и совмещают перекрестие сетки нитей зрительной трубы тахеометра с изображением перекрестия сетки нитей верхней трубы коллиматора;

наклоняют зрительную трубу вниз до совмещения горизонтального штриха ее сетки нитей с изображением горизонтального штриха сетки нитей каждой трубы коллиматора и оценивают смещение вертикального штриха сетки нитей зрительной трубы относительно изображения вертикального штриха сетки нитей нижней трубы коллиматора.

Допустимому наклону горизонтальной оси соответствует смещение, равное 2,2 ширины биссектора при углах наклона ±45˚ и 1,2 ширины биссектора при углах наклона ±25˚.

Метод 2.

Устанавливают тахеометр по уровню при круге слева и совмещают перекрестие сетки нитей зрительной трубы с изображением перекрестия сетки нитей верхней трубы коллиматора;

наклоняют зрительную трубу до совмещения горизонтального штриха ее сетки нитей с изображением горизонтального штриха сетки нитей нижней трубы коллиматора и берут отсчет «Л» по горизонтальной шкале сетки нитей коллиматор;

переводят зрительную трубу через зенит, поворачивают тахеометр на 180˚ и совмещают перекрестие сетки нитей зрительной трубы тахеометра с изображением перекрестия сетки нитей верхней трубы коллиматора;

наклоняют зрительную трубу до совмещения горизонтального штриха ее сетки нитей с изображением горизонтального штриха сетки нитей нижней трубы коллиматора и берут отсчеты «П» по горизонтальной шкале сетки нитей коллиматора;

вычисляют наклон горизонтальной оси (i), в угловых секундах, по формулам:

при вертикальных углах ±45˚ $i = 0,3(Л-П)\mu$

при вертикальных углах ±25˚ $i = 0,6(Л-П)\mu$

где μ – цена деления шкалы, угловые секунды, μ=10".

Вычисления проводят до целого числа.

Повторяют определение значения i. Разность между значениями наклона горизонтальной наклона горизонтальной оси не должна превышать 10".

Вычисляют среднее арифметическое значение наклона.

Проверка по методу 1 является арбитражной.

7.10. Определение эксцентриситета горизонтального круга

Включить прибор и войти в режим измерения углов.

При положении «круг слева» совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (коллиматор А).

Установить значение горизонтального угла равным 0˚00’00”.

Повернуть электронный тахеометр на 180˚ и совместить сетку нитей зрительной трубы с сеткой нитей коллиматора, установленного в створе линии «коллиматор А – электронный тахеометр» - (коллиматор В).

Записать значение горизонтального угла как θ1.

При положении «круг справа» совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (коллиматор А).

Установить значение горизонтального угла равным 0˚00’00”.

Повернуть электронный тахеометр на 180˚ и совместить сетку нитей зрительной трубы с сеткой нитей коллиматора, установленного в створе линии «коллиматор А – электронный тахеометр» - (коллиматор В).

Записать значение горизонтального угла как θ2.

Рассчитать абсолютное значение эксцентриситета горизонтального круга по формуле:

$$\Delta\theta_H = \left| (\theta 1 - \theta 2) \right| /2$$

Выполнить переустановку горизонтального круга на 90˚ и повторить измерения и вычисления.

7.11. Определение эксцентриситета вертикального круга

Включить прибор и войти в режим измерения углов.

При положении «круг слева» совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (коллиматор А).

Записать значение вертикального угла как θ_{90°.

Перевести зрительную трубу на коллиматор, установленный на продолжении линии «коллиматор А - электронный тахеометр» - (коллиматор В) и записать значение вертикального угла как θ_{270°.

При положении «круг справа» совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (коллиматор А).

Записать значение вертикального угла как α_{270°.

Перевести зрительную трубу на коллиматор, установленный на продолжении линии «коллиматор А - электронный тахеометр» - (коллиматор В) и записать значение вертикального угла как α_{90°.

Рассчитать абсолютное значение эксцентриситета вертикального круга по формуле:

$$\Delta\theta v = \left| (\theta_{270^\circ} - \theta_{90^\circ}) - (\alpha_{270^\circ} - \alpha_{90^\circ}) \right| /2$$

7.12. Определение «места нуля» вертикального круга

Перед определением места нуля вертикального круга в обязательном порядке должна быть проведена проверка датчика углов наклона. (п.7.3)

Отключить автоматический режим индексации вертикального круга.

Отключить датчик углов наклона.

Войти в режим измерения углов.

Провести индексацию вертикального круга в ручном режиме.

При положении «круг слева» совместить сетку нитей зрительной трубы электронного тахеометра с сеткой нитей коллиматора, установленного в горизонтальной плоскости со зрительной трубой (коллиматор А).

Записать значение вертикального угла как $\theta 1$.

Включить автоматический режим индексации вертикального круга.

Включить датчик углов наклона.

Войти в режим измерения углов и проиндексировать вертикальный круг, повернув зрительную трубу на 360°.

Снова навестись на коллиматор А и записать значение вертикального угла как θ2.

Рассчитать абсолютное значение места нуля вертикального круга по формуле:

$$\Delta\theta 0 = \left| \theta 1 - \theta 2 \right|$$

7.13. Определение отклонения от соосности визирной оси зрительной трубы и энергетической оси светодальномера

Отклонение от соосности визирной оси зрительной трубы и энергетической оси светодальномера определяют визированием на отражатель, установленный на расстоянии 20 ±- 0,5м от электронного тахеометра. При наведении на отражатель определяют максимум сигнала в режиме «наведение» электронного тахеометра, затем определяют положение перекрестия сетки нитей зрительной трубы относительно центра отражателя. Смещение перекрестия сетки нитей зрительной трубы относительно центра отражателя при максимальном обратном сигнале не должно быть более ¼ диаметра отражателя.

Отклонение от параллельности визирной оси зрительной трубы и энергетической оси приемопередающего канала тахеометра в вертикальной и горизонтальной плоскости (4.19.) поверяют в следующем порядке:

Устанавливают отражатель на расстоянии (50±10)м от тахеометра, наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы тахеометра на марку отражателя;

Измеряют зенитное расстояние и горизонтальный угол (последовательность измерений – в соответствии с приложением В) не менее, чем тремя приемами, и вычисляют среднее арифметическое значение зенитного расстояния А1 и горизонтального угла В1;

Наводят зрительную трубу тахеометра на отражатель по максимуму отраженного сигнала;

Измеряют зенитное расстояние и горизонтальный угол не менее, чем тремя приемами, и вычисляют среднее арифметическое значение зенитного расстояния А2 и горизонтального угла В2;

Вычисляют отклонение от параллельности в вертикальной плоскости (А2-А1) и в горизонтальной плоскости (В2-В1 в угловых секундах. (≤10″)

7.14. Определение отклонения визирной оси оптического (лазерного) центрира от вертикальной оси вращения тахеометра

Определяется с помощью марки с миллиметровой сеткой, устанавливаемой под оптическим центриром на расстоянии 1,5 м, и вычисляется как разность двух отсчетов, полученных относительно марки при повороте алидады на 180°. Отклонение визирной оси оптического центрира от вертикальной оси вращения тахеометра должно быть не более ±0,5 мм.

7.15. Определение СКП измерения горизонтального угла и определение СКП измерения вертикального угла

Среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла одним приемом определяют по результатам измерения угла β, образованного направлениями на два коллиматора (автоколлимационного стенда УК - 1) или визирные марки. Угол β должен быть в пределах 60° - 120°, а разность вертикальных углов двух визирных целей, между которыми измеряется угол – не менее 20°. Измерения производятся 6-ю приемами (при КП и КЛ).

Вычисляют СКП измерения горизонтального угла (m_β), в угловых секундах, по формуле:

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \nu^2}{n-1}},$$

где ν - отклонение измерения угла i-ым приемом от среднего арифметического значения результатов измерения угла, угловые секунды;

n – число приемов измерения угла, $n \geq 6$.

Вычисления проводят до первой значащей цифры после запятой и округляют до целого числа секунд.

В полевых условиях значение m_β определяют по невязкам треугольников в контрольно-поверочной сети (микротриангуляции) по формуле:

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n} W_i^2}{3n}}$$

где W^2 – угловая невязка в треугольнике, полученная в i-м приеме;

n – число приемов

Среднюю квадратическую погрешность измерения зенитного расстояния (вертикального угла) одним приемом определяют по результатам измерения вертикальных углов (α) +30˚, 0˚ и -30˚ на коллиматоре УК-1

Измерение каждого угла выполняют не менее, чем четырьмя приемами.

Вычисляют среднюю квадратическую погрешность измерения вертикального угла (m_α), в угловых секундах, по формуле

$$m_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta ik}{k \cdot n}},$$

где Δik – разность между результатом измерения i-ым приемом k-го угла и его действительным значением, угловые секунды;

k – число измеряемых углов, k=2 (k_1= +30°, k_2= - 30°)$

n – число приемов измерения каждого из углов, $n \geq 4$.

Вычисления проводят до первой значащей цифры после запятой и округляют до целого числа секунд

7.16. Определение СКП измерения расстояния

Среднюю квадратическую погрешность измерения наклонного расстояния одним приемом определяют по результатам измерения контрольных линий (линейного базиса) с номинальными длинами 50, 75,100, 200, 300, 400, 500, 700, 1300, 1500м.

Измерение каждой линии проводят не менее, чем четырьмя приемами.

Вычисляют среднюю квадратическую погрешность измерения k-ой образцовой линии (m_{Sk}) в миллиметрах, по формуле:

$$m_{Sk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta l_k}{n-1}}$$

где Δl - разность между результатом измерения i-ым приемом k-ой линии и действительным значением ее длины

n - число приемов измерений k-ой линии, $n \geq 4$

$m_{Sk} = 5+3 \cdot 10^{-6} S$.

При поверке тахеометра результаты измерений заносятся в таблицу и обрабатываются. При положительных результатах поверки выписывается удостоверение утвержденного образца.

Рекомендуемая литература

1. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. – М.: Изд. ЦНИИГА и К, 1999.-56 с.

2. МИ БГЕИ 07-90. Методика института. Нивелиры. Методика поверки. – М.: Изд. ЦНИИГА и К, 1990.-50 с.

3. МИ БГЕИ 08-90. Методика института. Теодолиты. Методы и средства поверки. – М.: Изд. ЦНИИГА и К, 1990.-50 с.

4. Захаров А.И. Геодезические приборы. Справочник. – М.: Недра, 1989.-314 с.

5. Земских Г.В., Кортев Н.В. Маркшейдерско-геодезические приборы. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2015.-146 с.

6. Х.К. Ямбаев. Геодезическое инструментоведение,. М.: Недра, 2012.-364 с.

7. Маркшейдерское дело / Д.Н. Оглоблин, Г.И. Герасименко, А.Г. Акимов и др. – М.: Недра, 1981. – 703 с.

8. Корсунская М.М. Геодезические приборы. – М.: Институт оценки природных ресурсов, 2002.-186 с.

9. МИБГЕИ 08-00. Методика института. Теодолита. Методы и средства поверки. –М: Изд. ЦНИИГА и К, 2000.-51с.

10. Р – 50.

11. Земских Г.В., Кортев Н.В. Маркшейдерско-геодезические приборы. Учебно-методическое пособие к курсовой работе и лабораторным занятиям для студентов специальности 13042 - «Маркшейдерское дело» (МД) направления 130400 – «Горное дело». Часть 1. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2009г. – 37 с.

12. Земских Г.В., Кортев Н.В. Маркшейдерско-геодезические приборы. Учебно-методическое пособие к курсовой работе и лабораторным занятиям для студентов специальности 13042 - «Маркшейдерское дело» (МД)

направления 130400 – «Горное дело». Часть 2. – Екатеринбург: Изд. УГГА, 2004г. – 33 с.

13. Гусев Н.А. Маркшейдерско-геодезические приборы. М.: Недра, 1968. – 220 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1. Оптические теодолиты 6
1.1 Условия проведения поверки 6
1.2 Внешний осмотр и проверка комплектности 7
1.3 Опробование 7
1.4 Определение метрологических характеристик зрительной трубы 8
1.4.1 Определение увеличения зрительной трубы 8
1.4.2 Определения величины поля зрения трубы 9
1.4.3 Разрешающая способность зрительной трубы 10
1.4.4 Определение погрешности визирования 12
1.5 Определение и юстировка инструментальных погрешностей 13
1.5.1 Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения прибора и юстировка уровней 13
1.5.2 Определение и исправление (юстировка) коллимационной погрешности 14
1.5.3 Определение и юстировка места нуля (места зенита) 15
1.5.4 Проверка правильности хода фокусирующей линзы 16
1.5.5 Определение цены деления уровней 18
1.5.6 Проверка работы компенсатора в полевых условиях (для теодолитов с самоустанавливающимся индексом вертикального круга) 21
1.5.7 Исследование отсчетных приспособлений 22
1.5.8 Определение эксцентриситетов горизонтального круга (лимба) и алидады 26
1.5.9 Определение наклона горизонтальной оси теодолита (электронного теодолита)(неравенство подставок) 31
1.5.10 Проверка оптического центрира 33

2. Электронные теодолиты 34
2.1 Проверка погрешности визирования 34
2.2 Отсчетные устройства 34
2.3 К определению эксцентриситета горизонтального круга, алидады, коллимационной погрешности С и отсчета по вертикальному лимбу при горизонтальном положении трубки (места нуля М0) 35
3. Оптические нивелиры 37
3.1 Условия проведения поверки 37
3.2 Внешний осмотр и проверка комплектности 38
3.3 Опробование 39
3.4 Проверка правильности установки цилиндрического и установочного уровней 40
3.5 Проверка правильности установки сетки нитей 41
3.6 Определение угла непараллельности между осью цилиндрического уровня и визирной осью зрительной трубы (угол *i*) 41
3.7 Определение ошибки измерения превышений за счет смещения зрительной оси при перефокусировании трубы (проверка правильности хода фокусирующей линзы) 44
3.8 Определение диапазона работы компенсатора (для нивелиров с компенсатором) 46
3.9 Определение ошибки недокомпенсации (для нивелиров с компенсаторами) 47
3.10 Определение средней квадратической погрешности измерения превышения на станции ($m_{ст}$) 48
4. Электронные нивелиры 49
4.1 Проверка положения визирной оси цифрового нивелира при измерениях по кодовой рейке 49
4.1.1 Методы поверки положения фотоэлектрической визирной оси 49
4.1.2 Пример выполнения поверки по методу Ферштнера 51
4.1.3 Юстировка положения визирной оси 54

4.1.4 Поверка круглого уровня 55
4.1.5 Распределение поправок в отсчет по рейке и нивелирные плечи 56
4.1.6 Проверка угла i и СКП измерения превышений на эталонном полигоне 57
5. Светодальномеры (лазерные дальномеры) 58
5.1 Определение постоянных поправок дальномера и отражателя 58
5.2. Определении средней квадратической погрешности измерения расстояний 62
6. Метрологическая ситтестация электронных тахеометров 63
6.1. Краткие сведения о тахеометрах и их метрологической аттестации 63
6.2. Средства поверки 65
6.3 Требования к квалификации поверителей 66
6.4. Требования безопасности 66
6.5. Биологическая (медицинская) безопасность 66
6.6. Условия поверки 66
7. Проведение поверки 67
7.1. Внешний осмотр и проверка комплектности 67
7.2. Опробование 67
7.3. Определение ошибки индекса (места нуля) датчика углов наклона 68
7.4. Определение диапазона работы и погрешности датчика углов наклона 69
7.5. Определение наклона (качки) вертикальной оси 72
7.6. Определение люфта горизонтальной оси (оси зрительной трубы 73
7.7. Определение смещения визирной оси, вызываемое перефокусировкой зрительной трубы 73
7.8. Определение коллимационной погрешности (неперпендикулярно

сти визирной оси зрительной трубы к горизонтальной оси электронного тахеометра 74
7.9. Определение наклона горизонтальной оси (неперпендикулярности оси вращения зрительной трубы к вертикальной оси электронного тахеометра) 76
7.10. Определение эксцентриситета горизонтального круга 79
7.11. Определение эксцентриситета вертикального круга 79
7.12. Определение «места нуля» вертикального круга 80
7.13. Определение отклонения от соосности визирной оси зрительной трубы и энергетической оси светодальномера 81
7.14. Определение отклонения визирной оси оптического (лазерного) центрира от вертикальной оси вращения тахеометра 82
7.15. Определение СКП измерения горизонтального угла и определение СКП измерения вертикального угла 82
7.16. Определение СКП измерения расстояния 84
Рекомендуемая литература 85

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Земских Г.В.

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Учебно-методическое пособие

к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента 6
2. Повторение материала лекций. 6
3.Самостоятельное изучение тем курса. 6
4. Подготовка к практическим занятиям . 11
5. Подготовка к зачету, экзамену. 13
6. Подготовка к опросу. 14
7. Подготовка к контрольным работам. 15
8. Подготовка и оформление курсовой работы. 15
Рекомендуемая литература 16

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента составляет 324 часов или 9 зачетных единиц. Из них 138 часов (очное обучение) и 275 часов (заочное обучение)отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерско-геодезические приборы» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины: повторение материала лекций, самостоятельное изучение тем курса, подготовка к практическим занятиям, подготовка к зачету и экзамену, подготовка к опросу, подготовка к контрольным работам, подготовка к выполнению и оформление курсовой работы.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Маркшейдерско-геодезические приборы». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой тестовых вопросов на зачет и экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебном пособии по курсу [1]. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины на кафедре маркшейдерского дела имеется тестовая обучающая программа и мультимедийные средства обучения. Эта программа заложена в каждый компьютер дисплейного класса и может быть скопирована студентом для использования на домашнем компьютере.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебному пособию[1] освойте каждый структурный элемент темы. .

3.Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовую обучающую программу

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Обучающийся должен пользоваться своим конспектом лекций для усвоения пройденного материала..

3. САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КУРСА

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи курса Маркшейдерско-геодезические приборы.

Тема 2: Современное маркшейдерское приборное обеспечение

Характеристика приборных комплектов для маркшейдерских работ при различных способах разработки полезных ископаемых и при подземном строительстве. Способы разработки МПИ: подземный (с учетом особенностей способов вскрытия и систем разработки), открытый (карьеры, разрезы, гидравлические полигоны), подводный (шельф, дражные и земснарядные полигоны). Подземное строительство: тоннели различного назначения, прочие подземные объекты гражданского и оборонного назначения.

Тема 3: Основы геометрической оптики

Законы геометрической оптики. Характеристики (оптические параметры) оптических сред. Показатель преломления светового луча. Сорта оптического стекла (кроны, флинты).

Тема 4: Оптические детали и системы приборов

Оптические детали. Призмы (плоско-параллельные пластинки, призмы полного внутреннего отражения, преломляющие призмы). Дисперсия света. Линзы (собирающие, рассеивающие). Геометрические параметры линз. Правила построения изображений точек и предметов линзами.

Формула Аббе (связи геометрических и оптических параметров линз).

Оптические системы. Разрешающая способность систем. Потери света в системах. Визирные зрительные трубы. Микроскопы отсчетных приспособлений в теодолитах.

Тема 5: Осевые системы угломерных приборов

Вертикальные осевые системы. Алидадная и лимбовая части угломерных приборов. Конструктивные особенности вертикальных осевых систем, обеспечивающих их прецезионность.

Горизонтальные осевые системы (ось вращения визирной зрительной трубы). Микрометренно-закрепительные устройства осевых систем.

Тема 6: Инструментальные погрешности угломерных приборов

Классификация погрешностей по способу минимизации их влияния на результаты измерений. Коллимация. Наклон оси вращения трубы (неравенство подставок трубы). Отклонение визирной оси при перемещении фокусирующей линзы. Эксцентриситет алидады. Эксцентриситет лимба. Рен отсчетного микроскопа. Наклон оси вращения трубы (негоризонтальность прибора). Симметричность работы компенсатора. Способы выявления инструментальных погрешностей и способы снижения их влияния на результаты измерений. СКП измерения углов.

Тема 7: Инструментальные погрешности нивелиров

Наклон визизирной оси трубы. Симметричность работы компенсатора. Погрешность недокомпенсации. СКП определения превышений на станции и на 1 км. двойного хода.

Тема 8: Уровни и механические компенсаторы приборов

Круглые (установочные) и цилиндрические уровни. Типы ампул цилиндрических уровней. Контактные призменные системы уровней.

Компенсаторы индекса вертикального круга теодолитов, визирной оси нивелиров.

Тема 9: Способы исключения влияния инструментальных погрешностей

Эффективные методики измерений. Исправление (юстировка) погрешностей. Введение поправок за погрешности в результаты измерений.

Тема 10. Локационные дальномеры. Историческая справка

Спектры несущего излучения локационных дальномеров.

Геодезические радиодальномеры.

Фазовые и импульсные светодальномеры

Звуколокационные дальномеры

Эволюция полевой дальнометрии

Тема 11. Радио и звуколокационные дальномеры

Принцип измерения расстояний радиодальномерами. Преимущества и недостатки при полевых измерениях.

Принцип измерения расстояний звуколокационными приборами. Приборы для измерения глубины взрывных скважин, для измерений в недоступных пустотах, для измерения глубин на акваториях.

Тема 12. Принцип действия лазерных дальномеров

Модуляция несущего излучения. Решение задачи разрешения неоднозначности определения дальности на нескольких частотах модуляции.

Преимущества и недостатки фазовых дальномеров.

Преимущества и недостатки импульсных дальномеров

Тема 13. Устройство лазерных дальномеров

Излучатель. Генератор масштабных частот. Узкополосный спектральный фильтр. Лавинный фотодиод. Канал оптического короткого замыкания. Канал опорный. Гетеродинное преобразование частот. Счетный блок.

Тема 14. Постоянная и циклическая погрешности

Причины и величина возможной постоянной погрешности светодальномеров. Определение постоянной погрешности в полевых и лабораторных условиях.

Понятие цикла фазовых и импульсных измерений. Эталонный линейный базис для определения циклической погрешности светодальномеров.

Тема 15. Нестабильность частоты генератора масштабной частоты (ГМЧ)

Принцип действия ГМЧ. Назначение ГМЧ в функциональной схеме светодальномеров.

Факторы влияющие на нестабильность частоты ГМЧ.

Зависимость точности светодальномерных измерений от величины отклонения масштабной частоты от ее номинала.

Тема 16. Амплитудно-временная погрешность

Комплексное влияние на точность светодальномерных измерений степени усиления модулированного лазерного излучения и точности наведения излучения на центр отражателя.

Тема 17. Электронные тахеометры. Историческая справка

Характеристика 4-х поколений электронных тахеометров. Перспективы совершенствования дальномерных и угломерных маркшейдерских приборов. Конструктивные особенности тахеометров. Автоматические системы наведения.

Тема 18. Устройства считывания углов

Кодовые, динамические (времяимпульсные), накопительные (инкрементальные), комбинированные устройства считывания направлений и углов. Достоинства и недостатки.

Тема 19. Исследование двухосевого компенсатора

Датчики наклона прибора (электронные уровни). Диапазон работы и погрешности датчиков горизонтальности алидады тахеометров. Автоматизированный учет наклона прибора введением поправок в результаты измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Определение систематической погрешности недокомпенсации на одну минуту наклона прибора.

Тема 20. Цифровые нивелиры

Принцип считывания отсчетов и расстояний по штрихкодовым рейкам. Устройство цифровых нивелиров. Классификация цифровых нивелиров.

Тема 21. Маркшейдерские сканеры

Объекты сканирования при маркшейдерских работах. Параметры сканирования: угловой шаг (в плане и профиле), точность измерения длин и углов, скорость сканирования.

Принцип действия и устройство маркшейдерских сканеров для подземных и открытых горных работ.

Система координат лазерного сканера. Программное ослабление инструментальных погрешностей. Камеральная обработка.

Тема 22. Теория спутниковой навигации

История развития спутниковой геодезии. Общий принцип работы. Позиционирование. Глобальные и региональные навигационные спутниковые системы (GPS).

Системы координат и времени: геоцентрические СК, локальные референцные СК, системы высот, системы времени.

Спутниковый сигнал: каналы связи, радиочастотные диапазоны, фазовая модуляция сигнала, альманах навигационной информации, обзор частотных диапазонов современных навигационных систем.

Тема 23. Приборное и программное обеспечение GPS для маркшейдерских работ

Спутниковые системы GPS-Navstar, ГЛОНАСС. Наземный комплекс управления. Космический сегмент. Навигационные спутники.

Спутниковая аппаратура потребителя. Бок-схема. Режимы синхронизации. Спутниковые приемники. Радиочастотный блок. Измерения по кодам. Измерения фазы несущей волны. Инерциальные интегрированные блоки.

Контроллер. Программное обеспечение приемника.

Абсолютный режим измерений. Источники погрешностей, приборные и методические способы уменьшения их влияния на результаты измерений. Точные эфемериды. Метод точного позиционирования.

Планирование спутниковых измерений. Фактор снижения точности (DOP), маска возвышения, мировые карты качества спутникового покрытия ГНСС.

Глобальная и региональная сети DGPS, дифференциальный режим измерений.

Относительный режим измерений. Статический и кинематический режимы измерений. Принципиальные схемы работы. Постобработки измерений.

Кинематический режим измерений. Кинематика в реальном времени. Режим быстрой статики.

Метрологическое обеспечение. Методики метрологических поверок спутниковой аппаратуры.

Тема 24. Гироскопические теодолиты

Принцип работы гиротеодолитов. Теория трехстепенного маятникового гироскопа.

Устройство гиротеодолита с маятниковым гироскопом. Гироблок (системы подвеса, центрирования, токопровода, слежения, арретирования, магнитной и взрывобезопасной защиты). Угломерный блок с устройством следящей системы. Батарея питания.

Погрешности определения гироскопического азимута, продолжительность одного определения (пуска).

В качестве источника информации по всем темам используется учебное пособие: Земских Г.В., Кортев Н.В. «Маркшейдерско-геодезические приборы»: уч. пособие. Екатеринбург, УГГУ, 2019, 146 с.

4. ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Темы	Количество часов	Форма проведения, технология
Оптические детали и системы маркшейдерских приборов Определение разрешающей способности, увеличения и поля зрения визирной зрительной трубы.	6	
Осевые системы угломерных приборов Определение эксцентриситетов алидады и лимба горизонтального круга угломерных приборов.	8	
Инструментальные погрешности угломерных приборов Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде к вертикальной оси вращения прибора и юстировка уровней. Определение и исправление коллимационной погрешности. Определение юстировка места нуля (зенита) вертикального круга. Проверка правильности хода фокусирующей линзы. Проверка работы компенсатора индекса вертикального лимба. Определение наклона оси вращения трубы (неравенство подставок). Проверка оптического центрира.	28	Контрольная работа
Инструментальные погрешности нивелиров Проверка правильности установки уровней и сетки нитей. Определение угла непараллельности между осью цилиндрического уровня и визирной осью зрительной трубы (негоризонтальность визирной оси). Определение симметричности диапазона работы компенсатора. Определение погрешности недокомпенсации. Определение скп измерения превышения на станции.	16	Контрольная работа
Уровни и самоустанавливающиеся компенсаторы Определение цены деления уровней по способу наклонного лимба и на экзаменаторе. Определение работоспособности компенсатора.	6	

Постоянная и циклическая погрешности светодальномеров Полевой трехштативный способ определения постоянной поправки дальномера. Определение постоянной поправки и циклической погрешности на эталонном линейном компараторе.	4	
Нестабильность масштабной частоты светодальномера Определение фактического значения масштабной частоты. Приведение масштабной частоты к номинальному значению.	2	
Амплитудно-временная погрешность Определение погрешности возникающей при неточном наведении дальномерного луча на центр отражателя и при повышенном уровне фотоэлектронного усиления вернувшегося от отражателя дальномерного сигнала.	2	
Исследование двухосевого компенсатора Определение погрешности поправок в горизонтальные и вертикальные углы при работе компенсатора в диапазоне от предельного положения (наклон прибора больше трех минут) до горизонтального.	4	

Приборное и программное обеспечение GPS для маркшейдерских работ Ознакомление с комплектом спутникового оборудования на примере Trimble 5800. Подключение антенны Zephyr-2, приемника Trimble 5800, контроллера Trimble TSC2, дополнительной батареи питания. Проверка свободной памяти контроллера и флэш-карты в приемнике. Ознакомление с программным обеспечением Survey Controller контроллера. Создание проекта. Выбор режимов спутниковых измерений. Обзор программы локализации. Планирование полевых работ посредством программной утилиты Trimble GNSS Planning. Выбор параметров набора измерений, установка длительности эпох 1, 5, 10 секунд, маски возвышений 10, 13, 20 градусов. левые работы по определению трех пунктов методом абсолютного позиционирования, по определению приращений координат трех пунктов статическим относительным позиционированием, по определению координат четвертого пункта (базовой станции) статическим относительным позиционированием с применением программы локализации, определение координат в режиме быстрой статики и в режиме кинематики в т.ч. в реальном времени (RTK)	12	

В качестве источника информации по всем темам используется учебно-методическое пособие: Земских Г.В., Шевелев А.А. «Маркшейдерско-геодезические приборы»: учебно-методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальности 21.05.04 Горное дело, специализации «Маркшейдерское дело» очного и заочного обучения: Екатеринбург: УГГУ, 2019, 85 с.

5. ПОДГОТОВКА К ЗАЧЕТУ, ЭКЗАМЕНУ

1. Назовите основные задачи (предмет) [i]курса маркшейдерско-геодезические
2. Укажите теодолиты в маркшейдерском исполнении.
3. Какие положения являются осной геометрической оптики?
4. При каких условиях просветление оптических деталей снижает потери света.
5. Эксцентриситет алидады выявляется по изменчивости
6. Юстировочные винты сетки нитей теодолитов предназначены для исправления?
7. Как исправить угол «*i*» в нивелире 2Н3Л?
8. Цена деления установочных уровней (на 2мм).
9. Чем обеспечивается высокая точность отсчитывания по рейке из комплекта нивелира Н-05?
10. Страна – разработчик приборов «Topcon».?

11. Назвать типы несущих излучений локационных дальномеров.
12. Для каких измерений применяются звуколакационные приборы в маркшейдерии?
13. Область лазерного излучения у излучателя светодальномера.
14. Тип лазерного излучателя маркшейдерско-геодезических приборов.
15. Полевой способ определения постоянной светодальномера.
16. Каково допустимое отклонение масштабной частоты от номинала?
17. Для исключения каких погрешностей необходим режим короткого оптического
18. Страна – разработчик приборов марки «Leica»
19. Признаки динамического устройства считывания углов в электронных теодолитах.
20. Какие параметры работы компенсатора могут быть определены в полевых условиях?
21. Цифровые нивелиры измеряют расстояние до рейки
22. Преимущества НЛС перед другими наземными видами.
23. Расстояние до спутника, полученное в приемнике на основе корреляции принятого
24. В качестве высокостабильного опорного генератора на спутнике используются?
25. Назначение маркшейдерских гиротеодолитов.

6. ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

1. Почему результаты измерений содержат погрешности?
2. Длиномер ДА – 2 – это прибор для измерения чего?
3. Разрешающая способность нормального глаза человека составляет?
4. Сорт оптического стекла.
5. К увеличению чего может привести большой эксцентриситет алидады?
6. Точность отсчитывания в теодолите 3Т2КП.
7. Межповерочный интервал периодической поверки маркшейдерских приборов.
8. Для чего предназначен круглый уровень?
9. Наиболее точное визирование при измерении горизонтальных углов.
10. Каково оптимальное количество приемов (перенаведений) при измерении расстояний светодальномерами?
11. Дальность измерений радиодальномерами.
12. Дальность измерений светодальномером при прочих равных условиях больше?
13. Режим короткого оптического замыкания в светодальномерах необходим для исключения погрешностей.
14. Составляющие постоянной поправки светодальномера.
15. От каких факторов зависит стабильность частоты ГМЧ светодальномера?
16. С чем связана необходимость наведения светодальномера по максимуму отраженного сигнала?
17. Перечислить технические возможности роботизированного тахеометра.
18. Какая система применяется для считывания направлений (углов) в электронных тахеометрах (теодолитах)?
19. Какова примерная величина рабочего диапазона компенсаторов тахеометров?
20. Как устраняется негоризонтальность визирной оси, погрешность работы компенсатора составляет?
21. В процесс измерения на сканерной станции.
22. Необходимое минимальное количество одновременно наблюдаемых спутников при решении задачи определения местоположения.
23. В состав ГНСС не входит?
24. Тип гирокомпаса в маркшейдерских гиротеодолитах.

7. ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

Контрольная работа № 1

1. Юстировочные винты сетки нитей теодолитов предназначены для исправления?
2. Точность отсчитывания в теодолите 3Т2КП.
3. Что не входит в перечень операций при поверке угломерных приборов в соответствии с Р 50.2.024-2002?
4. Коллимация изменяется в зависимости от расстояния до точки визирования.
5. Параллакс.
6. Рекомендации метрологической поверки угломерных приборов.
7. СКО измерения горизонтального угла полным приемом теодолитом 4Т30.
8. Коллимация – это не перпендикулярность осей
9. В перечень операций при поверке угломерных приборов в соответствии с Р 50.2.024-2002 не входит
10. Погрешности хода фокусирующей линзы трубы теодолитов определяют
11. Что создает неравенство подставок теодолита?
12. Рен. Дать определение.
13. Место зенита (MZ). Дать определение.

Контрольная работа № 2

1. Как исправить угол «*i*» в нивелире 2Н3Л?
2. Межповерочный интервал периодической поверки маркшейдерских приборов.
3. Паспортное значение СКП нивелирования на станции для Н3К.
4. Как определяется ошибка хода фокусирующей линзы нивелира?
5. Как исправить угол i в нивелире 2Н3КЛ?
6. Назвать основные элементы методики определения СКП нивелира на станции.
7. Назвать основные элементы методики определения СКП нивелиров на 1км двойного хода.
8. Какова последовательность действий при определении погрешности недокомпенсации нивелиров?
9. Что обозначают цифры и буквы в названии нивелира 3Н3КЛ?
10. Какое допускается расхождение между приемами определения негоризонтальности визирной оси нивелиров?
11. В каких нивелирах исправление негоризонтальности визирной оси (угла i) производится юстировочными винтами сетки нитей?
12. Назвать параметры, определяемые при исследовании компенсаторов нивелиров.

8. ПОДГОТОВКА К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Другие виды самостоятельной работы (курсовая работа)

Информация по выполнению курсовой работы содержится в методических материалах: Земских Г.В., Шевелев А.А. «Маркшейдерско-геодезические приборы»: учебно-методическое пособие к курсовой работе для студентов специальности 21.05.04. Горное дело, специализации «Маркшейдерское дело». Екатеринбург: УГГУ, 2019, 85 с.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Маркшейдерско-геодезические приборы: учеб. пособие / Г.В. Земских, Н.В. Кортев - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. - 145 с.
2. Ямбаев Х. К. Геодезическое инструментоведение. - М: Недра, 2012. – 364 с.

Авторы:
Земских Г.В.

Корректура кафедры шахтного строительства
Подписано к печати
Формат бумаги 60х84 1/16
Печ. л.
Тираж 100 экз. Заказ №
Цена С

Лаборатория множительной техники УГГГА
620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гальянов А.В.

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1.Аннотированное содержание дисциплины «Геометрия недр»
2.Повторение материала лекций
3.Самостоятельное изучение тем курса
4.Подготовка к практическим занятиям
5.Подготовка к опросу и экзамену
6. Вопросы по темам самоподготовки
Рекомендуемая литература

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие является руководством к самостоятельной работе обучающийся основ «Геометрия недр». Этот процесс предусматривает непосредственную работу с рекомендованной литературой пособием к решению расчетно-графических работ (РГР), которые предназначены для закрепления узловых тем дисциплины «Геометрия недр».

Теоретические вопросы рассматриваются в учебном пособии «Геометрия недр. Основы геохимического анализа геохимического поля» решения задач (РГР) – в учебно-методическом пособии к расчетно-графическим работам . Эти работы имеют индивидуальный характер, поэтому вариант согласовывается с преподавателем; РГР оформляется по схеме: титульный лист, содержание (название темы и указание варианта); РГР – исходные данные, подробное последовательное представление решения, заключение по теме.

Самостоятельная работа по освоению программы курса «Геометрия недр» предполагает возможность получить консультацию и разъяснения по возникшим вопросам у преподавателя в отведенное для этого время.

Форма контроля , предусмотренная учебным планом - экзамен. Обучающийся представляет РГР на просмотр преподавателю до дня сдачи экзамена; теоретические вопросы дисциплины распределены по экзаменационным билетам; на подготовку отводится 40-60 минут. Оценка знаний производится в пятибалльной системе.

1.АННОТИРОВАННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГЕОМЕТРИЯ НЕДР»

«**Геометрия недр** есть строгая физико-математическая методика промышленной характеристики разведуемых недр», - так определил содержание дисциплины Петр Константинович Соболевский. Отсюда следует, что объектом геометрии недр являются концентрации полезных ископаемых, содержащихся в горных породах верхних слоев земной коры и доступных для промышленного освоения (сюда не включаются просторы морей и океанов). Эти концентрации, приобретая потребительскую стоимость, становятся объектом промышленного освоения. Промышленное освоение предусматривает определенную этапность: поиск, целенаправленные геолого - разведочные работы, оконтуривание и подсчет запасов, проектирование добычных работ, отработка месторождений, закрытие объекта и списание его запасов с государственного баланса.

Освоение месторождений возможно только при наличии информационных сведений о пространственном положении геологического объекта и качественных особенностях полезного ископаемого, под которыми понимаются содержание полезных компонентов, вредных примесей и шлакообразующих окислов, а также физико-механические свойства горных пород, гидрогеологические и тектонические особенности района ведения горных работ. Таким образом, **предметом** дисциплины «Геометрия недр» является исследование форм, свойств и процессов рудообразования. Методы исследования этих вопросов составляют основу теоретической части дисциплины «Геометрия недр», а решение инженерных задач на различных этапах освоения месторождений составляет основу ее прикладной части.

Программа курса составлена таким образом, что включает в себя необходимый объем сведений исторического характера и аналитические основы дисциплины.

Введение в общий курс дисциплины «Геометрия недр»

Первый раздел программы является вводным в общий курс дисциплины. Он включает в себя главы 1 и 2 книги [1], в которых рассматриваются исторические этапы освоения человеком верхних слоев литосферы и предпосылки возникновения идеи геометризации месторождений.

Теоретические основы дисциплины «Геометрия недр»

Второй раздел посвящен изложению собственно теоретических основ геометрии недр. Узловыми понятиями здесь являются «поле» (как физическая субстанция) и «геохимическое поле».

Поле следует понимать как форму пространственного представления явлений природы, проявление их свойств и особенностей. Иными словами, поле есть геометрическая модель явления в метрическом пространстве.

Геохимическое поле формально есть аналог физическому полю, т. е. оно обладает теми же формальными свойствами, как и физическое. Если показатель U, отображающий некоторое проявление поля, то его формально можно представить как функцию координат пространства и времени.

$$U = F(x, y, z, t).$$

Функция U должна удовлетворять четырем условиям: конечности $(U \neq \infty)$, однозначности $(U_0 = F(x_0, y_0, z_0, t_0)$; непрерывности $(U' = F'(x, y, z, t)$ – первая производная существует однозначно); плавности – вторая производная функции не имеет точек разрыва.

Поскольку геологические объекты существуют во времени, не соизмеримом с реальным временем отработки месторождений, координату t следует считать фиксированной и не определяющей оператор функции F, т. е. U следует ставить в зависимость только от координат метрической системы.

$$U = F(x, y, z).$$

Отличительные особенности геохимического поля от физического

Первой и основной отличительной особенностью геохимического поля от физического является невозможность его аналитического представления – оно может быть изображено геометрически в форме изолиний показателя U. В этом случае оно является абсолютным аналогом топографической поверхности.

Второй особенностью геохимического поля следует считать то обстоятельство, что его геометрическое представление отвечает принципам относительности и соответствия. Это означает, что геометрия геохимического поля зависит от полноты геологоразведочных сведений. Этим объясняется невозможность однозначной аналитической интерпретации геометрических закономерностей поля минерализации.

Геохимическое поле как пространственная геометрическая модель геологического объекта

Метод изолиний является основным «инструментом» изображения геохимического поля в пространстве. Принцип относительности утверждает, что это изображение не отображает истину в последней инстанции, а есть лишь один из возможных «эскизов» поля, есть приближенная модель геологического объекта, которая уточняется в своих деталях по мере пополнения информационных сведений. Полнота этих сведений оптимизируется в соответствии с решаемыми задачами подсчета запасов, проектирования, управления технологическими процессами добычи и первичной переработки.

Аналитические основы теории геохимического поля

Аналитическую основу теории геохимического поля составляет геометрический анализ топоповерхности и вытекающие из него математические действия с поверхностями топографического типа.

Поверхности топографического типа допускают выполнение всех основных математических действий: сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, логарифмирование, дифференцирование и интегрирование. Простые арифметические действия находят применение в задачах подсчета запасов, при производстве строительных земляных работ, изучении геологических структур и т. п. Дифференцирование и интегрирование нашли широкое применение в геофизических методах разведки и изучении полей напряжений в геомеханике.

Второй составляющей теории геохимического поля является учение об изменчивости показателей U в пространстве геологического объекта.

Прикладная часть геометрии недр

Прикладная часть геометрии недр состоит в решении инженерных задач, связанных со всеми этапами освоения месторождений полезных ископаемых. Комплекс этих задач и методические подходы к их решению получили определение «Геометризация месторождений».

Геометризация месторождений в широком (самом общем виде) смысле этого понятия включает в себя:

– разработку методов геометрического моделирования (представления) геологического объекта и вытекающих из этого способов подсчета запасов месторождения и формирования банка данных для производства проектных работ на их отработку;
– составление геологических качественных планов на маркшейдерской плановой основе: обоснование методик построения этих планов и оценку их достоверности;
– обоснование кондиций на сырье для рационального ведения горных работ и обеспечение наиболее полного извлечения запасов;
– обоснование необходимой и достаточной полноты сведений о качестве полезного ископаемого и морфологических особенностях его залегания в недрах.

Таким образом геометризация месторождений есть необходимый этап придания геологоразведочной информации не только наглядности, но и привязки этой информации к координатам пространства – собственно создания геометрической модели.

На основе геометрической модели месторождения решается весь спектр инженерных задач: текущее и перспективное планирование развития горных работ; учет полноты и качества отработки запасов месторождения;

нормирование и планирование уровня потерь полезного ископаемого и др. текущие инженерные задачи горного производства.

Учение об изменчивости показателей геохимического поля

Учение об изменчивости показателей данных разведки есть ключевой вопрос теории геохимического поля. Содержательная часть этого учения состоит в оценке шумовой составляющей функции $U = F(x, y, z)$ в виде δ-функции, которая рассматривается как «всплеск». Таким образом, геохимическое поле формально представляет собой суперпозицию функции U и δ:

$$U = F(x, y, z) + \delta.$$

Особенностью δ-функции является то, что она, отвечая требованиям конечности и однозначности, не удовлетворяет требованиям непрерывности и плавности. Это ограничивает условия применимости метода линейной интерполяции при геометрической интерпретации данных геологоразведочных работ.

В основе геометрических построений лежит принцип относительности и соответствия, что означает неполноту сведений по существу точечной информации данных разведки. Одновременно наличие δ-функции в уравнении геохимического поля выдвигает как проблему вопрос об оценке представительности информации.

Теоретические основы геометризации технологических процессов в горном деле

Этот раздел курса есть развитие идеи геометризации месторождений, перенесенный на динамические процессы горного производства. Геометризация технологических процессов есть основа для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами. Её аналитическая основа принципиально отличается от основ геометрии недр – она базируется на математических разработках теории массового обслуживании (раздел «Теория вероятности») и оперирует понятиями: «поток событий», «динамическая система», «корреляционная функция», «случайная функция», «энтропия системы». Таким образом, **объектом** исследования здесь являются производственные схемы грузопотоков сырья, а **предметом** – геометрические особенности и характеристики технологических потоков. **Задачей** геометризации технологических процессов является установление закономерностей протекания этих процессов, геометрическая интерпретация этих закономерностей, эмпирическое представление различного рода соотношений для использования их в АСУ ТП технологического процесса.

2.ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Конспект лекций является подсобным материалом при самостоятельной работе при освоении тем курса дисциплины. В разделе 6 данных «методических указаний » приведены ключевые вопросы каждой темы и ссылки на литературные источники, в которых они раскрываются. Работая с этой литературой целесообразно делать записи и пометки, которые помогут при подготовке к экзамену.

3.САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

Самостоятельная работа над дисциплиной «Геометрия недр» включает в себя освоение теоретической части по рекомендуемым литературным источникам и практической в полном соответствии с разработанным «Учебно-методическим пособием к расчетно-графическим работам по дисциплине «Геометрия недр». Освоению теоретической части поможет раздел 6 данных «методических указаний», где весь курс дисциплины распределен по темам с указанием разделов в рекомендуемой литературе. Учебно-методическое пособие к расчетно-графическим работам включает 4 задачи, обеспеченные схемой их решения и кодом вариантов для получения индивидуальных исходных данных. Каждая задача оформляется в виде последовательного представления хода решения. Все задачи сшиваются и представляются преподавателю на проверку в период экзаменационной сессии.

Содержание тем дисциплины

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Объект, предмет изучения в геометрии недр.

Тема 2: Основы теории геохимического поля

Понятие поля. Физическое и геохимическое поле, основные геометрические условия для построения поля. Математические действия с полями. Естественно исторические предпосылки возникновения идеи геометризации месторождений.

Тема 3: Учение об изменчивости показателей геохимического поля

Понятие «изменчивость» показателя. Изменчивость признака как свойство процессов, как отражение движения. Гомогенность и изотропность среды. Эвристические методы оценки изменчивости показателей геохимического поля. Геометрическое моделирование геохимического поля.

Тема 4: Принципы относительности и соответствия в геометрии недр

Принципы относительности и соответствия как основа научного познания. Понятие представительности информационных сведений, получаемых при разведке месторождений, точность геометрической интерпретации построений по точечной информации. Принципиальная математическая модель геохимического поля.

Тема 5: Оценка достоверности геометрического моделирования геохимического поля

Понятие ошибки, погрешности, точности, достоверности при анализе данных разведки месторождений полезных ископаемых. Допустимая область интерполяции и экстраполяции данных разведки.

Тема 6: Принципы классифицирования МПИ при разведке, проектировании и эксплуатации

Задачи классифицирования. Классифицирование по степени сложности строения геологических объектов, степени разведанности, по степени подготовленности запасов к отработке.

Тема 7: Методы подсчета запасов и их оценка точности

Классические методы подсчета запасов, условия их применения. Оценка точности методов подсчета запасов.

Тема 8: Аналитические основы учения о полноте и качестве извлечения запасов МПИ при добыче

Термины и понятия. Уравнение материального баланса. Методы учета показателей полноты и качества извлечения запасов. Принципы классифицирования потерь полезного ископаемого. Основы нормирования,

планирования, учета и отчетности показателей полноты извлечения запасов. Оценка точности методов учета.

4.ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическим занятиям есть из составляющих общего процесса освоения дисциплины. Она включает в себя подбор необходимых методических материалов и средств для выполнения расчетно-графических работ.

5.ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ И ЭКЗАМЕНУ

Подготовка обучающихся к опросу и экзамену является заключительным этапом самостоятельной работы по освоению программы курса дисциплины «Геометрия недр». Она состоит в проверке усвоенных знаний путем ответов на вопросы, которые представлены в «Методическом пособии», на основании которого составлены экзаменационные билеты.

Примеры вопросов в билетах

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № ___

по дисциплине Геометрия_Недр

содержание билета: 1. Принцип относительности и соответствия в геометрии недр.

2. Представительность информационной единицы, используемой

при подсчете запасов.

Литература:
1. Гальянов А.В. Развитие научных идей в горном деле. Геометрия недр, 2013 г. (п.3.2)
2. Гальянов А. В. «Геометрия недр. Основы геометрического анализа геохимического поля». 2019 г.(п. 3.1- 3.3)

Составил А.В. Гальянов_____ "Утверждаю"
"5" июня 2019 г. Зав. кафедрой : _В.А.Гордеев_____

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № __

по дисциплине _____Геометрия_Недр_____

содержание билета: 1. Понятие «изменчивость» показателей геохимического поля.

2. Способы количественной оценки степени изменчивости показателей.

Литература:
1. Гальянов А.В. Развитие научных идей в горном деле. Геометрия недр, 2013 г. (3.4)

Составил А.В. Гальянов_____ "Утверждаю"

"5" июня 2019 г. Зав. кафедрой : _В.А.Гордеев_____

БИЛЕТ №

по дисциплине _____Геометрия_Недр _____

содержание билета: 1. Материальный баланс – основа организаций горного производства._____ 2. Аналитические основы планирования основных технологических показателей горного производства.

Литература:
1.Гальянов А.В. Развитие научных идей в горном деле. Геометрия недр.(п.4.7)
2. Гальянов А.В. Теоретические основы геометризации процессов в горном деле. (п.1.3).
3. Гальянов А. В. «Геометрия недр. Основы геометрического анализа геохимического поля». 2019 г. (п. 7.2, 7.3, 7.8)

Составил __Гальянов А. В._____ "Утверждаю"

"5" июня 2019 г. Зав. кафедрой : _____ В.А.Гордеев

6.ВОПРОСЫ ПО ТЕМАМ САМОПОДГОТОВКИ

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

1. Дайте определение дисциплине Геометрия недр. Какое место она занимает в системе наук о Земле и горных науках?
2. Назовите объект, предмет, цели и задачи Геометрии недр?
3. Назовите сущность геометрического моделирования геологических объектов?

Литература: [1- п.2.7,2.8 – с.130-146]
[2 –Введение, п2.1, 2.2 - с.6-8, 32-50]

Тема 2: Основы теории геохимического поля

1. Раскройте сущность понятия «поле»?
2. Назовите основные геометрические свойства поля?
3. Что значит «Геометризовать поле»?
4. Назовите принципиальные сходства и различия между физическим и геохимическим полем. Какова содержательная сущность понятия «геохимического поля»?
5. Каковы естественные исторические предпосылки возникновения идеи геометризации месторождений?
6. Какие математические действия допускает теория геохимического поля?
7. Назовите примеры решения горно-геометрических задач на основе математических действий с геохимическими полями?

Литература: [1- п.2.-2.10., 3.1- с.67-164, 165-169]
[2 – п2.2, 2.3 - с.36-59]

Тема 3: Учение об изменчивости показателей геохимического поля

1. Раскройте сущность понятия «изменчивость» показателя?
2. Какова геометрическая структура геохимического поля?
3. Как оценить соотношение закономерной и шумовой составляющих геометрического поля?
4. Какова геометрическая сущность метода конечных разностей при оценке изменчивости показателей?
5. Какова основа статистического метода оценки показателя изменчивости показателей?
6. Какова сущность метода учета инверсий знаков в изменении показателей?

7. Какова геометрическая основа в оценке изменчивости ранжированных показателей? Связь с параметрами корреляционной функции случайных процессов?
8. Каковы основы классифицирования ранжированных показателей геохимического поля при геометризации поверхностей с числовыми отметками?

Литература: [1- п.3, 4- с.181-249]
[2 – п.3 - с.59-98]

Тема 4: Принципы относительности и соответствия в геометрии недр

1. В чем состоит сущность принципа относительности при геометрической интерпретации данных разведочных работ?
2. В чем состоит сущность принципа соответствия при геометрической интерпретации данных разведочных работ?
3. Как зависит геометрическое представление о пространственном положении геологического объекта от положения первой скважины (эффект Родионова)?
4. Как зависит геометрическое представление о пространственном положении геологического объекта от плотности разведочной сети?

Литература: [1- п.3.2,3.3 с.169-181]
[2 – п.3.1-3.3,4.1- с.59-86, 98-101]
[3 – п.2 – с. 19-30]

Тема 5: Оценка достоверности геометрического моделирования геохимического поля

1. Назовите критерии достоверности геометрического представления геологических объектов на геолого-маркшейдерской графической документации?
2. Как оценить погрешность и достоверность оконтуривания тел полезных ископаемых?
3. Как оценить достоверность контуров рудных тел?
4. Как влияет плотность разведочной сети на показатели достоверности геологоразведочных работ?
5. Расскажите геометрическую сущность оптимизации плотности разведочной сети на разных стадиях изучения месторождения?
6. Как оценить представительность геологоразведочной информации?
7. Назовите методы сглаживания шумовой составляющей геологоразведочной информации?
8. Как обосновать окно сглаживания информации?
9. В чем состоит сущность разделения полезного ископаемого на сорта, типы, однородные блоки?

Литература: [1- п.3.2-3.4 - с.169-254]
[2 – п.3.1-3.3,5.1,5.5,5]

Тема 6: Принципы классифицирования МПИ при разведке, проектировании, эксплуатации

1. Какие принципы закладываются в основу классифицирования запасов полезных ископаемых?
2. Назовите критериальные оценки при классифицировании месторождений по степени смежности строения?
3. Назовите критериальные оценки при классифицировании месторождений по степени разведанности?
4. Назовите критериальные оценки при классифицировании запасов при проектировании?
5. Какие требования лежат в основе нормирования запасов по степени их подготовленности к добыче?
6. Какова связь уровней подготовленности запасов с этапами развития горных работ при подземном способе отработки месторождения?
7. Какова связь уровней подготовленности запасов с этапами развития горных работ при открытом способе отработки месторождения?

Литература: [2- п.4 - с.98-110]

Тема 7: Методы подсчета запасов и их оценка точности

1. Какие задачи стоят при выборе метода подсчета запасов при разведке месторождений?
2. Как связан метод подсчета запасов с группой сложности месторождения?
3. Как оценивается точность метода подсчета запасов?
4. В чем сущность статистического метода подсчета запасов и условия его применимости?
5. Раскройте сущность метода изолиний при подсчете запасов?
6. В чем сходство и отличие методов подсчета запасов геологическими блоками, треугольников, многоугольников?
7. Какие горно-геологические условия допускают применение при подсчете запасов метода вертикальных сечений (разрезов)?
8. Какие горно-геологические условия допускают применение при подсчете запасов метода горизонтальных сечений?

Литература: [2- п.5 - с.110-163]

Тема 8: Аналитические основы учения о полноте и качестве извлечения запасов МПИ при добыче

1. Раскройте сущность закона материального баланса при ведении горных работ?
2. Назовите методы учета показателей полноты и качества извлечения запасов?
3. Раскройте сущность прямого метода учета и условия его применимости?
4. Раскройте сущность косвенного метода учета и условия его применимости?
5. Назовите принципы классифицирования потерь полезного ископаемого при добыче?
6. Какие виды потерь полезного ископаемого имеют место при отработке крутопадающих залежей полезного ископаемого открытым способом?
7. Какие виды потерь полезного ископаемого имеют место при отработке пологих и горизонтально залегающих залежей полезного ископаемого открытым способом?
8. Какие виды потерь полезного ископаемого имеют место при подземном способе отработки месторождения?
9. Что лежит в основе нормирования и оптимизации уровня потерь полезного ископаемого при открытом способе добычных работ?
10. Изложите сущность планирования показателей добычи в рамках годовой программы горных работ предприятия?
11. Как влияет точность исходных данных на уровень потерь и разубоживания руды при косвенном методе учета?
12. Как обосновывается период учета показателей полноты извлечения запасов при добыче?

Литература: [2- п.7 - с.185-222]

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гальянов А.В. Геомертия недр. Основы геометрического анализа геохимического поля:Учебное пособие/А.В.Гальянов; Урал.гос.горный ун-т.-Екатеринбург:Изд-во УГГУ,2019.-236 С.

2. Гальянов А.В. Развитие научных идей в горном деле. Геометрия недр: научная монография / А.В. Гальянов. УГГУ. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2013. 315 с.

3. Гальянов А. В. Геометрия недр: учебно-методическое пособие к расчетно-графическим работам / А. В. Гальянов; Изд-во Урал. гос. горн. ун-т, 2018.–47с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гальянов А.В.

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Учебное пособие к расчетно-графическим работам

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4

Аннотированное содержание дисциплины «Геометрия недр» 5

Тема 1. Математические действия с поверхностями топографического типа. 13

Тема 2. Оценка достоверности оконтуривания рудных тел по данным геологоразведочных работ. 19

Тема 3. Количественная оценка степени изменчивости показателей, ранжированных по направлению. 30

Тема 4. Оценка точности показателей полноты и качества извлечения запасов при добыче. 35

Вопросы для самоподготовки 44

Список рекомендуемой литературы 47

Введение

Учебно-методическое пособие является руководством к выполнению расчетно-графических работ по курсу «Геометрия недр». Представлено решение типовых задач, распределенных по темам, и приведен список рекомендуемой специальной литературы. Каждая тема включает в себя исходные данные, которые позволяют сформировать индивидуальные условия задачи. Алгоритм решения сопровождается необходимыми комментариями, пояснениями, расчетными таблицами и графиками. Все это позволяет студентам усвоить лекционный материал.

Все работы компонуются в порядке их выполнения с соблюдением требований к оформлению рукописных материалов.

Пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Геометрия недр» и предназначено для студентов очной, заочной и индивидуальной форм обучения.

АННОТИРОВАННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГЕОМЕТРИЯ НЕДР»

«**Геометрия недр** есть строгая физико-математическая методика промышленной характеристики разведуемых недр», - так определил содержание дисциплины Петр Константинович Соболевский. Отсюда следует, что объектом геометрии недр являются концентрации полезных ископаемых, содержащихся в горных породах верхних слоев земной коры и доступных для промышленного освоения (сюда не включаются просторы морей и океанов). Эти концентрации, приобретая потребительскую стоимость, становятся объектом промышленного освоения. Промышленное освоение предусматривает определенную этапность: поиск, целенаправленные геолого - разведочные работы, оконтуривание и подсчет запасов, проектирование добычных работ, отработка месторождений, закрытие объекта и списание его запасов с государственного баланса.

Освоение месторождений возможно только при наличии информационных сведений о пространственном положении геологического объекта и качественных особенностях полезного ископаемого, под которыми понимаются содержание полезных компонентов, вредных примесей и шлакообразующих окислов, а также физико-механические свойства горных пород, гидрогеологические и тектонические особенности района ведения горных работ. Таким образом, **предметом** дисциплины «Геометрия недр» является исследование форм, свойств и процессов рудообразования. Методы

исследования этих вопросов составляют основу теоретической части дисциплины «Геометрия недр», а решение инженерных задач на различных этапах освоения месторождений составляет основу ее прикладной части.

Программа курса составлена таким образом, что включает в себя необходимый объем сведений исторического характера и аналитические основы дисциплины.

Введение в общий курс дисциплины «Геометрия недр»

Первый раздел программы является вводным в общий курс дисциплины. Он включает в себя главы 1 и 2 книги [1], в которых рассматриваются исторические этапы освоения человеком верхних слоев литосферы и предпосылки возникновения идеи геометризации месторождений.

Теоретические основы дисциплины «Геометрия недр»

Второй раздел посвящен изложению собственно теоретических основ геометрии недр. Узловыми понятиями здесь являются «поле» (как физическая субстанция) и «геохимическое поле».

Поле следует понимать как форму пространственного представления явлений природы, проявление их свойств и особенностей. Иными словами, поле есть геометрическая модель явления в метрическом пространстве.

Геохимическое поле формально есть аналог физическому полю, т. е. оно обладает теми же формальными свойствами, как и физическое. Если показатель U, отображающий некоторое проявление поля, то его формально можно представить как функцию координат пространства и времени.

$$U = F(x, y, z, t).$$

Функция U должна удовлетворять четырем условиям: конечности $(U \neq \infty)$, однозначности $(U_0 = F(x_0, y_0, z_0, t_0)$; непрерывности $(U' = F'(x, y, z, t)$ – первая производная существует однозначно); плавности – вторая производная функции не имеет точек разрыва.

Поскольку геологические объекты существуют во времени, не соизмеримом с реальным временем отработки месторождений, координату t следует считать фиксированной и не определяющей оператор функции F, т. е. U следует ставить в зависимость только от координат метрической системы.

$$U = F(x, y, z).$$

Отличительные особенности геохимического поля от физического

Первой и основной отличительной особенностью геохимического поля от физического является невозможность его аналитического представления – оно может быть изображено геометрически в форме изолиний показателя U. В этом случае оно является абсолютным аналогом топографической поверхности.

Второй особенностью геохимического поля следует считать то обстоятельство, что его геометрическое представление отвечает принципам относительности и соответствия. Это означает, что геометрия геохимического поля зависит от полноты геологоразведочных сведений. Этим объясняется невозможность однозначной аналитической интерпретации геометрических закономерностей поля минерализации.

Геохимическое поле как пространственная геометрическая модель геологического объекта

Метод изолиний является основным «инструментом» изображения геохимического поля в пространстве. Принцип относительности утверждает, что это изображение не отображает истину в последней инстанции, а есть лишь один из возможных «эскизов» поля, есть приближенная модель геологического объекта, которая уточняется в своих деталях по мере пополнения информационных сведений. Полнота этих сведений оптимизируется в соответствии с решаемыми задачами подсчета запасов, проектирования, управления технологическими процессами добычи и первичной переработки.

Аналитические основы теории геохимического поля

Аналитическую основу теории геохимического поля составляет геометрический анализ топоповерхности и вытекающие из него математические действия с поверхностями топографического типа.

Поверхности топографического типа допускают выполнение всех основных математических действий: сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, логарифмирование, дифференцирование и интегрирование. Простые арифметические действия находят применение в задачах подсчета запасов, при производстве строительных земляных работ, изучении геологических структур и т. п. Дифференцирование и интегрирование нашли широкое применение в геофизических методах разведки и изучении полей напряжений в геомеханике.

Второй составляющей теории геохимического поля является учение об изменчивости показателей U в пространстве геологического объекта.

Прикладная часть геометрии недр

Прикладная часть геометрии недр состоит в решении инженерных задач, связанных со всеми этапами освоения месторождений полезных ископаемых. Комплекс этих задач и методические подходы к их решению получили определение «Геометризация месторождений».

Геометризация месторождений в широком (самом общем виде) смысле этого понятия включает в себя:

– разработку методов геометрического моделирования (представления) геологического объекта и вытекающих из этого способов подсчета запасов месторождения и формирования банка данных для производства проектных работ на их отработку;
– составление геологических качественных планов на маркшейдерской плановой основе: обоснование методик построения этих планов и оценку их достоверности;
– обоснование кондиций на сырье для рационального ведения горных работ и обеспечение наиболее полного извлечения запасов;
– обоснование необходимой и достаточной полноты сведений о качестве полезного ископаемого и морфологических особенностях его залегания в недрах.

Таким образом геометризация месторождений есть необходимый этап придания геологоразведочной информации не только наглядности, но и привязки этой информации к координатам пространства – собственно создания геометрической модели.

На основе геометрической модели месторождения решается весь спектр инженерных задач: текущее и перспективное планирование развития горных работ; учет полноты и качества отработки запасов месторождения; нормирование и планирование уровня потерь полезного ископаемого и др. текущие инженерные задачи горного производства.

Учение об изменчивости показателей геохимического поля

Учение об изменчивости показателей данных разведки есть ключевой вопрос теории геохимического поля. Содержательная часть этого учения состоит в оценке шумовой составляющей функции $U = F(x, y, z)$ в виде δ-функции, которая рассматривается как «всплеск». Таким образом, геохимическое поле формально представляет собой суперпозицию функции U и δ:

$$U = F(x, y, z) + \delta.$$

Особенностью δ-функции является то, что она, отвечая требованиям конечности и однозначности, не удовлетворяет требованиям непрерывности и плавности. Это ограничивает условия применимости метода линейной интерполяции при геометрической интерпретации данных геологоразведочных работ.

В основе геометрических построений лежит принцип относительности и соответствия, что означает неполноту сведений по существу точечной информации данных разведки. Одновременно наличие δ-функции в уравнении геохимического поля выдвигает как проблему вопрос об оценке представительности информации.

Теоретические основы геометризации технологических процессов в горном деле

Этот раздел курса есть развитие идеи геометризации месторождений, перенесенный на динамические процессы горного производства. Геометризация технологических процессов есть основа для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами. Её аналитическая основа

принципиально отличается от основ геометрии недр – она базируется на математических разработках теории массового обслуживании (раздел «Теория вероятности») и оперирует понятиями: «поток событий», «динамическая система», «корреляционная функция», «случайная функция», «энтропия системы». Таким образом, **объектом** исследования здесь являются производственные схемы грузопотоков сырья, а **предметом** – геометрические особенности и характеристики технологических потоков. **Задачей** геометризации технологических процессов является установление закономерностей протекания этих процессов, геометрическая интерпретация этих закономерностей, эмпирическое представление различного рода соотношений для использования их в АСУ ТП технологического процесса.

ТЕМА 1.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ С ПОВЕРХНОСТЯМИ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ТИПА

Общие сведения

Топографическая поверхность есть геометрическая модель поверхности с числовыми отметками в системе координат $z = f(x, y)$.

Геохимическое поле как геологическое понятие есть концентрация химических соединений в геологических объектах. Когда эта концентрация приобретает потребительскую стоимость, она становится объектом промышленного освоения в форме месторождения, залежи, тела полезного ископаемого (рудного тела).

«*Геохимическое поле*» – аналог физическому полю и представляет собой геометрическую модель геологического объекта путем отображения форм и внутренних свойств этих объектов в виде функции

$$U = f(x, y, z).$$

«*Поле*» – понятие геометрическое, отображающее изменение свойств физических явлений и процессов в метрическом пространстве.

Функция U обладает свойствами конечности, однозначности, непрерывности, плавности, что дает возможность представить ее как в аналитической форме (для простых частных случаев), так и геометрически (в самом общем случае). Указанные свойства позволяют выполнять математические действия с функциями U_i.

Основной метод геометрического изображения функции U – построение изолиний показателя U в системе выбранных координат пространства. Таким образом, геометрическая интерпретация функции U получила название «Геометризация геохимического поля» или его геометрическое моделирование.

Исходные данные для выполнения задания

Цель выполнения задания: закрепить теоретические основы темы 1 на конкретном примере анализа поверхностей

Исходные данные: функции U_1 и U_2 заданы уравнениями поверхностей второго порядка:

$$\boldsymbol{U_1}=(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{a})^2+(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{b})^2-(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{a})(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{b})-(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{a})-(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{b})+\text{И}. \quad (1.1)$$

$$\boldsymbol{U_2}=-\boldsymbol{12}[(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{c})^2-(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{d})^2]+(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{c})(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{d})+(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{c})+(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{d})+\text{О}. \quad (1.2)$$

Индивидуальность задания обеспечивается подстановкой в формулы (1.1) и (1.2) постоянных коэффициентов из табл. 1.1 Значения И и О обозначают порядковый номер в алфавите первых букв имени (И) и отчества (О), номер варианта соответствует номеру в списке группы.

Например: Бондаренко Илья Степанович – номер в списке группы 3 (номер варианта), для которого $a = -2$, $b = -2$, $c = 0$, $d = 0$ (см. табл. 1.1), И = 10, О = 15 (порядковые номера в алфавите). Тогда функции U_1 и U_2 примут вид:

$$U_1 = (x-2)^2 + (y-2)^2 - (x-2)(y-2) - (x-2) - (y-2) + 10.$$

$$U_2 = -12(x^2 - y^2) + xy + x + y + 15.$$

Таблица 1.1.– Значение коэффициентов в формулах (1.1), (1.2)

номер варианта	*a*	*b*	*c*	*d*
1	0	0	0	0
2	-2	-2	-2	-2
3	-2	-2	0	0
4	0	0	-2	-2
5	-2	-2	-1	-1
6	-2	-1	-2	-1
7	-2	-1	-1	-2
8	-1	-2	-1	-2
9	-1	-2	-2	-1
10	-1	-1	-1	-1
11	-4	-4	-4	-4
12	-4	-4	-2	-2
13	-2	-2	-4	-4
14	-4	-2	-4	-2
15	-4	-2	-2	-4
16	-2	-4	-4	-2
17	-4	-1	-4	-1
18	-1	-4	-1	-4
19	-4	-1	-1	-4
20	-1	-4	-4	-1
21	-4	0	-4	0
22	-0	-4	0	-4
23	0	-4	-4	0
24	-4	0	0	-4
25	-2	-4	-1	-2
26	-4	-2	-1	-1

Порядок выполнения задания

1. Записываются уравнения U_1 и U_2, в которых постоянные значения коэффициентов *a, b, c, d* соответствуют расчетному варианту. Расчетный вариант соответствует порядковому номеру студента в списке учебной группы.

2. Составляются матрицы числовых значений функций U_1 и U_2

Таблица 1.2.– Матрица числовых значений поверхности U_1

Y / X	0	1	2	…	9	10
0						
1		Ux,y				
2						
…						
9						
10						

В каждой клетке заполняется значение $U_1=U_i(x_i,y_j)$ при $0 < x_i < 10$ и $0 < y_j < 10$. Рассчитанные значения U_1 переносятся на палетку, что дает поверхность с числовыми отметками (рис. 1.1). Значения U соответствуют узловым точкам палетки – точкам пересечения сетки.

3. Отрисовывается поверхность U_1 в изолиниях с сечением ΔU. Изолинии обозначаются числами, кратными ΔU:

$$\Delta U \approx \frac{U_{max}-U_{min}}{12}.$$

Полученное значение ΔU округляется до удобного значения, кратного 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100.

4. Обозначается направление изолиний и линий «ската» стрелочками и дается характеристика поверхности: вихрь (левый, правый), сток, источник.

5. Линия ската совпадает с направлением линии падения в любой точке поверхности U_1. Линия ската одновременно является нормалью в конкретной точке поля. Нормаль - линия, перпендикулярная к касательной плоскости в точке $M(x, y)$ поверхности (рис. 1.2)

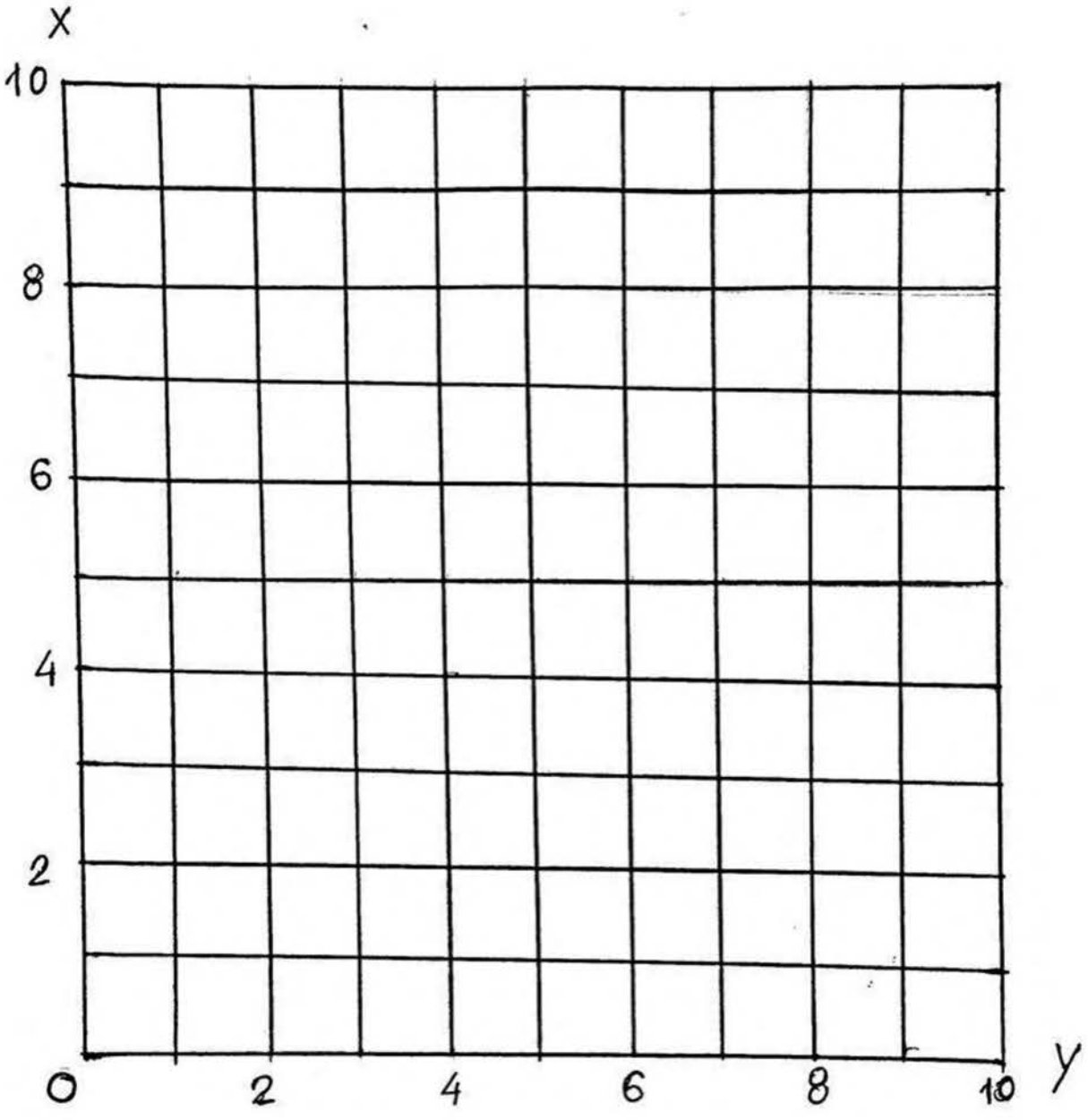


Рис. 1.1. Палетка для построения поверхностей U
(15 х 15 см)

Линия ската на плане есть проекция «вектор – градиента».

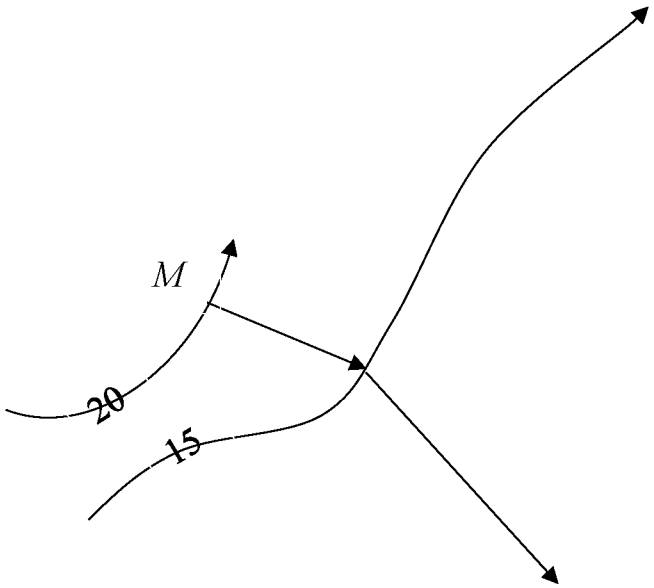


Рис.1.2. Геометрические параметры изолиний

6. На плане поверхности U_1 выбирается изолиния U, имеющая наибольшее значение. На ней выбирается точка М, от которой строится линия наибольшего ската, представляющая собой одновременно производную от $U=f(x, y)$ по направлению ската. Таких точек выбирается несколько, так, что в результате получается изображение векторного поля поверхности U.

7. Если каждой точке М придать численное значение, то получим дифференциальное поле функции U.

8. Выполняются действия сложения и вычитания поверхностей U_1 и U_2: $U_3 = U_1 + U_2$, $U_4 = U_1 - U_2$. При этом для построения этих поверхностей используется схема заполнения табл. 1.2.

9. Дается геометрическая интерпретация поверхностей и общее заключение по работе.

ТЕМА 2.
ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ ПО ДАННЫМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Общие сведения

Освоение месторождений полезных ископаемых предусматривает следующие этапы: геологические поисковые работы, геологоразведочные работы и подсчет запасов, проектирование горных работ, отработка месторождения, закрытие месторождения и списание его запасов с государственного баланса.

На каждом этапе решаются свои конкретные задачи. В частности, задачами геологоразведочных работ являются: оценка запасов, получение исчерпывающей информации о морфологических особенностях и свойствах месторождения полезного ископаемого и степени достоверности их геометрической (пространственной) интерпретации.

Геометрия недр обосновала различные способы отображения геологических сведений о месторождении, которые составляют основу графо-аналитической геолого-маркшейдерской документации. На практике наиболее распространенными стали способы вертикальных и горизонтальных сечений, геологических блоков. На их основе выполняются подсчет запасов, обоснование способов вскрытия и систем отработки, планирование горных работ, решаются все инженерные задачи в период ведения горных работ.

Оценить достоверность геометрических построений в процессе ведения геологоразведочных работ не представляется возможным, поскольку самые достоверные данные получаются только после отработки рудных полей значительной площади. **Сравнение данных разведки с данными эксплуатации является единственным надежным, самым точным и самым правильным методом.** Этот метод позволяет составлять и рассматривать различные варианты построения разновидностей сети. Изменением плотности разведочной сети устанавливается связь ошибок определения запасов от объемов буровых работ, и на этой основе выполняются инженерные расчеты по оптимизации затрат на разведочные работы.

Исследования на отработанных площадях позволяют геологической службе горного предприятия более обоснованно экстраполировать данные разведки на нижележащие горизонты, обосновывать параметры перспективных планов развития горного предприятия. Два главных критерия составляют основу методики сравнения данных разведки и эксплуатации: коэффициент разведанности контуров рудных тел ($К_Р$) и коэффициент достоверности разведанной площади ($К_Д$):

$$К_Р = 1 - \frac{l}{2}\frac{P}{S_p}. \qquad (2.1)$$

P – периметр контура «руда – порода», м;

$\frac{l}{2}$ – ширина зоны неопределенности положения контура рудного тела (расстояние между оконтуривающими скважинами), м;

$$К_Д = \frac{S_Д}{S_р}, \qquad (2.2)$$

где $S_Д$, $S_р$ – соответственно достоверная и разведанная площади рудного поля, тыс. м^2.

Коэффициент $К_р$ изменяется от 1 до 0 и может быть отрицательным; $К$р $\geq$ 0,8 соответствует категории подсчета запасов А; $К_р$ = 0,5-0,8 категории В; $К_р$ = 0,2-0,5 – категории $С_1$; $К_р$ = 0-0,2 – категории $С_2$ и при $К_р$ < 0 делается заключение абсолютной недостаточности данных разведки.

Коэффициент $К_Д$ изменяется от 1 до 0, и его значения корреспондируются с категориями следующим образом: $К_Д \geq$ 0,8 – категория А; $К_Д$ = 0,5-0,8 – категория В; $К_Д$ = 0,-05 – категория $С_1$; $К_Д$ < 0,2 – категория $С_2$.

Исходные данные для выполнения задания

Цель выполнения задания: закрепить теоретические основы темы 2 на примере решения конкретных исходных данных.

***Дано*:** истинный контур рудного тела в М 1:2000 на формате А4 (рис. 2.1).

***Требуется*:** установить связь между плотностью разведочной сети с достоверностью оконтуривания рудного тела и погрешностью определения площади, прокомментировать принципы относительности и соответствия в рассматриваемом примере.

Порядок выполнения задания

1. Составляется схема вариантов построения разведочной сети (для примера рассматриваем три варианта): *А*, *В*, *С*. В каждом варианте рассматривают четыре этапа разведки путем последовательного сгущения сети.

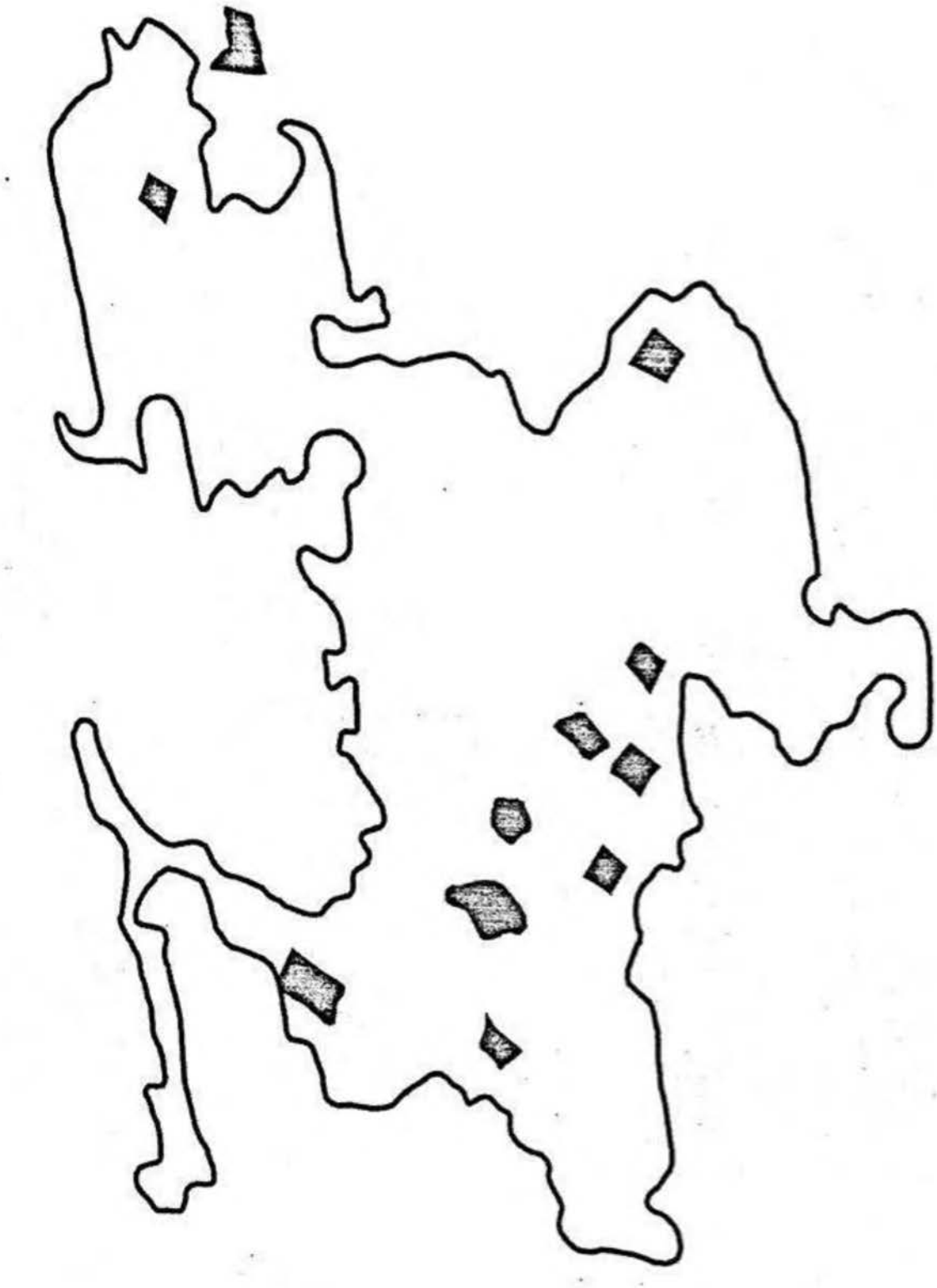


Рис. 2.1. Истинный контур рудного тела

Разведочная сеть, мхм			
80х80	40х40	20х20	10х10

Разведочная сеть квадратная. Варианты *A*, *B*, *C* отличаются друг от друга координатами первой точки построения разведочной сети. Точки *A*, *B*, *C* образуют треугольник со сторонами до 2 – 3 см на плане М 1:2000 (рис. 2.2).

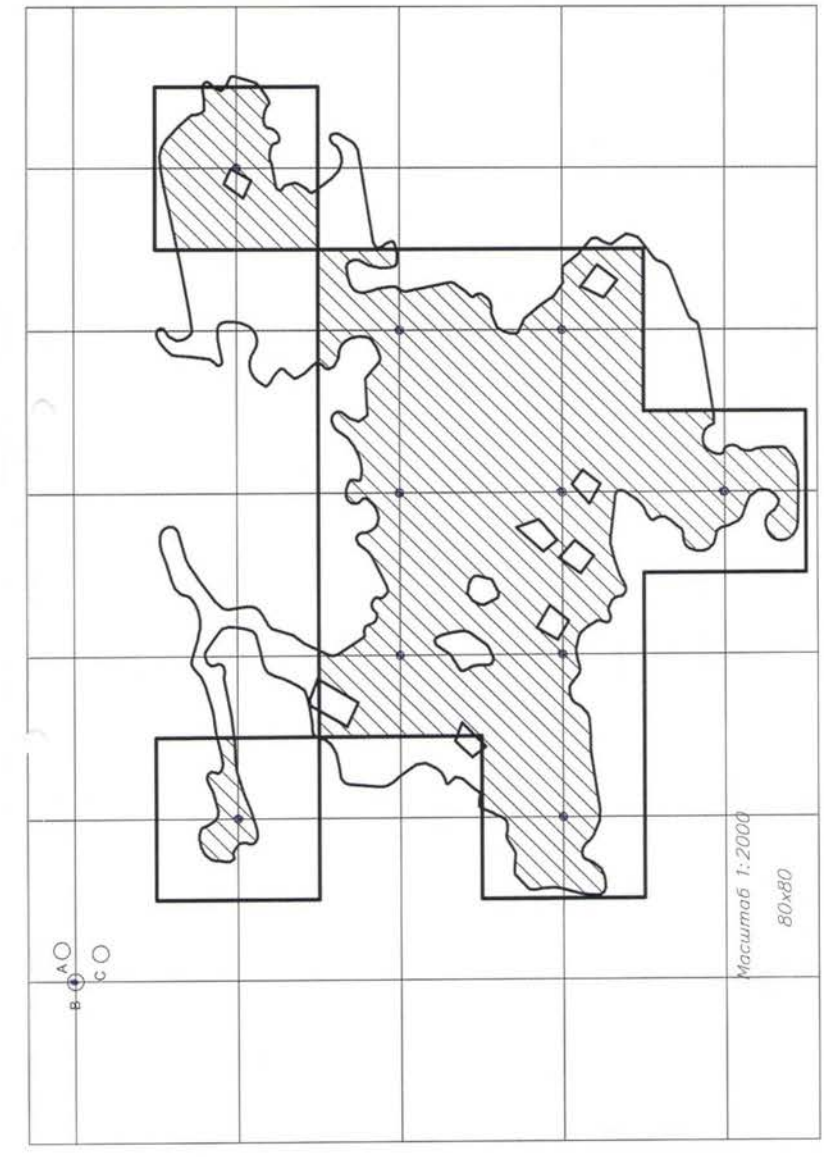


Рис. 2.2. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 80х80 м (привязка к т. А)

При выполнении задания можно воспользоваться палетками с окном 4х4, 2х2, 1х1, 0,5х0,5 см, узловые точки которых будут эмитировать устья разведочных скважин.

2. Скважины, которые подсекают рудное тело, обозначаются жирной точкой. Оконтуривание РТ производится методом экстраполяции «на середину сетки скважин». Сетка скважин строится от точек *A*, *B*, *C*, с последовательным сгущением до 40х40 м, 20х20 м и 10х10 м. Таким образом, получается 12 схем.

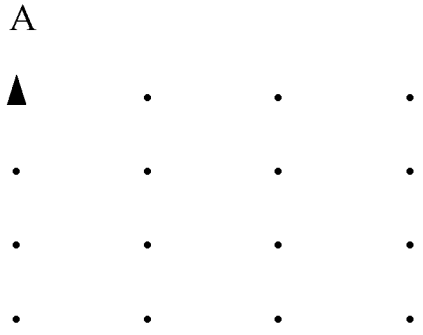


Рис. 2.3. Схема построения разведочной сети

3. Разведанная площадь $S_р$ определяется по формуле

$$S_р = nl^2, \qquad (2.3)$$

где n - количество скважин, которые подсекли рудное тело.

Контур РТ обводится жирной линией.

4. На этих же планах заштриховывается достоверная площадь (рис. 2.4 – 2.6).

$$K_Д = \frac{S_Д}{S_Р} \qquad (2.4)$$

где $S_д$ - площадь совпадения разведанного контура и истинного контура РТ обозначает достоверную площадь (определяется планированием).

5. По полученным данным составляются таблицы для определения коэффициентов *К*р и $К_Д$.

6. По результатам анализа данных разведки определяется погрешность оконтуривания рудного тела по вариантам (см. табл. 2.1).

Таблица 2.1. – Погрешность определения площади при различной плотности сети

Вариант	Параметры разведочной сети, *l*x*l*						
	80х80 м^2				40х40 м^2	20х20 м^2	10х10 м^2
	$S_Р$, тыс.м^2	S_0, тыс.м^2	$\Delta S_Р$, тыс.м^2	M_S, %			
1	2	3	4	5	6-9	10-13	14-17
A							
B							
C							

$$\Delta S_P = S_P - S_0, \qquad M_S = \frac{\Delta S_P}{S_0} 100\ \%. \tag{2.5}$$

$$\bar{M}(S) = \sqrt{\frac{M_S^2(A)+M_S^2(B)+M_S^2(C)}{3}}, \tag{2.6}$$

где S_0 – истинная площадь рудного тела, определяется в М 1:2000 (для всех вариантов S_0 = const).

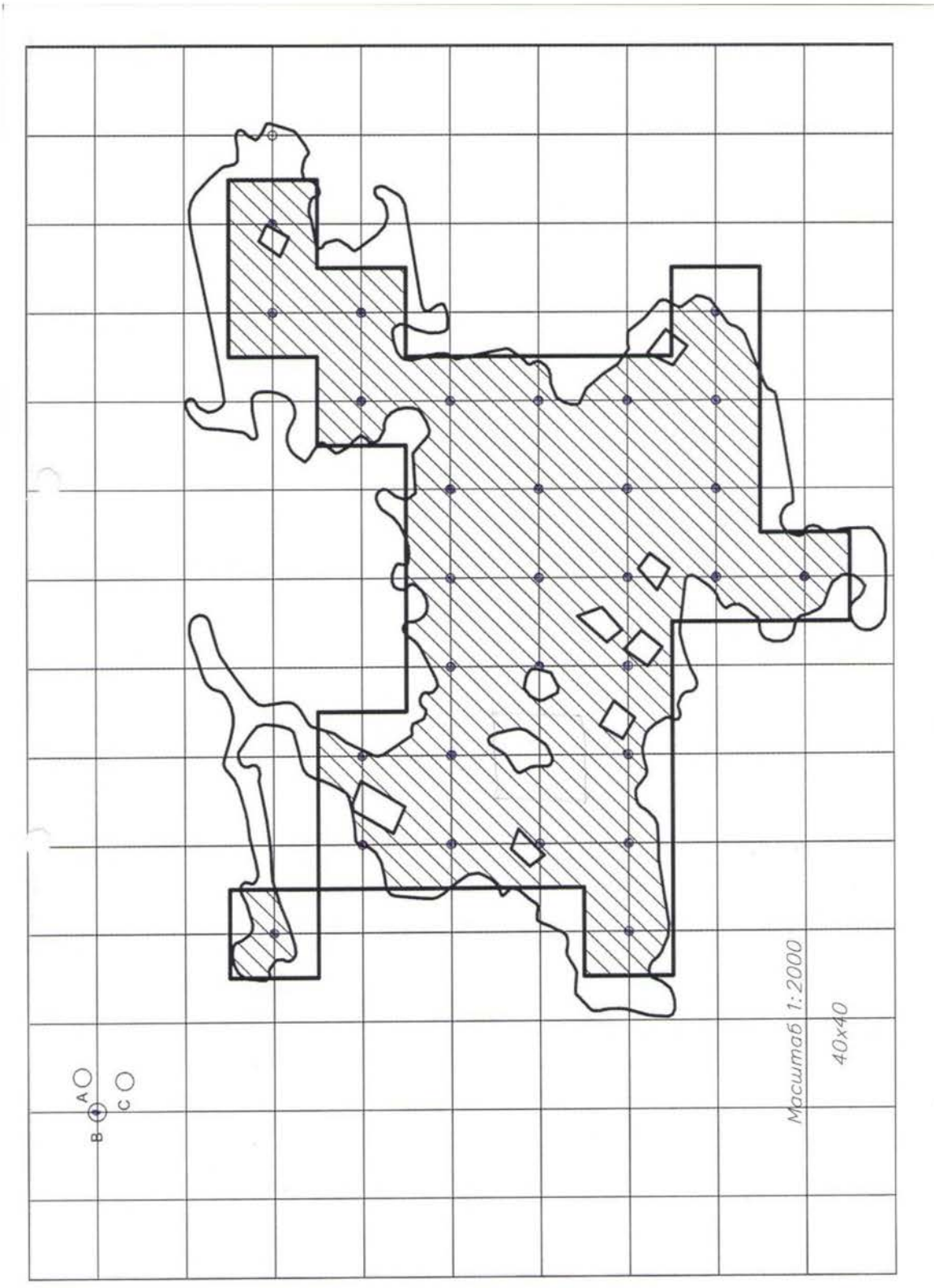


Рис. 2.4. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 40х40 м

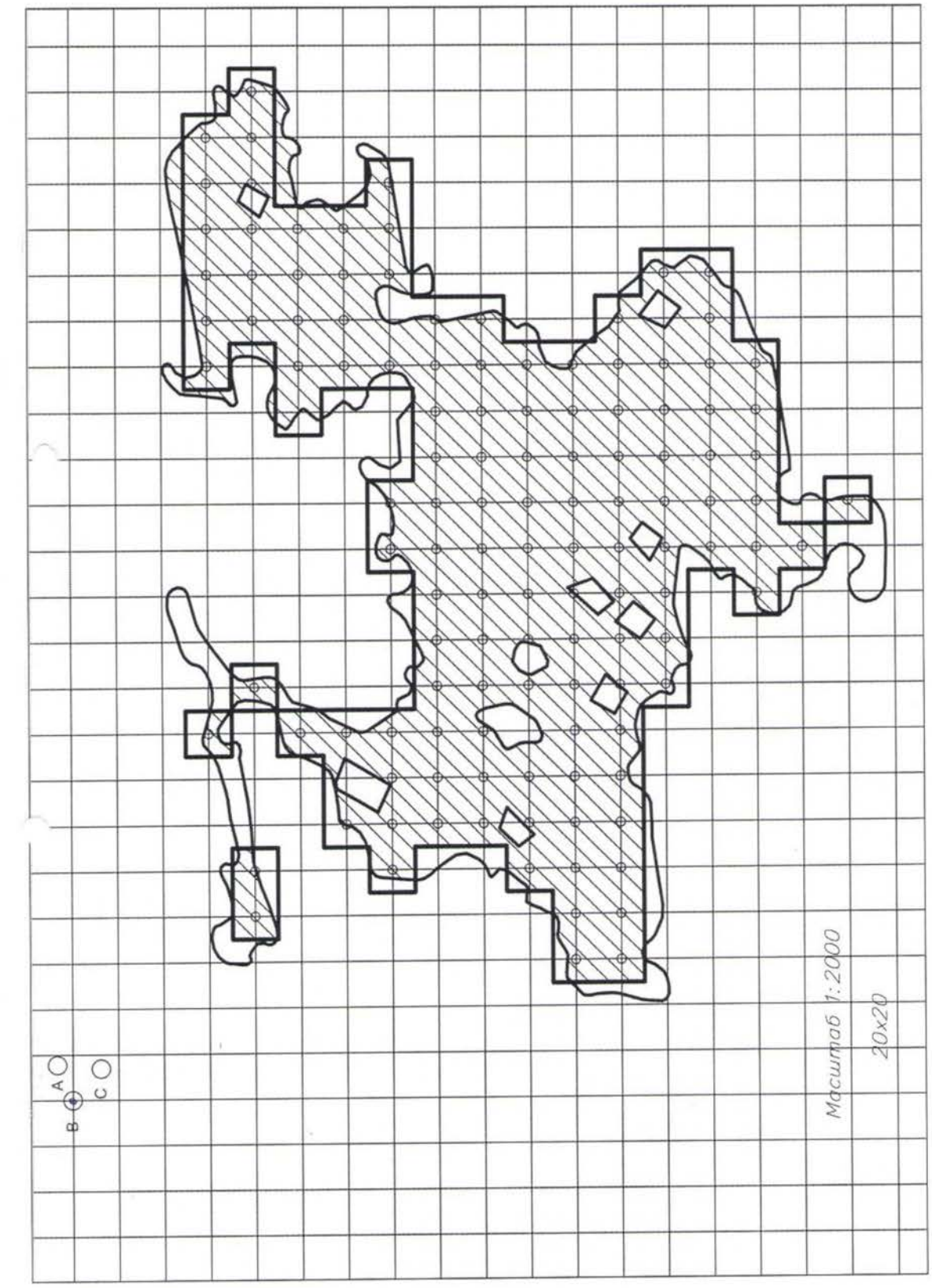


Рис. 2.5. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 20х20 м

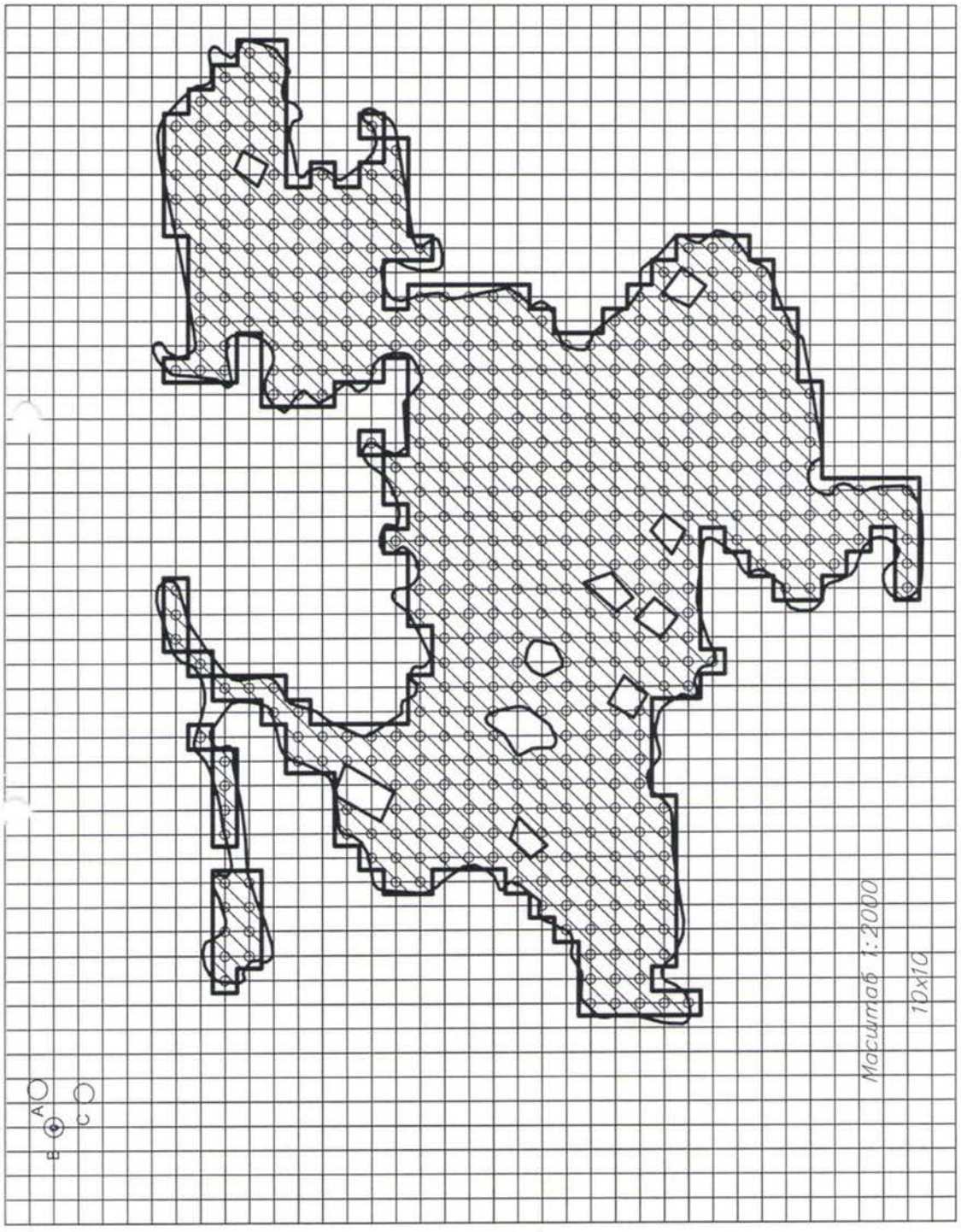


Рис. 2.6. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 10х10 м

По данным табл. 2.1 строятся графики

$$M_S = f(l).$$

В табл. 2.2 выполняется расчет коэффициентов $K_Р$ и $K_Д$ по формулам (2.1) и (2.2).

Таблица 2.2. – Достоверность оконтуривания РТ при различной плотности сети (пример)

Вариант	Параметры разведочной сети, *l*x*l*							
	80x80 м^2					40x40 м^2	20x20 м^2	10x10 м^2
	$S_Р$, тыс. м^2	P, тыс. м	$S_Д$, тыс.м^2	$K_Р$, дол.ед.	$K_Д$, дол.ед.			
1	2	3	4	5	6	7-12	13-18	17-23
A								
B								
C								

По данным табл. 2.2 строятся графики зависимостей:

$K_Р = f(l)$, $K_Д = f(l)$ (рис. 2.7)

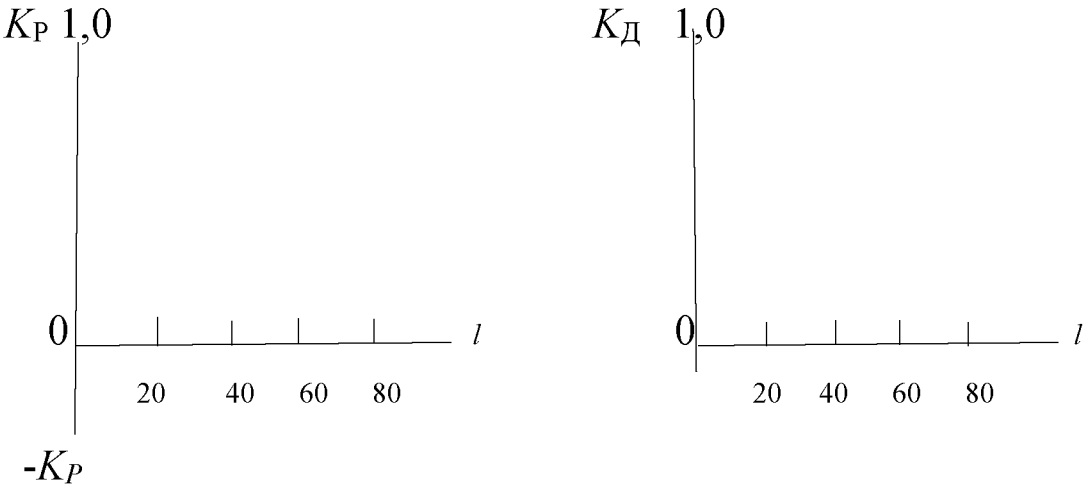


Рис. 2.7. Плотность разведочной сети X, м

7. Составляется заключение (выводы) по результатам выполнения задания.

ТЕМА 3.
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, РАНЖИРОВАННЫХ ПО НАПРАВЛЕНИЮ

Общие сведения

Понятие «изменчивость» относится к категории естественно-научных терминов. Оно обобщает в себе две стороны явления или показателя: насколько значительно отличаются друг от друга сравниваемые значения и насколько интенсивно происходит это изменение в рассматриваемых пространственных и временных границах. Следовательно, «изменчивость» как понятие употребляется для характеристики особенностей проявления внутренне обусловленной внешней связи между сменными (рядом стоящими) значениями показателя геохимического поля.

Геометрический смысл понятия «изменчивость» показателя рассматривается в форме внешней связи, поскольку о характере и особенностях изменения можно судить лишь в сравнении с соседними значениями. Но характер внешней связи в пространстве литосферы проявляется в форме геохимического поля, что и определяет внутреннюю обусловленность этой связи:

$$U=f(x, y, z)+\delta U, \qquad (3.1)$$

Здесь U – рассматриваемый показатель поля; $f(x, y, z)$ – геометрическая (закономерная) составляющая показателя U; δU – дельта-функция, шумовая составляющая поля, которая представляет собой «всплеск», «выброс», «сталактит», «протуберанец» на теле геохимического поля. На шумовую составляющую не

распространяются свойства плавности и непрерывности, она в определённом смысле дискретна в своем частном значении Ui и, в силу этого, исключает возможность как интерполяции, так и экстраполяции значения, хотя и однозначно «привязана» к пространству геохимического поля, но не функционально, как геометрическая составляющая, а в определенном смысле стохастически. Таким образом, оценка степени изменчивости U включает в себя две составляющие: количественная оценка шума δU и соотношения геометрической и шумовой составляющих поля. Комплексная и наиболее полная оценка изменчивости показателя достигается использованием аппарата теории случайных функций.

Исходные данные задания

Цель выполнения задания: закрепить на практическом примере способы количественной оценки шумовой составляющей поля.

Предполагается, что дан ряд чисел, эмитирующих изменение мощности рудного тела в разрезе (рис. 3.1).

Индивидуальность задания обеспечивается составлением ряда чисел по схеме ФИО, например, Иванов Иван Иванович. Каждой букве присваивается число, соответствующее порядковому номеру в алфавите:

10. 3. 1. 15. 16. 3. 10. 3. 16. 15. 10. 3. 1. 15. 16. 3. 10. 25

Порядок выполнения задания

1. Строится график изменения U_X составленной последовательности (см. рис. 3.1).

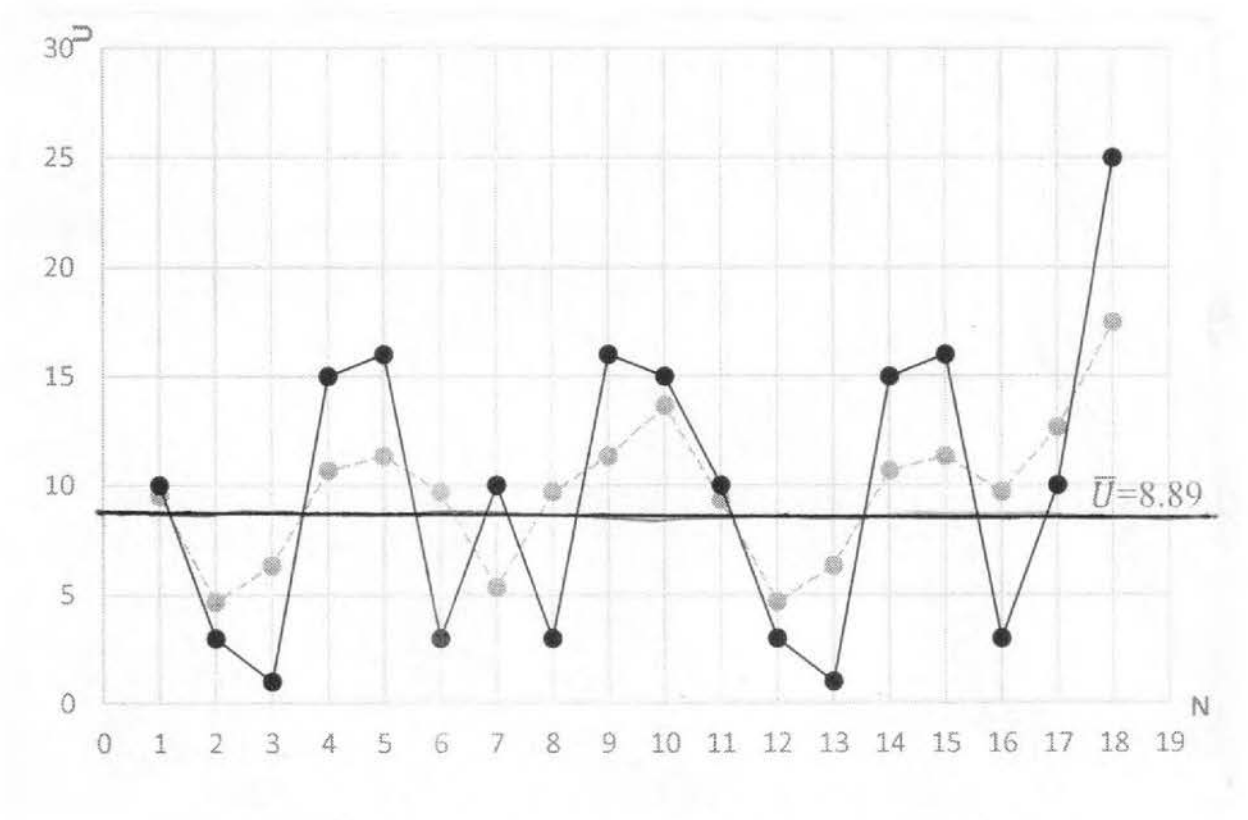


Рис. 3.1. Последовательность изменения показателя U

2. Составляется табл. 3.1 для выполнения расчетов по схеме:

Графы: 1 – номер по порядку; 2 – значение параметра U;

3 - $\delta U=U-\bar{U}$; 4 - ΔU^2, $\bar{\Delta}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum \Delta U^2}$.

Графы 5 и 6 – разности первого ($\Delta' U$) и второго ($\Delta'' U$) порядков. $\Delta' U_i=U_{i+1}-U_i$, $\Delta'' U=\Delta' U_{i+1}-\Delta' U_i$.

В графе 6 отмечается количество инверсий i. Инверсия есть нарушение установленного порядка. За порядок принимается последовательность знаков $\Delta'' U$ + - + - + - …. В этой последовательности нет инверсий – i=0. В последовательности $+_i+-_i-+-+-_i-+$ присутствует i=3 инверсий.

Таблица 3.1. Расчет показателей изменчивости различными способами

№ п/п	U	δU	δU^2	$\Delta' U$	$\Delta'' U$	$(\Delta'' U)^2$	Сглаженные значения $U_{СГ}$		
							$U_{СГ}$	$\delta = U - U_{СГ}$	δ^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	1,11	1,23	-7	5	25	-5,33	4,67	21,81
2	3	-5,89	34,69	-2	+16 i	256	4,67	-1,67	2,79
3	1	-7,89	62,25	14	-13	169	6,33	-5,33	28,41
4	15	6,11	37,33	1	-14 *i*	196	10,67	4,33	18,75
5	16	7,11	50,55	-13	20	400	11,33	4,67	21,81
6	3	-5,89	34,69	7	-14	196	9,67	-6,67	44,48
7	10	1,11	1,23	-7	5	25	5,33	4,67	21,81
8	3	-5,89	34,69	-2	16 i	256	4,67	-1,67	2,79
9	1	-7,89	62,25	14	-19	361	6,33	-5,33	28,41
10	15	6,11	37,33	-5	-2 *i*	4	8,67	6,33	40,07
11	10	1,11	1,23	-7	5	25	9,33	0,67	0,45
12	3	-5,89	34,69	-2	16 *i*	256	4,67	-1,67	2,79
13	1	-7,89	62,25	14	-13	169	6,33	-5,33	28,41
14	15	6,11	37,33	1	-14 ***i***	196	10,67	4,33	18,75
15	16	7,11	50,55	-13	20	400	11,33	4,67	21,81
16	3	-5,89	34,69	7	8 ***i***	64	9,67	-6,67	44,48
17	10	1,11	1,23	15			12,67	-2,67	7,13
18	25	16,11	259,53		*i* = 7		12,67	12,33	152,03
Σ	160	-0,02	837,74	|131|	|200|	2998	132,34		506,98
Ср.	8,89		46,54	7,7	12,5	187,375	8,27		28,16
σ			6,82			13,69			5,31

$$\Delta U = U_i - \overline{U},\ U_{СГ}(2) = \frac{U_1+U_2+U_3}{3},\ U_{СГ}(3) = \frac{U_2+U_3+U_4}{3}.$$

$$U_{СГ}(i) = \frac{U_{i-1}+U_i+U_{i+1}}{3}.$$

На рис. 3.1 $U_{СГ}$ представлена пунктирной линией.

3. Расчет показателей изменчивости различными способами.

Таблица 3.2. Сравнение различных способов определения абсолютного значения и «шума» в последовательности показателя U

N п/п	Автор способа	Расчетная формула	Значение показателя
1	Математическая статистика	$\sigma = \left(\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}\right)^{0,5}$	6,82
2	Казаковский Д.А. (вторые разности)	$\mu = \frac{\sum\lvert\Delta_2\rvert}{K}$	12,5
3	Каллитов П.Л.	$\sigma = \left(\frac{\sum(x_i - x_{зк})^2}{n}\right)^{0,5}$	5,31
4	Бастан П.П. (конечные разности)	$\sigma = 2^{-m}\left(\frac{\sum\Delta_m^2}{n}\right)^{0,5}$	3,42
5	Гальянов А.В.	$\bar{\Delta} = \left(\frac{2n-1}{n}\right)^{-m}\left(\frac{\sum\Delta_m^2}{n}\right)^{0,5}$	5,6
6	Гальянов А.В.	$\bar{\Delta} = \sigma\sqrt{1-r^2}$ $r = 1 - \frac{2}{\bar{\tau}}$	6,65 -0,22

4. На рис. 3.1 (исходный график) наносятся данные по сглаженным значениям при окне сглаживания 3 и среднее значение $\bar{U}$. Линия $\bar{U}$ пересекает исходный график в K точках.

Тогда $$\bar{\tau} = \frac{n}{K+1}, \quad r = 1 - \frac{2}{\bar{\tau}},$$

$$\Delta = \sigma\sqrt{1-r^2}.$$

В рассмотренном примере K=10, тогда

$$\bar{\tau} = \frac{18}{10+1} = 1{,}636, \quad r = 1 - \frac{2}{1{,}636} = -0{,}222,$$

$$\Delta = 6{,}82\sqrt{1-0{,}0494} = 6{,}65.$$

5. По результатам расчетов делается заключение.

ТЕМА 4.
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛНОТЫ И КАЧЕСТВА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАПАСОВ ПРИ ДОБЫЧЕ

Общие положения

Под показателями полноты и качества отработки запасов понимают потери балансовых запасов или степень их извлечения и как альтернатива потерям – разубоживание и снижение качества добытой руды.

Потери руды – часть балансовых запасов, которые не поступили на переработку (П). Потери разделяют на потери отбитой руды и потери в массиве. Для оценки потерь используют коэффициент потерь $K_{\text{п}}$:

$$K_{\text{п}} = \frac{\text{П}}{\text{Б}}. \tag{4.1}$$

Здесь Б – погашенные балансовые запасы; $K_{\text{п}}$ имеет размерность д. ед. или %.

Разубоживание как процесс есть примешивание пустых пород Р в добытую рудную массу. Разубоживание как явление есть снижение качества добытой руды по отношению к погашенным балансовым запасам. Для оценки уровня разубоживания добытой руды (Д) используют коэффициент разубоживания $K_{\text{р}}$:

$$K_{\text{р}} = \frac{\text{Р}}{\text{Д}}. \tag{4.2}$$

$K_р$ имеет размерность д. ед. или %.

Основой для определения показателей полноты и качества отработки запасов являются уравнения баланса руды и металла:

$$Д = Б - П + Р; \tag{4.3}$$

$$Да = БС - ПС_п + Рb.$$

Д, Б – соответственно добытая руда и погашенные балансовые запасы;

П, Р – соответственно количество потерянной руды и разубоживающей породы;

С, a – соответственно содержание полезного компонента в балансовых запасах и добытой руде;

$С_п$, b– соответственно содержание полезного компонента в теряемой руде и разубоживающей породе;

$$K_п = \frac{(с-b)-\frac{Д}{Б}(a-b)}{(С_п-b)}; \tag{4.4}$$

$$K_р = \frac{\frac{Б}{Д}(С - С_п) - (a - С_п)}{(С_п - b)}. \tag{4.5}$$

Теоретические оценки ошибки определения коэффициента потерь $K_п$ ($dK_п$) рассчитываются по формулам:

$$dK_п(Д) = -\frac{Д}{Б}\frac{(a-b)}{(С_п - b)}М(Д),\%; \quad dK_п(Б) = \frac{Д}{Б}\frac{(a-b)}{(С_п - b)}М(Б),\%;$$

$$dK_п(С) = \frac{dС}{(С_п - b)}100,\%; \qquad dK_п(a) = -\frac{Д}{Б}\frac{da}{(С_п - b)}100,\%;$$

$$dK_{\text{П}}(\text{в}) = +\frac{\text{Д}}{\text{Б}}K_{\text{р}}\frac{db}{(\text{С}_{\text{П}}-b)},\%; \qquad dK_{\text{П}}(\text{С}_{\text{П}}) = -K_{\text{П}}\frac{d\text{С}_{\text{П}}}{(\text{С}_{\text{П}}-b)},\%,$$

$K_{\text{П}}$ и $K_{\text{р}}$ – соответственно коэффициент потерь и разубоживания руды в %. Общая абсолютная погрешность $m_{(\text{кп})}$ и относительная $M_{(\text{кп})}$ рассчитываются по формулам;

$$m_{(\text{кп})} = \sqrt{\sum\left(dK_{\text{П}}^2(i)\right)}\ ,\%; \qquad M_{(\text{кп})} = \frac{m_{(\text{кп})}}{K_{\text{П}}}100,\%.$$

Теоретические оценки ошибки определения коэффициента разубоживания $K_{\text{р}}$ ($dK_{\text{П}}$) рассчитываются по формулам:

$$dK_{\text{р}}(\text{Д}) = -\frac{\text{Б}}{\text{Д}}\frac{(\text{С}-\text{С}_{\text{П}})}{(\text{С}_{\text{П}}-b)}\text{М}(\text{Д}),\%; \qquad dK_{\text{р}}(\text{Б}) = \frac{\text{Б}}{\text{Д}}\frac{(\text{С}-\text{С}_{\text{П}})}{(\text{С}_{\text{П}}-b)}\text{М}(\text{Б}),\%.$$

$$dK_{\text{р}}(\text{С}) = \frac{\text{Б}}{\text{Д}}\frac{d\text{С}}{(\text{С}_{\text{П}}-b)}100,\%; \qquad dK_{\text{р}}(a) = -\frac{\text{Б}}{\text{Д}}\frac{da}{(\text{С}_{\text{П}}-b)}100,\%.$$

$$d\text{К}_{\text{р}}(b) = K_{\text{р}}\frac{db}{(\text{С}_{\text{П}}-b)},\%; \qquad dK_{\text{П}}(\text{С}_{\text{П}}) = -\frac{\text{Б}}{\text{Д}}K_{\text{П}}\frac{d\text{С}_{\text{П}}}{(\text{С}_{\text{П}}-b)},\%.$$

Аналогично рассчитываются, общая абсолютная погрешность ($m_{(\text{кп})}$) и относительная ($M_{(\text{кп})}$) по формулам:

$$m_{(K\text{р})} = \sqrt{\sum\left(dK_{\text{р}}^2(i)\right)}\ ,\%; \qquad M_{(K\text{р})} = \frac{m_{(\text{кр})}}{K_{\text{р}}}100,\%.$$

Исходные данные задания

Таблица 4.1. – Данные расчетных вариантов

№ п/п	Показатель	Варианты			
		Значения показателей			
		1	2	3	4
1	Б, тыс.т	10000	10000	5000	5000
2	Д, тыс.т	10150	10200	5100	5100
3	С, %	16,00	28,00	1,60	1,80
4	a, %	15,72	27,40	1,55	1,75
5	$С_п$, %	13,00	15,00	1,10	0,90
6	b,%	10,00	9,00	0,40	0,40
7	ΔБ, %	0,20	0,20	0,30	0,20
8	ΔД, %	0,10	0,10	0,30	0,20
9	ΔС, %	0,02	0,02	0,01	0,01
10	Δa, %	0,02	0,02	0,01	0,01
11	$\Delta С_п$, %	0,03	0,03	0,02	0,02
12	Δb, %	0,03	0,03	0,02	0,02
13	$K_п$ %	4,48	3,87	3,86	4,60
14	$K_Р$ %	5,89	5,75	5,74	6,47

Таблица 4.2. – Матрица знаков ошибок исходных данных

N п/п	ΔД, %	ΔБ, %	ΔС, %	Δa, %	$\Delta С_п$, %	Δb, %
1	+	+	+	+	+	+
2	-	+	+	+	+	+
3	+	-	+	+	+	+
4	+	+	-	+	+	+
5	+	+	+	-	+	+
6	+	+	+	+	-	+
7	+	+	+	+	+	-
8	-	-	+	+	+	+
9	+	-	-	+	+	+
10	+	+	-	-	+	+
11	+	+	+	-	-	+
12	+	+	+	+	-	-
13	-	+	-	+	+	+
14	-	+	+	-	+	+
15	-	+	+	+	-	+

Окончание табл.4.2.

№ п/п	ΔД, %	ΔБ, %	ΔС, %	Δa, %	$\Delta С_{п}$, %	Δb, %
16	-	+	+	+	+	-
17	+	-	+	-	+	+
18	+	-	+	+	-	+
19	+	-	+	+	+	-
20	+	+	-	+	-	+
21	+	+	-	+	+	-
22	+	+	+	-	+	-
23	-	-	-	+	+	+
24	-	-	+	-	+	+
25	-	-	+	+	-	+
26	-	-	+	+	+	-
27	-	+	-	-	+	+
28	-	+	-	+	-	+
29	-	+	-	+	+	-
30	-	+	+	-	-	+
31	-	+	+	-	+	+
32	-	+	+	+	-	-
33	+	-	-	+	-	+
34	+	-	+	-	-	+
35	+	-	+	-	+	+
36	+	-	-	-	+	+
37	+	-	-	+	+	+
38	+	-	+	+	-	-
39	+	+	-	-	-	+
40	+	+	-	-	+	-
41	+	+	+	+	-	-
42	+	+	+	-	-	-
43	-	-	-	-	+	+
44	-	-	-	+	+	-
45	-	-	+	+	-	-
46	-	+	+	-	-	-
47	+	+	-	-	-	-
48	-	-	-	+	-	+
49	-	-	+	-	-	+
50	-	+	-	-	-	+
51	+	-	-	-	-	+
52	+	-	+	-	-	-
53	-	+	-	-	+	-
54	-	+	-	+	-	-
55	-	-	+	-	+	-
56	+	-	-	-	+	-
57	+	-	-	+	-	-
58	-	-	-	-	-	+
59	-	-	-	-	+	-
60	-	-	-	+	-	-
61	-	-	+	-	-	-
62	-	+	-	-	-	-
63	+	-	-	-	-	-
64	-	-	-	-	-	-

Порядок выполнения задания

1. Выбирается вариант задания (табл. 4.1), который определяет исходные данные для расчетов, эти данные принимаются за истинные. Рассчитываются истинные значения $K_{П}$ и $K_{Р}$.

2. Из табл. 4.2 (Матрица знаков ошибок) выбирается от 5 до 10 вариантов вероятного распределения знаков ошибок, с которыми определены фактические значения исходных параметров для расчетов фактических значений $K_{П}$ (ф) и $K_{Р}$ (ф).

3. Составляется матрица знаков ошибок (табл. 4.3), соответствующая п. 2

Таблица 4.3. – Матрица знаков ошибок определения исходных параметров (пример)

№	Д	Б	С	*a*	$С_{П}$	*b*
7	+	+	+	+	+	-
8	-	-	+	+	+	+
9	+	-	-	+	+	+
10	+	+	-	-	+	+
11	+	+	+	-	-	+

4. Составляется табл. 4.4. в соответствии с табл. 4.1 (на пример, вариант 1) и табл. 4.3.

Таблица 4.4. Таблица ошибок исходных данных

№	*d*Б, тыс.т	*d*Д, тыс.т	*d*С, %	*Da*, %	*d*С$_{п}$, %	*Db*, %
d_i	0,2%	0,1%	0,02	0,02	0,03	0,03
7	+20,00	+10,150	+0,02	+0,02	+0,03	-0,03
8	-20,00	-10,150	+0,02	+0,02	+0,03	+0,03
9	+20,00	-10,150	-0,02	+0,02	+0,03	+0,03
10	+20,00	+10,150	-0,02	-0,02	+0,03	+0,03
11	+20,00	+10,150	+0,02	-0,02	-0,03	+0,03

5. Составляется табл. 4.5. для расчета $К_П$ и $К_Р$ по схеме:

$$X_ф = X_0 + dx.$$

Таблица 4.5. – Таблица фактических значений исходных параметров расчета $К_П$ и $К_Р$:

№	Б, тыс.т	Д, тыс.т	С, %	*a*, %	*d*С$_{п}$, %	*b*, %	$К_п$, %	$К_р$, %
7	10020	10510,50	16.02	15.82	13,03	9,97	….	….
8	9980	10489,50	16.02	15.82	13,03	10,03	….	….
9	10020	10489,50	15.98	15.82	13,03	10,03	….	….
10	10020	10510,50	15.98	15.78	13,03	10,03	….	….
11	10020	10510,50	16.02	15.78	12.97	0,03	….	….

Значения $К_п$ и $К_р$ рассчитывают по формулам (4.4) и (4.5).

6. Составляется табл. 4.6 сопоставления расчетных и истинных значений $К_п$ и $К_р$.

Таблица 4.6 – Сопоставление расчетных и истинных значений $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{р}}$

номер варианта	Ошибка определения $K_{\text{п}}$				Ошибка определения $K_{\text{р}}$			
	$K_{\text{п}}(\Phi)$, %	$K_{\text{п}}(\text{о})$, %	$\Delta K_{\text{п}}$, %	$\text{М}(K_{\text{п}})$, %	$K_{\text{р}}(\Phi)$, %	$K_{\text{р}}(\text{о})$, %	$\Delta K_{\text{р}}$, %	$\text{М}(K_{\text{р}})$, %
7 8 9 10 11								
Ср. зн.	$\overline{K_{\text{п}}}(\Phi)$		$\text{m}(K_{\text{п}})$		$\overline{K_{\text{р}}}(\Phi)$		$\text{m}(K_{\text{р}})$	

$$\Delta K_{\text{п}} = K_{\text{п}}(\Phi) - K_{\text{п}}(\text{о}), \qquad \Delta K_{\text{р}} = K_{\text{р}}(\Phi) - K_{\text{р}}(\text{о});$$

$$m(K_{\text{п}}) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum \Delta K_{\text{п}}^2}, \quad m(K_{\text{р}}) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum \Delta K_{\text{р}}^2};$$

n – количество расчетных вариантов (в примере n =5).

$$\text{М}(K_{\text{п}}) = \frac{\Delta K_{\text{п}}}{\text{К}_{\text{п}}(\text{о})}100\ \%, \qquad \text{М}(K_{\text{р}}) = \frac{\Delta K_{\text{р}}}{K_{\text{р}}(\text{о})}100\ \%;$$

$$\overline{\text{М}}(K_{\text{п}}) = \sqrt{\frac{1}{n}M^2}\,(K_{\text{П}}), \qquad \overline{\text{М}}(K_{\text{р}}) = \sqrt{\frac{1}{n}M^2}\,(K_{P}).$$

7. По данным табл. 4.6 строится график зависимости между $\Delta K_{\text{п}}$ и $\Delta K_{\text{р}}$ (рис. 4.1).

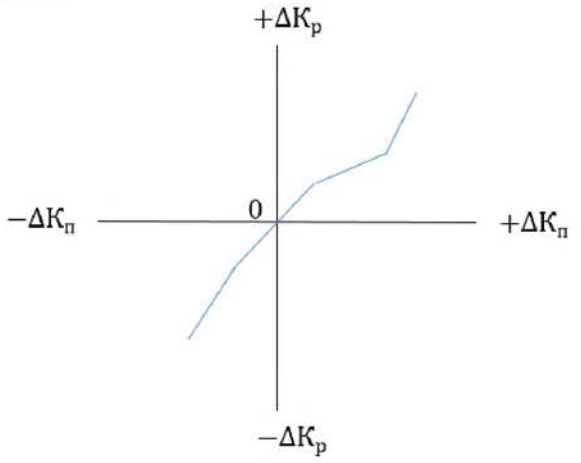


Рис. 4.1. Соотношение между $\Delta K_{\text{п}}$ и $\Delta K_{\text{р}}$

8. Выполняется расчёт вероятной погрешности определения коэффициентов $K_{\text{П}}$ и $K_{\text{Р}}$ по формулам $dK_{\text{П}}(i)$ и $dK_{\text{Р}}(i)$ (табл. 4.7).

Таблица 4.7. – Вероятная погрешность определения $K_{\text{П}}$ и $K_{\text{Р}}$

Параметр	Расчетная ошибка определения параметра (d_i), %			
	$K_{\text{П}}$		$K_{\text{Р}}$	
	$dK_{\text{П}}(i)$	$dK_{\text{П}}^2(i)$	$dK_{\text{Р}}(i)$	$dK_{\text{Р}}^2(i)$
Д Б С a $\text{С}_{\text{П}}$ b				
Σ		$\sum dK_{\text{П}}^2(i)$	$\sum dK_P(i)$	$\sum dK_P^2(i)$
m	$m_{K_{\text{П}}}$	$\sqrt{\sigma K_n \frac{1}{n}}$	$m_{K_{\text{Р}}}$	$\sqrt{\sum dK_{\text{Р}}^2(i) \frac{1}{n}}$

$$m_{K_{\text{П}}} = \sigma_{(K_{\text{П}})} = \sqrt{\frac{\sum d^2 K_{\text{П}}}{n}}, \qquad m_{K_P} = \sigma_{(K_{\text{Р}})} = \sqrt{\frac{\sum d^2 K_{\text{Р}}}{n}}$$

9. Выполняется сравнение расчетных значений $m_{\text{К}_{\text{П}}}$ и $m_{\text{К}_{\text{Р}}}$ (см. табл. 4.7) с фактическими данными (см. табл. 4.6).

10. Составляется общее заключение по данным выполненных расчетов.

Вопросы для самоподготовки

1. Какие естественно-исторические предпосылки предопределили возникновение геометрии недр?

2. Какими основными свойствами обладает геохимическое поле? Как изображается поле и какие математические действия с поверхностями с числовыми отметками возможны?

3. Что означает представительность геологических проб? Оцените погрешность линейной интерполяции и погрешность положения изолиний на плане.

4. Охарактеризуйте развитие представлений о геометрической структуре геохимического поля.

5. Какие научные основы учения об изменчивости показателей в связи с геометризацией геохимического поля?

6. Назовите и охарактеризуйте принципы классифицирования месторождений при разведке месторождений.

7. Назовите методы подсчета запасов. Дайте оценку их точности.

8. Каковы объект, предмет, цель и задачи геометризации МПИ.

9. Какой принцип составляет основу оценки достоверности оконтуривания геохимического поля и классифицирования рудных площадей по степени достоверности их оконтуривания?

10. Материальный баланс как основа организации горного производства.

11. Перечислите методы учета показателей полноты и качества извлечения запасов при добыче.

12. Какова сущность косвенного метода учета потерь полезного ископаемого?

13. Как влияет точность определения содержаний в балансовых

запасах (С) и добытой руде (a) на точность определения коэффициентов потерь и разубоживания руды при добыче?

14. Как влияет точность определения содержаний компонента в теряемой руде ($С_П$) и вмещающих породах (B) на точность определения коэффициентов потерь и разубоживания руды при добыче?

15. Назовите основы нормирования показателей полноты и качества извлечения запасов при добыче открытым способом.

16. Каковы основы планирования показателей полноты и качества извлечения запасов при добыче открытым способом?

17. Назовите текущую документацию по учету и планированию показателей полноты и качества извлечения запасов. Каковы формы государственной статистической отчетности?

18. Каковы принципы классифицирования потерь и разубоживания руды при добыче. Назовите виды потерь полезного ископаемого.

19. Охарактеризуйте виды смещений горных пород по П.К. Соболевскому.

20. Каковы условия применения способов подсчета запасов (горизонтальное и вертикальные сечения, геологических блоков, палетки П. К. Соболевского)?

21. Раскройте сущность понятий: случайные величины (понятие, формы представления, статистические характеристики, метод обработки); корреляция (понятие, свойства основных характеристик).

22. Какие критерии тесноты связи между двумя случайными величинами используются при математической обработке данных?

23. Какова сущность метода «скользящего» окна сглаживания при геометризации рудных полей?

24. Каковы аналитические основы метода оптимизации плотности разведочной сети?

25. Назовите методы определения параметров залежи при подсчете запасов (площадь, мощность, плотность).

26. Дайте оценку степени разведанности залежей полезного ископаемого.

27. Как классифицируются запасы при проектировании горных предприятий?

28. Какова сущность прямого метода учета потерь полезного ископаемого?

29. Назовите условия применимости косвенного метода учета потерь и разубоживания руды.

Список рекомендуемой литературы

1. Богацкий В. В. Математический анализ разведочной сети.– М.: ГНТИ Литературы по геологии и охране недр, 1963.– 212 с.
2. Букринский В. А. Геометризация недр: практический курс: учебное пособие для ВУЗов.– М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 333 с.
3. Гальянов А. В. Развитие научных идей в горном деле. Геометрия недр: научная монография / А. В. Гальянов; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 315 с.
4. Гальянов А. В. Теоретические основы геометризации процессов в горном деле. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 250 с.
5. Геометрия недр (Горная геометрия): учебник для вузов / В. М. Калинченко, Н. И. Стенин, И. И. Тупикин, И. Н. Ушаков; под ред. В. М. Калинченко и И. Н. Ушакова. – Новочеркасск: НОК, 2000. – 526 с.
6. Кузьмин В. И. Геометризация и подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых.– М.: Недра, 1967.–242 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гальянов А.В.

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1.Повторение материала лекций
2.Самостоятельное изучение тем курса
3.Подготовка к практическим занятиям
4.Подготовка к опросу и экзамену
5. Вопросы по темам самоподготовки
Рекомендуемая литература

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие является руководством к самостоятельной работе обучающихся по дисциплине «Математическая статистика в горном деле». Этот процесс предусматривает непосредственную работу с рекомендованной литературой.

Теоретические вопросы рассматриваются в учебном пособии «Математическая обработка результатов измерений», в котором приводятся основные приемы и методы сбора, систематизации и обработки информации массовых явлений, процессов, множеств сведений. На примерах из практики горного производства иллюстрируется возможность использования классических вероятностных схем при статистическом анализе процессов горного производства, результатов массовых измерений, наблюдений, опробования и оценки качества минерального сырья.

Самостоятельная работа по освоению программы курса «Математическая статистика в горном деле» предполагает возможность получить консультацию и разъяснения по возникшим вопросам у преподавателя в отведенное для этого время.

Форма контроля, предусмотренная учебным планом - экзамен.; Теоретические вопросы дисциплины распределены по экзаменационным билетам. На подготовку отводится 40-60 минут. Оценка знаний производится в пятибалльной системе.

2.ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Конспект лекций является подсобным материалом при самостоятельной работе при освоении тем курса дисциплины. В разделе 5 данных «методических указаний » приведены ключевые вопросы каждой темы и ссылки на литературные источники, в которых они раскрываются. Работая с этой литературой целесообразно делать записи и пометки, которые помогут при подготовке к экзамену.

3.САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

Самостоятельная работа над дисциплиной «Математическая статистика в горном деле» включает в себя освоение теоретической части по рекомендуемым литературным источникам. Освоению теоретической части поможет раздел 5 данных «методических указаний», где весь курс дисциплины распределен по темам с указанием разделов в рекомендуемой литературе.

Содержание тем дисциплины

Содержание теоретических (лекционных) занятий

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи статистических исследований.

Тема 2: Виды случайных величин. Генеральная совокупность выборка

Понятие случайной величины. Условия применимости методов математической статистики к анализу информационных сведений. Понятие генеральной совокупности сведений. Выборки из генеральной совокупности сведений.

Тема 3: Обработка статистических сведений. Количественные характеристики и оценка представительности статистических сведений

Метод моментов. Геометрическая интерпретация первого и второго начального моментов. Оценка погрешностей статистических характеристик. Оценка значимости расхождения статистических характеристик двух независимых выборок. Основы закона больших чисел.

Тема 4: Основы корреляционного анализа. Парная корреляция. Корреляция трех совместных событий

Корреляция как понятие. Статистический анализ двух совместных событий. Корреляционное поле, метод обработки спорной корреляции. Количественные показатели корреляции и оценка их значимости. Корреляция

трех совместных событий как частный случай множественной корреляции, метод обработки.

Тема 5: Математические модели для описания эмпирических зависимостей. Многофакторные модели первого порядка

Виды математических моделей для представления зависимости между двумя показателями. Строгий и упрощенные методы определения неизвестных констант в уравнениях связи. Уравнения плоскостей и поверхностей параболического типа.

Тема 6: Законы статистических распределений случайных величин

Виды случайных величин (дискретные и непрерывные). Классические вероятностные схемы случайных событий, связь между характеристиками распределений случайных событий. Геометрические особенности распределений случайных величин. Нормальный закон распределения случайных величин и его значимость в системе естественных наук.

4.ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическим занятиям есть из составляющих общего процесса освоения дисциплины. Она включает в себя подбор необходимых методических материалов и средств для выполнения практических занятий.

5.ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ И ЭКЗАМЕНУ

Подготовка обучающихся к опросу и экзамену является заключительным этапом самостоятельной работы по освоению программы курса дисциплины «Математическая статистика в горном деле». Она состоит в проверке усвоенных знаний путем ответов на вопросы, которые представлены в «Методическом пособии», на основании которого составлены экзаменационные билеты.

Примеры вопросов в билетах

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

БИЛЕТ №

по дисциплине _____Математическая статистика в горном деле_____

содержание билета: 1. Краткая историческая справка становления статистики.

2.Объект, предмет, цель и задачи математической статистики.

Составил Гальянов А. В. "Утверждаю"
"6" марта 2019 г. Зав. кафедрой : В. А. Гордеев

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

БИЛЕТ №

по дисциплине Математическая статистика в горном деле

содержание билета: 1. Понятие о статистической совокупности. Генеральная совокупность. Виды выборок.

Составил Гальянов А. В. "Утверждаю"
"6" марта 2019 г. Зав. кафедрой : В. А. Гордеев

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

БИЛЕТ №

по дисциплине Математическая статистика в горном деле

содержание билета: 1. Основные положения Закона больших чисел.

Составил Гальянов А. В. "Утверждаю"
"6" марта 2019 г. Зав. кафедрой : В. А. Гордеев

6.ВОПРОСЫ ПО ТЕМАМ САМОПОДГОТОВКИ

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

1. Что такое математическая статистика. Объект, предмет, цель и задачи статистических исследований?
2. Назовите основные этапы развития и становления математической статистики?
3. Какие предпосылки стимулировали возникновение и развитие теории вероятностей и математической статистики?

[1-Введение, п.2.1-2.3]

Тема 2: Виды случайных величин. Генеральная совокупность, выборка

1. Раскройте сущность понятий случайная величина, случайное событие?
2. Какими основными признаками характеризуются случайные величины?
3. Раскройте сущность понятий качественная однородность, внешняя независимость, внутренняя связанность?
4. Что такое генеральная совокупность информационных сведений?

5. Какими количественными характеристиками оценивается совокупность случайных величин?
6. Что такое выборка из генеральной совокупности? Назовите виды выборки?
7. Какие принципы закладываются в требования к объему выборки?

[1-п.2.2-2.4, 2.6]

Тема 3: Обработка статистических сведений. Количественные характеристики и оценка представительности статистических сведений

1. Назовите формы представления статистических сведений?
2. Что такое частота, частость и вероятность появления события?
3. Каков физический и геометрический смысл среднего значения?
4. Что характеризует стандартное отклонение случайной величины?
5. Какова сущность понятий ошибка и погрешность измерений?
6. В чем состоит сущность метода моментов в процедуре вычислительных действий при статистической обработке?
7. Как оценить точность статистических характеристик?
8. Как оценить значимость расхождений средних значений двух независимых выборок?
9. Как оценить значимость расхождения стандартных отклонений двух не зависимых выборок?
10. В чем состоит сущность закона больших чисел?
11. Что характеризуют первый и второй начальные моменты в схеме обработки статистических данных?
12. Раскройте сущность классового интервала в схемах статистической обработки информационных сведений, какое условие закладывается в обоснование классового интервала?

[1-п.2.4,2.7,4.1-4.7]

Тема 4: Основы корреляционного анализа. Парная корреляция. Корреляция трех совместных событий

1. Что такое корреляция как понятие? Назовите основные термины и понятия корреляционного анализа?
2. Назовите основные задачи корреляционного анализа и примеры из практики горного производства?
3. Назовите критерий и его свойства при оценке точности связи между двумя совместными событиями?
4. Что такое корреляционное поле и как оно формируется?
5. Что такое коэффициент корреляции, его свойства и геометрическая интерпретация?
6. Объясните схему вычислений корреляционной таблицы?

7. Как рассчитываются статистические характеристики в корреляционном анализе?
8. В чем отличие между коэффициентом корреляции и корреляционном отношении?
9. В чем сущность «ложной» корреляции?
10. Назовите сущность корреляционного анализа качественных признаков и ранговой корреляции?

[1-п.5.1-5.7]

Тема 5: Математические модели для описания эмпирических зависимостей. Многофакторные модели первого порядка

1. Назовите виды математических моделей двух переменных величин?
2. Покажите на примере сущность метода наименьших квадратов определения констант в математических моделях, аппроксимирующих экспериментальные данные?
3. Покажите на примере упрощенный способ решения параболических моделей аппроксимации опытных данных?
4. Покажите на примере упрощенный способ решения степенной функции, аппроксимирующей опытные данные?
5. Покажите на примере упрощенный способ решения показательной функции, аппроксимирующей опытные данные?
6. Как оценить тесноту связи между двумя показателями, которая аппроксимируется нелинейной функцией?

[1-п.6,7]

Тема 6: Законы статистических распределений случайных величин

1. Назовите сущность альтернативных событий. Вероятностная схема Бернулли как основа биномиального закона распределения?
2. Расскажите сущность вероятностной схемы распределения Пуассона. Основные соотношения между вероятностными характеристиками?
3. Назовите особенности закона равномерного распределения случайных событий?
4. Назовите особенности экспоненциального закона распределения случайностей событий?
5. Назовите особенности вероятностной схемы случайных событий, приводящих к нормальному закону распределения. Распределение случайных ошибок как модель нормального распределения?
6. В чем геометрическая сущность распределения Рэлея?

[1-п.8,9]

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гальянов А.В. Математическая обработка результатов измерений: учебное пособие. Изд.:2-е, испр., доп. / А.В. Гальянов; Урал.гос.горный ун-т.т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2010. 316 с.
2. Теория ошибок измерений и уравнительные вычисления: учеб. пособие / В.А. Гордеев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. - 429 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гордеев В.А., Раева О.С.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

1. ЗАДАЧИ НА НОРМАЛЬНЫЙ ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБОК

При решении задач на нормальный закон распределения ошибок применяются следующие основные формулы:

нормированная ошибка измерений

$$z = \Delta/\sigma; \tag{1.1}$$

функция плотности распределения нормированных ошибок

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}; \tag{1.2}$$

вероятность появления ошибки в интервале (a, b)

$$P(a < \Delta < b) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1) = \Phi\left(\frac{b}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right); \tag{1.3}$$

функция Лапласа

$$\Phi(z) = 0{,}5[1 - e^{-0{,}794z(1+0{,}418z+0{,}028z^2)}]; \tag{1.4}$$

аргумент функции Лапласа

$$z_P = \frac{1{,}236\sqrt{-\ln(1-P^2)}}{1 - 0{,}0255\sqrt{-\ln(1-P^2)}}, \tag{1.5}$$

где Δ – случайная ошибка измерений; σ – стандартное отклонение (стандарт) распределения; P – двухсторонняя вероятность.

Решение задач на нормальный закон распределения ошибок сопровождается для наглядности построением стандартной кривой ошибок.

Ординаты стандартной кривой ошибок вычисляются по формуле (1.2) и приведены в табл. 1.1.

График функции $f(z)$ имеет вид симметричной относительно оси ординат колоколообразной кривой, концы которой асимптотически приближаются к оси абсцисс (рис. 1.1).

Таблица 1.1

z	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0
$f(z)$	0,40	0,35	0,24	0,13	0,05	0,02	0,004

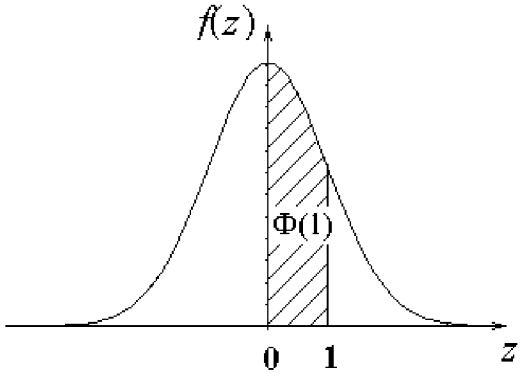


Рис. 1.1. График функции нормированных ошибок

Для перехода от нормированных ошибок к истинным следует, в соответствии с формулой (1.1), перемножить значения z на величину стандарта.

Свойства функции Лапласа:

$$\Phi(0) = 0, \quad \Phi(-a) = -\Phi(a), \quad \Phi(\infty) = 0{,}5, \quad \Phi(-\infty) = -0{,}5. \quad (1.6)$$

Задача 1.1. Горизонтальный угол измеряется теодолитом 2Т5К одним приемом. Рассчитать вероятность появления ошибок в интервале (-5", 10"). Принять $\sigma = 5"$.

Построим график стандартной кривой ошибок, выполним разметку сопряженной оси ошибок и штриховкой покажем площадь под кривой ошибок, которой соответствует искомая вероятность (рис. 1.2).

Расчеты производятся по формулам (1.3) и (1.4)

$$P(-5" < \Delta < 10") = P(-1 < z < 2) = \Phi(2) - \Phi(-1) = \Phi(2) + \Phi(1) =$$

$$= 0{,}447 + 0{,}341 = 0{,}818.$$

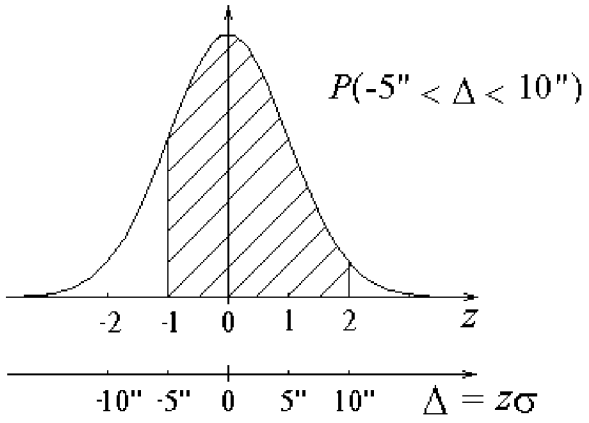


Рис. 1.2. График к задаче 1.1

Задача 1.2. ("правило трех сигм"). Вычислить вероятность того, что ошибка по абсолютной величине не превысит 3σ:

$$P(|\Delta| < 3\sigma) = P(|z| < 3) = 2\Phi(3) = 2 \cdot 0{,}4987 = 0{,}997.$$

Следовательно, вероятность превышения ошибкой предела 3σ составит

$$P(|\Delta| > 3\sigma) = 1 - P(|\Delta| < 3\sigma) = 1 - 0{,}9973 = 0{,}0027.$$

Это очень маленькая вероятность, примерно равная вероятности выпадения герба 8 раз подряд при подбрасывании монеты. События с такой вероятностью появления называют *редкими*. Поэтому на практике часто для выявления грубых ошибок пользуются *"правилом трех сигм"* – ошибки, которые превышают тройную точность измерений, являются грубыми.

Задача 1.3. Определить вероятность появления ошибок, не превышающих по абсолютной величине 3 мм, если стандарт измерения равняется 5 мм.

Переходя по формуле (1.1) от истинных ошибок к нормированным, а также используя формулы (1.3) и (1.6), получаем следующее выражение для искомой вероятности:

$$P(|\Delta| < 3 \text{ мм}) = P(|z| < 0{,}6) = \Phi(0{,}6) - \Phi(-0{,}6) = 2\Phi(0{,}6).$$

Подставив значение $z = 0{,}6$ в формулу (1.4), получим $\Phi(0{,}6) = 0{,}226$, откуда $P(|\Delta| < 3 \text{ мм}) = 0{,}452$.

При решении обратной задачи, когда по известной вероятности появления ошибок, меньших некоторой величины, требуется найти стандарт измерения, используется свойство симметричности кривой ошибок.

Задача 1.4. Определить стандарт измерения, если вероятность появления ошибок, превышающих по абсолютной величине 10″, равняется 0,26.

Из $P(|\Delta| > 10'') = 0{,}26$ следует, что $P(|\Delta| < 10'') = 1 - 0{,}26 = 0{,}74$.

Решение задачи сводится к отысканию аргумента z функции Лапласа $\Phi(z)$ при известном значении вероятности $P = 0{,}74$. Применив формулу (1.5), получим

$$z_P = \frac{1{,}236\sqrt{-\ln(1-0{,}74^2)}}{1-0{,}0255\sqrt{-\ln(1-0{,}74^2)}} = 1{,}103.$$

2. ОБРАБОТКА РАВНОТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Предполагается, что произведены многократные измерения одной величины или двойные измерения ряда однородных величин, результаты которых являются независимыми и содержат только случайные ошибки, распределенные по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием $M(\Delta) = 0$ и стандартом σ.

Обозначения (см. также п.1):

$x_1, x_2, \ldots x_n$ – совокупность равноточных результатов многократных измерений одной величины $\{x_i\}_{i=1}^{n}$;

n – число измерений;

i – порядковый номер измерения (результата измерения);

X – истинное значение измеренной величины;

$\hat{X}$ – оценка истинного значения измеренной величины;

m – средняя квадратическая ошибка (СКО), рассчитанная по истинным ошибкам;

m_1 – СКО, рассчитанная по отклонениям результатов измерений от средней арифметической;

m_2 – СКО, рассчитанная по разностям двойных измерений;

x_i', x_i'' – результаты *i*-й пары двойных измерений;

k – число пар двойных измерений;

X_P – доверительный интервал для истинного значения измеренной величины;

σ_P – доверительный интервал для стандарта измерения;

P – доверительная вероятность;

z_P – процентная точка нормального распределения;

$t_{\nu,P}$ – процентная точка распределения Стьюдента;

$\chi^2_{\nu,P}$ – процентная точка хи-квадрат распределения (распределения Пирсона);

$\chi^2_н, \chi^2_в$ – соответственно нижняя и верхняя квантили хи-квадрат распределения;

ν – число степеней свободы;

[ ] – обозначение суммы *n* однородных слагаемых.

Основные формулы:

истинная ошибка *i*-о результата измерения

$$\Delta_i = x_i - X, \tag{2.1}$$

отклонение *i*-о результата измерения от средней арифметической

$$\delta_i = x_i - \bar{x}, \tag{2.2}$$

i-я разность результатов двойных измерений

$$d_i = x_i' - x_i'', \tag{2.3}$$

средняя арифметическая результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{[x]}{n}, \tag{2.4}$$

расчет средней квадратической ошибки:

формула Гаусса

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \tag{2.5}$$

формула Бесселя

$$m_1 = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}, \tag{2.6}$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{[d^2]}{2k}}, \tag{2.7}$$

СКО средней арифметической

$$m_{\bar{x}} = \frac{m_1}{\sqrt{n}}, \tag{2.8}$$

оценка истинного значения измеренной величины

$$\hat{X} = \bar{x}, \tag{2.9}$$

доверительные интервалы (интервальные оценки):
истинного значения измеренной величины

$$X_P = \bar{x} \pm z_P \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \tag{2.10}$$

$$X_P = \bar{x} \pm t_{\nu,P} \frac{m_1}{\sqrt{n}}, \qquad (\nu = n-1), \tag{2.11}$$

стандарта измерения

$$\sigma_P = m \sqrt{\frac{n}{\chi^2_{\nu,\frac{1\pm P}{2}}}} = m \sqrt{\frac{n}{\chi^2_{в,н}}}, \qquad (\nu = n), \tag{2.12}$$

$$\sigma_P = m_1 \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{в,н}}}, \qquad (\nu = n-1), \tag{2.13}$$

$$\sigma_P = m_2 \sqrt{\frac{k}{\chi^2_{в,н}}}, \qquad (\nu = k), \tag{2.14}$$

формулы вычисления квантилей статистических распределений:

$$t_{\nu,P} = z_P \left(1 - \frac{z_P^2 + 1}{4(n-1)}\right)^{-1}, \tag{2.15}$$

при доверительной вероятности $P = 0{,}95$:

$$\chi^2_{в,н} = \nu + 1{,}894 \pm 2{,}772\sqrt{\nu} \mp \frac{0{,}4864}{\sqrt{\nu}}. \tag{2.16}$$

В формуле (2.16) верхние знаки используются при вычислении верхней квантили, а нижние знаки – при вычислении нижней квантили.

Возможны четыре случая обработки равноточных результатов измерений: известно истинное значение измеренной величины, но не известен стандарт измерения; известен стандарт, но не известно истинное значение измеренной величины; не известны ни стандарт, ни истинное значение измеренной величины; известны двойные измерения. Наиболее часто встречаются последние два случая.

В зависимости от ситуации применяются различные формулы обработки, схема обработки приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Порядок обработки равноточных результатов измерений и применяемые формулы

Исходные данные		1 случай	2 случай	3 случай	4 случай
		$\{x_i\}_{i=1}^n, X$	$\{x_i\}_{i=1}^n, \sigma$	$\{x_i\}_{i=1}^n$	$\{d_i\}_{i=1}^k$
Вычисляемые значения	$\hat{X}$		(2.4)	(2.4)	
	$\hat{\sigma}$	(2.5)		(2.6)	(2.7)
	$m_{\bar{x}}$		σ/n	(2.8)	
	X_P		(2.10)	(2.11)	
	σ_P	(2.12)		(2.13)	(2.14)

При вычислении оценки в ответе следует оставлять на одну значащую цифру больше, чем их содержится в результатах измерений. Точечные и интервальные оценки стандартов вычисляют с двумя значащими цифрами. Интервальные оценки истинного значения измеренной величины должны содержать столько же значащих цифр, что и результаты измерений.

Задача 2.1. Равноточно 8 раз измерена сторона теодолитного хода (табл. 2.2). Произвести обработку данных по полной программе. Интервальные оценки вычислить при доверительной вероятности $P = 0{,}95$.

Таблица 2.2

Обработка равноточных результатов многократных измерений

x_i	ε_i, мм	ε^2	δ_i, мм	δ^2
110,306	+6	36	-5,8	34
305	+5	25	-6,8	46
331	+31	961	+19,2	369
322	+22	484	+10,2	104
313	+13	169	+1,2	1
298	-2	4	-13,8	190
326	+26	676	+14,2	202
293	-7	49	-18,8	353
Σ	**+94**	**2404**	**-0,4**	**1299**

Оценку истинного значения измеренной величины производим по формуле (2.4) с помощью выделения постоянной части результатов измерения $x_0 = 110{,}300$ м:

$$\hat{X} = \bar{x} = x_0 + \frac{[\varepsilon]}{n}, \qquad (2.17)$$

где $\varepsilon_i = x_i - x_0$ – переменная часть i-о результата измерения, мм.

$$\hat{X} = 110{,}300 + 94 \cdot 10^{-3}/8 = 110{,}311_8 \text{ м}.$$

Отклонения δ_i вычисляются в миллиметрах по формуле (2.2). Контроль правильности вычисления $\bar{x}$, δ_i, $[\delta^2]$ осуществляется по формулам:

$$[\delta] = 0, \qquad (2.18)$$

$$[\varepsilon^2]-\frac{[\varepsilon]^2}{n}=[\delta^2]. \qquad (2.19)$$

Из-за погрешностей округлений сумма [δ] может несколько отличаться от нуля. Расхождение не должно превышать произведения числа измерений на половину десятичного разряда, сохраненного в записи средней арифметической, т. е. в нашем случае 0,05 мм · 8 мм = = 0,4 мм.

Контроль по формуле (2.19) также сходится:

$$[\varepsilon^2]-\frac{[\varepsilon]^2}{n}=2404-\frac{94^2}{8}=1300\approx[\delta^2]=1299.$$

Средняя квадратическая ошибка измерений (2.6)

$$m_1=\sqrt{\frac{1299}{7}}=13{,}6 \text{ мм}.$$

СКО средней арифметической (2.8)

$$m_{\bar{x}}=\frac{13{,}6}{\sqrt{8}}=4{,}8 \text{ мм}.$$

Интервальные оценки истинного значения измеренной величины (рис. 2.1, *а*) при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ (2.11):

$$X_{P=0,95}=110{,}311_8\pm 2{,}36\frac{13{,}6}{\sqrt{8}}\cdot 10^{-3}=110{,}300\ldots 110{,}323 \text{ м}.$$

Интервальные оценки стандарта измерения (рис. 2.1, *б*) при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ (2.13)

$$\sigma_{P=0,95}=13{,}6\sqrt{\frac{7}{\chi^2_{в,н}}}=9{,}3\ldots 21{,}3 \text{ мм},$$

$$\chi^2_{в,н}=7+1{,}894\pm 2{,}772\sqrt{7}\mp\frac{0{,}4864}{\sqrt{7}}=15{,}0 \text{ и } 2{,}8.$$

Отметим, что в отличие от доверительного интервала для истинного значения измеренной величины, интервал для стандарта асимметричен относительно СКО.

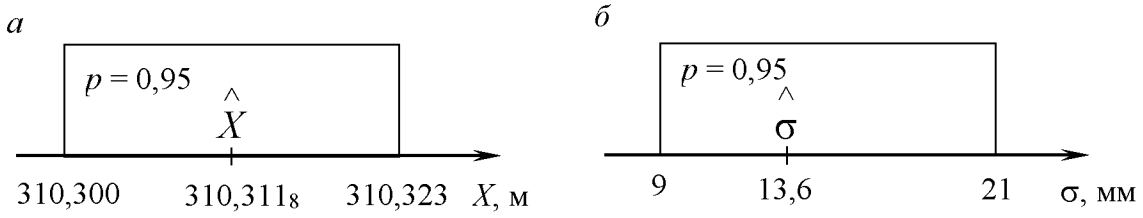


Рис. 2.1. Интервальные оценки истинного значения измеренной величины *а* и стандарта измерения *б*

Задача 2.2. Обработать результаты двойных измерений углов (табл. 2.3). Интервальную оценку стандарта построить при доверительной вероятности $P = 0{,}95$.

Таблица 2.3

Обработка равноточных результатов двойных измерений

β′	β″	d''	d^2
30°45′11″	30°45′08″	+3	9
42°18′48″	42°18′50″	-2	4
70°38′40″	70°38′45″	-5	25
200°45′04″	200°45′10″	-6	36
87°27′11″	87°27′05″	+6	36
90°56′15″	90°56′20″	-5	25
210°32′03″	210°32′05″	-2	4
42°17′22″	42°17′20″	+2	4
62°14′26″	62°14′27″	-1	1
92°13′45″	92°13′44″	+1	1
263°48′04″	263°48′00″	+4	16
37°28′03″	37°28′04″	-1	1
			$[d^2] = 162$

Средняя квадратическая ошибка измерений (2.7)

$$m_2 = \sqrt{\frac{162}{2 \cdot 12}} = 2{,}6''.$$

Интервальные оценки стандарта измерения при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ (2.14)

$$\sigma_{P=0,95} = 2{,}6\sqrt{\frac{12}{\chi^2_{в,н}}} = 1{,}9'' \ldots 3{,}7'',$$

$$\chi^2_{в,н} = 12 + 1{,}894 \pm 2{,}772\sqrt{12} \mp \frac{0{,}4864}{\sqrt{12}} = 21{,}8 \text{ и } 6{,}0.$$

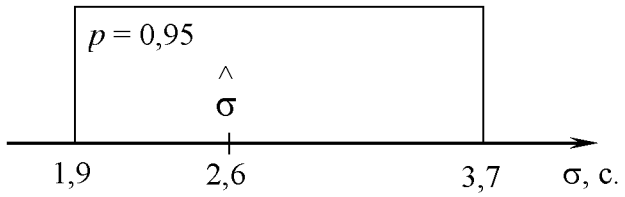


Рис. 2.2. Интервальные оценки стандарта измерения

3. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФУНКЦИЙ ОТ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Обозначения:

$F(A_1,\ldots, A_n)$ – функция от измеренных аргументов $A_1, A_2,\ldots, A_n$;

m_F – СКО функции;

m_{Ai} – СКО i-о аргумента;

$m_{отн}$ – относительная СКО ошибка;

ρ°, ρ', ρ'' – соответственно число градусов, минут или секунд в одном радиане.

Основные формулы:

СКО функции от измеренных величин

$$m_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial A_1} m_{A_1}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial F}{\partial A_n} m_{A_n}\right)^2} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial F}{\partial A} m_A\right)^2\right]}; \qquad (3.1)$$

относительные СКО функции и аргументов:

$$m_{F_{отн}} = \frac{m_F}{F}, \quad m_{A_{отн}} = \frac{m_A}{A}; \qquad (3.2)$$

число градусов, минут или секунд в одном радиане (коэффициенты для перевода в радианную меру):

$$\rho^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \approx 57{,}3^{\circ},$$
$$\rho' = \frac{180 \cdot 60'}{\pi} \approx 3438', \qquad (3.3)$$
$$\rho'' = \frac{180 \cdot 60 \cdot 60''}{\pi} \approx 206265''.$$

При решении задач хорошим контролем является проверка на размерность, поэтому для вычисленных значений частных производных необходимо указывать единицы измерения. Если аргументами оцениваемой функции являются смешанные величины – угловые и линейные, то СКО измерения угловых величин следует делить на коэффициенты перевода в радианную меру.

Задача 3.1. Оценить высотную отметку H и точность ее передачи тригонометрическим нивелированием при следующих исходных данных: наклонная длина L = 112,34 м, относительная средняя квадратическая ошибка измерения длины $m_{L_{\text{отн}}}$ = 1/2000, угол наклона δ = = 5°04′,5, средние квадратические ошибки: $m_{\delta} = 1'$, $m_i = m_{\nu} = 0{,}5$ см, высота инструмента равняется высоте визирования $i = \nu$ = 1,43 м, СКО высотной отметки исходной точки m_{H_0}, высотная отметка исходной точки H_0 = 210,34 м.

$$\hat{H}_1 = H_0 + L \cdot \sin\delta + i - \nu = 220{,}28 \text{ м}.$$

Аргументами оцениваемой функции H_1 являются H_0, L, δ, i, ν. Следовательно, в соответствии с формулой (3.1)

$$m_{H_1} = \sqrt{\left(\frac{\partial H_1}{\partial H_0} m_{H_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_1}{\partial L} m_L\right)^2 + \left(\frac{\partial H_1}{\partial \delta} \cdot \frac{m_{\delta}}{\rho'}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_1}{\partial i} m_i\right)^2 + \left(\frac{\partial H_1}{\partial \nu} m_{\nu}\right)^2}.$$

Вычисляем значения частных производных и, при необходимости, средних квадратических ошибок аргумента:

$$\frac{\partial H_1}{\partial H_0}=1,\ \frac{\partial H_1}{\partial L}=\sin\delta=0{,}09,\ \frac{\partial H_1}{\partial \delta}=L\cdot\cos\delta=112\ \text{м},$$

$$\frac{\partial H_1}{\partial i}=1,\ \frac{\partial H_1}{\partial \nu}=1,\ m_L=L\cdot m_{L_{отн}}=\frac{112{,}34\,\text{м}}{2000}=0{,}056\ \text{м}.$$

Выразив СКО линейных измерений в метрах, получим:

$$m_{H_1}=\sqrt{1\cdot10^{-4}+2{,}5\cdot10^{-5}+1{,}06\cdot10^{-3}+2{,}5\cdot10^{-5}+2{,}5\cdot10^{-5}}=$$

$$=\sqrt{1{,}24\cdot10^{-3}\,\text{м}^2}=0{,}04\ \text{м}.$$

Величина средней квадратической ошибки функции округляется либо до двух значащих цифр, либо до последнего десятичного знака значения самой функции.

Если аргументы заданы результатами многократных измерений, то оценка функции производится по средним арифметическим результатам измерений каждого аргумента, а средняя квадратическая ошибка функции вычисляется через средние квадратические ошибки аргументов (а не через стандарты или их оценки!).

Задача 3.2. В треугольнике измерены углы A и B. Оценить истинное значение и точность определения третьего угла C.

A	B
35°20′37″	100°24′22″
35°19′48″	100°24′48″
35°21′20″	100°24′14″
	100°24′36″

Оценкой истинного значения угла C будет являться дополнение суммы оценок измеренных углов до 180°:

$$\hat{C}=180^\circ-\overline{A}-\overline{B}.$$

Так как результаты измерений каждого угла равноточные между собой, то наилучшие оценки углов вычисляются по формуле (2.4):

$$\overline{A} = 35^\circ 20' 35'', \quad \overline{B} = 100^\circ 24' 30''.$$

Средняя квадратическая ошибка каждой из этих оценок определяется по формуле (2.8), для чего предварительно находятся средние квадратические ошибки однократного измерения углов A и B по формуле (2.6):

$$m_{1A} = 46'', \quad m_{1B} = 15'',$$

$$m_{\overline{A}} = 27'', \quad m_{\overline{B}} = 8''.$$

Таким образом, окончательно получим:

$$\hat{C} = 180^\circ - 35^\circ 20' 35'' - 100^\circ 24' 30'' = 44^\circ 14' 55'',$$

$$m_c = \sqrt{27^2 + 8^2} = 28''.$$

Если функция представляет собой произведение аргументов, удобно перейти к относительным СКО.

Задача 3.3. Оценить точность определения площади треугольника по двум сторонам и углу между ними. Исходные данные: стороны треугольника a = 106,12 м ± 0,05 м (запись обозначает, что измеренное значение стороны 106,12 м, а средняя квадратическая ошибка 0,05 м), b = 82,46 ± 0,04 м, угол $\gamma = 46^\circ 10' \pm 1'$.

Площадь треугольника определяется по формуле:

$$S = 0{,}5a \cdot b \cdot \sin\gamma\,.$$

Средняя квадратическая ошибка площади треугольника:

$$\overline{m}_s = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial a} m_a\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial b} m_b\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial \gamma} \cdot \frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2}\,.$$

Значения частных производных удобно выразить через площадь:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0{,}5b \cdot \sin\gamma = \frac{S}{a}, \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 0{,}5a \cdot \sin\gamma = \frac{S}{b},$$

$$\frac{\partial S}{\partial \gamma} = 0{,}5a \cdot b \cdot \cos\gamma = \frac{S}{\sin\gamma}\cos\gamma = \frac{S}{\mathrm{tg}\gamma}.$$

После подстановки частных производных в формулу средней квадратической ошибки площади и алгебраических преобразований:

$$\overline{m}_S = S\sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\rho \cdot \mathrm{tg}\gamma}\right)^2}, \text{ или}$$

$$m_{S_{отн}} = \sqrt{m_{a_{отн}}^2 + m_{b_{отн}}^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\rho \cdot \mathrm{tg}\gamma}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0{,}05}{106{,}12}\right)^2 + \left(\frac{0{,}04}{82{,}46}\right)^2 \left(\frac{1'}{3438' \cdot \mathrm{tg}46^\circ 10'}\right)^2} = 7{,}3 \cdot 10^{-4} = 0{,}07\,\%.$$

Напомним, что относительные ошибки площадей и объемов следует выразить в процентах, линейных измерений – аликвотной дробью (в числителе единица). Ошибки угловых измерений в относительной мере не выражаются.

Приведем пример неправильной оценки точности функции, когда формула (3.1) применяется к зависимым аргументам.

Задача 3.4. В треугольнике измерена сторона a = 36,10 м с относительной ошибкой $\frac{1}{1000}$ и углы $\alpha = 40^\circ 12' \pm 3'$ и $\beta = 72^\circ 46' \pm 4'$ (рис. 3.1). Оценить точность определения стороны c.

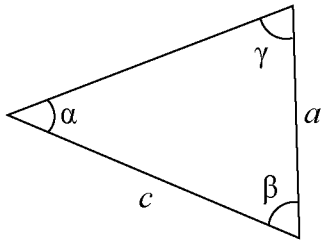


Рис. 3.1. Рисунок к задаче 3.4

По теореме синусов получим выражение для вычисления стороны c:

$$c = \frac{a \cdot \sin(180^\circ - \alpha - \beta)}{\sin\alpha} = \frac{a \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin\alpha} = 51{,}50 \text{ м}.$$

Неверно производить дальнейшие расчеты через γ:

$$c = \frac{a \cdot \sin\gamma}{\sin\alpha}, \quad \gamma = 180^\circ - \alpha - \beta = 67^\circ 02',$$

$$m_c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial a} m_a\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \gamma} \cdot \frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \alpha} \cdot \frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2}, \qquad (3.4)$$

$$m_\gamma = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5',$$

$$\frac{\partial c}{\partial a} = \frac{\sin\gamma}{\sin\alpha} = \frac{c}{a}, \quad \frac{\partial c}{\partial \gamma} = \frac{a \cdot \cos\gamma}{\sin\alpha} = \frac{c}{\operatorname{tg}\gamma}.$$

$$\frac{m_c}{c} = m_{c_{\text{отн}}} = \sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\operatorname{tg}\gamma \cdot \rho}\right)^2 + \left(-\frac{m_\alpha}{\operatorname{tg}\alpha \cdot \rho}\right)^2} = \frac{1}{639}.$$

Полученный ответ является неправильным, т. к. в формуле (3.4) аргументы оцениваемой функции γ и α - зависимы (угол γ содержит те же ошибки, что и угол α).

По условиям задачи независимо измеренными величинами являются углы α и β. Поэтому оценивать следует выражение

$$c = \frac{a \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}, \text{ откуда}$$

$$m_c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial a} m_a\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \alpha} \cdot \frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial \beta} \cdot \frac{m_\beta}{\rho}\right)^2},$$

$$\frac{\partial c}{\partial \alpha} = \frac{a[\sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \beta) - \cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \beta)]}{\sin^2 \alpha} = \frac{-a \cdot \sin \beta}{\sin^2 \alpha} = \frac{-c \cdot \sin \beta}{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \beta)},$$

$$\frac{\partial c}{\partial \beta} = \frac{a \cdot \cos(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} = \frac{c}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}.$$

$$\frac{m_c}{c} = \sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha \cdot \sin \beta}{\rho \cdot \sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \beta)}\right)^2 + \left(\frac{m_\beta}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta) \cdot \rho}\right)^2} = \frac{1}{558}.$$

4. ОБРАБОТКА НЕРАВНОТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Предполагается, что произведены многократные измерения одной величины или двойные измерения ряда однородных величин, результаты которых являются независимыми и содержат только случайные ошибки, распределенные по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием $M(\Delta) = 0$ и стандартами $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$.

Обозначения (см. также п.2):

$x_1, x_2, \ldots x_n$ – совокупность неравноточных результатов многократных измерений одной величины $\{x_i\}_{i=1}^n$;

$p_1, p_2, \ldots p_n$ – совокупность весов результатов измерений;

μ_0 – стандарт единицы веса;

μ – ошибка единицы веса, рассчитанная по истинным ошибкам;

μ_1 – ошибка единицы веса, рассчитанная по отклонениям результатов измерений от средней взвешенной;

μ_2 – ошибка единицы веса, рассчитанная по разностям двойных измерений;

$\hat{\mu}_0$ – оценка стандарта единицы веса;

p_{d_i} – вес i-й разности результатов измерений;

μ_{0P} – интервальная оценка стандарта единицы веса при заданной доверительной вероятности P.

Основные формулы:

средняя взвешенная результатов измерений (точечная оценка истинного значения измеренной величины)

$$\hat{X} = \tilde{x} = \frac{[px]}{[p]}, \tag{4.1}$$

вес результата измерений при известном значении стандарта единицы веса

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{m_{x_i}^2}, \tag{4.2}$$

вес результата измерений при неизвестном стандарте единицы веса

$$p_i = \frac{c^2}{m_{x_i}^2}, \tag{4.3}$$

где c – положительное число, близкое по величине к значениям СКО результатов измерений.

Расчет ошибки единицы веса:

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\Delta^2]}{n}}; \tag{4.4}$$

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{n-1}}; \tag{4.5}$$

$$\mu_2 = \sqrt{\frac{[p_d d^2]}{k}}. \tag{4.6}$$

Интервальные оценки:

истинного значения измеренной величины

$$X_P = \widetilde{x} \pm z_P \frac{\mu_0}{\sqrt{[p]}}, \tag{4.7}$$

$$X_P = \widetilde{x} \pm t_{\nu,P} \frac{\mu_1}{\sqrt{[p]}}, \qquad (\nu = n-1), \tag{4.8}$$

стандарта единицы веса

$$\mu_0 = \mu \sqrt{\frac{n}{\chi^2_{в,н}}}, \qquad (\nu = n), \tag{4.9}$$

$$\mu_0 = \mu_1 \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{в,н}}}, \qquad (\nu = n-1), \tag{4.10}$$

$$\mu_0 = \mu_2 \sqrt{\frac{k}{\chi^2_{в,н}}}, \qquad (\nu = k), \tag{4.11}$$

вес разности результатов измерений

$$p_d = \frac{p_1 p_2}{(p_1 + p_2)}, \tag{4.12}$$

СКО средней взвешенной

$$m_{\widetilde{x}} = \frac{\mu_0}{\sqrt{[p]}}, \tag{4.13}$$

$$m_{\widetilde{x}} = \frac{\mu_1}{\sqrt{[p]}}, \tag{4.14}$$

СКО *i*-о результата измерения

$$m_{x_i} = \frac{\mu_1}{\sqrt{p_{x_i}}}. \tag{4.15}$$

Возможны четыре случая обработки результатов неравноточных измерений: известно истинное значение измеренной величины, но не известен стандарт единицы веса; известен стандарт единицы веса, но не известно истинное значение измеренной величины; не известны ни стандарт единицы веса, ни истинное значение измеренной величины; известны двойные измерения. Наиболее часто встречаются последние два случая.

В зависимости от ситуации применяются различные формулы обработки, схема обработки приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Порядок обработки неравноточных результатов измерений и применяемые формулы

Исходные данные		1 случай	2 случай	3 случай	4 случай
		$\{x_i\}_{i=1}^{n}, X$	$\{x_i\}_{i=1}^{n}, \mu_0$	$\{x_i\}_{i=1}^{n}$	$\{d_i\}_{i=1}^{k}$
Вычисляемые значения	веса p		(4.2)	(4.3)	(4.12)
	$\hat{X}$		(4.1)		
	μ	(4.4)		(4.5)	(4.6)
	$m_{\tilde{x}}$		(4.13)	(4.14)	
	X_P		(4.7)	(4.8)	
	μ_{0P}	(4.9)		(4.10)	(4.11)
	m_{x_i}	(4.15)			

При вычислении оценки в ответе следует оставлять на одну значащую цифру больше, чем их содержится в результатах измерений. Веса, точечные и интервальные оценки стандартов вычисляют с двумя значащими цифрами. Интервальные оценки должны содержать столько же десятичных знаков, что и результаты измерений.

Задача 4.1. Даны результаты измерений базиса, выполненных пятью различными способами. Первый результат получен как среднее арифметическое из двух измерений первым способом, точность которого характеризуется СКО m = 10 мм, второй результат получен из 8 измерений вторым способом, точность которого – m = 20 мм и т. д. (см. табл. 4.2). Оценить истинное значение длины базиса и точность измерений каждым способом.

Таблица 4.2

Обработка неравноточных многократных измерений

x_i, м	m, мм	n	m_x	p_x	ε	$p\varepsilon$	$p\varepsilon^2$	δ	$p\delta$	$p\delta^2$	$\hat{m}$
225,374	10	2	7,1	2,0	+24	+48,0	1152	+6,5	+13,0	84	10
357	20	8	7,1	2,0	+7	+14,0	98	-10,5	-21,0	220	20
370	18	7	6,8	2,2	+20	+44,0	880	+2,5	+5,5	14	18
363	15	4	7,5	1,8	+13	+23,4	304	-4,5	-8,1	36	15
372	16	6	6,5	2,3	+22	+50,6	1113	+4,5	10,4	48	16
Σ				**10,3**		**180**	**3547**		**-0,2**	**401**	

Так как каждый результат x_i есть среднее арифметическое из неизвестных нам равноточных результатов измерений базиса каждым способом, то СКО каждого измерения вычисляется по формуле:

$$m_{x_i} = \frac{m_i}{\sqrt{n_i}}.$$

Приравняем в формуле (4.3) постоянную c к СКО однократного измерения базиса первым способом. Тогда:

$$p_{x_i} = \frac{c^2}{m_{x_i}^2} = \frac{m_1^2 n_i}{m_i^2}. \qquad (4.16)$$

Оценку истинного значения измеренной величины производим по формуле (4.1) с помощью выделения постоянной части результатов измерений $x_0 = 225{,}350$ м:

$$\hat{X} = \tilde{x} = x_0 + \frac{[p\varepsilon]}{[p]} = 225{,}350 + \frac{180 \cdot 10^{-3}}{10{,}3} = 225{,}367_5 \text{ м},$$

где $\varepsilon_i = x_i - x_0$ – переменная часть i-о результата измерения, мм.

Отклонения δ_i вычисляются в миллиметрах по формуле $\delta_i = x_i - \tilde{x}$. Контроль правильности вычисления $\tilde{x}$, δ_i, $[\delta^2]$ осуществляется по формулам:

$$[p\delta] = 0, \qquad (4.17)$$

$$[p\varepsilon^2]-\frac{[p\varepsilon]^2}{[p]}=[p\delta^2]. \qquad (4.18)$$

Для наших условий

$$[p\delta] = -0{,}2 \approx 0,$$

$$[p\varepsilon^2]-\frac{[p\varepsilon]^2}{[p]}=401{,}4\approx[p\delta^2]=401.$$

Ошибка единицы веса (4.5)

$$\mu_1=\sqrt{\frac{[p\delta^2]}{n-1}}=\sqrt{\frac{401}{4}}=10{,}0 \text{ мм}.$$

СКО средней взвешенной (4.14)

$$m_{\tilde{x}}=\frac{\mu_1}{\sqrt{[p]}}=\frac{10{,}0}{\sqrt{10{,}3}}=3{,}1 \text{ мм}.$$

Интервальные оценки истинного значения измеренной величины (рис. 4.1, *а*) при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ (4.8):

$$X_{P=0,95}=225{,}367_5\pm 2{,}73\frac{13{,}6}{\sqrt{8}}\cdot 10^{-3}=225{,}359\ldots 225{,}376 \text{ м}.$$

Интервальные оценки стандарта единицы веса (рис. 4.1, *б*) при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ (4.10)

$$\mu_{0P=0,95}=10{,}0\sqrt{\frac{4}{\chi^2_{в,н}}}=6{,}2\ldots 17{,}4 \text{ мм}.$$

$$\chi^2_{в,н}=4+1{,}894\pm 2{,}772\sqrt{4}\mp\frac{0{,}4864}{\sqrt{4}}=10{,}5 \text{ и } 1{,}3.$$

Оценки стандартов измерений каждым способом рассчитаем по формуле (4.16):

$$m_i = \mu_1 \sqrt{n_i / p_x}.$$

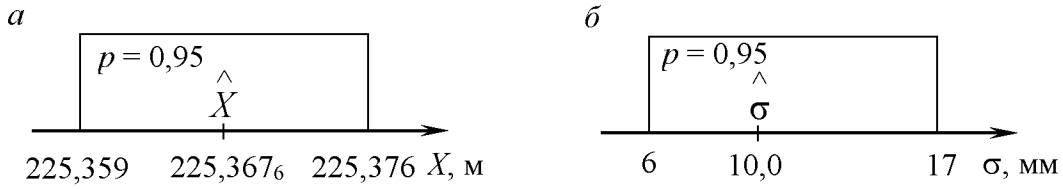


Рис. 4.1. Интервальные оценки истинного значения измеренной величины *а* и стандарта измерения *б*

Задача 4.2. Дирекционный угол первой стороны подземного полигонометрического хода 5 раз определялся геометрическим ориентированием и 4 раза – гироскопическим:

геометрическое ориентирование	гироскопическое ориентирование
223°15′24″	223°15′28″
15′21″	15′34″
17′10″	16′11″
15′06″	16′49″
17′16″	

Оценить истинное значение дирекционного угла и точность однократного ориентирования каждым способом.

Задачу можно было бы решить, обрабатывая результаты ориентирования каждым способом по методике обработки равноточных результатов измерений. Однако в этом случае будет использована не вся информация, а только ее части, которые относятся к каждому способу в отдельности. Полное решение основано на предположении о неравноточности результатов измерений, полученных из геометрического и гироскопического ориентирований.

Действительно, по формуле (2.6) легко подсчитать средние квадратические ошибки $m_{геом}$ и $m_{гир}$ – соответственно геометрического и гироскопического ориентирований:

$$m_{геом} = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{16351}{4}} = 63{,}9'', \quad m_{гир} = \sqrt{\frac{4221}{3}} = 37{,}5''.$$

Так как СКО получены при различном числе измерений, для вычисления весов пользуемся формулой (4.3), приравняв $c = m_{геом}$:

$$p_{геом} = \frac{m_{геом}^2}{m_{геом}^2} = 1{,}0; \quad P_{гир} = \frac{m_{геом}^2}{m_{гир}^2} = 2{,}9.$$

Дальнейшие расчеты представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

x_i	p	ε	$p\varepsilon$	$p\varepsilon^2$	δ	$p\delta$	$p\delta^2$
223°15′24″	1	+24″	+24″	576	-37″	-37″	1369
223°15′21″	1	+21	+21	441	-40	-40	1600
223°17′10″	1	+130	+130	16900	+69	+69	4761
223°15′06″	1	+6	+6	36	-55	-55	3025
223°17′16″	1	+136	+136	18496	+75	+75	5625
223°15′28″	2,9	+28	+81	2274	-33	-96	3158
223°15′34″	2,9	+34	+99	3352	-27	-78	2114
223°16′11″	2,9	+71	+206	14619	+10	+29	290
223°16′49″	2,9	+109	+316	34455	+48	+139	6682
Σ	**16,6**		**1019**	**91149**		**+6**	**28624**

$$x_0 = 223°15'00'',$$

$$\tilde{x} = x_0 + \frac{[p\varepsilon]}{[p]} = 223°15'00'' + 1'01'' = 223°16'01''.$$

Контроль:

$$[p\delta] = +6,$$

$$[p\varepsilon^2] - \frac{[p\varepsilon]^2}{[p]} = 28597 \approx [p\delta^2] = 28624.$$

Ошибка единицы веса (погрешность геометрического ориентирования) определяется по формуле (4.5)

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{28624}{8}} = 60''.$$

Оценка стандарта гироскопического ориентирования (4.15)

$$m_{гир} = \frac{\mu_1}{\sqrt{p_{гир}}} = \frac{60}{\sqrt{2{,}9}} = 35''.$$

СКО средней взвешенной (4.14)

$$m_{\tilde{x}} = \frac{\mu_1}{\sqrt{[p]}} = \frac{60}{\sqrt{16{,}6}} = 15''.$$

Задача 4.3. Даны результаты двойных измерений сторон полигонометрического хода (табл. 4.4). Построить график изменения СКО линейных измерений, если известно, что она изменяется по закону:

$$m_l = 1000 \cdot a \cdot \sqrt{l}\text{, мм,}$$

где a – коэффициент случайного влияния ошибок измерений, м^{0,5}; l – длина линии в метрах.

Таблица 4.4

Обработка неравноточных результатов двойных измерений

l', м	l'', м	d_i, мм	p_l	p_d	$p_d d^2$
94,113	94,042	+71	1,06	0,53	2672
112,346	112,396	-50	0,89	0,44	1100
163,054	163,134	-80	0,61	0,31	1984
256,578	256,597	-19	0,39	0,19	69
344,245	344,289	-44	0,29	0,15	290
302,681	302,749	-68	0,33	0,17	786
35,447	35,427	+20	2,82	1,41	564
410,812	410,794	+18	0,24	0,12	39
66,790	66,775	+15	1,50	0,75	169
196,929	169,947	-18	0,50	0,25	81
				Σ	7754

Расчет весов результатов измерений каждой стороны производим по формуле (4.3), причем в качестве c удобно принять $m_{l=100\text{ м}}$. Тогда вычисленная в дальнейшем ошибка единицы веса совпадет с СКО измерения длины l = 100 м. Как и в задачах 4.1 – 4.2, постоянная c подбирается с учетом постановки вопроса и должна обеспечивать удобство вычислений с весами, т. е. вычисленные веса «не должны быть все меньше единицы, или все больше единицы»:

$$p_l = \frac{c^2}{m_{l_i}^2} = \left(\frac{1000\, a\sqrt{100\,\text{м}}}{1000\, a\sqrt{l_i}} \right)^2 = \frac{100}{l_i}.$$

Заметим, что вследствие незначительных расхождений результатов измерений одних и тех же сторон, все p_l в табл. 4.4 можно рассчитывать по среднему значению l. Кроме того, вычисление веса разности результатов измерений также упрощается (4.12)

$$p_d = \frac{p_{l'} p_{l''}}{(p_{l'} + p_{l''})} = \frac{p_l^2}{2p_l} = \frac{p_l}{2}.$$

Вычисляем разности d_i результатов двойных измерений (2.3) и по формуле (4.6) определяем ошибку единицы веса:

$$\mu_2 = \sqrt{\frac{[p_d d^2]}{k}} = \sqrt{\frac{7754}{10}} = 27{,}8 \text{ мм}.$$

Так как вес p = 1 при l = 100 м, то найденная ошибка единицы веса соответствует $m_{l=100\text{ м}}$.

Следовательно, значение коэффициента случайного влияния

$$a = \frac{\mu_2}{1000\sqrt{100\,\text{м}}} = 0{,}00278 \text{ м}^{0{,}5}.$$

Подставляя в формулу $m_l = 1000 \cdot a \cdot \sqrt{l}$ значения полученного коэффициента a и различные значения длин, строим график измерения m_l от величины l (рис. 4.2).

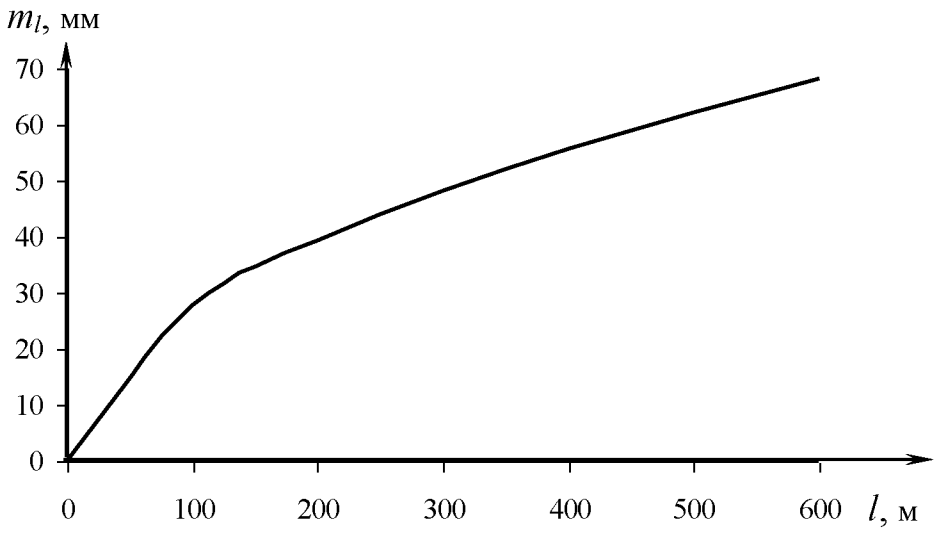


Рис. 4.2. График функции m_l

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА И СКО ФУНКЦИИ ОТ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Обозначения (см. также пп.2 – 4):

$p_{A_1}, \ldots, p_{A_k}$ – веса аргументов функции F;

$\frac{1}{p_{A_1}}, \ldots, \frac{1}{p_{A_k}}$ – обратные веса аргументов функции F;

$\frac{1}{p_F}$ – обратный вес функции F;

Основные формулы:

обратный вес функции F от измеренных аргументов $A_1, A_2, \ldots, A_k$:

$$\frac{1}{p_F} = \left(\frac{\partial F}{\partial A_1}\right)^2 \frac{1}{p_{A1}} + \ldots + \left(\frac{\partial F}{\partial A_k}\right)^2 \frac{1}{p_{A_k}}, \qquad (5.1)$$

СКО функции F:

$$m_F = \mu\sqrt{\frac{1}{p_F}}. \qquad (5.2)$$

Задача 5.1. Угол C является разностью углов β_1 и β_2, т. е. $C = \beta_1 - \beta_2$. Угол $\beta_1 = 112°14'57''$ получен из шестикратного измерения со

средней квадратической ошибкой отдельного измерения m_1 = 15″; угол β_2 = 64°10′12″ получен из восьмикратного измерения со средней квадратической ошибкой отдельного измерения m_2 = 10″. Оценить истинное значение угла C, его вес и рассчитать СКО угла C.

Из условий задачи следует, что указанные значения углов β_1 и β_2 получены в виде средних арифметических из равноточных (т. к. каждый угол измерялся одним и тем же теодолитом) результатов многократных измерений, т. е. являются наилучшими оценками истинных значений углов B_1 и B_2. Наилучшая оценка разности двух величин равняется разности оценок каждой величины, следовательно:

$$\hat{C} = \hat{B}_1 - \hat{B}_2 = 112°14'57'' - 64°10'12'' = 48°04'45''.$$

Для определения весов оценок $\hat{B}_1$ и $\hat{B}_2$ удобно приравнять ошибку единицы веса к СКО однократного измерения одного из углов, например $\mu = m_1$. Тогда, применив формулу (4.2), получим

$$p_{\beta_1} = \frac{\mu^2}{m_{\beta_1}^2} = \frac{m_1^2 n_1}{m_1^2} = n_1 = 6, \quad p_{\beta_2} = \frac{\mu^2}{m_{\beta_2}^2} = \frac{m_1^2 n_2}{m_2^2} = \left(\frac{15}{10}\right)^2 \cdot 8 = 18.$$

Обратный вес истинного значения угла C определяется по формуле (5.1)

$$\frac{1}{p_C} = \left(\frac{\partial C}{\partial B_1}\right)^2 \frac{1}{p_{\beta_1}} + \left(\frac{\partial C}{\partial B_2}\right)^2 \frac{1}{p_{\beta_2}} = 1^2 \frac{1}{6} + (-1)^2 \frac{1}{18} = \frac{2}{9} = 0{,}22,$$

$$\text{откуда } p_C = 4{,}5.$$

По формуле (5.2) находим:

$$m_C = \mu \sqrt{\frac{1}{p_C}} = 15'' \sqrt{\frac{2}{9}} = 7{,}1''.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев А. А. Теория ошибок и уравнительные вычисления: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург: Изд.-во УГГГА. – 2004. – 429 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЗАДАЧИ НА НОРМАЛЬНЫЙ ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБОК 3
2. ОБРАБОТКА РАВНОТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ..... 6
3. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФУНКЦИЙ ОТ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН 13
4. ОБРАБОТКА НЕРАВНОТОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ 19
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА И СКО ФУНКЦИИ ОТ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН 29
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 31

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гордеев В.А., Раева О.С.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

1. Коррелатный способ уравнивания

1.1. Теория коррелатного уравнивания

При коррелатном уравнивании находят поправки к измеренным значениям величин, связанных между собой математическими условиями. Для этого составляют **условные уравнения**, описывающие связи между истинными значениями измеренных и исходных величин.

Число условных уравнений равняется числу избыточно измеренных величин R и определяется по формуле

$$R = N - K, \tag{1.1}$$

где N – число измеренных величин;

K – достаточное число измерений.

Система условных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} &\varphi_1(X_1, \dots, X_N, M_1, \dots, M_L) = 0, \\ &\quad \dots\dots\dots\dots\dots \\ &\varphi_R(X_1, \dots, X_N, M_1, \dots, M_L) = 0, \end{aligned} \tag{1.2}$$

где $X_1, \dots, X_N$ – истинные значения измеренных величин;

$M_1, \dots, M_L$ – истинные значения исходных величин.

В правой части условного уравнения всегда 0.

Вид условных уравнений определяется видом и формой уравниваемой маркшейдерско-геодезической сети.

Если в условные уравнения вместо истинных значений измеренных величин подставить результаты измерений, то, вследствие неизбежных ошибок измерений, в правой части окажутся *невязки*. Полученные уравнения называются **уравнениями невязок**:

$$\begin{aligned} &\varphi_1(x_1, \dots, x_N, M_1, \dots, M_L) = w_1, \\ &\quad \dots\dots\dots\dots\dots \\ &\varphi_R(x_1, \dots, x_N, M_1, \dots, M_L) = w_R. \end{aligned} \tag{1.3}$$

Уравнивание коррелатным способом заключается в поиске вектора поправок $\mathbf{v}$ к вектору результатов измерений, обеспечивающего минимум произведения $\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v}$, причем вектор $\mathbf{v}$ должен обращать вектор невязок $\mathbf{w}$ в нулевой.

Вектор поправок $\mathbf{v}$ находится по формуле

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{k} = \mathbf{Q}\mathbf{B}^T\mathbf{k}, \tag{1.4}$$

где $\mathbf{P}$ – весовая матрица;

$\mathbf{Q}$ – обратная весовая матрица;

B– матрица коэффициентов линейных уравнений поправок;

k – вектор коррелат.

Элементы обратной весовой матрицы **Q** находятся по формуле:

$$q_{ii} = m_{x_i}^2 / C^2, \tag{1.5}$$

где m_{x_i} – средняя квадратическая ошибка результатов измерений;

C – априорная ошибка единицы веса, ее значение принимается из соображений удобства расчетов, например, чтобы полученные веса оказались *не все меньше* 1 *и не все больше* 1. При уравнивании линейно-угловых сетей в качестве C лучше принимать СКО измерения углов, но выразив ее в миллиметрах (если линейные величины составляют сотни метров) или в сантиметрах (если линейные величины составляют первые километры).

Матрица коэффициентов линейных уравнений поправок **B**

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_{11} \dots b_{1N} \\ \dots\dots \\ b_{R1} \dots b_{RN} \end{pmatrix}, \tag{1.6}$$

где b_{ji} –коэффициенты линейных уравнений поправок, $b_{ji} = \partial\varphi_j / \partial x_i$; (1.7)

j – номер условного уравнения ($j = 1 \dots R$);

i – номер измеренной величины ($i = 1 \dots N$).

Элементы матрицы **B** достаточно знать с точностью до трех значащих цифр.

Вектор коррелат вычисляется по формуле

$$\mathbf{k} = - \mathbf{Q}_\mathbf{w}^{-1}\mathbf{w}, \tag{1.8}$$

где $\mathbf{Q}_\mathbf{w}$ – матрица обратных весов функций невязок

$$\mathbf{Q}_\mathbf{w} = \mathbf{BQB}^\mathrm{T} = \mathbf{BP}^{-1}\mathbf{B}^\mathrm{T}; \tag{1.9}$$

w – вектор невязок.

В ходе уравнивания приходится обращать матрицу обратных весов невязок $\mathbf{Q}_\mathbf{w}$. Контроль вычисления коэффициентов нормальных уравнений коррелат (элементов матрицы $\mathbf{Q}_\mathbf{w}$) производят по *методу сумм*. Суть метода понятна из табл. 1.1.

Контрольные суммы должны сходиться в пределах точности вычислений. Элементы матрицы $\mathbf{Q}_\mathbf{w}$ достаточно вычислять с тремя значащими цифрами.

Обращение матрицы $\mathbf{Q}_\mathbf{w}$ производится по методу Холецкого (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Формуляр вычислений элементов матрицы $\mathbf{Q}_w$ и ее обращение

		k_1	k_2	…	k_R							
i, j	q_i	b_{1i}	b_{2i}	…	b_{Ri}	r_{1i}	r_{2i}	…	r_{mi}	s_i	Контроль	v_i
1	q_1	b_{11}	b_{21}	…	b_{R1}	r_{11}	r_{21}	…	r_{m1}	s_1	$s_1 = b_{11} + b_{21} + \ldots + b_{R1} + r_{11} + \ldots + r_{m1}$	v_1
2	q_2	b_{12}	b_{22}	…	b_{R2}	r_{12}	r_{22}	…	r_{m2}	s_2	$s_2 = b_{12} + b_{22} + \ldots + b_{R2} + r_{22} + \ldots + r_{m2}$	v_2
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	. . . . .	…
N	q_N	b_{1N}	b_{2N}	…	b_{RN}	r_{1N}	r_{2N}	…	r_{mN}	s_N	$s_N = b_{1N} + b_{2N} + \ldots + b_{RN} + r_{2N} + \ldots + r_{mN}$	v_N
Σ	-	$[b_1]$	$[b_2]$	…	$[b_R]$	$[r_1]$	$[r_2]$	…	$[r_m]$	$[s]$	$[s] = [b_1] + \ldots + [b_R] + [r_1] + \ldots + [r_m]$	
1	$\mathbf{Q_w}$	$[qb_1b_1]$	$[qb_1b_2]$	…	$[qb_1b_R]$	$[qb_1r_1]$	$[qb_1r_2]$	…	$[qb_1r_m]$	$[qb_1s]$	$[qb_1s] = [qb_1b_1]+\ldots+[qb_1b_R]+[qb_1r_1]+\ldots+[qb_1r_m]$	
2			$[qb_2b_2]$	…	$[qb_2b_R]$	$[qb_2r_1]$	$[qb_2r_2]$	…	$[qb_2r_m]$	$[qb_2s]$	$[qb_2s] = [qb_2b_1]+\ldots+[qb_2b_R]+[qb_2r_1]+\ldots+[qb_2r_m]$	
…				…	…	…	…	…	…	…	. . . . .	
R					$[qb_Rb_R]$	$[qb_Rr_1]$	$[qb_Rr_2]$	…	$[qb_Rr_m]$	$[qb_Rs]$	$[qb_Rs] = [qb_Rb_1]+\ldots+[qb_Rb_R]+[qb_Rr_1]+\ldots+[qb_Rr_m]$	
						$[qr_1^2]$	$[qr_2^2]$	…	$[qr_m^2]$	$\boldsymbol{q}_f$		
1	$\mathbf{U}$	u_{11}	u_{21}	…	u_{R1}	R_{11}	R_{21}	…	R_{m1}	S_1	$[qb_1s] / u_{11} = S_1$	
2			u_{22}	…	u_{R2}	R_{12}	R_{22}	…	R_{m2}	S_2	$([qb_2\,s] + u_{21}\cdot S_1) / u_{22} = S_2$	
…				…	…	…	…	…	…	…	. . . . .	
R					u_{RR}	R_{1R}	R_{2R}	…	R_{mR}	S_R	$([qb_R\,s] + u_{R1}\cdot S_1 + \ldots + u_{R(R-1)}\cdot S_{(R-1)}) / u_{RR} = S_R$	
1	$\mathbf{Q_w^{-1}}$	α_{11}	α_{21}	…	α_{R1}	$[R_1^2]$	$[R_2^2]$	…	$[R_m^2]$	$\boldsymbol{q}_{V_f}$		
2		α_{12}	α_{22}	…	α_{R2}							
…		…	…	…	…							
R		α_{1R}	α_{2R}	…	α_{RR}							
	e	$[q_{w1}\alpha_1]$	$[q_{w2}\alpha_2]$	…	$[q_{wR}\alpha_R]$							
	-w	$-w_1$	$-w_2$	…	$-w_R$							
	k	k_1	k_2	…	k_R							

При этом матрица $\mathbf{Q_w}$ преобразуется в произведение матриц

$$\mathbf{Q_w} = \mathbf{U}^{\mathrm{T}}\mathbf{U}, \tag{1.10}$$

где **U** – верхняя треугольная матрица.

После обращения матрицы **U** находим

$$\mathbf{Q_w^{-1}} = \mathbf{U}^{-1}(\mathbf{U}^{-1})^{\mathrm{T}}. \tag{1.11}$$

Обращение матрицы выполняется с контролем $\mathbf{Q_w^{-1}}\ \mathbf{Q_w}\ \mathbf{e} = \mathbf{e}$.

Элементы первой строки матрицы **U** вычисляются по формуле

$$u_{1j} = q_{1j} \Big/ \sqrt{q_{11}}\,. \tag{1.12}$$

Элементы следующих строк матрицы **U** определяются из выражений:

диагональные элементы $$u_{ii} = \sqrt{q_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} u_{ki}^2}\,, \tag{1.13}$$

недиагональные элементы $$u_{ij} = \left(\sum_{k=1}^{i-1} u_{ki} u_{kj} - q_{ij} \right) \Big/ \left(-u_{ii}\right). \tag{1.14}$$

Элементы α_{ij} обратной матрицы $\mathbf{Q_w^{-1}}$ вычисляются, начиная с последней строки:

$$\alpha_{nn} = 1 \Big/ u_{nn}^2\,, \qquad \alpha_{nj} = \sum_{k=j+1}^{n} \alpha_{nk} u_{jk} \Big/ \left(-u_{jj}\right). \tag{1.15}$$

После вычисления каждой строки, она переписывается в соответствующий столбец. У второй (снизу) и последующих строк обратной матрицы элементы вычисляются последовательно справа налево по формулам:

диагональные элементы $$\alpha_{jj} = \left(\sum_{k=j+1}^{n} \alpha_{jk} u_{jk} - 1 \Big/ u_{jj} \right) \Big/ \left(-u_{jj}\right), \tag{1.16}$$

недиагональные элементы $$\alpha_{ij} = \sum_{k=j+1}^{n} \alpha_{ik} u_{jk} \Big/ \left(-u_{jj}\right). \tag{1.17}$$

После вычисления вектора поправок **v** осуществляется контроль:

$$\mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{v} = -\mathbf{k}^{\mathrm{T}}\mathbf{w}. \qquad (1.18)$$

Проверка допустимости вектора невязок выполняется по формуле

$$\frac{\sqrt{\mathbf{w}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}_{\mathrm{w}}^{-1}\mathbf{w}}}{C} \le z_{R,\gamma}, \qquad (1.19)$$

где $z_{R,\gamma}$ принимается при различных R из таблицы 1.2.

Таблица 1.2

Значения коэффициента $z_{R,\gamma}$ при $\gamma = 0{,}95$

R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$z_{R,\,0{,}95}$	1,96	2,45	2,80	3,08	3,33	3,55	3,75	3,94	4,11	4,28

Уравненные значения измеренных величин вычисляются по формуле

$$\hat{\mathbf{x}}_0 = \mathbf{x} + \mathbf{v}. \qquad (1.20)$$

Элементы векторов поправок и уравненных значений вычисляются с одним запасным десятичным знаком по сравнению с результатами измерений.

Заключительный контроль уравнивания состоит в проверке выполнения условных уравнений после подстановки в них уравненных значений $\hat{\mathbf{x}}_0$. Отличие от нулей в правых частях условных уравнений не должно быть более чем на 1 – 2 единицы сохраненного в поправках десятичного знака. Контроль позволяет проверить правильность составления условных уравнений, линеаризации уравнений невязок, вычисления элементов вектора невязок **w** и матрицы **B**.

На этом решение первой задачи уравнительных вычислений (собственно уравнивание) заканчивается.

1.2. Оценка точности по результатам уравнивания

Под оценкой точности по результатам уравнивания понимается расчет средних квадратических ошибок: единицы веса μ_1, функций от измеренных величин до уравнивания, поправок m_{vi}, результатов измерений m_{x_i}, уравненных значений измеренных величин $m_{\hat{X}_i}$, функций от уравненных значений измеренных величин $m_{f(\hat{X}_1,\ldots,\hat{X}_N)}$.

Оценка стандарта единицы веса (СКО единицы веса)

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{v}}{R}}. \qquad (1.21)$$

СКО функций от измеренных величин до уравнивания

$$m_{f(x_1,\dots,x_N)} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{R}^{\mathrm{T}}\right)_{mm}} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q}_{\mathbf{f}}\right)_{mm}}, \qquad (1.22)$$

где $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \dots \\ \mathbf{r}_m \end{pmatrix}$ – матрица, составленная из векторов весовых коэффициентов оцениваемых функций.

СКО поправок

$$m_{v_i} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q}\mathbf{B}^{\mathrm{T}}\mathbf{Q}_{\mathrm{W}}^{-1}\mathbf{B}\mathbf{Q}\right)_{ii}} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q}_{\mathrm{V}}\right)_{ii}}. \qquad (1.23)$$

СКО результатов измерений

$$m_{x_i} = \mu_1 \sqrt{q_{ii}}. \qquad (1.24)$$

СКО уравненных значений измеренных величин

$$m_{\hat{X}_i} = \mu_1 \sqrt{q_i - \left(\mathbf{Q}_{\mathrm{V}}\right)_{ii}}. \qquad (1.25)$$

СКО функций от уравненных значений измеренных величин

$$m_{f(\hat{X}_1,\dots,\hat{X}_N)} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{R}\left(\mathbf{Q} - \mathbf{Q}_{\mathrm{V}}\right)\mathbf{R}^{\mathrm{T}}\right)_{mm}} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q} - \mathbf{Q}_{\mathrm{V}}\right)_{mm}}. \qquad (1.26)$$

Расчет матрицы **R** приведен в дополнительных столбцах таблицы 1.1.

***Задача* 1.1.** Уравнять полигонометрический ход 1 разряда между стороной и твердым пунктом (рис. 1.1). Найти СКО дирекционного угла стороны 2-3 и СКО координат пункта 3.

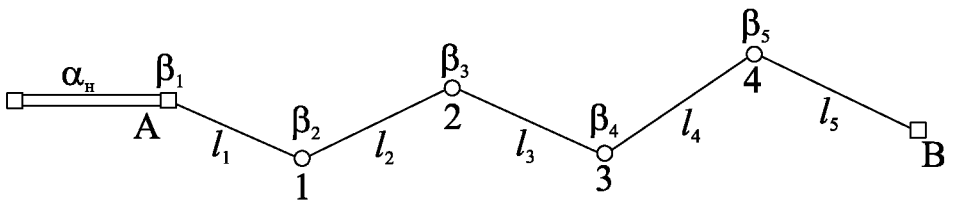


Рис. 1.1. Схема полигонометрического хода между стороной и твердым пунктом

Координаты пункта В: X_B = 683,300 м; Y_B = 1551,050 м. Другие исходные данные приведены в табл.1.3.

Точность угловых измерений m_β = 5″, линейных измерений m_l/l = 1/10000.

В ходе – 4 определяемых пункта, т.е. $K = 4 \cdot 2 = 8$. Измерений выполнено N=10 (пять углов и пять длин). Следовательно, избыточных измерений R = 2, они приводят к образованию двух условных уравнений – абсцисс и ординат:

$$\varphi_1 = X_A + L_1\cos(A_н + B_1 - 180°) + \ldots + L_5\cos(A_н + B_1 + \ldots + B_5 - 5 \cdot 180°) - X_B = 0;$$

$$\varphi_2 = Y_A + L_1\sin(A_н + B_1 - 180°) + \ldots + L_5\sin(A_н + B_1 + \ldots + B_5 - 5 \cdot 180°) - Y_B = 0.$$

Невязки: $w_1 = x_B - X_B$ = - 24 мм; $w_2 = y_B - Y_B$ = 51 мм.

При расчете обратных весов примем C = 5 мм (см.табл.1.4).

Таблица 1.3

Номер пункта	β	α	l, м	До уравнивания		После уравнивания	
				x, м	y, м	$\hat{x}$, м	$\hat{y}$, м
	+0,7	125°12′14″					
A	179°46′10″		-9,9	1000,000	1000,000	1000,000	1000,000
	+0,5	124°58′24″	120,668				
1	172°34′42″		-12,2	930,834	1098,878	930,839	1098,869
	+0,4	117°33′06″	132,752				
2	187°15′14″		-9,6	869,429	1216,575	869,440	1216,555
	+0,1	124°48′20″	118,560				
3	170°37′08″		-10,8	801,756	1313,924	801,771	1313,895
	+0,1	115°25′28″	124,130				
4	182°06′18″		-14,0	748,465	1426,032	748,484	1425,993
		117°31′46″	141,038				
B				683,276	1551,101	683,301	1551,049

Коэффициенты линейных уравнений поправок:

$$b_{1\beta_1} = \frac{\partial\varphi_1}{\partial\beta_1} = (-l_1 \sin\alpha_1 - \ldots - l_5 \sin\alpha_5)/\rho'' = (y_A - y_B)/\rho'';$$

. . . . . .

$$b_{1\beta_5} = \frac{\partial\varphi_1}{\partial\beta_5} = (-l_5 \sin\alpha_5)/\rho'' = (y_4 - y_B)/\rho'';$$

$$b_{1l_i} = \frac{\partial\varphi_1}{\partial l_i} = \cos\alpha_i;$$

$$b_{2\beta_1} = \frac{\partial\varphi_2}{\partial\beta_1} = (l_1 \cos\alpha_1 + \ldots + l_5 \cos\alpha_5)/\rho'' = (x_B - x_A)/\rho'';$$

. . . . . .

$$b_{2\beta_5} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial \beta_5} = (l_5 \cos\alpha_5)/\rho'' = (x_B - x_4)/\rho'';$$

$$b_{2l_i} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial l_i} = \sin\alpha_i .$$

Для оценки точности функций запишем элементы векторов **r**:

1-я функция -

$$f_1 = \alpha_{2\text{-}3} = \alpha_н + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 3 \cdot 180°,$$

$$r_{1\beta_1} = 1, \quad r_{1\beta_2} = 1, \quad r_{1\beta_3} = 1, \quad \text{остальные } r_{1i} = 0;$$

2-я функция -

$$f_2 = x_3 = x_A + l_1\cos(\alpha_н + \beta_1 - 180°) + \ldots + l_3\cos(\alpha_н + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 3 \cdot 180°),$$

$$r_{2\beta_1} = (y_A - y_3)/\rho'', \quad r_{2\beta_2} = (y_1 - y_3)/\rho'', \quad r_{2\beta_3} = (y_2 - y_3)/\rho'',$$

$$r_{2\beta_4} = r_{2\beta_5} = 0, \quad r_{2l_1} = \cos\alpha_1, \quad r_{2l_2} = \cos\alpha_2, \quad r_{2l_3} = \cos\alpha_3, \quad r_{2l_4} = r_{2l_5} = 0;$$

3-я функция -

$$f_3 = y_3 = y_A + l_1\sin(\alpha_н + \beta_1 - 180°) + \ldots + l_3\sin(\alpha_н + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 3 \cdot 180°),$$

$$r_{3\beta_1} = (x_3 - x_A)/\rho'', \quad r_{3\beta_2} = (x_3 - x_1)/\rho'', \quad r_{3\beta_3} = (x_3 - x_2)/\rho'',$$

$$r_{3\beta_4} = r_{3\beta_5} = 0, \quad r_{3l_1} = \sin\alpha_1, \quad r_{3l_2} = \sin\alpha_2, \quad r_{3l_3} = \sin\alpha_3, \quad r_{3l_4} = r_{3l_5} = 0.$$

Значения элементов матриц **Q** и **B**, векторов $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$, $\mathbf{r}_3$ занесены в табл.1.4.

При вычислении элементов матрицы **B** значения линейных величин принимаются в миллиметрах!

Поправки к результатам измерений вычисляются по формуле

$$v_i = q_i\,(b_{1i}\,k_1 + b_{2i}\,k_2). \qquad (1.27)$$

Расчет элементов матрицы $\mathbf{Q}_w$ производится с контролем (см.табл. 1.1).

Вычисление поправок контролируется по формуле (1.18):

$$\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v} = 98{,}5; \quad - \mathbf{k}^T\mathbf{w} = 98{,}4.$$

Допустимость вектора невязок проверяется по формуле (1.19):

$$\frac{1}{5}\sqrt{\begin{pmatrix}-24 & 51\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0{,}0426 & 0{,}0069\\ 0{,}0069 & 0{,}0349\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-24\\ 51\end{pmatrix}} = 1{,}98 < 2{,}45.$$

Поправки выписаны в табл.1.3. Там же, в последних двух столбцах выполнен заключительный контроль уравнивания. Остаточная погрешность уравнивания составила 1 мм для первого условного уравнения и -1 мм для второго.

Таблица 1.4

		k_1	k_2						
		0,671	-1,614						
i	**q**	$\mathbf{b_1}$	$\mathbf{b_2}$	$\mathbf{r_1}$	$\mathbf{r_2}$	$\mathbf{r_3}$	S	Контр.	**v**
β_1	1	-2,67	-1,54	1	-1,52	-0,96	-5,69		0,7
β_2	1	-2,19	-1,20	1	-1,04	-0,63	-4,06		0,5
β_3	1	-1,62	-0,90	1	-0,47	-0,33	-2,32		0,4
β_4	1	-1,15	-0,57	0	0	0	-1,72		0,1
β_5	1	-0,61	-0,32	0	0	0	-0,92		0,1
l_1	5,8	-0,57	0,82	0	-0,57	0,82	0,49		-9,9
l_2	7,0	-0,46	0,89	0	-0,46	0,89	0,85		-12,2
l_3	5,6	-0,57	0,82	0	-0,57	0,82	0,50		-9,6
l_4	6,2	-0,43	0,90	0	0	0	0,47		-10,8
l_5	8,0	-0,46	0,89	0	0	0	0,42		-14,0
Σ		-10,74	-0,21	3,00	-4,64	0,61	-11,98	-11,98	
1	$\mathbf{Q_w}$	24,27	-4,82	-6,48	12,28	-3,72	21,53	21,53	
2			29,62	-3,64	-4,18	15,75	32,73	32,73	
				3,00	8,88	14,67	$\mathbf{q_f}$		
1	**U**	4,926	-0,978	-1,315	2,493	-0,755	4,370	4,371	
2			5,354	-0,920	-0,325	2,804	6,912	6,912	
1	$\mathbf{Q_w^{-1}}$	0,0426	0,0069	2,577	6,320	8,431	$\mathbf{q}_{v_f}$		
2		0,0069	0,0349						
	e	1,0006	1,0005						
	-w	24	-51						
	k	0,671	-1,614						

По формуле (1.21) находим ошибку единицы веса

$$\mu_1 = \sqrt{98{,}4/2} = 7{,}0 \text{ мм}.$$

СКО дирекционного угла стороны 2-3 и координат пункта 3 до уравнивания вычисляются по формуле (1.22):

$$m_{\alpha_{2-3}} = \mu_1\sqrt{[qr_1^2]} = 7{,}0\sqrt{3} = 12'',$$

$$m_{x_3} = \mu_1 \sqrt{[qr_2^2]} = 7{,}0\sqrt{8{,}88} = 21 \text{ мм},$$

$$m_{y_3} = \mu_1 \sqrt{[qr_3^2]} = 7{,}0\sqrt{14{,}67} = 27 \text{ мм}.$$

СКО тех же величин после уравнивания вычисляются по формуле (1.26):

$$m_{\hat{A}_{2-3}} = \mu_1 \sqrt{3 - 2{,}577} = 5'',$$

$$m_{\hat{X}_3} = \mu_1 \sqrt{8{,}88 - 6{,}320} = 11 \text{ мм},$$

$$m_{\hat{Y}_3} = \mu_1 \sqrt{14{,}67 - 8{,}431} = 17 \text{ мм}.$$

Расчет показал, что после уравнивания точность оцениваемых элементов полигонометрического хода повысилась в среднем в 2 раза.

2. Параметрический способ уравнивания

2.1. Теория параметрического уравнивания

Уравнивание параметрическим способом заключается в поиске вектора поправок $\boldsymbol{\tau} = (\tau_1 \ \ldots \ \tau_K)^{\mathrm{T}}$ к вектору приближенных значений параметров $\mathbf{t} = (t_1, \ldots, t_K)^{\mathrm{T}}$, обеспечивающего минимум произведения $\mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{v}$ ($\mathbf{v}$ – вектор поправок к результатам измерений $x_1, \ldots, x_N$, $\mathbf{v} = (v_1 \ \ldots \ v_N)^{\mathrm{T}}$). Число параметров равняется числу определяемых величин (числу достаточных измерений K).

В качестве параметров целесообразно принимать координаты x, y определяемых пунктов плановых сетей или высотные отметки H определяемых реперов. Будем обозначать вектор истинных значений параметров
$\mathbf{t}_0 = (T_1 \ \ldots \ T_K)^{\mathrm{T}}$.

Связь между измеренными, исходными и искомыми величинами (параметрами) описывается **параметрическими уравнениями связи** (параметрическими уравнениями). Для истинных значений всех перечисленных величин параметрические уравнения связи имеют вид

$$\begin{aligned} X_1 &= \varphi_1(T_1, \ldots, T_K, M_1, \ldots, M_L), \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ X_N &= \varphi_N(T_1, \ldots, T_K, M_1, \ldots, M_L). \end{aligned} \qquad (2.1)$$

Число параметрических уравнений равняется числу измеренных величин N.

В результате уравнивания получим уравнения поправок

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\boldsymbol{\tau} + \mathbf{l} = \mathbf{A}\boldsymbol{\tau} + (\boldsymbol{x}^{\circ} - \mathbf{x}), \tag{2.2}$$

где **A** – матрица коэффициентов уравнений поправок;

l – вектор свободных членов уравнений поправок, $\mathbf{l} = (l_1 \ \ldots \ l_N)^{\mathrm{T}} = \mathbf{x}^{\mathbf{o}} - \mathbf{x}$;

$\mathbf{x}^{\mathbf{o}}$ – вектор вычисленных по приближенным значениям параметров значений измеренных величин.

Матрица **A** – прямоугольная размера N, K, причем $K < N$.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \ldots & a_{1K} \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{N1} & \ldots & a_{NK} \end{pmatrix}, \tag{2.3}$$

где a_{ij} – коэффициенты уравнений поправок, $a_{ij} = \partial\varphi_i / \partial t_j$;

(2.4)

i – номер уравнения поправок ($i = 1 \ \ldots \ N$);

j – номер параметра ($j = 1 \ \ldots \ K$).

Вектор поправок к приближенным значениям параметров вычисляется по формуле

$$\boldsymbol{\tau} = -\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{l}, \tag{2.5}$$

где **P** – матрица весов результатов измерений;

$\mathbf{N} = \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{A}$ – невырожденная квадратная симметричная матрица порядка K. Матрица **N** обладает теми же свойствами, что и матрица $\mathbf{Q}_{\mathbf{w}}$ в коррелатном уравнивании (см.п.1.1).

Уравненные значения параметров определяются по формуле

$$\hat{\mathbf{t}}_{\mathbf{0}} = \mathbf{t} + \tau. \tag{2.6}$$

Уравненные значения измеренных величин

$$\hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{0}} = \mathbf{x} + \mathbf{v} = \mathbf{x} + \mathbf{A}\boldsymbol{\tau} + \mathbf{l}. \tag{2.7}$$

Элементы вектора $\boldsymbol{\tau}$ вычисляются с тремя значащими цифрами (или до миллиметров, чтобы затем с этой точностью оценить параметры – координаты пунктов сети).

Элементы векторов поправок **v** и уравненных значений измеренных величин вычисляются с одним запасным десятичным знаком по сравнению с результатами измерений.

Контроль вычисления коэффициентов нормальных уравнений (элементов матрицы **N**) производят по методу сумм (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Формуляр вычислений элементов матрицы **N**

i, j	p_i	a_{i1}	a_{i2}	…	a_{iK}	s_i	Контрольные суммы
1	p_1	a_{11}	a_{12}	…	a_{1K}	s_1	$s_1 = a_{11} + a_{12} + \ldots + a_{1K}$
2	p_2	a_{21}	a_{22}	…	a_{2K}	s_2	$s_2 = a_{21} + a_{22} + \ldots + a_{2K}$
…	…	…	…	…	…	…	. . . . .
N	p_N	a_{N1}	a_{N2}	…	a_{NK}	s_N	$s_N = a_{N1} + a_{N2} + \ldots + a_{NK}$
Σ	-	$[a_1]$	$[a_2]$	…	$[a_K]$	$[s]$	$[s] = [a_1] + [a_2] + \ldots + [a_K]$
1		$[pa_1a_1]$	$[pa_1a_2]$	…	$[pa_1a_K]$	$[pa_1s]$	$[pa_1a_1]+\ldots+[pa_1a_K] = [pa_1s]$
2			$[pa_2a_2]$	…	$[pa_2a_K]$	$[pa_2s]$	$[pa_1a_2]+\ldots+[pa_2a_K] = [pa_2s]$
…				…	…	…	. . . . .
K					$[pa_Ka_K]$	$[pa_K s]$	$[pa_1a_K]+\ldots+[pa_Ka_K] = [pa_Ks]$

Элементы матрицы **N** вычисляются с тремя значащими цифрами.

Контроль вычисления поправок осуществляется по формуле

$$\mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{v} = \mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{l}, \text{ т.е. } [pvv] = [pvl]. \qquad (2.8)$$

Заключительный контроль уравнивания состоит в проверке выполнения параметрических уравнений связи (2.1) после подстановки в них уравненных значений измеренных величин $\hat{\mathbf{x}}_0$ и параметров $\hat{\mathbf{t}}_0$, т.е.

$$\hat{\mathbf{x}}_0 - \varphi(\hat{\mathbf{t}}_0, \mathbf{m}) = \mathbf{0}. \qquad (2.9)$$

Элементы нулевого вектора в правой части выражения (2.9) не должны превышать по абсолютной величине 1 – 2 единицы сохраненного в поправках **v** десятичного знака. Контроль позволяет проверить правильность составления параметрических уравнений связи, линеаризации уравнений поправок, вычисления элементов вектора **l** и матрицы **A**.

2.2. Оценка точности по результатам уравнивания

Оценка точности по результатам параметрического уравнивания включает расчет средних квадратических ошибок: единицы веса μ_1, результатов измерений m_{x_i}, уравненных значений измеренных величин $m_{\hat{X}_i}$, функций от уравненных значений измеренных величин $m_{f(\hat{X}_1,\ldots,\hat{X}_N)}$, уравненных значений параметров $m_{\hat{T}_j}$, функций от уравненных значений параметров $m_{f(\hat{T}_1,\ldots,\hat{T}_K)}$.

Оценка стандарта единицы веса (ошибка единицы веса)

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v}}{N-K}}. \qquad (2.10)$$

СКО результатов измерений

$$m_{x_i} = \mu_1\sqrt{q_{ii}}\ . \qquad (2.11)$$

СКО уравненных значений измеренных величин

$$m_{\hat{X}_i} = \mu_1\sqrt{\left(\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_0}\right)_{ii}}, \qquad (2.12)$$

где $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_0} = \mathbf{A}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^T$.

СКО функций от уравненных значений измеренных величин

$$m_{f(\hat{X}_1,\ldots,\hat{X}_N)} = \mu_1\sqrt{\left(\mathbf{R}\mathbf{Q}_{\hat{x}_0}\mathbf{R}^T\right)_{kk}}, \qquad (2.13)$$

где $\mathbf{R} = \begin{pmatrix}\mathbf{r}_1\\ \ldots\\ \mathbf{r}_k\end{pmatrix}$ – матрица из векторов весовых коэффициентов оцениваемых функций.

СКО уравненных значений параметров

$$m_{\hat{T}_j} = \mu_1\sqrt{(\mathbf{N}^{-1})_{jj}}\ . \qquad (2.14)$$

СКО функций от уравненных значений параметров

$$m_{f(\hat{T}_1,\ldots,\hat{T}_K)} = \mu_1\sqrt{\left(\mathbf{S}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{S}^T\right)_{mm}}, \qquad (2.15)$$

где $\mathbf{S} = \begin{pmatrix}\mathbf{s}_1\\ \ldots\\ \mathbf{s}_m\end{pmatrix}$ – матрица из векторов весовых коэффициентов оцениваемых функций.

2.3. Построение эллипса ошибок

Распространением интервального оценивания на плоскость является построение *доверительных областей* – эллипсов ошибок.

Дирекционный угол большой полуоси эллипса α_A находится с помощью вспомогательного угла Θ, причем

$$tg2\Theta = 2q_{12}/(q_1 - q_2), \tag{2.16}$$

дирекционный угол равен Θ, если $q_1 > q_2$, и Θ + 90°, если $q_1 < q_2$,
где q_1, q_2, q_{12} – элементы обратной весовой матрицы $\mathbf{N}^{-1}$.

Большая A и малая B полуоси эллипса вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} A &= c_2\,\mu_0\,a\sqrt{2/(q_1 + q_2 - w)}, \\ B &= c_2\,\mu_0\,a\sqrt{2/(q_1 + q_2 + w)}, \end{aligned} \tag{2.17}$$

где c_2 – коэффициент, зависящий от вероятности P, $c_2 = \sqrt{-2\ln(1-P)}$;

$a = \sqrt{q_1 \cdot q_2 - q_{12}^2}$; $\qquad w = \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + 4q_{12}^2}$.

Подерой эллипса называют кривую, полученную при соединении множества оснований перпендикуляров, опущенных из центра эллипса на касательные к нему. Точки пересечения подеры с осями координат определяют m_x и m_y.

При построении эллипса ошибок и подеры используют условную систему координат, совмещая ось x' с большой полуосью эллипса. В этом случае для направлений φ = α - Θ формулы построения эллипса и подеры примут вид:

$$r(\varphi) = c_2\mu_0 a \Big/ \sqrt{q_1 \sin^2(\varphi+\Theta) + q_2 \sin^2(\varphi+\Theta) - q_{12} \sin 2(\varphi+\Theta)}; \tag{2.18}$$

$$m(\varphi) = \sqrt{A^2 \cos^2\varphi + B^2 \sin^2\varphi}. \tag{2.19}$$

***Задача* 2.1.** Уравнять по углам обратную угловую засечку (рис. 2.1). Координаты исходных пунктов даны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Номер пункта	1	2	3	4
X	1767,42	1674,48	662,36	686,98
Y	1138,86	1941,76	1936,94	901,54

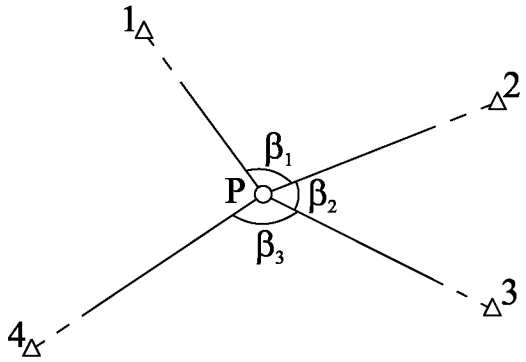


Рис. 2.1. Схема обратной угловой засечки

Измеренные значения углов (углы измерены равноточно, $p_i = 1$):

$$\beta_1 = 89°26'15'', \quad \beta_2 = 79°58'30'', \quad \beta_3 = 74°41'45''.$$

Так как $K = 2$, то в качестве параметров можно принять координаты определяемого пункта Р, т.е. $T_1 = X_\text{р}$, $T_2 = Y_\text{р}$.

Приближенные значения параметров можно найти различными способами, например, решив по известным из геодезии формулам обратную засечку по любым трем из заданных четырех исходных пунктов.

Примем $t_1 = 1350{,}6$ м, $t_2 = 1369{,}2$ м.

Для вычисления элементов векторов $\mathbf{x}^\circ$, $\mathbf{l}$ и матрицы $\mathbf{A}$ необходимо сначала по координатам пунктов Р, 1- 4 решить обратные геодезические задачи:

$$x_1^\circ = \beta_1^\circ = \alpha_{\text{р}-2}^\circ - \alpha_{\text{р}-1}^\circ = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y_2 - t_2}{X_2 - t_1}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{Y_1 - t_2}{X_1 - t_1}\right) \text{ и т.д.}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

k	$\alpha_{\text{Р}-K}^\circ$	$\beta_i^\circ = x_i^\circ$	$l_i = \beta_i^\circ - \beta_i$	s_i°, м
1	331°04′27,9″			476,2
		89°25′48,2″	-26,8″	
2	60°30′16,1″			657,8
		79°58′32,8″	+2,8″	
3	140°28′48,9″			892,2
		74°41′33,0″	-12,0″	
4	215°10′21,9″			811,8

Заметим, что элементы вектора $\mathbf{x}^{\circ}$ вычисляются с запасным десятичным знаком по отношению к элементам вектора результатов измерений **x**. Значения линейных величин s_i° понадобятся лишь при вычислении элементов матрицы **A**, поэтому их достаточно знать с точностью до 4-х значащих цифр.

Элементы матрицы **A** определяются по формуле (2.4). Например, при $i = 1$ уравнение поправок имеет вид:

$$v_{\beta_1} = a_{11}\tau_1 + a_{12}\tau_2 + l_1,$$

где $a_{11} = \rho\left(\dfrac{\sin\alpha^{\circ}_{\text{Р}-2}}{s^{\circ}_{\text{Р}-2}} - \dfrac{\sin\alpha^{\circ}_{\text{Р}-1}}{s^{\circ}_{\text{Р}-1}}\right)$, $a_{12} = \rho\left(\dfrac{\cos\alpha^{\circ}_{\text{Р}-1}}{s^{\circ}_{\text{Р}-1}} - \dfrac{\cos\alpha^{\circ}_{\text{Р}-2}}{s^{\circ}_{\text{Р}-2}}\right)$.

Для удобства расчетов принимаем s_i° в миллиметрах:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0{,}482 & 0{,}225 \\ -0{,}126 & 0{,}333 \\ -0{,}293 & 0{,}029 \end{pmatrix}.$$

Вследствие равноточности измерений, матрица весов **P** = **E** и формулы упрощаются:

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} [a_1^2] & [a_1a_2] \\ [a_1a_2] & [a_2^2] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}334 & 0{,}058 \\ 0{,}058 & 0{,}162 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{N}^{-1} = \frac{1}{|\mathbf{N}|}\begin{pmatrix} [a_2^2] & -[a_1a_2] \\ -[a_1a_2] & [a_1^2] \end{pmatrix} = \frac{1}{0{,}0507}\begin{pmatrix} 0{,}162 & -0{,}0580 \\ -0{,}0580 & 0{,}334 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3{,}20 & -1{,}14 \\ -1{,}14 & 6{,}58 \end{pmatrix}.$$

$$|\mathbf{N}| = [a_1^2][a_2^2] - [a_1a_2]^2.$$

Поправки к приближенным значениям параметров:

$$\tau_1 = ([a_1a_2][a_2l] - [a_2^2][a_1l]) / |\mathbf{N}| = 25{,}0 \text{ мм};$$

$$\tau_2 = ([a_1a_2][a_1l] - [a_1^2][a_2l]) / |\mathbf{N}| = 24{,}7 \text{ мм}.$$

Уравненные значения параметров (уравненные значения координат определяемого пункта Р):

$$\hat{X}_{\text{P}} = \hat{T}_1 = t_1 + \tau_1 = 1350{,}625 \text{ м};$$

$$\hat{Y}_{\text{P}} = \hat{T}_2 = t_2 + \tau_2 = 1369{,}225 \text{ м}.$$

Поправки к результатам измерений углов:

$$v_1 = a_{11}\tau_1 + a_{12}\tau_2 + l_1 = 0{,}482 \cdot 25{,}0 + 0{,}225 \cdot 24{,}7 - 26{,}8 = -9{,}2'';$$

$$v_2 = 7{,}9''; \quad v_3 = -18{,}6''.$$

Для контроля правильности уравнительных вычислений пересчитаем таблицу 2.3, используя вместо приближенных значений параметров t_1 и t_2 оценки $\hat{T}_1$ и $\hat{T}_2$ (табл. 2.4).

Значения поправок v_i, полученные двумя путями, совпали, значит уравнивание выполнено правильно.

Оценим точность уравненных значений координат определяемого пункта. Так как $N - K = 1$, лучше воспользоваться априорным значением ошибки единицы веса, например, $C = 10''$.

Таблица 2.4

K	$\hat{A}_{\text{P}-K}$	$\hat{B}_i$	$v_i = \hat{B}_i - \beta_i$
1	331°04′13,3″	89°26′05,8″	- 9,2″
2	60°30′19,1″	79°58′37,9″	7,9″
3	140°28′57,0″	74°41′26,4″	- 18,6″
4	215°10′23,4″		

Тогда

$$m_{\hat{X}_{\text{P}}} = m_{\hat{T}_1} = C\sqrt{(\mathbf{N}^{-1})_{11}} = 10''\sqrt{3{,}20} = 18 \text{ мм},$$

$$m_{\hat{Y}_{\text{P}}} = m_{\hat{T}_2} = C\sqrt{(\mathbf{N}^{-1})_{22}} = 10''\sqrt{6{,}58} = 26 \text{ мм}.$$

Построим эллипс ошибок и подеру эллипса положения пункта Р. Примем $\mu_0 = 10''$.

Тогда $q_1 = \mathrm{N}_{11}^{-1}, \quad q_2 = \mathrm{N}_{22}^{-1}, \quad q_{12} = \mathrm{N}_{12}^{-1}$.

Вспомогательный угол Θ находится по формуле (2.16)

$$tg2\Theta = 2(-1{,}14)/(3{,}20 - 6{,}58),$$

т.е. $\Theta = 17°$.

Так как $q_1 < q_2$, $\alpha_A = \Theta + 90° = 107°$.

Размеры полуосей эллипса ошибок вычисляются по формулам (2.17) (примем $c_2 = 1$):

$$A = 10 \cdot 4{,}44\sqrt{2/(3{,}20 + 6{,}58 - 4{,}08)} = 26{,}3\text{мм},$$

$$B = 10 \cdot 4{,}44\sqrt{2/(3{,}20 + 6{,}58 + 4{,}08)} = 19{,}9\text{мм}.$$

Для построения эллипса и подеры использованы данные таблицы 2.5, полученные для первой четверти эллипса по формулам (2.18) и (2.19).

Точки пересечения подеры с осями координат определяют m_x и m_y.

Таблица 2.5

φ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$r(\varphi)$	26,3	25,8	24,4	22,6	20,9	19,4	18,3	17,5	17,0	16,9
$m(\varphi)$	26,3	26,1	25,4	24,3	22,9	21,3	19,7	18,2	17,2	16,9

Эллипс и подера изображены на рисунке 2.2.

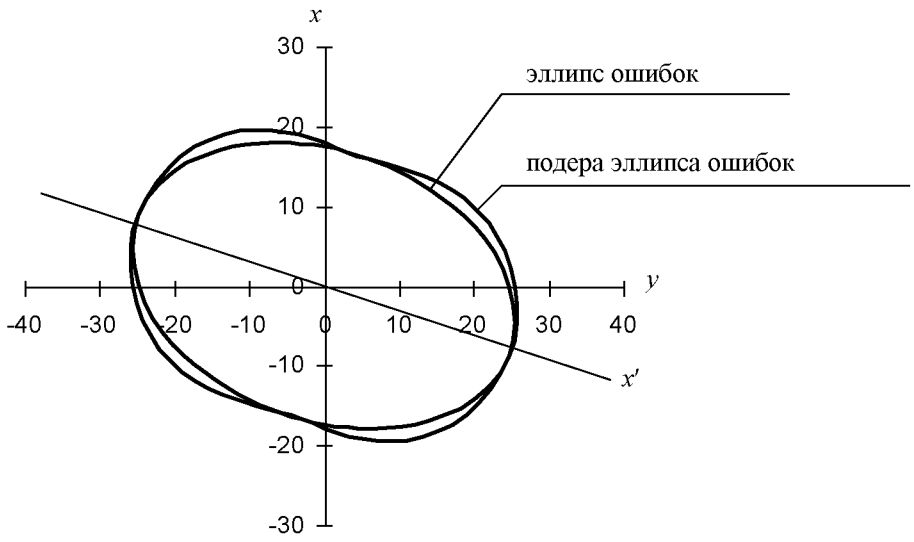


Рис. 2.2.

Средняя квадратическая ошибка положения пункта P.

$$M_P = \sqrt{A^2 + B^2} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 33{,}0\,\text{мм}.$$

3. Уравнивание нивелирной сети с помощью ЭВМ

3.1. Постановка задачи

В качестве примера рассмотрим подготовку данных и интерпретацию результатов коррелатного и параметрического уравнивания нивелирной сети, изображенной на рис. 3.1.

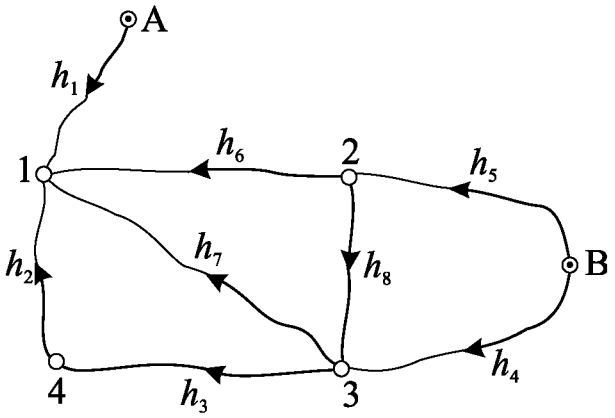


Рис.3.1. Схема уравниваемой нивелирной сети

Несвободная высотная сеть 2 класса задана отметками исходных реперов А и В, превышениями и длинами ходов. На рис.3.1 стрелками показаны направления положительных превышений.

Отметки исходных пунктов: H_A = 100,000 м, H_B = 88,060 м.

Сведения о нивелирных ходах:

Таблица 3.1

Номер хода i	1	2	3	4	5	6	7	8
Превышение h_i, м	5,416	4,482	6,285	6,567	2,964	14,403	10,792	3,599
Длина хода L_i, км	15,0	18,5	12,1	13,7	20,3	14,6	25,2	23,6

Необходимо уравнять сеть и найти СКО высотной отметки репера 2 относительно исходных реперов А и В, а также СКО взаимного положения реперов 2 и 4.

3.2. Коррелатное уравнивание нивелирной сети

3.2.1. Подготовка исходных данных

Сначала необходимо определить число измеренных величин (N) и число величин, достаточных для решения задачи(K).

В нивелирной сети измерялись только превышения между пунктами h_1, h_2, … h_8. Следовательно, N = 8, а вектор измеренных величин принимает вид:

$$x = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5{,}416 \\ 4{,}482 \\ 6{,}285 \\ 6{,}567 \\ 2{,}964 \\ 14{,}403 \\ 10{,}792 \\ 3{,}599 \end{pmatrix}.$$

Число достаточных измерений определяется числом пунктов, для которых необходимо определить высотные отметки. Таких пунктов в нашем примере 4 (1, 2, 3, 4). Таким образом, по формуле (1.1) число условных уравнений R равно 4. Для нивелирных сетей возможны два вида условий: замкнутых и разомкнутых полигонов. Для замкнутых полигонов сумма истинных превышений ходов, составляющих полигон, должна равняться нулю. Для разомкнутых полигонов эта сумма должна равняться разности высотных отметок конечного и начального пунктов полигона.

На рис. 3.1 выделяем один разомкнутый полигон между исходными пунктами А и В и три замкнутых полигона: 1-3-4, 1-2-3 и 2-3-В. Эти полигоны независимы, т.е. каждый из полигонов не может быть получен как сумма или разность других полигонов. Для составления условных уравнений необходимо принять для каждого полигона направление движения, например, по часовой стрелке. Тогда превышения ходов, составляющих полигон и направленных против часовой стрелки, записываются с противоположным указанному на схеме сети знаком:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= H_A + \eta_1 - \eta_6 - \eta_5 - H_B = 0, \\ \varphi_2 &= \eta_2 - \eta_7 + \eta_3 = 0, \\ \varphi_3 &= \eta_7 - \eta_6 + \eta_8 = 0, \\ \varphi_4 &= \eta_4 - \eta_8 - \eta_5 = 0. \end{aligned} \qquad (3.1)$$

Заменив в условных уравнениях истинные значения превышений η_i на измеренные h_i, получим уравнения невязок:

$$\begin{aligned} H_A + h_1 - h_6 - h_5 - H_B &= w_1 = \text{-11 мм}, \\ h_2 - h_7 + h_3 &= w_2 = \text{-25 мм}, \\ h_7 - h_6 + h_8 &= w_3 = \text{-12 мм}, \end{aligned} \qquad (3.2)$$

$$h_4 - h_8 - h_5 = w_4 = 4 \text{ мм}.$$

Таким образом, вектор невязок **w** равен:

$$\mathbf{w}^{\mathrm{T}} = \begin{pmatrix} -11 & -25 & -12 & 4 \end{pmatrix}.$$

Значения невязок указываются в миллиметрах.

Вместо матрицы **Q** при пользовании программой вводятся диагональные элементы матрицы **P**.

Вес измеренных величин вычисляется по формуле

$$p_i = \frac{\mu_0^2}{m_{h_i}^2}, \tag{3.3}$$

где m_{h_i} – средняя квадратическая ошибка превышений;

μ_0 – ошибка единицы веса.

Известно, что погрешность превышения возрастает с увеличением длины хода. Средняя квадратическая ошибка превышения в ходе длиной L (длина хода принимается в км) определяется по формуле:

$$m_{h_i} = \mu_0 \sqrt{L_i}, \tag{3.4}$$

Если принять за ошибку единицы веса среднюю квадратическую ошибку нивелирного хода длиной 20 км, то вес измерения

$$p_i = \frac{\mu_0^2 \cdot 20 \text{ км}}{\mu_0^2 \, L_i} = \frac{20}{L_i}. \tag{3.5}$$

Таким образом, для условий примера диагональная матрица весов имеет вид

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1{,}33 & & & & & & & \\ & 1{,}09 & & & & & & \\ & & 1{,}67 & & & & & \\ & & & 1{,}47 & & & & \\ & & & & 0{,}98 & & & \\ & & & & & 1{,}37 & & \\ & & & & & & 0{,}79 & \\ & & & & & & & 0{,}85 \end{pmatrix}.$$

Веса следует вычислять с двумя-тремя значащими цифрами.

Матрица **B** коэффициентов условных уравнений поправок имеет размер $R \times N$ (R строк и N столбцов). Элементы b_{ji} матрицы **B** определяются по формуле (1.7), т.е.

$$b_{ji} = \partial\varphi_j / \partial x_i .$$

Для условий примера частные производные первого условного уравнения следующие:

$$\frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_1}=1,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_2}=0,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_3}=0,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_4}=0,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_5}=-1,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_6}=-1,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_7}=0,\quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta_8}=0.$$

Таким образом, матрица **B** имеет вид:

$$\mathbf{B}=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Для оценки точности элементов сети составляются функции f. Для условий примера

$$f_1 = H_2 = H_A + h_1 - h_6,$$
$$f_2 = h_{2\text{-}4} = h_8 + h_3.$$

Таким образом, строки матрицы **R** (векторы **r**) равны:

$$\mathbf{r}_1 = (1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad 0),$$
$$\mathbf{r}_2 = (0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1).$$

3.2.2. Работа с ЭВМ

После запуска программы на экране дисплея появляется инструкция по вводу исходной информации. Напоминаем, что целая часть числа отделяется от дробной – точкой. Векторы и матрица **B** вводятся построчно. Одной строкой вводится диагональная матрица весов (только элементы, составляющие главную диагональ матрицы **P**).

Для удобства контролирования правильности ввода каждому вектору (строке матрицы **B**, диагонали матрицы **P**) отводятся специальные строки. При этом необходимо строго соблюдать последовательность набора векторов и строк матрицы **B** в соответствии с инструкцией. После некоторой паузы на экран выводятся результаты счета.

3.2.3. Представление результатов счета

Каждый студент должен правильно интерпретировать и грамотно оформлять результаты счета, которые выводятся на экран дисплея в виде векторов-столбцов: уравненных значений измеренных величин $\hat{x}$, средних квадратических ошибок (измеренных величин m_x и уравненных значений измеренных величин $m_{\hat{X}_i}$), а также ошибка единицы веса μ_1, и средняя квадратическая ошибка функции от уравненных значений измеренных величин $m_{f(\hat{X}_1,\ldots,\hat{X}_N)}$.

При оформлении результаты вычислений и средние квадратические ошибки следует округлять до десятых долей миллиметра. Пример оформления по полученным данным приведен в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

Каталог высотных отметок

Пункты	Высотные отметки после уравнивания, м	СКО уравненных отметок, мм
1	$105{,}416_3$	6,5
2	$91{,}021_0$	7,1
3	$94{,}628_7$	6,6
4	$100{,}921_9$	8,6

Таблица 3.3

Каталог превышений

Номер хода	Уравненные превышения, м	СКО превышений, мм	
		до уравнивания	после уравнивания
1	$5{,}416_3$	9,2	6,5
2	$4{,}494_5$	10,2	7,5
3	$6{,}293_1$	8,2	6,9
4	$6{,}568_8$	8,7	6,5
5	$2{,}960_9$	10,7	7,1
6	$14{,}395_4$	9,1	6,7
7	$10{,}787_6$	17,9	6,5
8	$3{,}607_8$	11,5	7,2

Средняя квадратическая ошибка взаимного положения пунктов 2 и 4 составила 8,6 мм.

Ошибка единицы веса по результатам уравнивания μ_1 = 10,6 мм. По величине ошибки единицы веса можно судить о классе выполнения нивелирования. В соответствии с «Инструкцией по нивелированию …» допустимая ошибка хода длиной 1 км приведена в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Класс точности	Допустимая невязка хода, мм	Допустимая СКО нивелирования 1 км с учетом коэффициента запаса ($k_з = 2$), мм
I класс	2	1
II класс	5	2,5
III класс	10	5
IV класс	20	10
техническое нивелирование	50	25

Для условий примера $m_{1км} = 2{,}4$ мм, т.е. точность созданной сети отвечает требованиям нивелирования II класса.

Заключительный контроль уравнивания выполняется вручную. Для этого проверяется выполнение равенств (3.1), в которые вместо истинных значений η_i подставляются уравненные превышения $\hat{\eta}_i$:

$$H_A + \hat{\eta}_1 - \hat{\eta}_6 - \hat{\eta}_5 - H_B = 100{,}000 + 5{,}416_3 - 14{,}395_4 - 2{,}960_9 - 88{,}060 = 0,$$

$$\hat{\eta}_2 - \hat{\eta}_7 + \hat{\eta}_3 = 4{,}494_5 - 10{,}787_6 + 6{,}293_1 = 0,$$

$$\hat{\eta}_7 - \hat{\eta}_6 + \hat{\eta}_8 = 10{,}787_6 - 14{,}395_4 + 3{,}607_8 = 0,$$

$$\hat{\eta}_4 - \hat{\eta}_8 - \hat{\eta}_5 = 6{,}568_8 - 3{,}607_8 - 2{,}960_9 = 0{,}1 \text{ мм}.$$

Полученные невязки не должны превышать погрешностей округлений.

3.3. Параметрическое уравнивание нивелирной сети

3.3.1. Подготовка исходных данных

Определение измеренных (N) и достаточных (K) величин, подготовка вектора **x** производится по методике, изложенной в п.3.2.1.

Для данного примера $K = 4$ и $N = 8$, таким образом, число уравниваемых параметров равняется четырем, а количество параметрических уравнений равняется 8.

Примем в качестве параметров высотные отметки определяемых пунктов:

$$T_1 = H_1,\ T_2 = H_2,\ T_3 = H_3,\ T_4 = H_4. \qquad (3.5)$$

Запишем $N = 8$ параметрических уравнений для измеренных превышений:

$$\eta_1 = H_1 - H_A = T_1 - H_A,\quad \eta_2 = H_1 - H_4 = T_1 - T_4,$$

$$\eta_3 = T_4 - T_3,\ \eta_4 = T_3 - H_B,\ \eta_5 = T_2 - H_B, \qquad (3.6)$$

$$\eta_6 = T_1 - T_2,\ \eta_7 = T_1 - T_3,\ \eta_8 = T_3 - T_2.$$

Приближенные значения параметров найдем, используя результаты измерений и высотные отметки исходных реперов:

$$t_1 = H_A + h_1 = 105{,}416 \text{ м},$$

$$t_2 = H_B + h_5 = 91{,}024 \text{ м},$$

$$t_3 = H_B + h_4 = 94{,}627 \text{ м},$$

$$t_4 = H_B + h_4 + h_3 = 100{,}912 \text{ м}.$$

Следовательно, вектор приближенных значений параметров принимает вид:

$$\mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 105{,}416 \\ 91{,}024 \\ 94{,}627 \\ 100{,}912 \end{pmatrix}.$$

Элементы вектора **l** получаются вычитанием результатов измерений из параметрических уравнений связи, в которых вместо истинных значений параметров T_j подставлены приближенные значения t_j:

$$\mathbf{l} = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \\ l_6 \\ l_7 \\ l_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overset{0}{\eta_1} - h_1 \\ \overset{0}{\eta_2} - h_2 \\ \overset{0}{\eta_3} - h_3 \\ \overset{0}{\eta_4} - h_4 \\ \overset{0}{\eta_5} - h_5 \\ \overset{0}{\eta_6} - h_6 \\ \overset{0}{\eta_7} - h_7 \\ \overset{0}{\eta_8} - h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (t_1 - H_A) - h_1 \\ (t_1 - t_4) - h_2 \\ (t_4 - t_3) - h_3 \\ (t_3 - H_B) - h_4 \\ (t_2 - H_B) - h_5 \\ (t_1 - t_2) - h_6 \\ (t_1 - t_3) - h_7 \\ (t_3 - t_2) - h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0{,}022\text{м} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0{,}011\text{м} \\ -0{,}003\text{м} \\ 0{,}004\text{м} \end{pmatrix}.$$

Элементы матрицы **P** (составление описывается в п. 3.2.1):

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1{,}33 & & & & & & & \\ & 1{,}09 & & & & & & \\ & & 1{,}67 & & & & & \\ & & & 1{,}47 & & & & \\ & & & & 0{,}98 & & & \\ & & & & & 1{,}37 & & \\ & & & & & & 0{,}79 & \\ & & & & & & & 0{,}85 \end{pmatrix}.$$

Веса следует вычислять с двумя-тремя значащими цифрами.

Матрица **A** коэффициентов условных уравнений поправок имеет размер $N \times K$ (N строк и K столбцов). Элементы a_{ij} матрицы **A** определяются по формуле (2.4), т.е.

$$a_{ij} = \partial\varphi_i / \partial T_j .$$

Для условий примера частные производные первого условного уравнения следующие:

$$\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_1} = 1, \quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial T_2} = 0, \quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial T_3} = 0, \quad \frac{\partial\varphi_1}{\partial T_4} = 0.$$

Таким образом, матрица **A** имеет вид:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Взаимное высотное положение пунктов описывается превышением между этими пунктами. Поэтому погрешность взаимного положения оценивается средней квадратической ошибкой превышения, вычисленного как разность уравненных высотных отметок. Для расчета этой ошибки

составляется функция f, выражающая превышение через принятые параметры. Для условий примера

$$H_2 = T_2,\ h_{2\text{-}4} = H_4 - H_2 = T_4 - T_2.$$

Таким образом, векторы **s** равны:

$$\mathbf{s}_1 = (0 \quad 1 \quad 0 \quad 0),$$
$$\mathbf{s}_2 = (0 \quad -1 \quad 0 \quad 1).$$

На этом заканчивается подготовка исходных данных для работы с программой.

3.3.2. Работа с ЭВМ

Работа с ЭВМ описана в п. 3.2.2.

3.3.3. Представление результатов счета

На экран дисплея выводятся векторы-столбцы: уравненных значений измеренных величин $\hat{x}$, уравненных значений параметров $\hat{t}_0$, ошибка единицы веса μ_1, средних квадратических ошибок (измеренных величин m_x, уравненных параметров $m_{\hat{t}_0}$, уравненных значений измеренных величин $m_{\hat{X}_i}$ и функций от уравненных значений измеренных величин $m_{f(\hat{X}_1,\ldots,\hat{X}_N)}$).

Необходимо помнить, что измеренными величинами являлись превышения, а параметрами – высотные отметки реперов.

На печать результаты счеты выводятся в метрах.

Оформление результатов счета производится в соответствии с указаниями, приведенными в п. 3.2.3.

Для условий примера $m_{1\text{км}} = 2{,}4$ мм, т.е. точность созданной сети отвечает требованиям нивелирования II класса.

Заключительный контроль уравнивания выполняется вручную. Для этого проверяется выполнение равенств (3.6), в которые вместо истинных значений T_j подставляются уравненные значения $\hat{t}_0$:

$$\hat{\eta}_1 = \hat{T}_1 - H_{\text{A}},\quad \hat{\eta}_2 = \hat{T}_1 - \hat{T}_4,\quad \hat{\eta}_3 = \hat{T}_4 - \hat{T}_3,\quad \hat{\eta}_4 = \hat{T}_3 - H_{\text{B}},$$

$$\hat{\eta}_5 = \hat{T}_2 - H_{\text{B}},\quad \hat{\eta}_6 = \hat{T}_1 - \hat{T}_2,\quad \hat{\eta}_7 = \hat{T}_1 - \hat{T}_3,\quad \hat{\eta}_8 = \hat{T}_3 - \hat{T}_2.$$

Расхождение вычисленных превышений от уравненных должны быть на порядок меньше ненулевых элементов вектора **l**.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Коррелатный способ уравнивания 3
1.1. Теория коррелатного уравнивания 3
1.2. Оценка точности по результатам уравнивания 7
2. Параметрический способ уравнивания 12
2.1. Теория параметрического уравнивания 12
2.2. Оценка точности по результатам уравнивания 15
2.3. Построение эллипса ошибок 17
3. Уравнивание нивелирной сети с помощью ЭВМ 22
3.1. Постановка задачи 22
3.2. Коррелатное уравнивание нивелирной сети 22
3.2.1. Подготовка исходных данных 22
3.2.2. Работа с ЭВМ 25
3.2.3. Представление результатов счета 26
3.3. Параметрическое уравнивание нивелирной сети 27
3.3.1. Подготовка исходных данных 27
3.3.2. Работа с ЭВМ 30
3.3.3. Представление результатов счета 30

Корректура кафедры маркшейдерского дела
Подписано к печати
Формат бумаги 60×84 1/16
Печ. л. 1,9 Тираж 100 экз. Заказ №

Лаб. множительной техники УГГГА
620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гордеев В.А., Раева О.С.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Содержание дисциплины	4
2. Повторение материала лекций	4
3. Самостоятельное изучение тем курса	4
4. Подготовка к практическим занятиям	7
5. Подготовка к опросу и экзамену	9
Рекомендуемая литература	15

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие является руководством к самостоятельной работе обучающийся по дисциплине «Математическая обработка результатов измерений».

К самостоятельно работе обучающихся при освоении дисциплины относятся следующие виды работ: повторение материала лекций, самостоятельное изучение тем курса дисциплины, подготовка к практическим занятиям, выполнение расчетно-графических работ, подготовка к экзамену.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

«Математическая обработка результатов измерений» дисциплина, в которой изучаются основные вопросы теории ошибок измерений и уравнительных вычислений. А именно, вопросы: обработки многократных измерений одной величины, оценки точности маркшейдерских измерений, оценки точности функций от измеренных величин, уравнивание результатов измерений и оценка точности маркшейдерско-геодезических сетей.

Целями освоения дисциплины «Математическая обработка результатов измерений» являются: освоение современных методов организации, анализа и обработки маркшейдерских измерений.

Дисциплина «Математическая обработка результатов измерений» формирует теоретические знания, практические навыки, вырабатывает компетенции, которые дают возможность решать профессиональные задачи в соответствии с видами профессиональной деятельности: производственно-технологической.

2.ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Конспект лекций является подсобным материалом обучающихся при самостоятельной работе при освоении тем курса дисциплины.

3.САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

Самостоятельная работа над дисциплиной включает в себя освоение теоретической части по рекомендуемым литературным источникам в соответствии с темами дисциплины.

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи теории ошибок измерений.

Тема 2: Измерения и ошибки измерений [1, стр. 6]

Измерения и наблюдения. Виды измерений и измеряемых величин. Истинное значение измеренной величины и результаты измерений. Качественная и количественная стороны измерений. Элементы и условия измерений. Ошибки и погрешности измерений. Классификации ошибок измерений.

Свойства случайных ошибок измерений. Закон распределения случайных ошибок. Стандарт измерения. Интеграл вероятности и функция Лапласа. Вероятность появления ошибки в заданном интервале. Погрешности округления.

Тема 3: Обработка равноточных измерений [1, стр. 43]

Условия равноточности измерений. Задачи обработки прямых равноточных измерений. Метод максимального правдоподобия. Среднее арифметическое из результатов измерений.

Средняя квадратическая ошибка (СКО). Формула Бесселя. Относительные ошибки. Точечные и интервальные оценки. Построение интервальных оценок для стандарта и истинного значения измеренной величины. Последовательность обработки равноточных измерений. Проверка распределения ошибок на нормальность.

Тема 4: Обработка неравноточных измерений [1, стр. 71]

Условия неравноточности измерений. Задачи обработки прямых неравноточных измерений. Веса результатов измерений. Среднее взвешенное и ошибка единицы веса.

Формулы Гаусса и Бесселя для неравноточных измерений. Построение интервальных оценок в случае неравноточных измерений. Переоценка точности измерений по результатам обработки. Приведение ошибок неравноточных измерений к равноточным.

Тема 5: Анализ точности функций независимых аргументов [1, стр. 91]

Линеаризация функции. Ошибка функции от измеренных аргументов. Закон распространения ошибок. Решение задач на вычисление СКО функции. Критерий ничтожности влияния источников ошибок измерений. СКО среднего арифметического. СКО разности двух измерений.

Обработка двойных равноточных измерений. Обработка двойных неравноточных измерений. Обратный вес функций от измеренных величин. СКО функции от равноточно и неравноточно измеренных величин.

Тема 6: Дополнительные вопросы теории математической обработки [1, стр. 122]

Виды систематических ошибок. Способы выявления систематических ошибок. Способы снижения влияния систематических ошибок.

Технологические допуски. Допустимый размах результатов. Выявление грубых ошибок. Допуски для невязок и функций от измеренных величин.

Необходимое число измерений одной величины. Принципы установления необходимой точности измерений. Принцип равных ошибок. Принцип равных влияний.

Тема 7: Элементы линейной алгебры [1, стр. 169]

Матрицы. Сложение, умножение и транспонирование матриц. Дифференцирование матриц. Обращение матриц. Решение системы линейных уравнений. Обращение симметричных матриц.

Тема 8: Параметрический способ уравнивания [1, стр. 287]

Сущность и задачи уравнительных вычислений. Основные принципы уравнивания. Параметрический способ уравнивания. Выбор параметров в высотных и плановых сетях. Параметрические уравнения связи. Уравнения поправок. Система нормальных уравнений поправок к приближенным значениям параметров и ее решение. Оценка параметров и измеренных величин.

Применение теории параметрического уравнивания при построении эмпирических формул. Классификация регрессионных моделей. Приближенная оценка параметров модели. Составление и решение системы нормальных уравнений в регрессионном анализе.

Тема 9: Коррелатный способ уравнивания [1, стр. 222]

Виды условных уравнений в маркшейдерско-геодезических сетях. Уравнения невязок. Уравнения поправок. Система нормальных уравнений коррелат. Вычисление поправок к результатам измерений. Контроли при коррелатном уравнивании.

4.ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическим занятиям является составляющим общего процесса освоения дисциплины. Она включает в себя подбор необходимых методических материалов и средств для выполнения расчетно-графических работ. Практические занятия состоят из следующих тем.

Измерения и ошибки измерений

Расчет вероятности появления ошибки в заданном интервале при известной точности измерений. Оценка точности измерений по заданному размаху измерений и вероятности.

Обработка равноточных измерений

Обработка прямых равноточных угловых и линейных измерений – оценка истинного значения измеренной величины и точности измерений. Обработка двойных измерений.

Обработка неравноточных измерений

Назначение весов результатам измерений. Обработка прямых неравноточных угловых и линейных измерений – оценка истинного значения измеренной величины и точности измерений. Обработка двойных неравноточных измерений.

Анализ точности функций независимых аргументов

Решение задач на расчет средней квадратической ошибки функции от измеренных аргументов. Расчет обратного веса функции.

Дополнительные вопросы теории математической обработки

Выявление систематических ошибок в ряду равноточных измерений. Установление допустимого размаха результатов измерений. Выявление грубых ошибок. Расчет допустимых невязок и функций от измеренных величин. Расчет необходимого числа измерений одной величины.

Элементы линейной алгебры

Обращение симметричной матрицы 4-го порядка по схеме Холецкого

Параметрический способ уравнивания

Строгое уравнивание обратной геодезической засечки. Построение эмпирической формулы по методике параметрического уравнивания

Коррелатный способ уравнивания

Строгое уравнивание полигонометрического хода

5.ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ И ЭКЗАМЕНУ

Подготовка обучающихся к опросу и экзамену является заключительным этапом самостоятельной работы по освоению программы курса дисциплины. Она состоит в проверке усвоенных знаний путем ответов на вопросы, на основании которых составлены экзаменационные билеты.

Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Измерения и виды измерений.
2. Истинное значение измеренной величины и результаты измерений.
3. Ошибки измерений.
4. Элементы и условия измерений.
5. Классификация ошибок по источникам возникновения.

Примерный перечень вопросов для подготовки к опросу

1. Почему результаты измерений рассматриваются как случайные величины?
2. Какие разделы теории вероятностей необходимо знать для изучения дисциплины?
3. Раскройте понятие наилучшего оценивания в теории ошибок.
4. В чем заключается особенность уравнительных вычислений?
5. Поясните общетеоретическое значение теории погрешностей измерений и уравнительных вычислений.
6. С какими видами маркшейдерских работ связана дисциплина?
7. Что называется измерением и результатом измерения?
8. Назовите виды линейных измерений.
9. Назовите виды угловых измерений.
10. Какие величины измеряются в маркшейдерском деле?
11. Что понимается под погрешностью измерения?
12. Какую роль играют избыточные измерения?
13. Как влияют атмосферные условия при производстве линейных измерений?
14. Что понимают под случайными погрешностями измерений? В чем причина «неизбежности» их появления?
15. Какому закону распределения подчиняются случайные погрешности измерений?
16. Какому закону распределения подчиняются ошибки округления?
17. Назовите параметры закона распределения результатов измерений.
18. Назовите параметры закона распределения случайных ошибок.
19. Назовите параметры закона распределения полных ошибок измерений.
20. Что выражает интеграл вероятности?
21. Укажите на отличие между интегралом вероятности и функцией Лапласа.
22. Какая связь между стандартом измерения и законом распределения случайных ошибок?

23. Что понимается под средним арифметическим из результатов измерений?
24. Как контролируется правильность вычисления среднего арифметического значения?
25. Как оценить значения случайных ошибок в процессе обработки?
26. Что понимается под средней квадратической ошибкой измерений?
27. В чем заключаются преимущества средней квадратической ошибки как меры точности измерений?
28. Какие две формы представления погрешностей измерений применяются и сколько значащих цифр необходимо удерживать при написании численных значений погрешностей измерений?
29. Как поступают для нахождения точности измерений, если не известно истинное значение измеряемой величины?
30. Дайте определение точечному оцениванию.
31. Дайте определение интервальному оцениванию.
32. В чем отличие нормального закона распределения от закона распределения Стьюдента?
33. Какое распределение используется при построении интервальных оценок стандарта?
34. Назовите последовательность обработки при неизвестных истинном значении измеренной величины и стандарта.
35. Когда необходимо учитывать веса измерений?
36. Приведите типичные примеры способов принятия весов при маркшейдерско-геодезических вычислениях.
37. Дайте определение понятию «ошибка единицы веса».
38. Как перейти от ошибки единицы веса к точности измерений?
39. Назовите последовательность обработки при неизвестном истинном значении измеренной величины.
40. Что понимается под переоценкой точности измерений по результатам обработки?
41. Как проверить на нормальность результаты неравноточных измерений?

42. Обоснуйте принцип ничтожного влияния и укажите направления его применения.
43. Назовите основные следствия из закона накопления ошибок.
44. Запишите формулу средней квадратической ошибки (СКО) среднего арифметического?
45. Почему число измерений обычно не превышает 7 – 10?
46. Чему равняется СКО разности двух измерений?
47. Как найти СКО одного измерения по результатам обработки двойных равноточных измерений?
48. Как найти СКО одного измерения по результатам обработки двойных неравноточных измерений?
49. Чему равен вес функции от измеренных величин, если известны веса измерений?
50. Чему равны веса: простой арифметической середины, общей арифметической середины?
51. Как привести ошибки неравноточных измерений к условно равноточным?
52. Как привести разности двойных неравноточных измерений к условно равноточным?
53. Что такое «попарно равноточные измерения»?
54. Назовите постоянные по величине и знаку систематические ошибки при угловых измерениях.
55. Назовите постоянные по знаку систематические ошибки при линейных измерениях.
56. Какие действия необходимо выполнить при наличии систематических ошибок?
57. Напишите формулу закона распространения ошибок при наличии случайных и систематических ошибок?
58. Назовите условия применения критерия Аббе.
59. Какому закону распределения подчиняются погрешности округления?

60. Что понимается под предельными погрешностями? Их связь с интегралом Дайте определение скаляру, вектору, квадратной матрице, диагональной матрице и симметричной матрице. Приведите примеры этих матриц в теории математической обработки результатов измерений.
61. Какое значение имеют диагональные элементы весовой матрицы?
62. Какой вид имеет весовая матрица независимых результатов измерений?
63. Назовите свойства транспонирования матриц.
64. Назовите свойства сложения матриц.
65. Какие матрицы называются «сцепленными»? Назовите свойства произведения матриц.
66. Что является результатом скалярного произведения векторов?
67. Какая матрица называется «вырожденной»?
68. Назовите свойства обращения матриц.
69. Раскройте роль обращения матриц при решении системы линейных уравнений.
70. Раскройте алгоритм обращения симметричной матрицы по схеме Холецкого.
71. Какие системы линейных уравнений называются недоопределенными и Определите роль избыточных измерений в уравнительных вычислениях.
72. Что означают термины «уравнивание» и «уравнительные вычисления»?
73. Назовите преимущества принципа наименьших квадратов.
74. Какие задачи решаются при уравнивании по методу наименьших квадратов?
75. Назовите способы уравнивания по методу наименьших квадратов.
76. Какие способы уравнивания относятся к приближенным? Перечислите их преимущества и недостатки.
77. В чем заключается переопределенность системы уравнений поправок и как она разрешается?
78. Могут ли измеренные величины приниматься в качестве уравниваемых параметров?

79. Какие величины принято назначать в качестве параметров при уравнивании геодезических сетей?
80. Определите сущность параметрического уравнивания.
81. Что описывают параметрические уравнения связей?
82. Для чего проводится линеаризация параметрических уравнений?
83. Сформулируйте принципы определения весов параметрических уравнений поправок.
84. Назовите особенности матрицы параметрических уравнений поправок при уравнивании высотных сетей.
85. Назовите условия, возникающие в линейно-угловых сетях.
86. Сколько систем условных уравнений можно составить при уравнивании?
87. Перечислите условия, которым должна отвечать система условных уравнений.
88. В чем заключается недоопределенность системы условных уравнений и как она разрешается?
89. Как из условных уравнений получают уравнения невязок?
90. Для чего проводится линеаризация уравнений невязок?
91. Приведите матричную запись системы линейных уравнений поправок.
92. С какой точностью необходимо вычислять коэффициенты линейных уравнений поправок?
93. Чему равняется число нормальных уравнений при коррелатном уравнивании?
94. Как определяется допустимость невязок при коррелатном уравнивании?
95. В чем заключается сущность коррелатного уравнивания?
96. Что такое «коррелаты» и как они используются?
97. Что проверяет заключительный контроль коррелатного уравнивания?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Теория ошибок измерений и уравнительные вычисления: учеб. пособие / В.А. Гордеев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. - 429 с.
2. *Гордеев В. А., Раева О. С.* Математическая обработка результатов измерений. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Математическая обработка результатов измерений» для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело специализации «Маркшейдерское дело» (МД)., 2019. - 35 с.
3. *Гордеев В. А., Раева О. С.* Математическая обработка результатов измерений. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине «Математическая обработка результатов измерений» для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело специализации «Маркшейдерское дело», 2019. – 30 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Жабко А.В., Бадулин А.П.

ГЕОМЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие к курсовому проекту

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ НА КАРЬЕРЕ 5
1.1. Общие сведения 5
1.2. Подготовительные работы 5
1.3. Проект наблюдательной станции 6
1.4. Инструментальные маркшейдерские наблюдения 10
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД 15
2.1. Вычисление средневзвешенных характеристик прочностных свойств 15
2.2. Метод обратных расчетов 15
3. ПОСТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В ОТКОСАХ 19
3.1. Общие положения 19
3.2. Поверхность скольжения в однородном откосе 20
3.3. Поверхность скольжения в анизотропных откосах 22
4. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНОГО ОТКОСА СПОСОБОМ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО СЛОЖЕНИЯ СИЛ 26
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКОСА МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ 29
6. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНОГО ОТКОСА СПОСОБОМ МНОГОУГОЛЬНИКА СИЛ (ВНИМИ) 35
7. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОБВОДНЕННЫХ ОТКОСОВ СТРОГИМ СПОСОБОМ 40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 46
Приложение 1. План участка карьера М 1:1000 47
Приложение 2. План участка карьера М 1:2000 48
Приложение 3. Результаты обработки данных инструментальных маркшейдерских наблюдений 49
Приложение 4. Схема оползня для определения механических характеристик горных пород методом «обратного расчета» 50
Приложение 5. Физико-механические свойства горных пород для оценки устойчивости откосов 51
Приложение 6. Физико-механические свойства горных пород для оценки устойчивости откосов 52
Приложение 7. Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе 53
Приложение 8. Номограмма устойчивости плоских однородных откосов 59

ВВЕДЕНИЕ

С ростом глубины карьеров увеличивается высота нерабочих бортов, а следовательно, и опасность их деформаций. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьеров является одним из основных вопросов при открытом способе разработки, который целиком и полностью определяет технологию горных работ, их эффективность и безопасность.

Одной из задач изучения студентами маркшейдерской специальности дисциплин горно-технологического цикла является освоение методов оценки устойчивости карьерных откосов (уступов, бортов карьеров и отвалов, откосов дамб хвостохранилищ), приобретение навыков создания геомеханических разрезов и проектирования карьеров.

В учебно-методическом пособии изложены основные вопросы геомеханики открытой разработки, с которыми специалист-маркшейдер может встретиться в своей профессиональной деятельности.

1. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ НА КАРЬЕРЕ

1.1. Общие сведения

Маркшейдерские инструментальные наблюдения являются необходимой составной частью комплексных исследований устойчивости бортов карьеров, проводимых в период строительства и эксплуатации карьеров.

Определенные путем расчета углы наклона бортов карьеров в практике обычно имеют недостаточный или избыточный коэффициент запаса устойчивости. Основной причиной несоответствия коэффициента запаса устойчивости фактическим углам откоса бортов является невысокая точность определения расчетных механических характеристик массива горных пород, слагающих борта карьеров.

Для прогнозирования развития деформаций во времени с увеличением глубины карьера и принятия мер по предотвращению их роста до критической величины рекомендуется проводить инструментальные маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов.

Цели маркшейдерских наблюдений:

1. Установление границ распространения и вида деформаций горных пород.
2. Определение величины и скорости смещений горных пород.
3. Определение критической скорости смещений, предшествующей началу активной стадии оползня или обрушения.
4. Предрасчет развития смещений во времени при понижении горных работ в карьере.

Маркшейдерские наблюдения за деформациями бортов должны проводиться одновременно с началом горных работ.

1.2. Подготовительные работы

В технических проектах отработки месторождения открытым способом должны содержаться и проекты наблюдательных станций для изучения деформаций бортов карьера в целом и деформаций его отдельных участков. При отсутствии проектов наблюдательных станций в техническом проекте отработки месторождения, последние, как правило, разрабатываются специализированными организациями со-

вместно с маркшейдерской службой предприятия. Разработанный проект согласовывается с органами Ростехнадзора.

Программа подготовительных работ по разработке проекта наблюдательной станции на карьере включает:

1. Изучение инженерно-геологических условий разработки.

2. Анализ фактического состояния устойчивости бортов эксплуатируемого карьера.

3. Выявление наиболее опасных, с точки зрения устойчивости, участков бортов карьера.

4. Составление планов и разрезов карьера в масштабах 1:500, 1:1000 или 1:2000 с нанесением фактического и проектного контуров горных работ, детальной инженерно-геологической характеристики участков с выделением литологических границ вмещающих пород, тектоники, трещиноватости, источников выхода подземных вод, уровня депрессионной воронки и др.

1.3. Проект наблюдательной станции

Проект наблюдательной станции в обязательном порядке должен содержать следующую информацию:

1. Выбор места заложения и конструкцию наблюдательной станции.

2. Конструкцию опорных и рабочих реперов.

3. Методика наблюдений (выбор схемы наблюдений, т. е. измерения длин, превышений, углов и т. д.).

4. Обоснование точности и периодичности наблюдений.

5. Обоснование точности наблюдений и выбор инструментария для обеспечения заданной точности.

6. Методика упрощенных наблюдений за устойчивостью откосов.

Наблюдательные станции закладываются на менее устойчивых участках борта, характеризующихся следующими признаками:

1. Наиболее крутыми углами наклона борта.

2. Большой глубиной карьера (высотой борта).

3. Подрезкой слоев, контактов пород в основании борта.

4. Наличием тектонических нарушений, интенсивной трещиноватости, обводненности горных пород.

5. Нагрузкой уступов тяжелым оборудованием, промышленными сооружениями (например, скиповой подъемник).

Реперы наблюдательной станции закладываются по профильным линиям, перпендикулярным к простиранию карьера в предельном положении. Расстояние между рабочими реперами, расположенными на земной поверхности, в зависимости от их удаления от верхней бровки борта карьера, принимают: на участке призмы возможного обрушения – 5, 10 и 15 м; ширина призмы возможного обрушения (в однородных средах) ориентировочно может быть принята для рыхлых пород – 0,3H, для полускальных – 0,2H и для скальных – 0,1H, далее по мере удаления от верхней бровки, 15 – 30 м. Расстояние между опорными реперами около 50 м.

Длина профильной линии выбирается с расчетом, чтобы при максимальной глубине карьера часть реперов (опорные реперы) оставалась в недеформируемой зоне. Протяженность профильной линии без опорных реперов на поверхности, примыкающей к карьеру, должна быть не менее 1,5H (где H – глубина карьера).

Длина опорной части профильной линии принимается равной 50 – 150 м, в зависимости от условий местности, геологического строения борта и глубины карьера.

План наблюдательной станции представлен на рис. 1.1, разрез по профильной линии – на рис. 1.2.

Наиболее полные данные о характере деформаций откосов получают путем наблюдений за смещением реперов, заложенных в местах по направлениям наибольшего наклона борта. На оползнях больших площадей конструкция станции может иметь другой вид, более удобный для данных условий, чем профильные линии.

Конструкции реперов определяется свойствами грунтов в местах закладки и сроком их службы. Основное требование к конструкции репера заключается в том, чтобы в течение всего периода наблюдений сохранялась надежная связь репера с грунтом. Конструкции реперов представлены на рис. 1.3.

Глубина закладки репера относительно поверхности определяется по формуле

$$h = h_{\max} + a + b, \qquad (1.1)$$

где $h_{\max}$ – максимальна глубина промерзания грунта; a – высота якоря репера (0,4 – 0,5 м); b – запас, определяемый величиной возможной ошибки определения глубины промерзания (0,1 – 0,2 м).

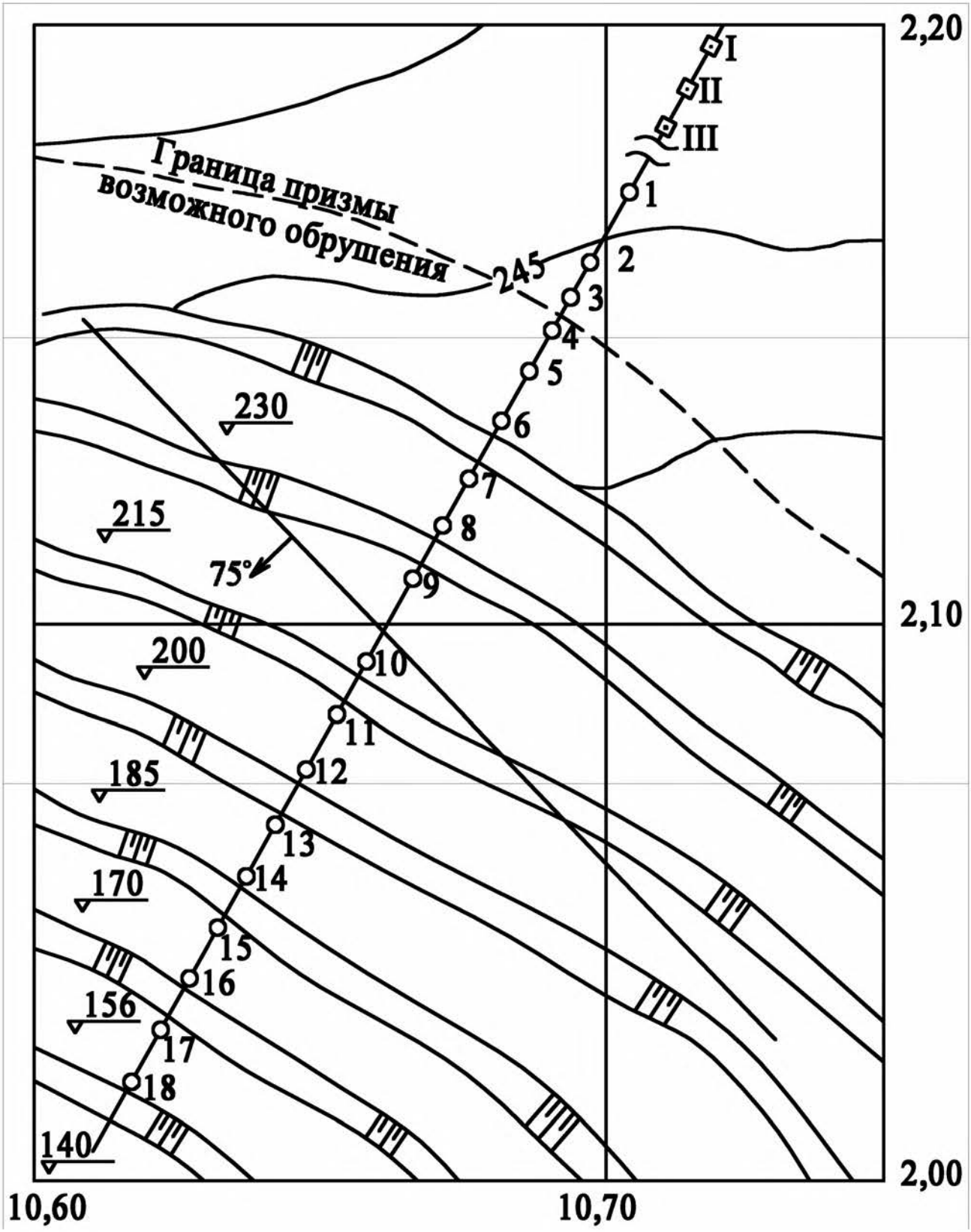


Рис. 1.1. План наблюдательной станции

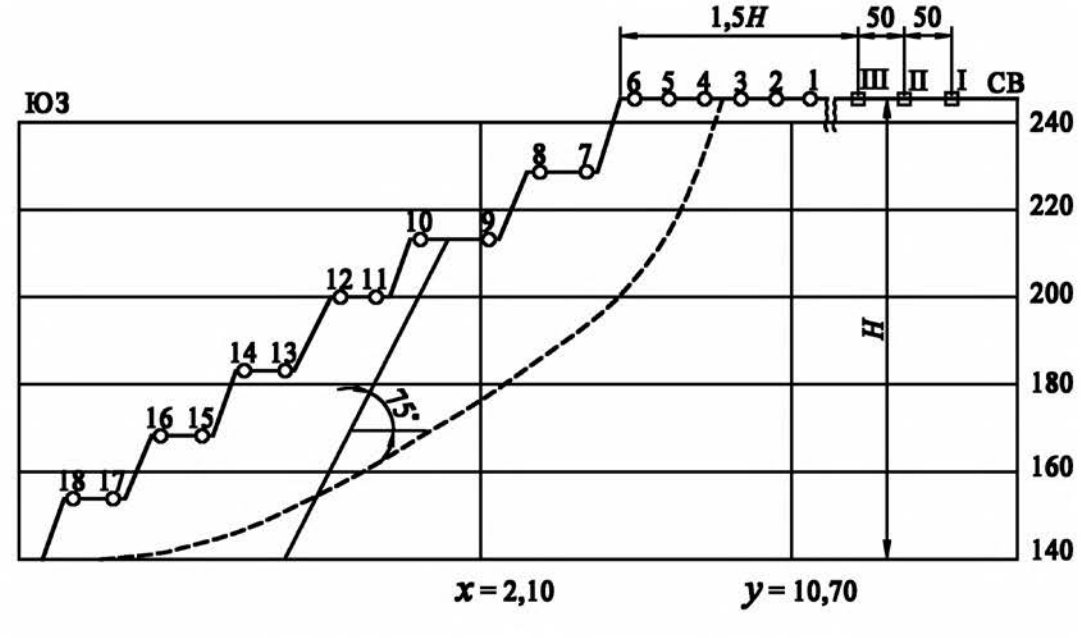


Рис. 1.2. Разрез по профильной линии

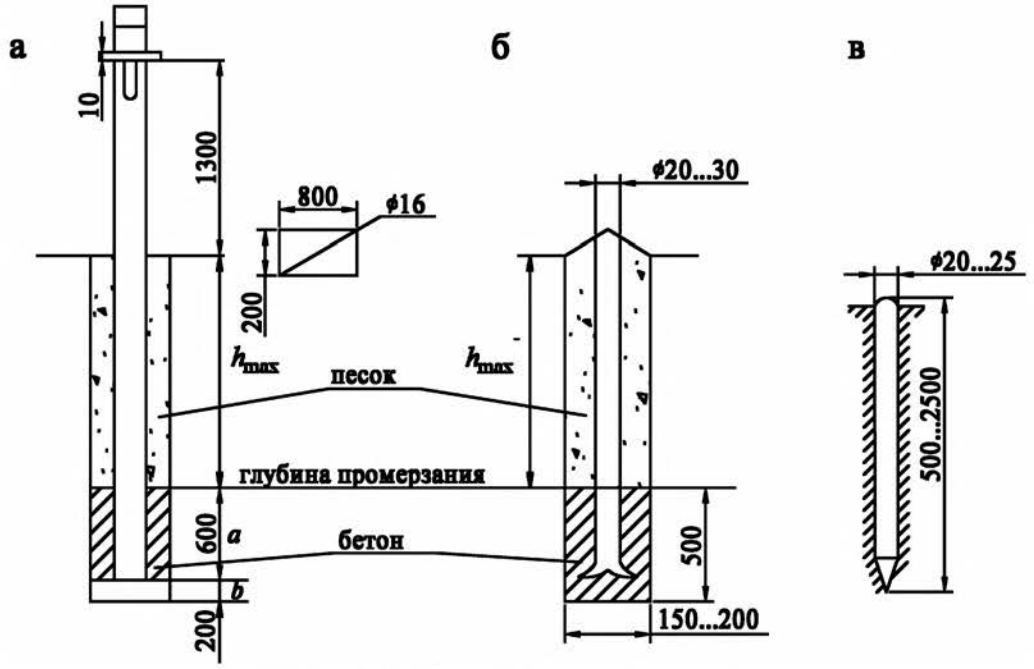


Рис. 1.3. Конструкции реперов

Глубина закладки опорных и рабочих реперов в рыхлых породах должна быть не менее 1,5 м.

Задание № 1

Разработать проект наблюдательной станции для участков бортов карьеров (прил. 1, 2). Выполнение задания необходимо начать с ознакомления с нормативными документами [1, 2].

1.4. Инструментальные маркшейдерские наблюдения

Комплекс работ состоит из следующих операций:

а) инструментальное определение величины сдвижений реперов наблюдательной станции в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

б) фиксация трещин на земной поверхности и бермах уступов, замер их ширины и протяженности;

в) составление ведомости обработки результатов наблюдений и графического материала;

г) пополнение планов и разрезов горных работ на каждую дату наблюдений с указанием времени производства отдельных операций горных работ (массовый взрыв, вскрышные работы и т. п.).

В методике маркшейдерских наблюдений необходимо предусмотреть:

1. Привязку опорных и исходных реперов наблюдательной станции к рудничной маркшейдерской опорной сети.

2. Производство начальных наблюдений для определения исходного положения реперов и установление периода последующих наблюдений.

3. Обработка результатов наблюдений.

Результаты полевых наблюдений подлежат аналитической и графической обработке.

Камеральная обработка результатов наблюдений производится сразу же по окончании каждой серии измерений и заключается в выполнении следующих операций:

– проверка полевых журналов;

– вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции;

– вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий с введением в измеренные длины всех поправок;

– составление по каждой профильной линии ведомостей:

а) вертикальных сдвижений;

б) горизонтальных сдвижений реперов вдоль профильных линий;

в) вертикальных деформаций (сдвигов);

г) горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий);

д) скоростей сдвижений реперов по направлению векторов смещения.

Инструментальные наблюдения по каждой профильной линии и в каждой серии наблюдений заключаются в определении горизонтальных расстояний и превышений между смежными реперами. По результатам этих определений для каждой серии составляют ведомость горизонтальных расстояний и высот каждого репера от крайнего опорного репера (см. рис. 1.1, 1.2). По разности высот и расстояний в смежных сериях или в последней и первой серии определяют смещения каждого репера за период между наблюдениями.

Заметим, что наблюдательная станция может быть заложена не в форме профильных линий, а в виде хаотически заложенных отдельных реперов. В этом случае инструментальные наблюдения сводятся не к промеру расстояний между реперами, а к определению их плановых координат в каждой серии наблюдений. Такой подход становится все более распространенным в связи с внедрением для наблюдений спутниковых технологий. Вопрос о правомерности их применения (достаточности точности) должен решаться в каждом конкретном случае.

Ведомость горизонтальных и вертикальных смещений реперов по профильной линии представлена в табл. 1.1.

По результатам обработки результатов измерений смещений реперов вычерчивают графики (рис. 1.4 – 1.6).

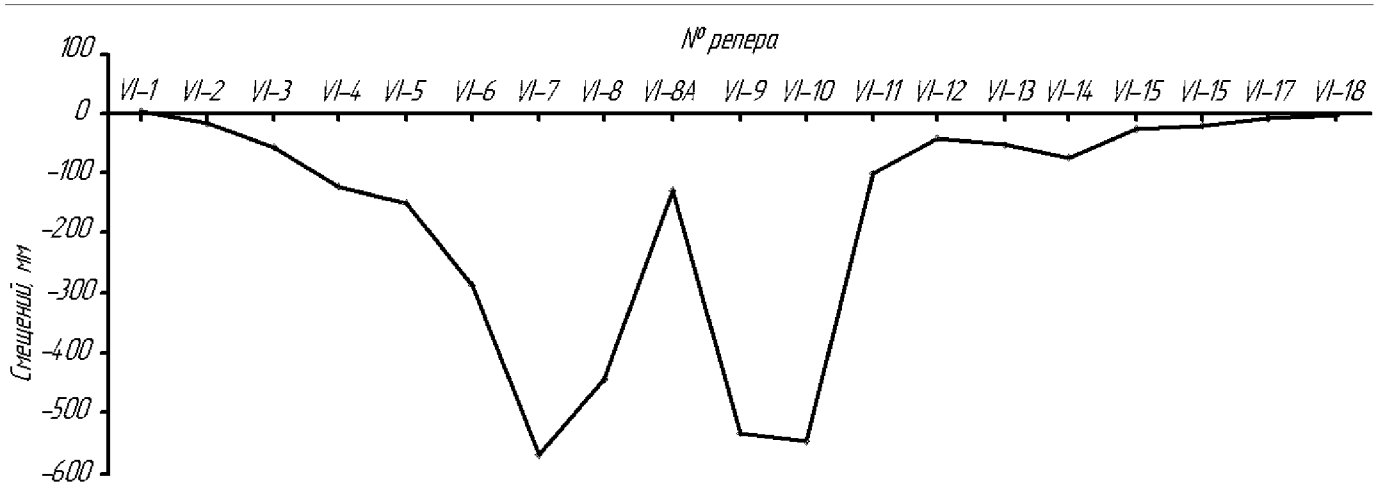


Рис. 1.4. График вертикальных смещений реперов

Таблица 1.1

Результаты наблюдений по профильной линии и их обработка

Номер репера	Исх. серия наблюдения 01.08.1990	18 серия 01.09.1996	19 серия 20.01.1997	Разница между 19 - 18 сериями, мм	Ско-рость гор., мм/сут	Ско-рость верт., мм/сут	Ско-рость общ., мм/сут	Разница между 19 - 1 сериями, мм
VI-1	944,616	–	–	–	–	–	0,064	–
	174,969	–	–	–				–
	55,171	55,163	55,172	9	–	0,064		1
VI-2	944,04	–	–	–	–	–	0,085	–
	311,033	–	–	–				–
	54,868	54,837	54,849	12	–	0,085		-19
VI-3	945,86	945,876	–	–	–	–	0,078	–
	396,511	396,548	–	–				–
	55,219	55,149	55,16	11	–	0,078		-59
VI-4	945,412	–	–	–	–	–	0,071	–
	506,015	–	–	–				–
	54,756	54,621	54,631	10	–	0,071		-125
VI-5	945,702	945,784	945,788	4	0,110	–	0,124	86
	601,76	601,768	601,753	-15				-7
	54,529	54,370	54,378	8	–	0,057		-151
VI-6	947,408	–	–	–	–	–	0,057	–
	723,215	–	–	–				–
	54,493	54,198	54,206	8	–	0,057		-287
VI-7	947,553	–	–	–	–	–	0,043	–
	829,168	–	–	–				–
	53,84	53,276	53,27	-6	–	0,043		-570
VI-8	943,178	943,136	943,145	9	0,065	–	0,087	-33
	926,606	926,603	926,601	-2				-5
	53,97	53,535	53,527	-8	–	0,057		-443
VI-8A	924,1	924,114	924,127	13	0,102	–	0,102	27
	926,127	926,133	926,27	-6				0
	53,045	52,914	52,914	0	–	0,000		-131
VI-9	947,226	947,234	947,194	-40	0,309	–	0,309	-32
	1026,86	1026,931	1026,948	17,2				88
	53,526	52,993	52,991	-2	–	0,014		-535
VI-10	947,294	947,344	947,357	13	0,141	–	0,155	63
	1132,831	1132,702	1132,687	-15				-144
	53,583	53,045	53,036	-9	–	0,064		-547

Окончание табл. 1.1

Номер репера	Исх. серия наблюдения 01.08.1990	18 серия 01.09.1996	19 серия 20.01.1997	Разница между 19 - 18 сериями, мм	Ско-рость гор., мм/сут	Ско-рость верт., мм/сут	Ско-рость общ., мм/сут	Разница между 19 - 1 сериями, мм
VI-11	945,857	945,928	945,927	-1	0,043	–	0,052	70
	1235,081	1235,102	1235,096	-6				15
	54,154	54,049	54,053	4	–	0,028		-101
VI-12	948,764	948,758	948,763	5	0,073	–	0,088	-1
	1490,318	1490,316	1490,307	-9				-11
	54,903	54,867	54,86	-7	–	0,050		-43
VI-13	950,024	–	–	–	–	–	0,000	–
	1607,799	–	–	–				–
	54,740	54,686	54,686	0	–	0,000		-54
VI-14	950,659	–	–	–	–	–	0,007	–
	1727,468	–	–	–				–
	55,046	54,971	54,97	-1	–	0,007		-76
VI-15	950,003	949,993	–	–	–	–	0,014	–
	1822,649	1822,641	–	–				–
	54,198	54,174	54,172	-2	–	0,014		-26
VI-16	950,929	–	–	–	–	–	0,028	–
	1913,450	–	–	–				–
	54,703	54,686	54,682	-4	–	0,028		-21
VI-17	–	–	–	–	–	–	0,021	–
	–	–	–	–				–
	54,862	54,854	54,851	-3	–	0,021		-11
VI-18	–	–	–	–	–	–	0,014	–
	–	–	–	–				–
	54,720	54,718	54,716	-2	–	0,014		-4

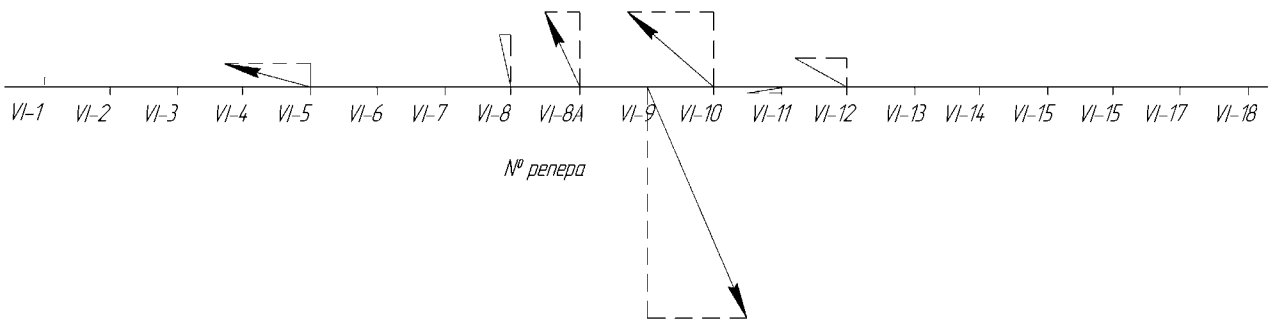


Рис. 1.5. График горизонтальных смещений реперов

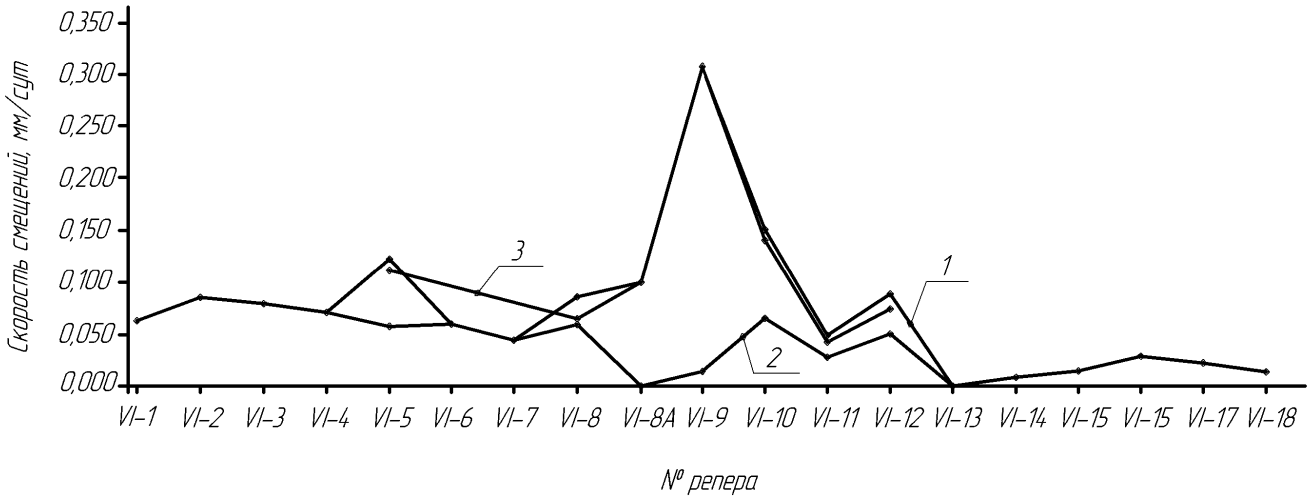


Рис. 1.6. Скорости смещения реперов:
1 – общая скорость смещения; *2* – горизонтальная скорость смещения;
3 – вертикальная скорость смещения

По результатам инструментальных маркшейдерских наблюдений и обработки их результатов производится анализ и интерпретация результатов, являющихся наиболее ответственной и сложной частью геомеханического мониторинга за состоянием сооружения (выполняются специализированными организациями). По результатам интерпретации делается вывод о степени устойчивости сооружения, корректируется периодичность наблюдений и т. д.

Задание № 2

Произвести обработку результатов инструментальных маркшейдерских наблюдений (прил. 3). Построить графики горизонтальных и вертикальных смещений рабочих реперов и скоростей смещений.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1. Вычисление средневзвешенных характеристик прочностных свойств

К основным физико-механическим характеристикам горного массива относятся: γ – объемный вес; φ – угол внутреннего трения и C – сцепление. Две последние характеристики относятся к параметрам паспорта прочности и характеризуют предел сопротивления сдвигу (срезу) горных пород.

Для каждого однородного участка (слоя) определяются физико-механические характеристики пород, после этого определяют средневзвешенные величины этих характеристик вдоль поверхности скольжения по формулам:

$$\begin{gathered} \operatorname{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \sigma_{n1} l_1 + \operatorname{tg}\varphi_2 \cdot \sigma_{n2} l_2 + \ldots + \operatorname{tg}\varphi_i \cdot \sigma_{ni} l_i}{\sigma_{n1} l_1 + \sigma_{n2} l_2 + \ldots + \sigma_{ni} l_i}, \\ C_{\text{ср}} = \frac{C_1 \cdot l_1 + C_2 \cdot l_2 + \ldots + C_i \cdot l_i}{l_1 + l_2 + \ldots + l_i}, \\ \gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \ldots + \gamma_i \cdot h_i}{h_1 + h_2 + \ldots + h_i}, \end{gathered} \qquad (2.1)$$

где φ_i – угол внутреннего трения i-того слоя; C_i – сцепление i-го слоя; l_i – протяженность поверхности скольжения в i-м слое; σ_{ni} – среднее нормальное к поверхности скольжения напряжение в i-м слое; h_i – вертикальная мощность i-го слоя.

2.2. Метод обратных расчетов

В практике отработки карьеров для более точного получения величин C и φ в массиве задействуют факты произошедших оползней или обрушений. Определение угла внутреннего трения и сцепления пород производится в данном случае *методом обратного расчета*. Сущность метода обратного расчета заключается в следующем.

Массив горных пород, слагающих откос, до обрушения удерживается в равновесии за счет сил сцепления и трения:

$$\mathrm{tg}\varphi_{\text{ср}} \sum_{i=1}^{n} N_i + C_{\text{ср}} \cdot L = \sum_{i=1}^{n} T_i , \qquad (2.2)$$

где N_i, T_i – соответственно нормальная и касательная реакция со стороны поверхности скольжения, действующие на выделенный отсек призмы смещения до обрушения; L – длина поверхности скольжения до обрушения; n – количество отсеков.

После обрушения, когда силы сцепления практически отсутствуют, новое равновесие наступает тогда, когда сумма сдвигающих сил уравновесится силами трения вдоль новой поверхности соприкосновения:

$$\sum_{i=1}^{k} T_i' = \mathrm{tg}\varphi_{\text{ср}} \sum_{i=1}^{k} N_i' , \qquad (2.3)$$

где N_i', T_i' – соответственно нормальная и касательная реакции со стороны поверхности скольжения, действующие на выделенный отсек призмы смещения после обрушения; k – количество отсеков после обрушения (рис. 2.1).

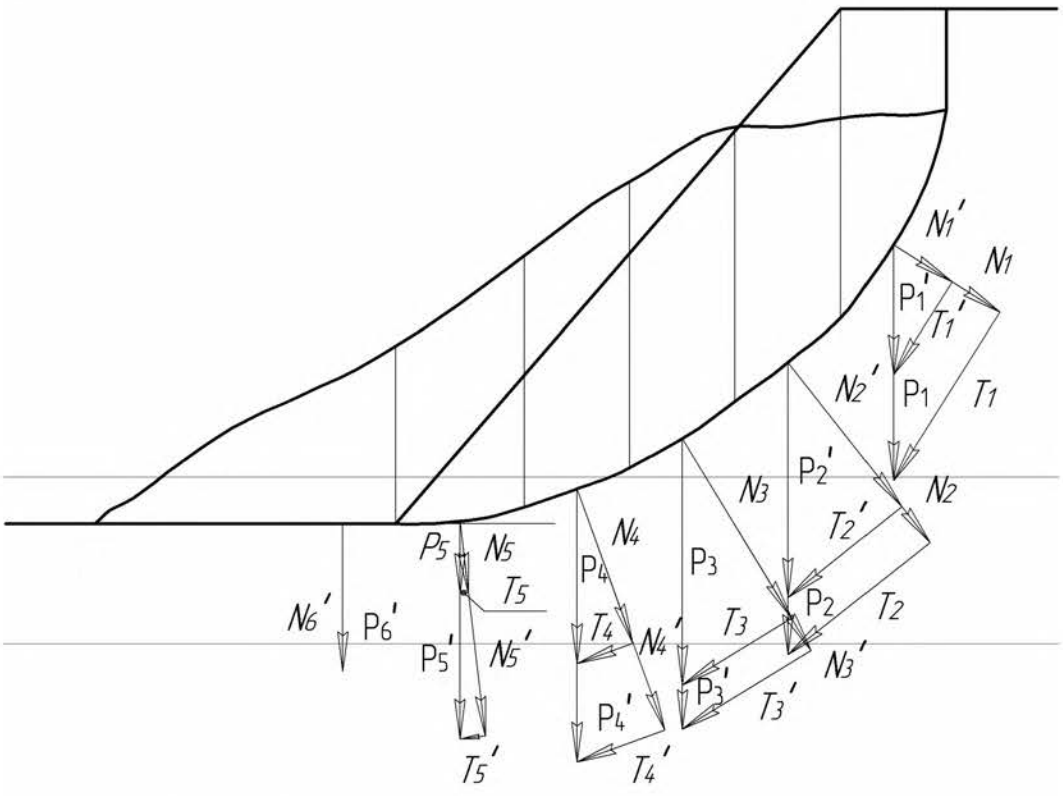


Рис. 2.1. Определение прочностных свойств массива методом обратного расчета

Метод обратных расчетов применим при условии, что длина оползневого участка по простиранию не менее чем в 2 – 3 раза превышает высоту откоса.

По результатам маркшейдерской съемки строится профиль по оси, перпендикулярной простиранию оползня, и наносится контур откоса до и после обрушения. Массив разбивается на отсеки (блоки). Вычисляется вес каждого блока P_i, который раскладывается на нормальную N_i и касательную T_i составляющие относительно поверхности скольжения. Ширину призмы обрушения принимают равной 1 м.

Пример. Пусть имеем профиль оползневого склона, определим механические характеристики, слагающих его пород, методом обратного расчета, если известно, что $\gamma = 2{,}7$ т/м^3 (см. рис. 2.1). Используя профиль, определяем площади (объемы) отсеков, на которые предварительно были разбиты призмы смещения (см. рис. 2.1), м^3.

Блок 1
$V_1 = 34{,}10;$
$V'_1 = 18{,}10.$

Блок 2
$V_2 = 45{,}49;$
$V'_2 = 35{,}39.$

Блок 3
$V_3 = 36{,}39;$
$V'_3 = 42{,}93.$

Блок 4
$V_4 = 25{,}72;$
$V'_4 = 40{,}28.$

Блок 5
$V_5 = 12{,}76;$
$V'_5 = 39{,}89.$

Блок 6
$V'_6 = 40{,}74.$

Далее вычисляются веса отсеков до обрушения по формуле $P_i = \gamma \cdot V_i$, т, после обрушения по формуле $P'_i = \gamma' \cdot V'_i$, т:

$$P_1 = 2{,}7 \cdot 34{,}10 = 92{,}07; \quad P'_1 = 2{,}7 \cdot 18{,}10 = 48{,}87;$$
$$P_2 = 2{,}7 \cdot 45{,}49 = 122{,}82; \quad P'_2 = 2{,}7 \cdot 35{,}39 = 95{,}55;$$
$$P_3 = 2{,}7 \cdot 36{,}39 = 98{,}25; \quad P'_3 = 2{,}7 \cdot 42{,}93 = 115{,}91;$$
$$P_4 = 2{,}7 \cdot 25{,}72 = 69{,}44; \quad P'_4 = 2{,}7 \cdot 40{,}28 = 108{,}76;$$
$$P_5 = 2{,}7 \cdot 12{,}76 = 34{,}46. \quad P'_5 = 2{,}7 \cdot 39{,}89 = 107{,}70;$$
$$P'_6 = 2{,}7 \cdot 40{,}74 = 110{,}00.$$

Отметим, что объемный вес обрушенных отсеков γ' несколько отличается от объемного веса неразрушенного массива, однако, в данной расчетной схеме γ' является параметром, который при подстановке в условие равновесия сократится, поэтому он может быть принят, в известной степени, произвольно.

По результатам расчета весов блоков определяются нормальные и касательные составляющие реакций, которые вносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Нормальные и касательные составляющие реакций

Номер блока	До обрушения		Номер блока	После обрушения	
	N_i, т	T_i, т		N'_i, т	T'_i, т
1	42,70	81,57	1	22,66	43,30
2	97,37	74,85	2	75,75	58,23
3	83,90	51,13	3	98,98	60,32
4	64,94	24,60	4	101,71	38,53
5	34,22	4,10	5	106,94	12,81
–	–	–	6	110,00	0,00
∑	323,13	236,25	∑	516,04	213,19

Усредненные вдоль поверхности скольжения значения сцепления и коэффициента внутреннего трения определяются согласно формулам (2.2, 2.3):

$$\mathrm{tg}\varphi_{\text{ср}} = \sum T'_i / \sum N'_i = 0,413; \varphi_{\text{ср}} = 22,4^{\circ};$$

$$C = \frac{\sum T_i - \mathrm{tg}\varphi_{\text{ср}} \sum N_i}{L} = 3,7 \ \text{т/м}^2.$$

Выше описана методика обратного расчета с использованием способа алгебраического сложения сил. Но в принципе, для обратного расчета может быть применен любой из известных, на сегодняшний день, способов расчета устойчивости (оценки сил) откосов.

Задание № 3

Определить механические характеристики горного массива методом обратного расчета по факту оползневого явления (прил. 4).

Примечание

Для выполнения задания студент самостоятельно отстраивает профиль откоса и оползня подобно прил. 4.

3. ПОСТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В ОТКОСАХ

3.1. Общие положения

Нарушение устойчивости откоса (борта карьера, уступа, яруса отвала) происходит в виде смещения слагающих его пород по некоторой поверхности, называемой *поверхностью скольжения*. При отсутствии в откосе неблагоприятно расположенных поверхностей ослабления массива (тектонических трещин, слабых слоев и т. д.), поверхность скольжения является криволинейной. На разрезе поверхность скольжения будет иметь вид плавной кривой, близкой по виду к дуге окружности. Граничные условия для построения дуги окружности предложил Г. Л. Фисенко. Однако необходимо понимать, что дуга окружности, так же как и граничные условия для ее построения есть, некое приближение к истинной поверхности скольжения, степень которого неизвестна.

При наличии в откосе неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления, направленных в сторону выемки, поверхность скольжения полностью или частично совпадает с ними. В этом случае на разрезе она будет иметь комбинированный вид: состоять из прямолинейный и криволинейных участков.

Форма и расположение поверхности скольжения в неослабленном массиве, прилегающем к откосу, определяется исходя из основных положений теории предельного равновесия сыпучей среды.

1. Элементарные площадки скольжения в однородном массиве горных пород возникают при напряжении не менее:

$$\sigma_1 = \sigma_o = 2C_M \operatorname{ctg}\varepsilon = 2C_M \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right),$$

где C_M – сцепление массива;

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2};$$

В массиве однородного откоса площадки скольжения возникают с глубины:

$$H_{90} = \frac{\sigma_o}{\gamma} = \frac{2C_M}{\gamma} \operatorname{ctg}\varepsilon. \qquad (3.1)$$

2. К направлению наибольшего главного напряжения элементарные площадки скольжения располагаются под углом $\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$.

3.2. Поверхность скольжения в однородном откосе

Однородным называется откос, в геологическом отношении сложенный лишь одной или несколькими породами с близкими значениями физико-механических свойств. Обычно *встречается два варианта однородного откоса: откос на твердом основании, однородный откос на слабом основании.*

Случай откоса на твердом основании возможен для верхних уступов, сложенных четвертичными отложениями, покрывающими скальные породы («твердое основание»), а также для отвалов, отсыпаемых на прочное (скальное) основание.

Построение поверхности скольжения начинается с расчета расчетных характеристик и величины вертикальной трещины отрыва H_{90} по формуле (3.1).

Построим круглоцилиндрическую поверхность скольжения в однородном откосе для рыхлых пород: $C = 3\ \text{т/м}^2$; $\varphi = 20^\circ$; $\gamma = 2\ \text{т/м}^3$, параметры откоса: $\alpha = 30^\circ$; $H = 30\,\text{м}$.

$$C_n = \frac{C}{n_\text{н}} = \frac{3}{1{,}3} = 2{,}3\ \text{т/м}^2;$$

$$\varphi_n = \varphi,$$

где $n_\text{н} = 1 \div 1{,}5$ – нормативное значение коэффициента запаса устойчивости.

При дальнейших построениях и расчетах индексы опускаем.

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma}\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{2 \cdot 2{,}3}{2}\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{20^\circ}{2}\right) = 3{,}29\ \text{м}.$$

Ширина призмы обрушения, для круглоцилиндрической поверхности скольжения, определяется зависимостью

$$a = \frac{2H\left(1 - \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}\right)\right) - 2H_{90}}{\operatorname{ctg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) + \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}\right)} = 2{,}62\ \text{м}.$$

Построение поверхности скольжения представлено на рис. 3.1.

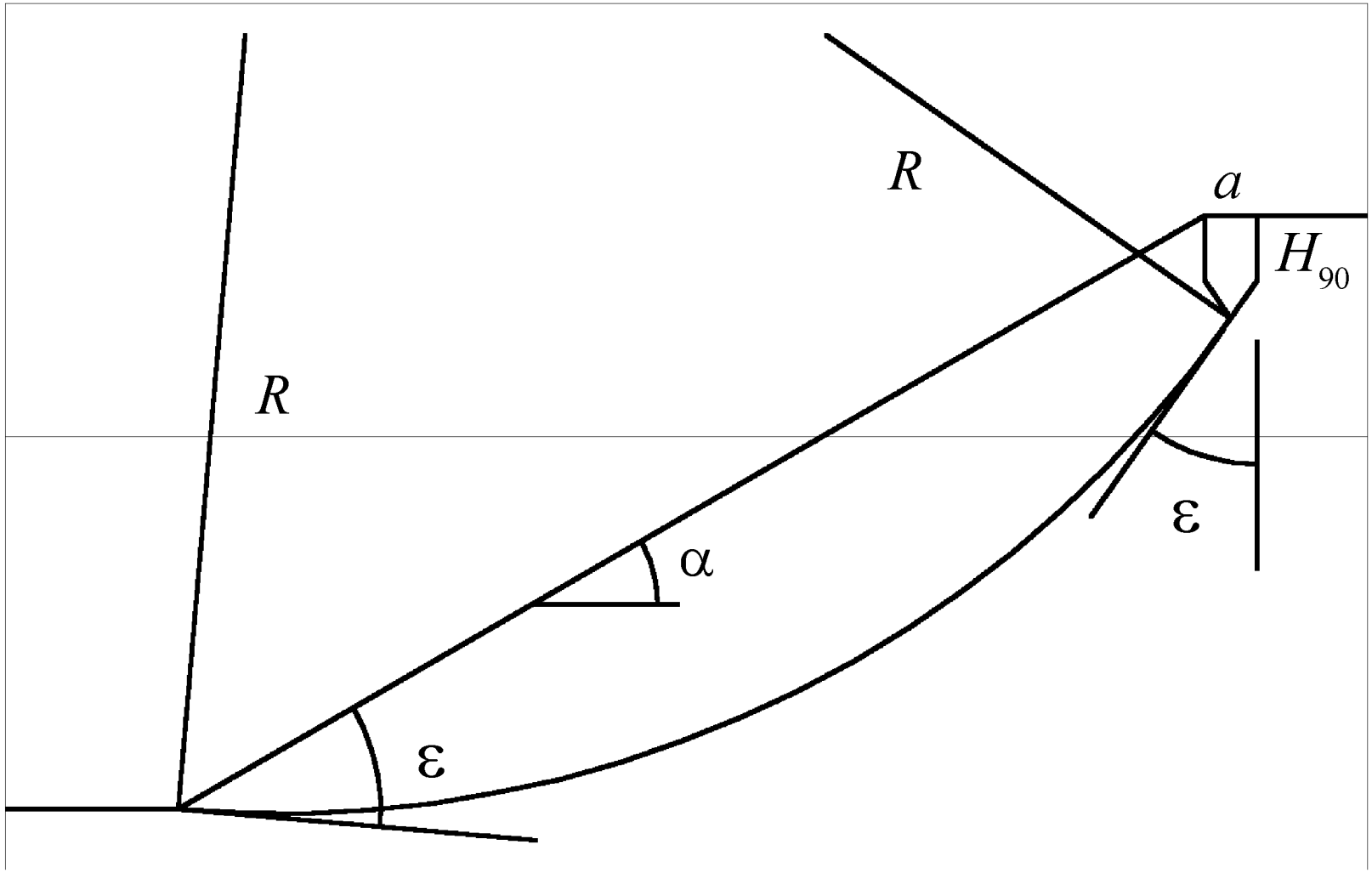


Рис. 3.1. Поверхность скольжения в однородном откосе (по ВНИМИ)

3.3. Поверхность скольжения в анизотропных откосах

Под анизотропией в общем случае понимается различие свойств (прочностных) в различных направлениях. Анизотропным считается такой откос, разрушение которого может произойти по поверхности скольжения, целиком или частично совпадающей с поверхностью ослабления большого протяжения (более 10 м). В данном случае к поверхностям анизотропии не относятся трещины кливажа, разбивающие массив на сравнительно небольшие блоки (до 2 м) и придающие массиву структуру кирпичной кладки. Считается, что такого рода трещины снижают величину сцепления трещиноватого горного массива, а схему расчета не определяют. Дело в том, что поверхности ослабления (поверхности напластования, трещины тектонического происхождения, тектонические нарушения дизъюнктивного характера, в которых целая область определенной мощности перетерта в щебень) обладают пониженными значениями механических характеристик, именно поэтому при их наличии и неблагоприятной ориентировке и размерах, массивы разрушаются именно по ним. Различают полого- и крутопадающие поверхности ослабления. К пологопадающим поверхностям ослабления относятся поверхности с углом, меньшим угла откоса: $\beta < \alpha$. Соответственно, при $\beta > \alpha$ имеет место крутопадающая поверхность ослабления. При производстве заоткоски по напластованию будем иметь равенство: $\beta = \alpha$.

Рассмотрим построение поверхностей скольжения в скальных породах при наличии полого- и крутопадающих контактов.

Исходные данные:

Свойства породы в образце:

$$C = 2500\,\text{т/м}^2;\ \varphi = 35^\circ;\ \gamma = 2{,}8\,\text{т/м}^3.$$

Свойства поверхностей ослабления:

$$C' = 7\,\text{т/м}^2;\ \varphi' = 15^\circ;\ \beta_1 = 10^\circ;\ \beta_2 = 70^\circ.$$

В массиве имеются три системы трещин со средними расстояниями между трещинами одной системы:

$$l_1 = 0{,}6\ \text{м};\ l_2 = 0{,}8\ \text{м};\ l_3 = 0{,}7\ \text{м}.$$

Известно, что сцепление по трещинам отдельности приблизительно равно нулю ($C'_{\text{т.о}} = 0$) и в массиве преобладает кососекущая трещиноватость. Необходимо построить поверхности скольжения для откоса с углом $\alpha = 45^\circ$ и высотой $H = 350$ м.

Рассчитаем сцепление горного массива в крест поверхностей анизотропии и расчетные механические характеристики. Согласно формуле Г.Л. Фисенко сцепление горного массива

$$C_{\text{М}} = \frac{C - C'_{\text{т.о}}}{1 + a' \ln\left(\frac{H}{l_{\text{ср}}}\right)} + C'_{\text{т.о}} = \frac{2500 - 0}{1 + 10 \cdot \ln\left(\frac{350}{0,7}\right)} + 0 \approx 40\ \text{т/м}^2,$$

где $a' = 10$ – коэффициент, зависящий от прочности образца и характера трещиноватости ($a' = 0,5 \div 10$).

Расчетные прочностные характеристики пород и поверхностей ослабления:

$$C_n = \frac{C_{\text{М}}}{1,3} = 30,8\ \text{т/м}^2,$$

$$C'_n = \frac{C'}{1,3} = 5,4\ \text{т/м}^2,$$

$$\varphi_n = \varphi = 35^\circ,$$

$$\varphi'_n = \varphi' = 15^\circ.$$

В дальнейшем индексы отбрасываются, а все расчеты и построения ведутся с использованием расчетных механических характеристик.

Перейдем к построению поверхности скольжения. В общем случае поверхность скольжения будет включать криволинейный участок по квазиоднородным породам и участок поверхности ослабления. На стыке этих участков происходит излом поверхности скольжения. Угол излома для пологопадающей поверхности определяется выражением, полученным из условия выполнения в точке излома как обычного, так и специального предельного равновесия:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(\varphi - \varphi') - \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\right) = 41,6^\circ.$$

Если криволинейная часть описывается круглоцилиндрической поверхностью, то справедливо следующее угловое условие (рис. 3.2):

$$\beta_1 + \theta + 2\delta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} = \omega,$$

где δ – угол между равновеликими касательными к дуге окружности и хордой (их пересечение образует равнобедренный треугольник с углом при основании равным δ).

Откуда

$$\delta = \frac{\omega - (\beta_1 + \theta)}{2} = 5,5^\circ .$$

$$H_{90} = 42,26 \text{ м} .$$

Ширину призмы обрушения и точку пересечения криволинейной части поверхности скольжения определяют подбором. Согласно нормативным документам в откосе необходимо построить не менее трех потенциальных поверхностей скольжения.

Поверхность скольжения в откосе при наличии пологопадающей поверхности ослабления приведена на рис. 3.2.

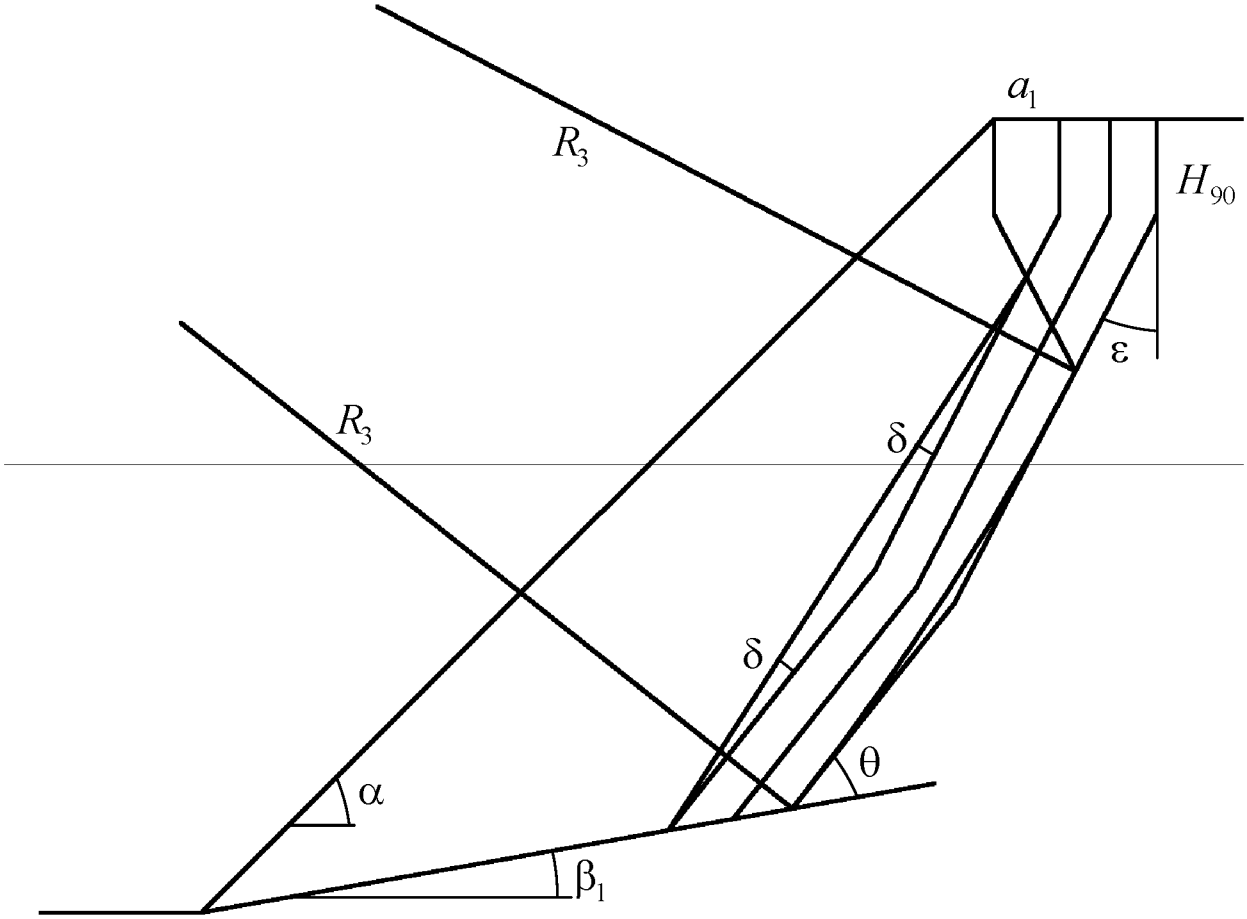


Рис. 3.2. Построение поверхности скольжения в откосе при наличии пологопадающей поверхности ослабления

Перейдем к построению поверхности скольжения для крутопадающей поверхности ослабления.

Угол излома определяется формулой

$$\theta' = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\varphi - \varphi') - \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\right) = 21,6^\circ .$$

Угловое условие для круглоцилиндрической поверхности имеет вид

$$\alpha - \varepsilon + 2\delta + \theta' = \beta_2,$$

таким образом

$$\delta = \frac{(\beta_2 + \varepsilon) - (\alpha + \theta')}{2} = 15,5^{\circ}.$$

Ширину призмы обрушения (наиболее опасный контакт) и точку пересечения криволинейной части поверхности скольжения определяют подбором. Построение поверхности скольжения в откосе при наличии крутопадающей поверхности ослабления показано на рис. 3.3.

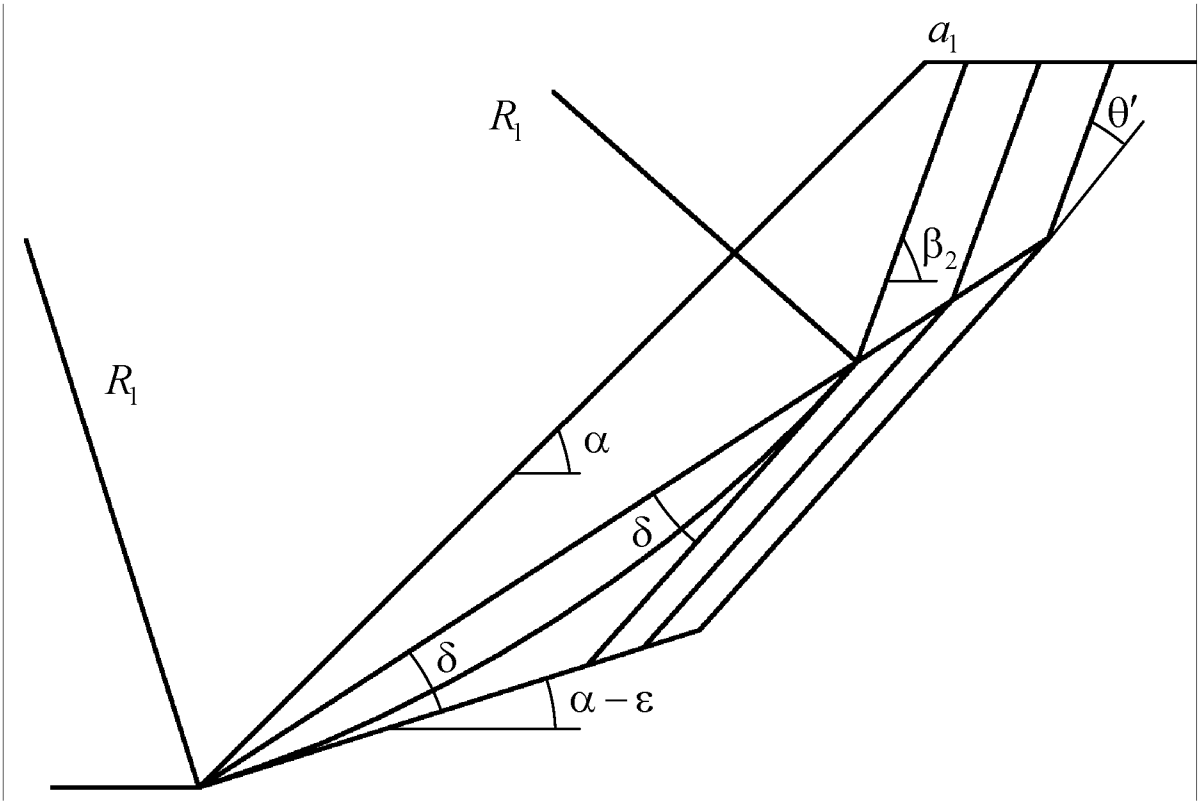


Рис. 3.3. Построение поверхности скольжения в откосе при наличии крутопадающей поверхности ослабления

Задание № 4

1. Построить потенциальную поверхность скольжения в однородном откосе рыхлых пород.

2. Построить потенциальные поверхности скольжения для пологопадающей и крутопадающей поверхностей ослабления (не менее трех для каждой) для скальных трещиноватых пород.

Примечание. 1. Исходные данные см. в прил. 5, 6.

2. Трещиноватость скальных пород для всех вариантов считать кососекущей.

4. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНОГО ОТКОСА СПОСОБОМ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО СЛОЖЕНИЯ СИЛ

Существует большое количество способов (несколько десятков) расчета устойчивости однородных откосов. Каждый из этих способов наделен теми или иными недостатками. Способ алгебраического сложения сил является наиболее простым, наглядным и фактически является прообразом исторически первых способов оценки устойчивости по методу предельного равновесия (способы Терцаги, Феллениуса, Хюльтина, Иванова, круглоцилиндрической поверхности, моментов и т. д.). Поэтому его часто используют для предварительных и оценочных расчетов.

Вместе с тем способу присущи существенные недостатки:

1) для произвольной криволинейной (не круглоцилиндрической) поверхности скольжения критерий устойчивости (коэффициент устойчивости) не отражает необходимых и достаточных условий равновесия призмы смещения (данный тезис вытекает уже из самого названия способа, т. е. векторные величины складываем алгебраически – парадокс);

2) пренебрегается влиянием межблоковых реакций на коэффициент устойчивости;

3) способ не позволяет обосновать положение и форму наиболее опасной (слабой, напряженной) поверхности скольжения.

В качестве показателя устойчивости откоса в способе используется коэффициент устойчивости, определяемый отношением суммы сил (моментов), удерживающих откос, к сумме сил (моментов), сдвигающих его:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left[N_i \operatorname{tg}\varphi + Cl_i\right]}{\sum_{i=1}^{k} T_i} = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left[P_i \cos\vartheta_i \operatorname{tg}\varphi_i + Cl_i\right]}{\sum_{i=1}^{k} P_i \sin\vartheta_i}, \qquad (4.1)$$

где N_i и T_i – соответственно нормальные и касательные составляющие реакции в точках поверхности скольжения; i, k – соответственно номер блока и количество блоков, на которые разбивается призма смещения; $P_i = \gamma V_i$ – вес i-го блока (определяется через его объем); ϑ_i – угол наклона основания i-го блока; l_i – длина основания i-го блока.

Суть способа алгебраического сложения сил заключается в следующем. Призма смещения вертикальными гранями разбивается на отсеки (блоки). Это делается для аппроксимации криволинейной части поверхности скольжения хордами и определения распределения нормальной реакции вдоль поверхности скольжения. В каждом блоке измеряются объем, длина и угол наклона основания блока (рис. 4.1). Расчет по способу алгебраического сложения сил рассмотрим на примере. Оценим устойчивость однородного откоса высотой $H = 30$ м и углом $\alpha = 30^{\circ}$, физико-механические характеристики пород откоса и собственно расчет приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Оценка устойчивости откоса алгебраическим сложением сил

Номер блока	C_n, т/м^2	φ°	γ, т/м^3	l_i, м	P_i, т	ϑ_i°	Cl_i, т	$P_i \cos\vartheta_i \operatorname{tg}\varphi$, т	$P_i \sin\vartheta_i$, т
1	2,3	20	2,0	4,51	26,88	54,46	10,37	5,69	21,87
2				7,92	87,74	48,97	18,22	20,96	66,19
3				6,96	111,66	41,71	16,01	30,34	74,29
4				6,36	123,60	35,22	14,63	36,75	71,28
5				5,95	126,58	29,21	13,69	40,21	61,77
6				5,67	122,28	23,55	13,04	40,80	48,86
7				5,47	111,69	18,12	12,58	38,64	34,74
8				5,33	95,52	12,86	12,26	33,89	21,26
9				5,24	74,16	7,70	12,05	26,75	9,94
10				5,21	47,88	2,61	11,98	17,41	2,18
11				5,20	16,74	-2,47	11,96	6,09	-0,72
$\sum$				–	–	–	146,79	297,53	411,66

Таким образом, коэффициент устойчивости равен

$$n = \frac{(297,53 + 146,79)}{411,66} = 1,08.$$

Коэффициент устойчивости $n > 1$, поэтому необходимо произвести корректировку (увеличение) геометрических параметров откоса.

Задание № 5

1. Произвести оценку устойчивости однородного откоса рыхлых пород для условий предыдущего задания (поверхность скольжения для однородного откоса – задание № 4). Разбивку призмы смещения на отсеки (блоки) выполнить подобно примеру.

2. Сделать вывод о степени устойчивости откоса.

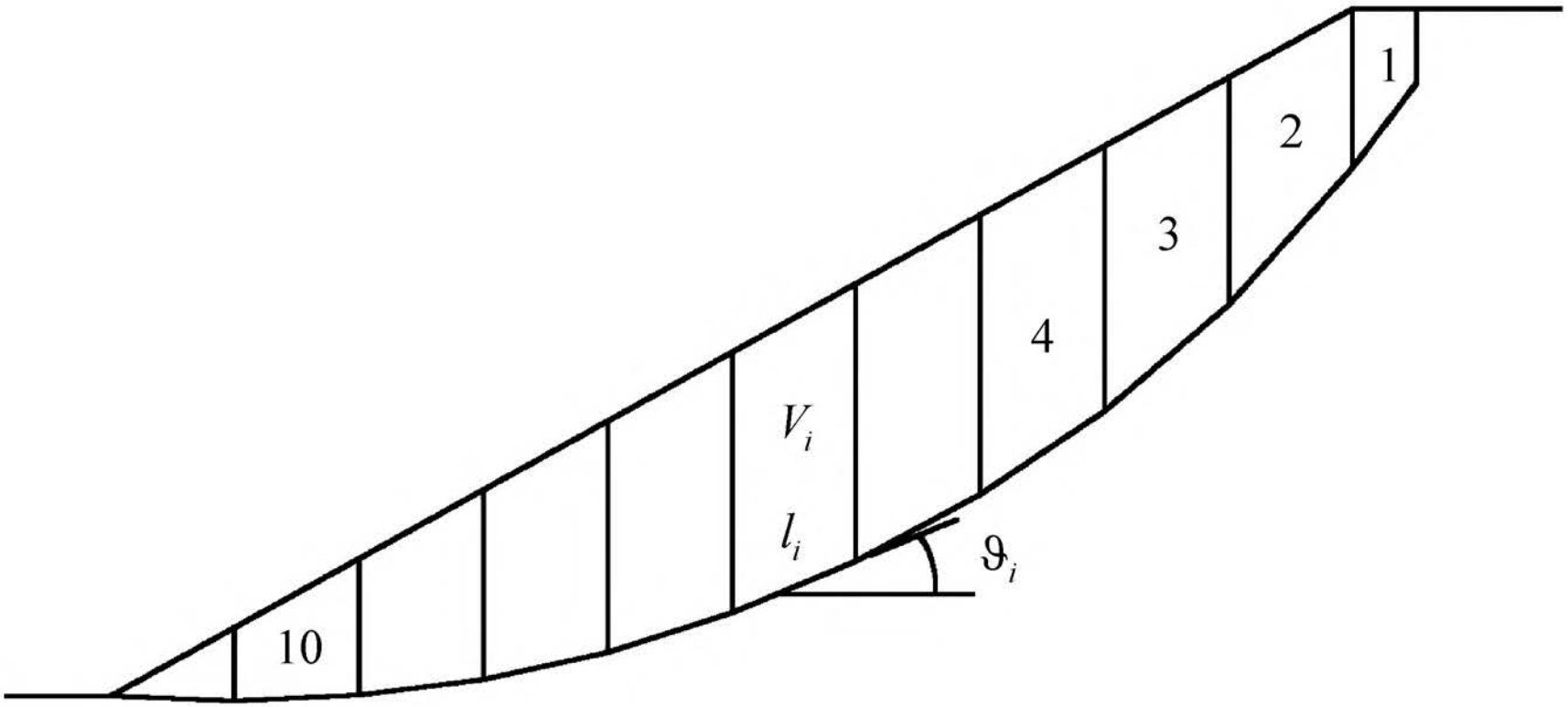


Рис. 4.1. Разбиение призмы смещения на отсеки (блоки)

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКОСА МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Определение предельных параметров откоса (построение его профиля и (или) определение предельной эпюры пригрузки) осуществляется, используя рекуррентные формулы:

$$\begin{cases} y - y_1 = (x - x_1)\,\mathrm{tg}(\rho_1 - \varepsilon) \\ \sigma - \sigma_1 = 2\sigma_1(\rho - \rho_1)\,\mathrm{tg}\varphi + \gamma(y - y_1) - \gamma(x - x_1)\,\mathrm{tg}\varphi \\ y - y_2 = (x - x_2)\,\mathrm{tg}(\rho_2 + \varepsilon) \\ \sigma - \sigma_2 = -2\sigma_2(\rho - \rho_2)\,\mathrm{tg}\varphi + \gamma(y - y_2) + \gamma(x - x_2)\,\mathrm{tg}\varphi \end{cases}, \qquad (5.1)$$

где x_1, y_1, x_2, y_2, x, y – соответственно координаты известных точек и разыскиваемой; $\varepsilon = \pi/4 - \varphi/2$; ρ – угол между направлением первого (наибольшего) главного напряжения и осью x; $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + C\mathrm{ctg}\varphi$ – приведенное среднее напряжение.

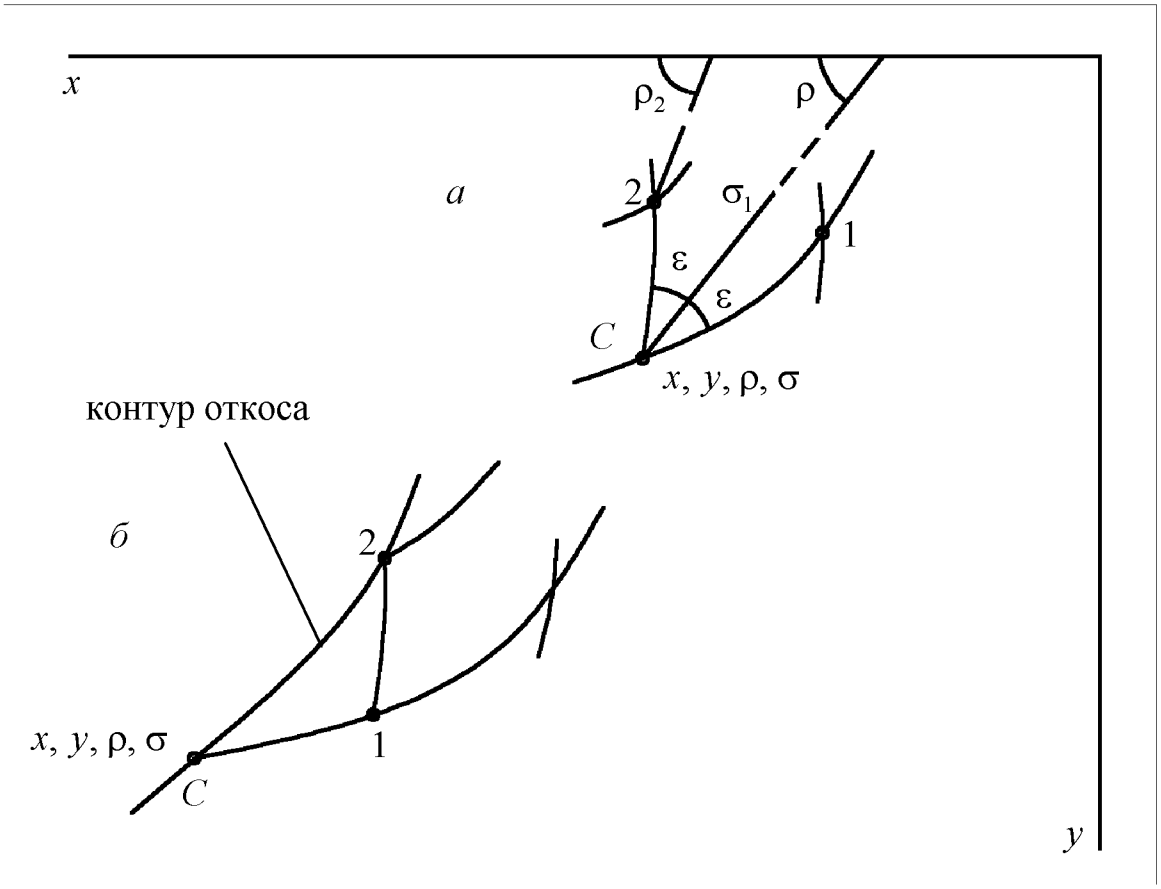


Рис. 5.1. Схема решения задач предельного напряженного состояния

Построение предельного контура откоса сводится к последовательному определению точек области, в которой выполняется усло-

вие предельного кулоновского равновесия (предельного напряженного состояния).

Располагая значениями координат двух точек, принадлежащих различным семействам поверхностей скольжения (активному и пассивному), а также значениями функций в этих точках (ρ_1, ρ_2, σ_1, σ_2), по формулам (5.1) определяются координаты x, y и значения функций ρ, σ последующей внутренней (не граничной, например, точка откоса) точки области предельного напряженного состояния (рис. 5.1, а). Окончательные формулы для определения координат внутренних точек и значений функций в этих точках имеют вид:

$$\begin{gathered} x = \frac{y_2 - y_1 + x_1 \operatorname{tg}(\rho_1 - \varepsilon) - x_2 \operatorname{tg}(\rho_2 + \varepsilon)}{\operatorname{tg}(\rho_1 - \varepsilon) - \operatorname{tg}(\rho_2 + \varepsilon)} \\ y = y_1 + (x - x_1)\operatorname{tg}(\rho_1 - \varepsilon) \\ \rho = \frac{\sigma_2 - \sigma_1 - \gamma(y_2 - y_1) + \operatorname{tg}\varphi\gamma(2x - x_1 - x_2) + 2\operatorname{tg}\varphi(\sigma_1\rho_1 + \sigma_2\rho_2)}{2\operatorname{tg}\varphi(\sigma_1 + \sigma_2)} \\ \sigma = \sigma_1 + 2\sigma_1(\rho - \rho_1)\operatorname{tg}\varphi + \gamma(y - y_1) - \gamma(x - x_1)\operatorname{tg}\varphi \end{gathered} \quad . \quad (5.2)$$

Заметим, что для увеличения точности вычислений в формулах (5.1) и (5.2) вместо ρ_1 и ρ_2 необходимо подставлять соответственно:

$$\frac{\rho_1 + \rho}{2} \text{ и } \frac{\rho_2 + \rho}{2}.$$

Таким образом, на первом шаге вычислений определяем приближенное значение ρ, а затем, усредняя (уточняя) ее значение на втором шаге и последующих, определяем окончательные значения координат и функций.

Использование обычной конечно-разностной схемы расчета может привести к существенным погрешностям при построении предельно напряженного откоса (рис. 5.2). Однако, в рамках курсового проекта, основной целью которого является закрепление теоретического материала, усложнять расчет повышением точности нет необходимости.

Описанная выше методика последовательного определения координат точек предельно напряженной области и значений функций в этих точках относится к так называемой первой краевой задаче и справедлива только для внутренних точек области. Для точек, расположенных на поверхности откоса (рис. 5.1, *б*), система уравнений

(5.1) изменится. Первые два уравнения (5.1) остаются без изменений, а два последних не справедливы. Для определения неизвестных функций необходимо еще два уравнения, которые вытекают из следующих соображений. Так как на поверхности свободного откоса отсутствуют касательные напряжения, поверхность откоса является главной площадкой, на которой, ко всему прочему, отсутствует еще и главное напряжение ($\sigma_3 = 0$). Поэтому точки на поверхности свободного откоса прибывают в условиях одноосного предельного сжатия, а направление действия максимального главного напряжения σ_1 совпадает с поверхностью откоса в данной точке. Таким образом, система уравнений для определения точек поверхности свободного откоса и значений функций в этих точках будет иметь вид:

$$\begin{cases} y - y_1 = (x - x_1)\,\mathrm{tg}(\rho_1 - \varepsilon) \\ \sigma - \sigma_1 = 2\sigma_1(\rho - \rho_1)\,\mathrm{tg}\varphi + \gamma(y - y_1) - \gamma(x - x_1)\,\mathrm{tg}\varphi \\ y - y_2 = (x - x_2)\,\mathrm{tg}\rho \\ \sigma = C\dfrac{\mathrm{ctg}\varphi}{1 - \sin\varphi} \end{cases}, \qquad (5.3)$$

Отметим, что система уравнений (5.3) не является линейной. Ее решение в рамках курсового проекта предусматривается подбором неизвестных параметров (итерациями).

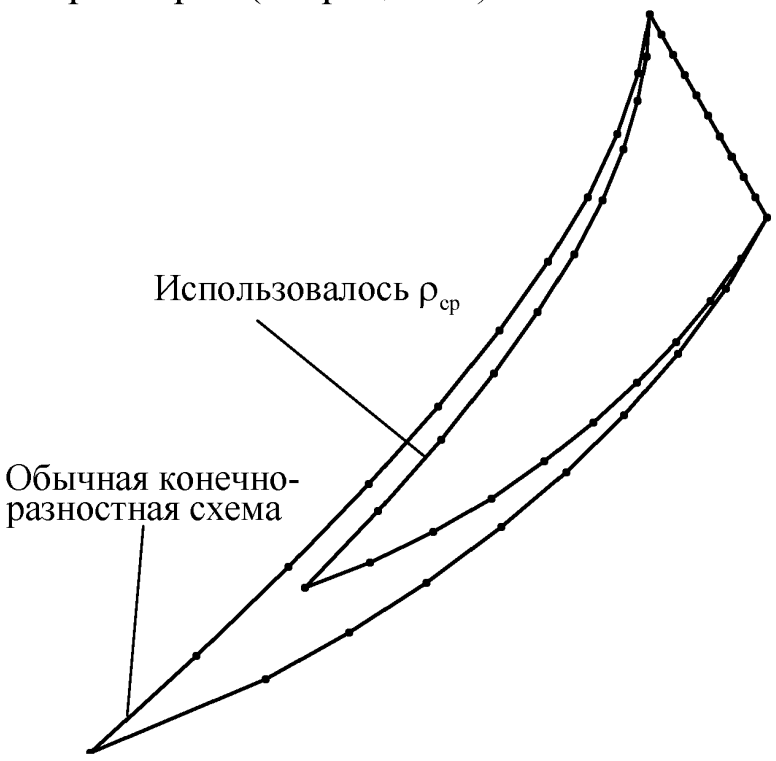


Рис. 5.2. Контуры откосов при обычной конечно-разностной схеме и по схеме с увеличением точности

В общем случае, вогнутый предельно напряженный откос состоит из трех областей. Строго говоря, первая область (*BCDE*, рис. 5.3) не является предельной и представляет собой равномерную пригрузку (упругий слой) высотой H_{90} (или эквивалентную ей равномерно распределенную нагрузку), находящуюся на верхней берме откоса. В этой области напряженное состояние выражается следующими компонентами:

$$\sigma_3 = \sigma_x = 0;\ \tau_{xy} = 0;\ \sigma_1 = \sigma_y = \frac{2C\cos\varphi}{1-\sin\varphi} + \gamma y.$$

Вторая область (зона или призма оседания) находится под пригрузкой (*BEF*, см. рис. 5.3) и является предельной. В данной области напряженное состояние описывается зависимостями:

$$\sigma_3 = \sigma_x = \gamma y\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi};\ \tau_{xy} = 0;\ \sigma_1 = \sigma_y = \frac{2C\cos\varphi}{1-\sin\varphi} + \gamma y.$$

Характеристики (поверхности скольжения) являются прямолинейными (оба семейства) и наклонены к оси x под углами:

$$\pm\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right),$$

соответственно всюду в этой области $\rho = \pi/2$.

В третьей области (*ABF*, см. рис. 5.3) характеристики криволинейны и определяются последовательным расчетом по формулам (5.2) и (5.3).

Иногда для удобства расчеты производят в безразмерных координатах, т. е. при $C = 1,\ \gamma = 1$, для перехода от безразмерных координат к действительным, достаточно первые умножить на C/γ.

Максимальные размеры призмы смещения (ширина призмы) могут бесконечно возрастать и определяются заданной высотой откоса.

При расчете вогнутого откоса с пригрузкой на берме расчеты необходимо производить последовательно сверху вниз. В практике методом предельного напряженного состояния решаются и принципиально иные задачи устойчивости. Так, В. Т. Сапожников совместно с Г. Л. Фисенко разработали теорию расчета откосов выпуклого профиля, как наиболее выгодного с точки зрения объемов вскрышных работ при открытой разработке. Либо можно определить эпюру пригрузки на берме при известной форме откоса, например, плоской. В последних случаях расчеты выполняются снизу вверх.

Расчеты по методу предельного напряженного состояния удобно заносить в таблицу. В табл. 5.1 сведены расчеты, а на рис. 5.3 построен предельно напряженный контур откоса вогнутого профиля для следующих физико-механических характеристик:

$$C = 1 \text{ т/м}^2;\ \varphi = 30^\circ;\ \gamma = 1 \text{ т/м}^3.$$

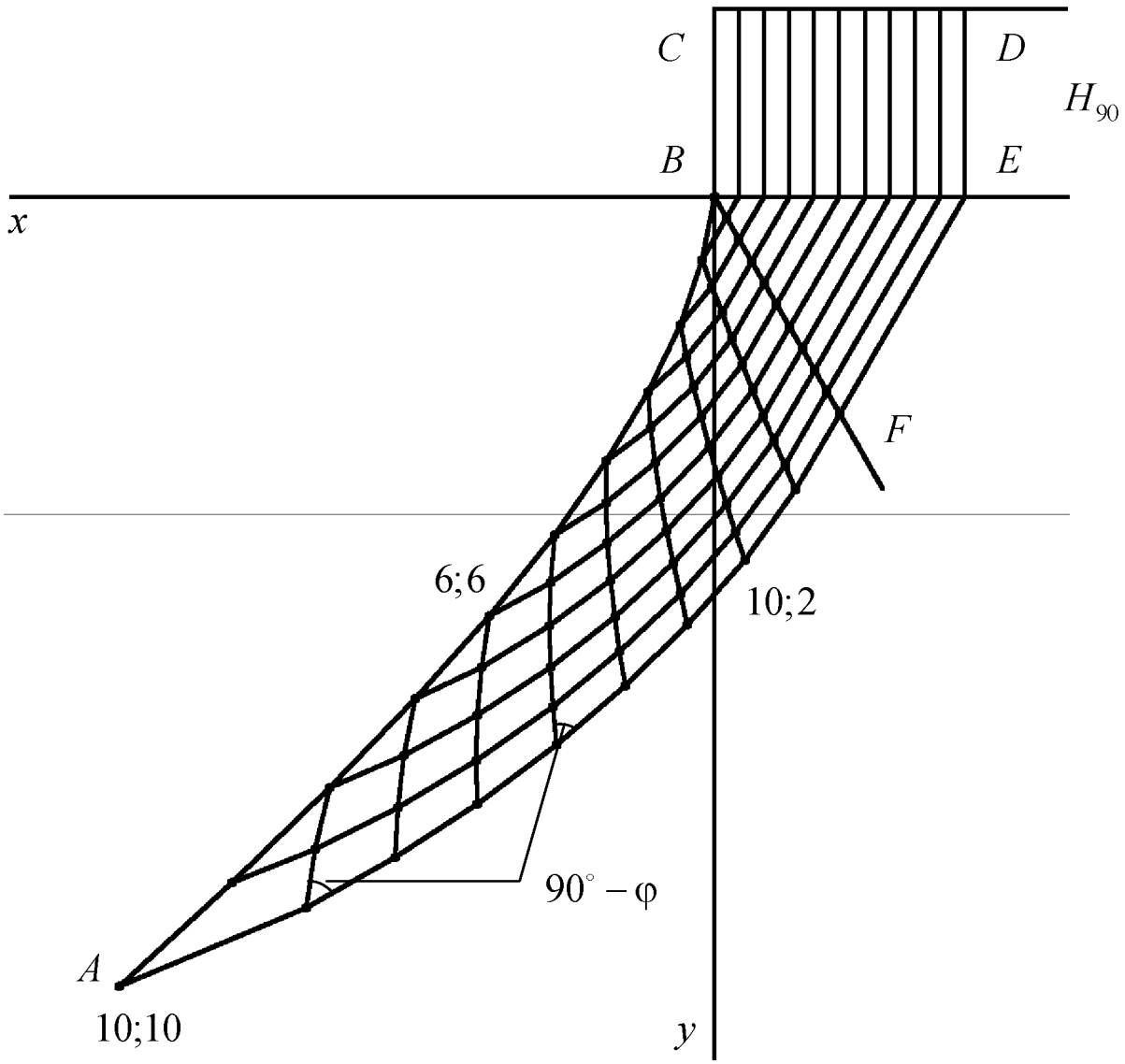


Рис. 5.3. Предельно напряженный откос вогнутого профиля

Задание № 6

Построить откос вогнутого профиля (с заполнением таблицы), используя физико-механические характеристики скальных горных пород (задание № 4). За шаг конечно-разностной сетки принять интервал, равный $0{,}1a;\ a = 1{,}5H_{90}$, *расчет произвести в безразмерных координатах. На всех стадиях выполнения рекомендуется использовать программное обеспечение (например, Microsoft Office Excel).*

Таблица 5.1

Расчет откоса методом предельного напряженного состояния

	j	Столбец *i* (индекс активного семейства)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	0	0,00	-0,23	-0,46	-0,69	-0,92	-1,15	-1,39	-1,62	-1,85	-2,08	-2,31
y		0,00	0,398	0,797	1,195	1,593	1,992	2,408	2,806	3,204	3,603	4,001
σ		3,46	3,73	3,995	4,261	4,526	4,792	5,069	5,335	5,600	5,866	6,131
ρ		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
x	1		0,212	0,036	-0,145	-0,329	-0,517	-0,716	-0,909	-1,104	-1,301	-1,500
y			1,164	1,656	2,14	2,616	3,088	3,575	4,037	4,496	4,952	5,404
σ			3,464	3,8	4,129	4,451	4,770	5,098	5,409	5,717	6,023	6,326
ρ			79,67	80,46	81,13	81,70	82,20	82,67	83,06	83,41	83,72	84,01
x	2			0,619	0,503	0,375	0,236	0,083	-0,071	-0,230	-0,394	-0,562
y				2,362	2,944	3,507	4,059	4,622	5,152	5,673	6,187	6,695
σ				3,464	3,869	4,257	4,635	5,019	5,379	5,732	6,080	6,422
ρ				71,25	72,84	74,13	75,22	76,20	76,99	77,70	78,32	78,88
x	3				1,210	1,158	1,08	0,982	0,873	0,753	0,624	0,487
y					3,600	4,267	4,91	5,559	6,163	6,753	7,330	7,897
σ					3,464	3,937	4,39	4,838	5,255	5,659	6,054	6,440
ρ					64,47	66,82	68,68	70,28	71,54	72,64	73,58	74,41
x	4					1,976	1,988	1,960	1,904	1,828	1,737	1,633
y						4,879	5,637	6,387	7,077	7,743	8,389	9,020
σ						3,464	4,014	4,550	5,037	5,502	5,951	6,387
ρ						59,09	62,17	64,62	66,48	68,02	69,32	70,45
x	5						2,930	3,011	3,030	3,011	2,966	2,901
y							6,229	7,112	7,909	8,668	9,396	10,101
σ							3,464	4,123	4,704	5,248	5,765	6,261
ρ							54,77	58,66	61,40	63,55	65,30	66,76
x	6							4,137	4,285	4,354	4,373	4,358
y								7,727	8,675	9,559	10,392	11,198
σ								3,464	4,190	4,848	5,458	6,039
ρ								51,15	55,54	58,68	61,08	63,05
x	7								5,493	5,709	5,821	5,873
y									9,252	10,300	11,265	12,183
σ									3,464	4,288	5,022	5,706
ρ									48,37	53,37	56,782	59,40
x	8									7,064	7,348	7,505
y										10,886	12,036	13,102
σ										3,464	4,392	5,220
ρ										46,11	51,65	55,36
x	9										8,861	9,222
y											12,636	13,916
σ											3,464	4,522
ρ											44,25	50,42
x	10											10,944
y												14,557
σ												3,464
ρ												42,68

6. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНОГО ОТКОСА СПОСОБОМ МНОГОУГОЛЬНИКА СИЛ (ВНИМИ)

Термин и соответственно способ расчета «многоугольник сил» ввел Г. М. Шахунянц. Сотрудники ВНИМИ модифицировали его достаточно оригинальным способом. Способ Г. М. Шахунянца подразумевает разбиение призмы смещения на отсеки (блоки) вертикальными гранами, причем на этих гранях выполняется условие предельного кулоновского равновесия.

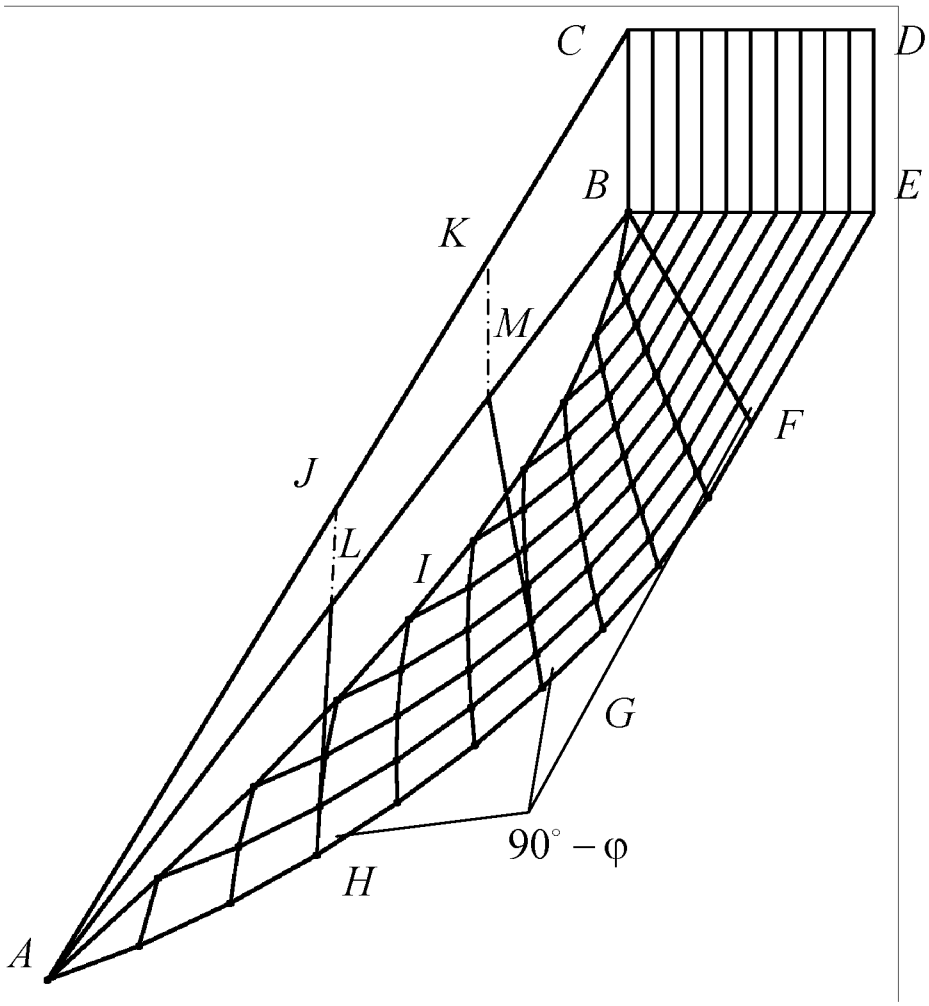


Рис. 6.1. Модификация способа многоугольника сил (Г. М. Шахунянца) посредством метода предельного напряженного состояния

Основной идеей модификации является то, что условие предельного кулоновского равновесия выполняется не на вертикальных гранях, а на наклонных, проведенных подобно второму семейству поверхностей скольжения (характеристик), в методе предельного напряженного состояния (рис. 6.1). Таким образом, исходя из рисунка,

можно выделить основные недостатки способа многоугольника сил в постановке ВНИМИ:

1. Криволинейная поверхность предельно напряженного откоса *AIB* заменяется прямой линией *AB*. Заметим, что при такой замене поверхности, соответствующие второму семейству поверхностей скольжения, исчезнут, т. е. уравнения предельного напряженного состояния выполняться не будут.

2. Поверхности, соответствующие второму семейству в методе предельного напряженного состояния в способе многоугольника сил, заменяются прямыми.

3. Для получения прямолинейной формы откоса предельный откос *AIBC* заменяется плоскостью *AC*.

4. В отличие от метода предельного напряженного состояния, где геометрия поверхности скольжения обосновывается расчетом, в методе многоугольника сил не обосновывается вовсе. Данное замечание присуще практически всем способам метода предельного равновесия.

Несмотря на отмеченные объективные недостатки способа многоугольника сил (ВНИМИ), он до сих пор рекомендуется действующими нормативными документами в области обеспечения устойчивости откосов на горных предприятиях в качестве базового.

Таким образом, призма смещения разбивается на 3 – 4 блока, в нашем случае *BCDEF*, *MKCBFG*, *LJKMGH* и *AJLH*. На каждый блок (отсек) действует вес горных пород, реакции смежных блоков, а по граням *AH* и *LH*, *HG* и *GM*, *GF* и *FB*, *FE* выполняется условие предельного равновесия (см. рис. 6.1). Грани *JL*, *KM* и *CB* вертикальны, а реакции на них отсутствуют.

Согласно определению, система (призма смещения) находится в равновесии, если все ее точки (блоки) находятся в равновесии. Поэтому последовательно определяются неизвестные реакции для каждого блока при условии их равновесия с учетом равенства действия и противодействия реакций. Задача может быть решена как графически, с построением многоугольника сил, так и аналитически.

Рассмотрим пример расчета откоса способом многоугольника сил. Оценим устойчивость откоса с пологопадающей поверхностью ослабления (параграф 3.3, потенциальная поверхность скольжения № 1). Расчетные характеристики горных пород и контакта следующие (индексы опущены):

$$C = 30{,}8\ \text{т/м}^2;\ C' = 5{,}4\ \text{т/м}^2;\ \varphi = 35^\circ;\ \varphi' = 15^\circ;\ \gamma = 2{,}8\ \text{т/м}^3.$$

Разбиваем призму смещения на блоки (рис. 6.2) и вычисляем действующие на блоки активные силы и реакции связей.

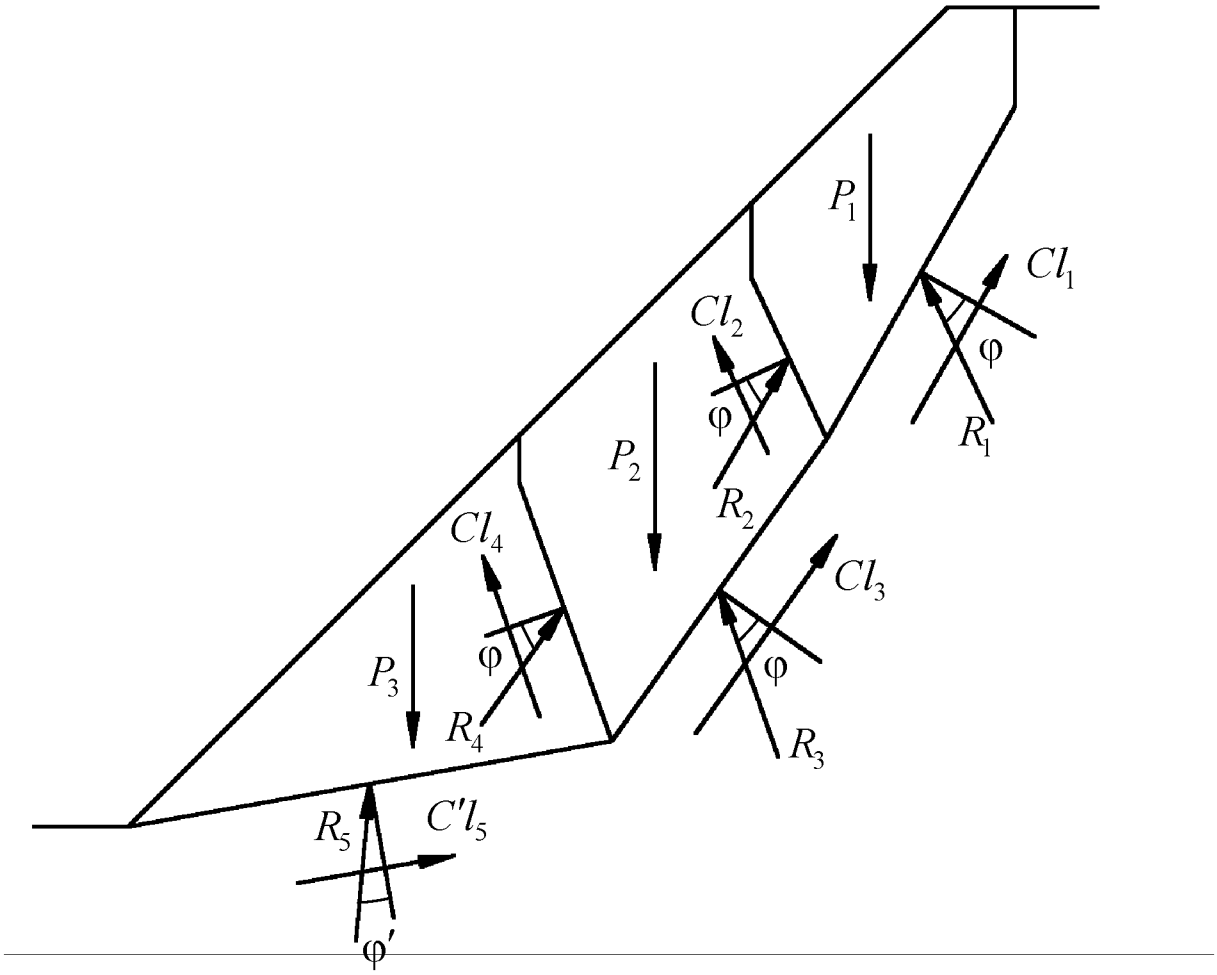


Рис. 6.2. Схема сил и реакций связей,
действующих на призму смещения (по ВНИМИ)

Вес рассматриваемых блоков (нумерация сверху вниз), т:

$$P_1 = 29417{,}18;$$

$$P_2 = 42015{,}91;$$

$$P_3 = 38642{,}11.$$

Силы сцепления направлены параллельно соответствующим границам блоков (для удобства в многоугольнике сил общую реакцию, действующую на грань, разделяют на известный вектор силы сцепления и заведомо неизвестный модуль суммы векторов нормальной реакции и силы трения, направление этого вектора отклонено от нормали к грани на угол внутреннего трения или угол трения), т:

$$Cl_1 = 5031,31;$$
$$Cl_2 = 2329,65;$$
$$Cl_3 = 4883,15;$$
$$Cl_4 = 3612,21;$$
$$C'l_5 = 1131,46.$$

На рис. 6.2 показана схема действия активных сил и реакций связей, действующих на каждый блок (отсек). Согласно определению, механическая система (призма смещения) находится в равновесии, когда каждый ее элемент (блок, отсек) находится в равновесии. Таким образом, начиная с первого блока, последовательно строятся многоугольники сил. При этом из условия равновесия каждого блока определяются неизвестные реакции R_i, обеспечивающие это равновесие.

Для исключения повторного построения векторов реакций смежных блоков, которые равны и противоположно направлены друг другу согласно принципу действия и противодействия (III Закон Ньютона), применяют, так называемое, веревочное построение.

При построении многоугольника сил для последнего блока возможны три варианта:

1. Вектор силы сцепления, действующей со стороны поверхности скольжения последнего блока, пересечет неизвестную реакцию.

2. Вектор силы сцепления, действующей со стороны поверхности скольжения последнего блока, не пересечет неизвестную реакцию.

3. Многоугольник сил для всех блоков замкнулся.

В первых двух случаях условие равновесия не выполняется, а вывод об устойчивом или не устойчивом состоянии откоса делается согласно знаку невязки многоугольника сил ΔF.

В третьем случае откос (призма смещения) находится в предельном равновесии, следовательно, геометрические параметры откоса являются предельными. На рис. 6.3 построен многоугольник сил для рассматриваемого примера. Таким образом, в нашем случае откос неустойчив, требуется корректировка параметров откоса.

В принципе задача по оценке устойчивости способом многоугольника сил может быть решена и аналитически. Построенный многоугольник сил для каждого блока эквивалентен системе двух уравнений, требующих равенства нулю всех сил и реакций связей в проекциях на две взаимно перпендикулярные оси координат.

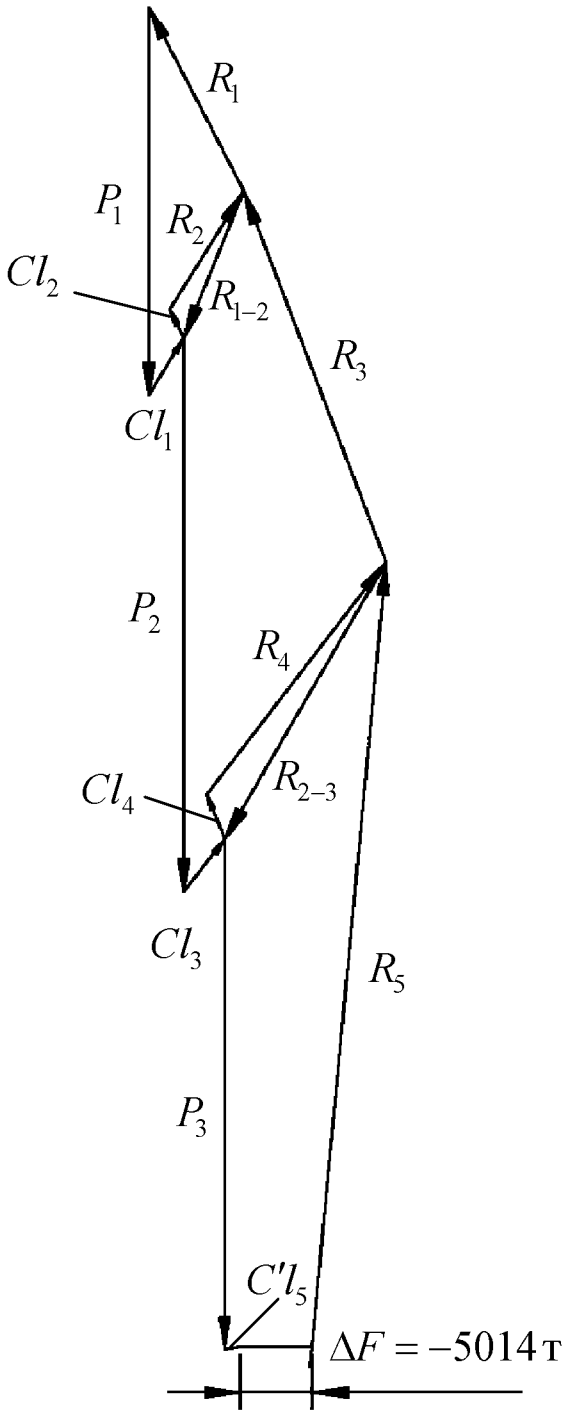


Рис. 6.3. Многоугольник сил

Задание № 7

1. Произвести оценку устойчивости откоса, подсеченного пологопадающей поверхностью ослабления по трем потенциальным поверхностям скольжения (задание № 4).

2. Сделать вывод о положении наиболее опасной поверхности скольжения и степени устойчивости откоса.

7. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОБВОДНЕННЫХ ОТКОСОВ СТРОГИМ СПОСОБОМ

Как было показано выше, рассмотренные метод предельного напряженного состояния, способы алгебраического сложения сил и многоугольника сил обладают рядом существенных недостатков. Метод предельного напряженного состояния позволяет оценивать устойчивость откосов только совершенно определенной формы и с определенной пригрузкой, которые не встречаются на практике. У многочисленных способов метода предельного равновесия (к этому методу относятся, в том числе и способы алгебраического сложения и многоугольник сил) как минимум два существенных недостатка:

1. Необоснованность геометрии (формы и положения) поверхности скольжения в массиве.

2. Статическая неопределенность задачи в любой ее постановке, что приводит к несовершенству критерия устойчивости откосов.

В последнее время эти и др. трудности, связанные, в том числе, и с анизотропией свойств пород, удалось преодолеть [3 – 7].

Выяснилось, что поверхность скольжения в плоском однородном откосе состоит, в общем случае, из трех участков, на каждом из которых сдвигающие и удерживающие силы подсчитываются по-разному. Общий же критерий устойчивости – коэффициент устойчивости – определяется зависимостью (7.1).

Наиболее опасная (слабая, потенциальная) поверхность скольжения имеет достаточно сложную форму, определяемую решением сложных дифференциальных уравнений, поэтому в прил. 7 поверхности скольжения уже построены для некоторых значений углов откосов и внутреннего трения. Вертикальными линиями призма смещения делится на участки с различными способами суммирования удерживающих и сдвигающих сил.

Также как и в способе алгебраического сложения сил, призма смещения разбивается на отсеки вертикальными гранями, для каждого из отсеков рассчитываются сдвигающие и удерживающие силы по формулам, зависящим от того, к какому участку поверхности скольжения принадлежит отсек (формула 7.1).

Для каждого отсека измеряется средняя высота h, ширина Δ и угол наклона основания ϑ (рис. 7.1).

$$n=\frac{\left(\sum_{i=1}^{l}\frac{\left(\gamma h_i \operatorname{tg}\varphi + C\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta_i\right)\right)\Delta_i}{1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta_i}\right)_{\vartheta_i\le\varphi} + \left(\sum_{j=1}^{m}\frac{\left(\gamma h_j \operatorname{tg}\varphi + C\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta_j\right)\right)\Delta_j}{1+\operatorname{tg}^2\vartheta_j}\right)_{\vartheta_j>\varphi} + \left(\sum_{k=1}^{s}\left(\gamma h_k \operatorname{tg}\varphi + C\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta_k\right)\right)\Delta_k\right)_{\substack{\text{участок}\\ \text{бермы}}}}{\left(\sum_{i=1}^{l}\frac{\gamma h_i \operatorname{tg}\vartheta_i \Delta_i}{1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta_i}\right)_{\vartheta_i\le\varphi} + \left(\sum_{j=1}^{m}\frac{\gamma h_j \operatorname{tg}\vartheta_j \Delta_j}{1+\operatorname{tg}^2\vartheta_j}\right)_{\vartheta_j>\varphi} + \left(\sum_{k=1}^{s}\gamma h_k \operatorname{tg}\vartheta_k \Delta_k\right)_{\substack{\text{участок}\\ \text{бермы}}}}, \quad (7.1)$$

где h – средняя высота отсека (блока); Δ – ширина отсека. Остальные обозначения см. выше.

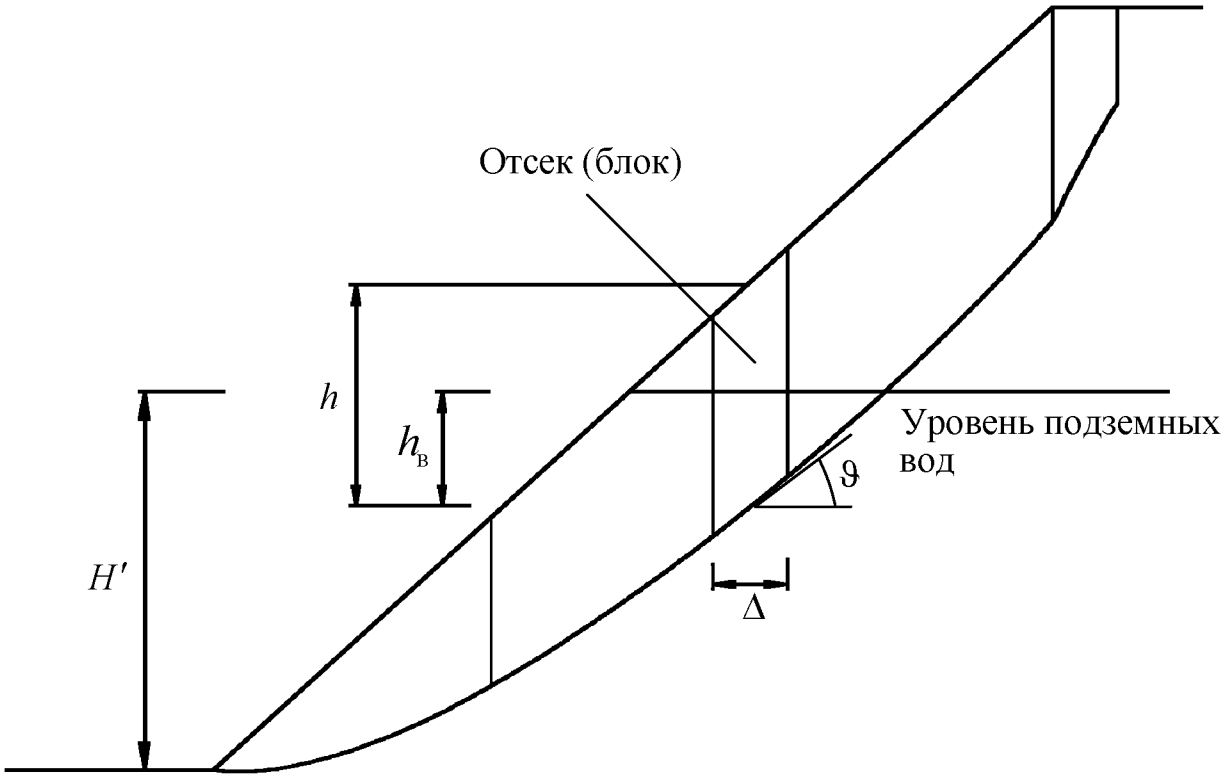


Рис. 7.1. Оценка устойчивости обводненного откоса

Обводнение прибортового массива (откоса) приводит к снижению его устойчивости. Механизм воздействия подземных вод на призму смещения (откос) можно представить в виде двух силовых полей. Первое – это Архимедово взвешивание, направленное вверх (уменьшение сопротивления трением), а второе – гидродинамическое воздействие, вызванное движением воды по направлению ее течения в каждой конкретной точке (эффект реки). Доказывается, что их совместное влияние может быть учтено некоторым силовым вектором гидростатического давления, направленным в каждой точке поверхности скольжения по нормали к последней.

Таким образом, учет негативного влияния подземных вод на устойчивость откосов может быть осуществлен использованием в расчетах некоторой приведенной величины сцепления:

$$C_{\text{в}} = C - \text{tg}\varphi\gamma_{\text{в}}h_{\text{в}},$$

где $\gamma_{\text{в}} = 1\ \text{т}/\text{м}^3$ – объемный вес воды; $h_{\text{в}}$ – средняя высота воды в отсеке (среднее расстояние от поверхности воды до площадки скольжения (см. рис. 7.1).

Степень обводненности откоса определяется коэффициентом

$$k = H'/H,$$

где H' – условная высота промежутка высачивания (см. рис. 7.1).

Рассмотрим пример расчета обводненного откоса по предлагаемой методике. Оценим попутно устойчивость сухого откоса с углом $\alpha = 45^\circ$ и расчетными физико-механическими характеристиками горных пород, слагающих откос: $C = 10\ \text{т}/\text{м}^2; \varphi = 30^\circ; \gamma = 2{,}5\ \text{т}/\text{м}^3$.

Используя номограмму устойчивости плоских однородных откосов (прил. 8), определим предельную высоту откоса

$$H = 110{,}2\ \text{м}.$$

В принятом масштабе (по возможности – крупнее) отстраивается (масштабируется из прил. 7) откос и поверхность скольжения. Призма смещения разбивается на отсеки с учетом участков и производятся соответствующие измерения. Данные измерений, а также расчеты, помещаются в табл. 7.1.

Далее оцениваем устойчивость обводненного откоса. Пусть откос в рассматриваемом примере имеет обводненность

$$k = 0{,}4.$$

Для обводненных отсеков вычисляется величина приведенного сцепления, а далее удерживающие силы (последний столбец табл. 7.1).

Таблица 7.1

Оценка устойчивости сухого и обводненного откосов

Номер отсека	C, т/м^2	φ°	γ, т/м^3	h, м	Δ, м	ϑ°	Удерж., т	Сдвиг., т	Уд. (вода), т
$i=1$	10	30	2,5	1,67	3,144	-3,566	40,601	-0,849	37,445
2				4,842	3,145	2,579	52,137	1,671	43,550
3				7,683	3,145	8,425	61,737	8,242	48,603
4				10,245	3,145	12,545	70,461	15,883	53,160
5				12,591	3,145	15,945	78,263	24,279	57,037
6				14,743	3,145	19,076	85,137	33,414	60,154
7				16,711	3,145	21,931	91,205	42,923	62,594
8				18,506	3,145	24,507	96,574	52,510	64,446
9				20,138	3,145	26,839	101,318	62,003	65,773
$l=10$				21,618	3,145	28,944	105,512	71,250	66,660
$j=1$	10	30	2,5	23,118	3,963	30,875	137,044	100,880	84,150
2				24,632	3,937	32,425	139,100	109,728	83,112
3				26	3,937	33,819	141,349	118,330	82,251
4				27,235	3,937	35,09	142,990	126,091	85,561
5				28,347	3,937	36,233	144,177	133,021	93,165
6				29,352	3,937	37,252	145,049	139,198	100,702
7				30,229	3,937	38,222	145,391	144,620	107,950
8				31,012	3,937	39,171	145,289	149,467	115,018
9				31,688	3,937	40,095	144,745	153,664	121,887
10				32,257	3,937	40,994	143,796	157,195	128,595
11				32,719	3,937	41,865	142,487	160,055	135,184
12				33,074	3,937	42,726	140,794	162,253	140,794
13				33,318	3,937	43,599	138,664	163,770	138,664
14				33,447	3,937	44,488	136,101	164,575	136,101
15				33,455	3,937	45,394	133,118	164,625	133,118
16				33,334	3,937	46,321	129,716	163,871	129,716
17				33,079	3,937	47,27	125,917	162,279	125,917
18				32,677	3,937	48,281	121,604	159,758	121,604
19				32,103	3,937	49,483	116,368	156,056	116,368
$m=20$				31,331	3,937	50,703	110,785	151,143	110,785
$k=1$	10	30	2,5	29,001	1,676	66,125	172,466	274,536	172,466
2				25,288	1,675	65,281	156,926	230,028	156,926
3				21,764	1,675	63,837	138,773	185,517	138,773
4				18,458	1,675	62,397	122,646	147,829	122,646
$s=5$				15,356	1,675	60,823	107,603	115,166	107,603
$\sum$							**4205,847**	**4204,986**	**3548,479**

Отметим, что пересчет удерживающих сил необходим только для обводненных отсеков, для сухих отсеков удерживающие силы остаются неизменными.

Таким образом, коэффициент устойчивости для сухого откоса, как и следовало ожидать, равен:

$$n = \frac{4205,847}{4204,986} = 1.$$

Для обводненного откоса

$$n_{\text{обв}} = \frac{3548,479}{4204,986} = 0,84.$$

Таким образом, обводнение пород привело к снижению коэффициента устойчивости на 16 %.

Задание № 8

1. Произвести оценку устойчивости сухого и обводненного откосов (разбивку призмы смещения произвести на 15 отсеков).

2. Сделать вывод о влиянии обводненности на устойчивость откоса.

Таблица 7.2

Исходные данные для выполнения задания № 8

Варианты	Номер группы	
	группа 1	группа 2
1 … 3	$\alpha = 30^\circ; \varphi = 25^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 40^\circ; \varphi = 35^\circ; k = 0,3$
4 … 6	$\alpha = 30^\circ; \varphi = 20^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 40^\circ; \varphi = 30^\circ; k = 0,3$
7 … 9	$\alpha = 30^\circ; \varphi = 15^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 40^\circ; \varphi = 25^\circ; k = 0,3$
10 … 12	$\alpha = 35^\circ; \varphi = 30^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 40^\circ; \varphi = 20^\circ; k = 0,3$
13 … 15	$\alpha = 35^\circ; \varphi = 25^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 45^\circ; \varphi = 35^\circ; k = 0,3$
16 … 18	$\alpha = 35^\circ; \varphi = 20^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 45^\circ; \varphi = 30^\circ; k = 0,3$
19 … 21	$\alpha = 35^\circ; \varphi = 15^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 45^\circ; \varphi = 25^\circ; k = 0,3$
22 … 24	$\alpha = 50^\circ; \varphi = 35^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 55^\circ; \varphi = 35^\circ; k = 0,3$
25 … 27	$\alpha = 50^\circ; \varphi = 30^\circ; k = 0,4$	$\alpha = 55^\circ; \varphi = 30^\circ; k = 0,3$

Примечание.

1. Для углов внутреннего трения $\varphi = 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ$ принимаем расчетные значения сцепления и объемного веса рыхлых пород из задания № 4.

2. Для углов внутреннего трения $\varphi = 30^\circ; 35^\circ$ принимаем расчетные значения сцепления и объемного веса скальных пород из задания № 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебно-методическом пособии изложены основные практические вопросы геомеханики открытой разработки месторождений:

– разработка проекта наблюдательной станции на карьере: выбор мест заложения наблюдательной станции (профильных линий), методика маркшейдерских наблюдений и т. д.;

– обработка результатов инструментальных наблюдений (измерений) за смещениями рабочих реперов наблюдательной станции, интерпретация результатов измерений;

– определение механических характеристик горных пород методом обратного расчета при оползневых явлениях в карьерах;

– построение потенциальных поверхностей скольжения в однородных и анизотропных откосах рыхлых и скальных горных массивов;

– определение предельных контуров откосов методом предельных напряженных состояний;

– методика оценки устойчивости карьерных откосов способами алгебраического сложения сил и многоугольника сил;

– оценка устойчивости обводненных откосов строгим способом.

Выполнение предлагаемых заданий совместно с теоретическим (лекционным) материалом позволит студенту наиболее полно и эффективно освоить курс геомеханики на карьерах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция по наблюдениям* за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: Изд. ВНИМИ, 1971. 188 с.

2. *Методические указания* по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л.: Изд. ВНИМИ, 1987. 116 с.

3. *Жабко А. В.* Теория расчета устойчивости оснований и откосов // Известия Уральского гос. горного ун-та. Екатеринбург: 2011. № 25-26. С. 59-65.

4. *Жабко А. В.* Предельные параметры плоских однородных откосов // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 6. С. 22-25.

5. *Жабко А. В.* Основы общей теории расчета устойчивости откосов // Известия Уральского гос. горного ун-та. Екатеринбург: 2013. № 4 (32). С. 47-58.

6. *Жабко А. В.* Расчет устойчивости неоднородных и анизотропных откосов // Известия вузов. Горный журнал. 2014. № 3. С. 22-29.

7. *Жабко А. В.* Учет гидростатического давления при расчете устойчивости откосов // Маркшейдерия и недропользование. Москва: 2013. № 6 (68). С. 29-31.

8. *Правила обеспечения устойчивости откосов* на угольных разрезах: утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.98. СПб.: ГосНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1998. 208 с.

9. *Временные методические указания* по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии / Минцветмет СССР. Утв. 14.01.1988. М: ЦНИИЦМЭИ, 1989. 128 с.

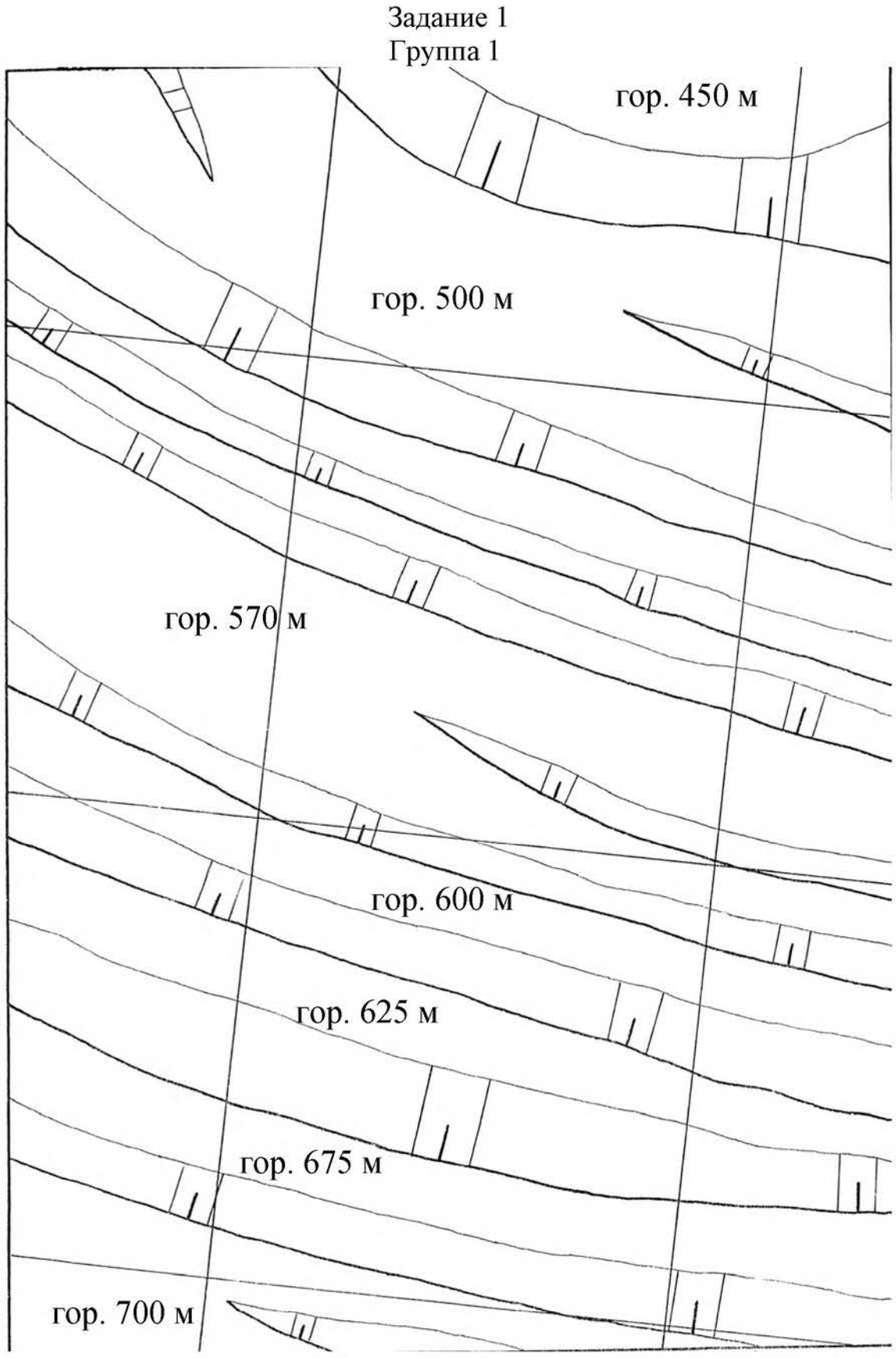
10. *Фисенко Г. Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов / М.: Недра, 1965. 378 с.

11. *Соколовский В.В.* Статика сыпучей среды / М.: Наука, 1990. 272 с.

12. *Бадулин А. П. Яковлев В. Н.* Устойчивость бортов карьеров. Учебное пособие / Екатеринбург: УГГУ, 2005. 84 с.

Приложение 1

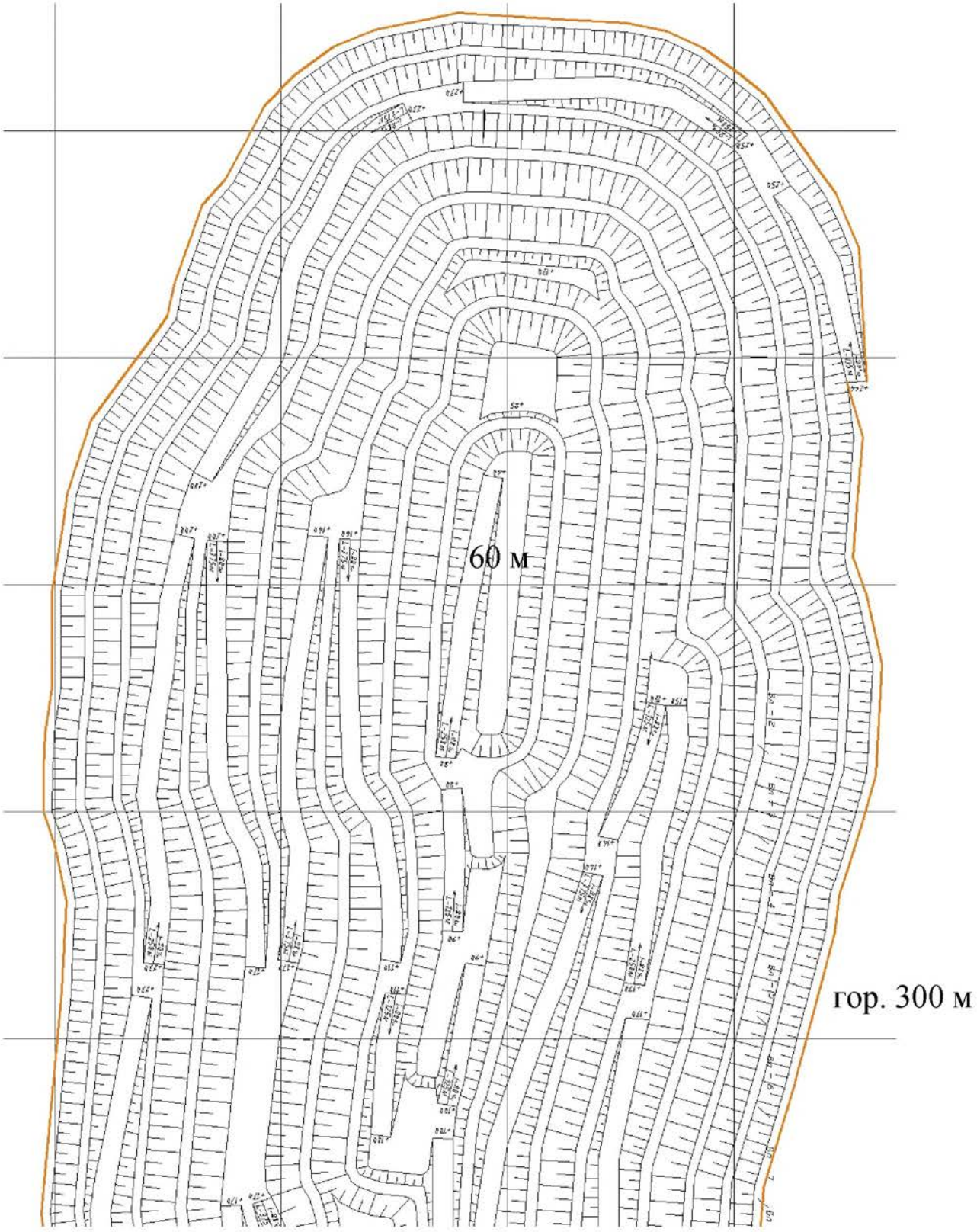
План участка карьера М 1:1000



Приложение 2

План участка карьера М 1:2000

Задание 1
Группа 2



Приложение 3

Результаты обработки данных инструментальных маркшейдерских наблюдений

Задание 2

Номер репера	Исх. серия *X*, *Y*, *Z* 1, 8, 90	23 серия *X*, *Y*, *Z* 25.01.1998	24 серия *X*, *Y*, *Z* 25.04.1998	24 – 23, мм	Ск-ть, гориз., мм/сут	Ск-ть, вертик., мм/сут	Ск-ть, общая, мм/сут	24 – 1, мм
VI - 1	944,616 174,969 55,171	944,613 174,972 55,171	944,620 174,966 55,166					
VI - 2	944,040 311,033 54,868	944,015 311,048 54,850	944,620 311,041 54,841					
VI – 3	945,860 396,511 55,219	945,866 396,545 55,159	945,876 396,547 55,152					
VI – 4	945,412 506,015 54,756	945,465 506,047 54,627	945,480 506,040 54,620					
VI - 5	945,702 601,760 54,529	945,761 601,762 54,372	945,784 601,767 54,365					
VI – 6	947,408 723,215 54,493	947,517 723,230 54,198	947,530 723,243 54,196					
VI – 7	947,553 829,168 53,840	– – 53,246	– – 53,232					
VI – 8	943,178 926,606 53,970	943,137 926,609 53,510	943,154 926,596 53,500					
VI – 8A	924,100 926,127 53,045	– – –	– – –					
VI – 9	947,226 1026,860 53,526	947,248 1026,867 52,974	947,276 1026,976 52,976					
VI – 10	947,294 1132,969 53,583	947,343 1132,673 53,171	947,366 1132,681 53,020					
VI – 11	945,857 1235,081 54,154	945,903 1235,098 54,040	945,924 1235,103 54,059					
VI – 12	948,764 1490,318 54,903	948,738 1490,305 54,843	948,759 1490,329 54,865					
VI – 13	950,024 1607,799 54,740	949,960 1607,836 54,664	949,986 1607,846 54,689					

Окончание табл. прил. 3

Номер репера	Исх. серия *X*, *Y*, *Z* 1, 8, 90	23 серия *X*, *Y*, *Z* 25.01.1998	24 серия *X*, *Y*, *Z* 25.04.1998	24 – 23, мм	Ск-ть, гориз., мм/сут	Ск-ть, вертик., мм/сут	Ск-ть, общая, мм/сут	24 – 1, мм
VI – 14	950,659 1727,468 55,046	950,681 1727,458 54,946	950,684 1727,464 54,972					
VI - 15	950,003 1822,649 54,198	950,036 1822,630 54,147	950,044 1822,638 54,174					
VI - 16	950,929 1913,450 54,703	950,916 1913,437 Z 54,662	950,930 1913,453 54,686					
VI - 17	– – 54,862	– – 54,836	– – 54,859					
VI - 18	– – 55,171	– – 55,171	– – 55,166					

Приложение 4

Схема оползня для определения механических характеристик горных пород методом «обратного расчета»

Задание 3

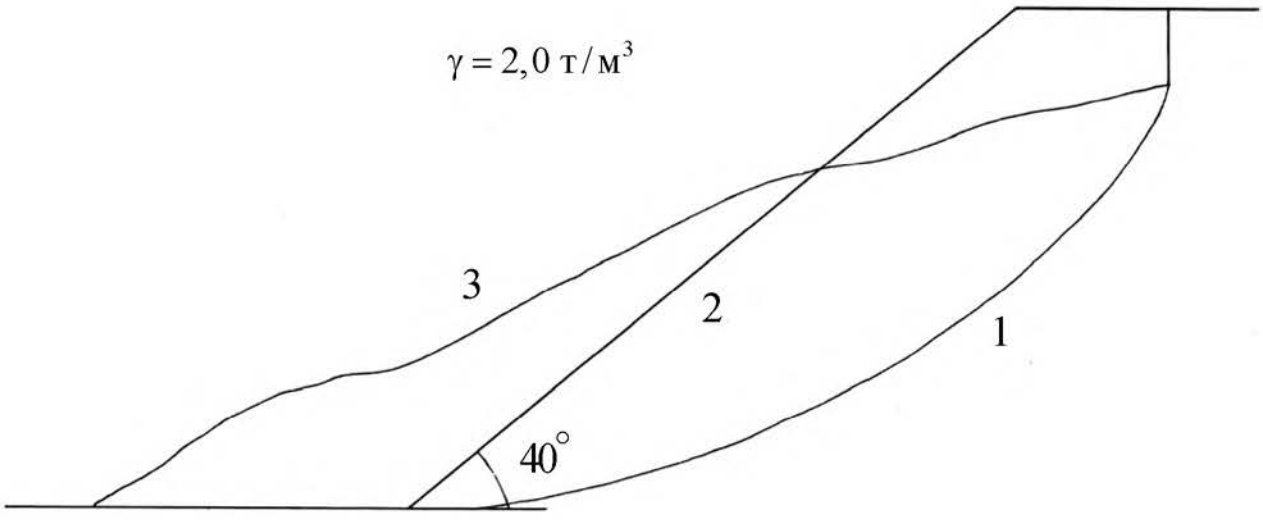


Рис. П. 4.1

1 – поверхность скольжения; 2 – контур откоса до обрушения;
3 – контур откоса после обрушения

Приложение 5

Физико-механические свойства горных пород для оценки устойчивости откосов

Задания 4 – 7
Группа 1

№ п/п	Однородный откос			Откос, нарушенный поверхностью ослабления								
	рыхлые отложения			скальные породы (в образце)			поверхность ослабления			размер структурного блока, м		
	γ, т/м^3	φ^o	C, т/м^2	γ, т/м^3	φ^o	C, кг/см^2	φ'	C', т/м^2	β_1°, β_2°	l_1	l_2	l_3
1	1,85	18	2,5	2,70	36	190	15°	10	12°, 78°	0,7	0,6	0,5
2	1,86	19	2,6	2,71	37	195				0,8	0,7	0,6
3	1,87	20	2,7	2,72	38	200				0,9	0,8	0,7
4	1,88	21	2,8	2,73	39	205				1,0	0,9	0,8
5	1,89	22	2,9	2,74	40	210				1,1	1,0	0,9
6	1,90	23	3,0	2,75	31	215				0,6	1,1	1,0
7	1,91	24	3,1	2,76	32	220				0,7	1,2	1,1
8	1,92	25	3,2	2,77	33	225				0,8	0,5	1,2
9	1,93	26	3,3	2,78	34	230				0,9	0,6	1,3
10	1,94	27	3,4	2,79	35	235				1,0	0,7	0,5
11	1,95	28	3,5	2,80	36	240				1,1	0,8	0,6
12	1,96	18	3,6	2,81	37	245				0,5	0,9	0,7
13	1,97	19	3,7	2,82	38	250				0,6	1,0	0,8
14	1,98	20	3,8	2,83	39	255				0,7	1,1	0,9
15	1,99	21	3,9	2,84	30	260				0,8	1,2	1,0
16	2,00	22	4,0	2,85	31	265				0,9	0,5	1,1
17	1,90	23	2,6	2,86	32	270				1,0	0,6	1,2
18	1,91	24	2,7	2,87	33	275				1,1	0,7	0,5
19	1,92	25	2,8	2,88	34	280				0,5	0,8	0,6
20	1,93	20	2,9	2,89	35	285				0,6	0,9	0,7
21	1,94	18	3,0	2,90	36	290				0,7	1,0	0,8
22	1,95	19	3,1	2,91	37	295				0,8	1,1	0,9
23	1,96	20	3,2	2,92	38	300				0,9	1,2	1,0
24	1,97	21	3,3	2,93	39	305				1,0	0,5	1,1
25	1,98	22	3,4	2,94	35	310				1,1	0,6	1,2
26	1,99	23	3,5	2,95	34	315				1,2	0,7	0,6
27	2,00	24	3,6	2,96	32	320				1,3	0,8	0,7

Приложение 6

Физико-механические свойства горных пород для оценки устойчивости откосов

Задания 4 – 7
Группа 2

№ п/п	Однородный откос			Откос, нарушенный поверхностью ослабления								
	рыхлые отложения			скальные породы (в образце)			поверхность ослабления			размер структурного блока, м		
	γ, т/м^3	φ°	C, т/м^2	γ, т/м^3	φ°	C, кг/см^2	φ'	C', т/м^2	β_1°, β_2°	l_1	l_2	l_3
1	1,90	18	2,0	2,60	36	200	20°	0	10°, 70°	0,4	0,5	0,6
2	1,91	19	2,2	2,62	37	210				0,3	0,5	0,4
3	1,92	20	2,4	2,64	38	220				0,4	0,6	0,6
4	1,93	21	2,6	2,66	39	230				0,4	0,6	0,5
5	1,94	22	2,8	2,68	40	240				0,4	0,6	0,4
6	1,95	23	3,0	2,70	32	250				0,4	0,4	0,4
7	1,96	24	3,2	2,72	33	260				0,5	0,5	0,5
8	1,97	25	3,4	2,74	34	270				0,6	0,6	0,6
9	1,98	26	3,6	2,76	35	280				0,6	0,4	0,7
10	1,99	27	3,6	2,78	36	290				0,6	0,5	0,6
11	2,00	28	3,4	2,80	37	220				0,7	0,6	0,5
12	1,90	29	3,2	2,82	38	230				0,6	0,5	0,4
13	1,91	30	3,0	2,84	39	240				0,4	0,5	0,6
14	1,92	18	2,8	2,86	40	250				0,7	0,7	0,7
15	1,93	19	2,6	2,88	32	260				0,9	0,8	0,7
16	1,94	20	2,4	2,90	33	270				0,8	0,8	0,8
17	1,95	21	2,2	2,92	34	280				0,9	0,9	0,9
18	1,96	22	2,0	2,94	35	290				0,4	0,8	0,7
19	1,97	23	2,2	2,96	36	250				0,6	0,5	0,9
20	1,98	24	2,4	2,98	37	260				0,5	0,6	0,9
21	1,99	25	2,6	3,00	38	220				0,7	0,6	0,5
22	2,00	26	2,8	3,02	39	230				0,8	0,7	0,6
23	1,90	27	3,0	3,04	40	240				0,9	0,8	0,7
24	1,91	28	2,2	3,00	32	210				1,0	0,9	0,8
25	1,92	29	2,4	3,02	33	220				0,8	0,9	0,6
26	1,93	30	2,6	3,04	34	230				0,9	0,7	0,6
27	1,94	25	2,8	3,00	35	240				0,7	0,6	0,5

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

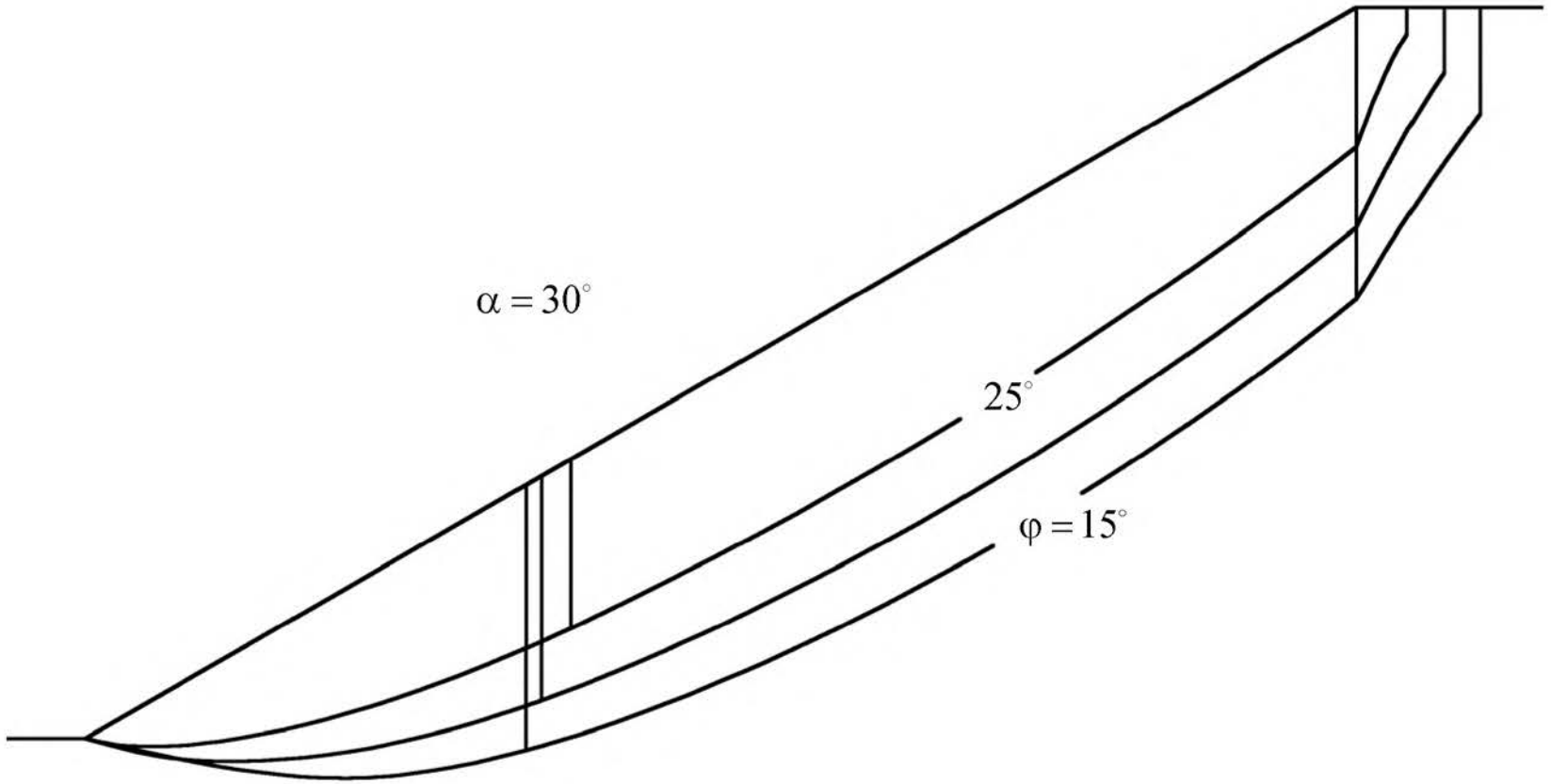


Рис. П. 7.1

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

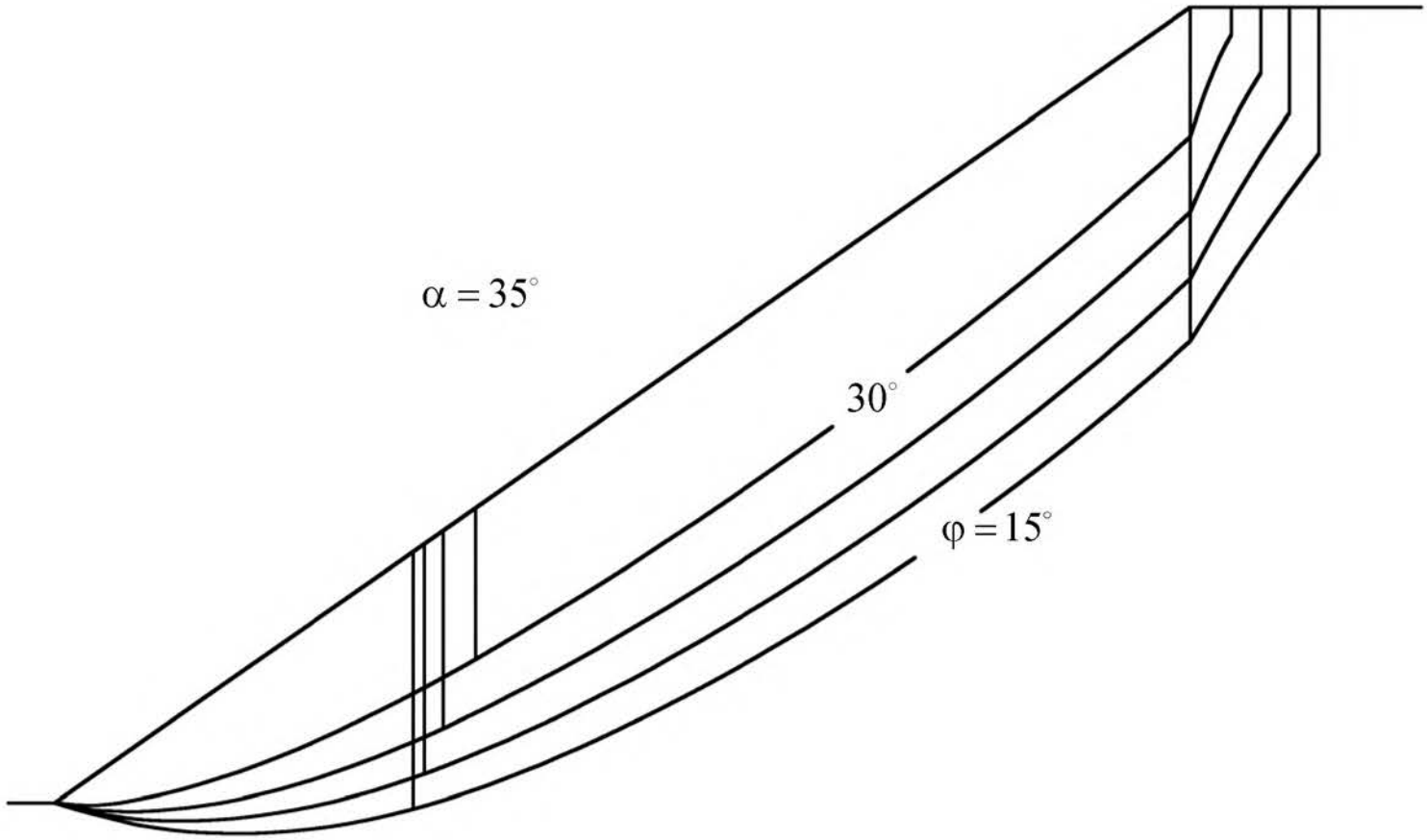


Рис. П. 7.2

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

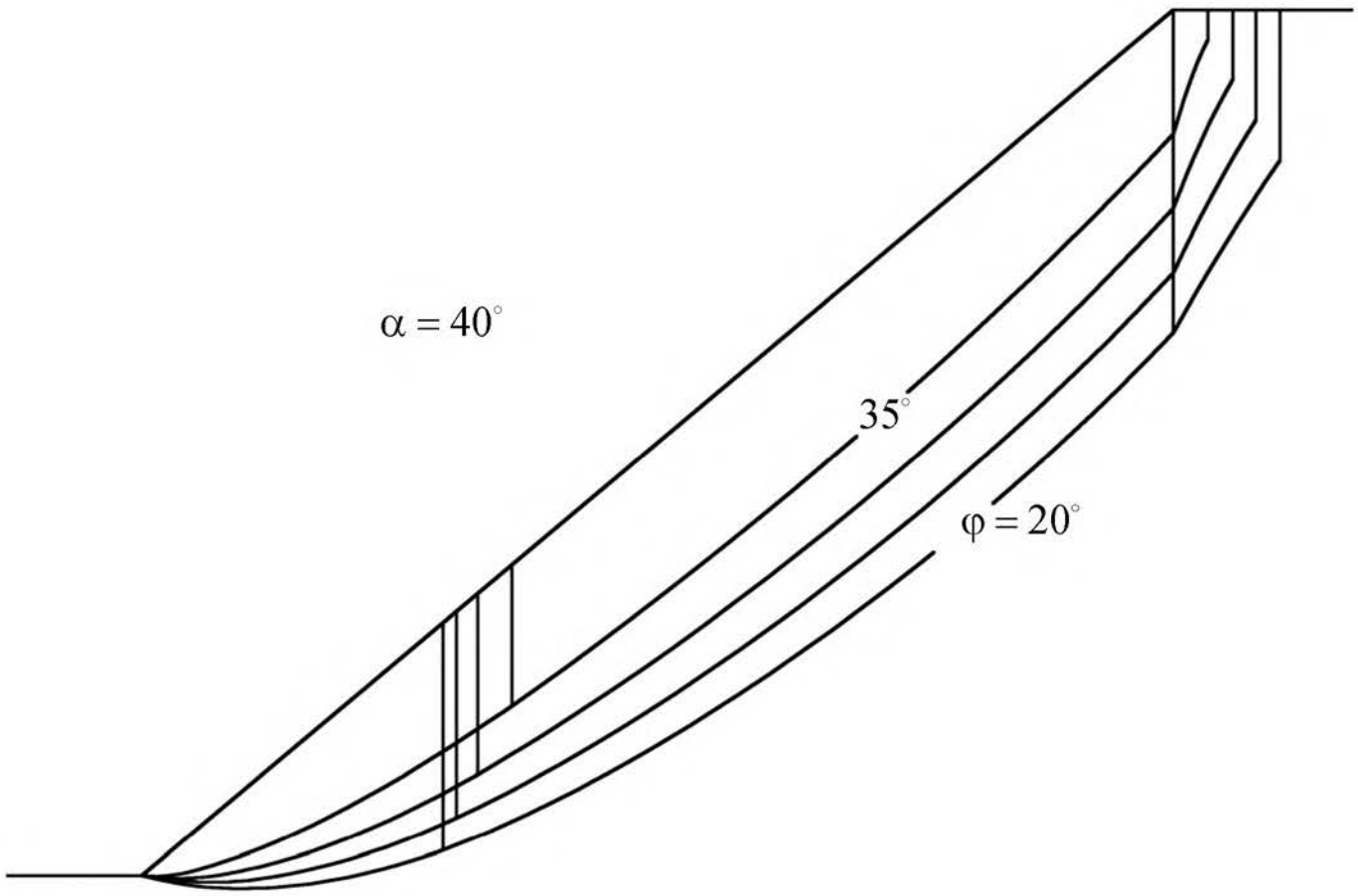


Рис. П. 7.3

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

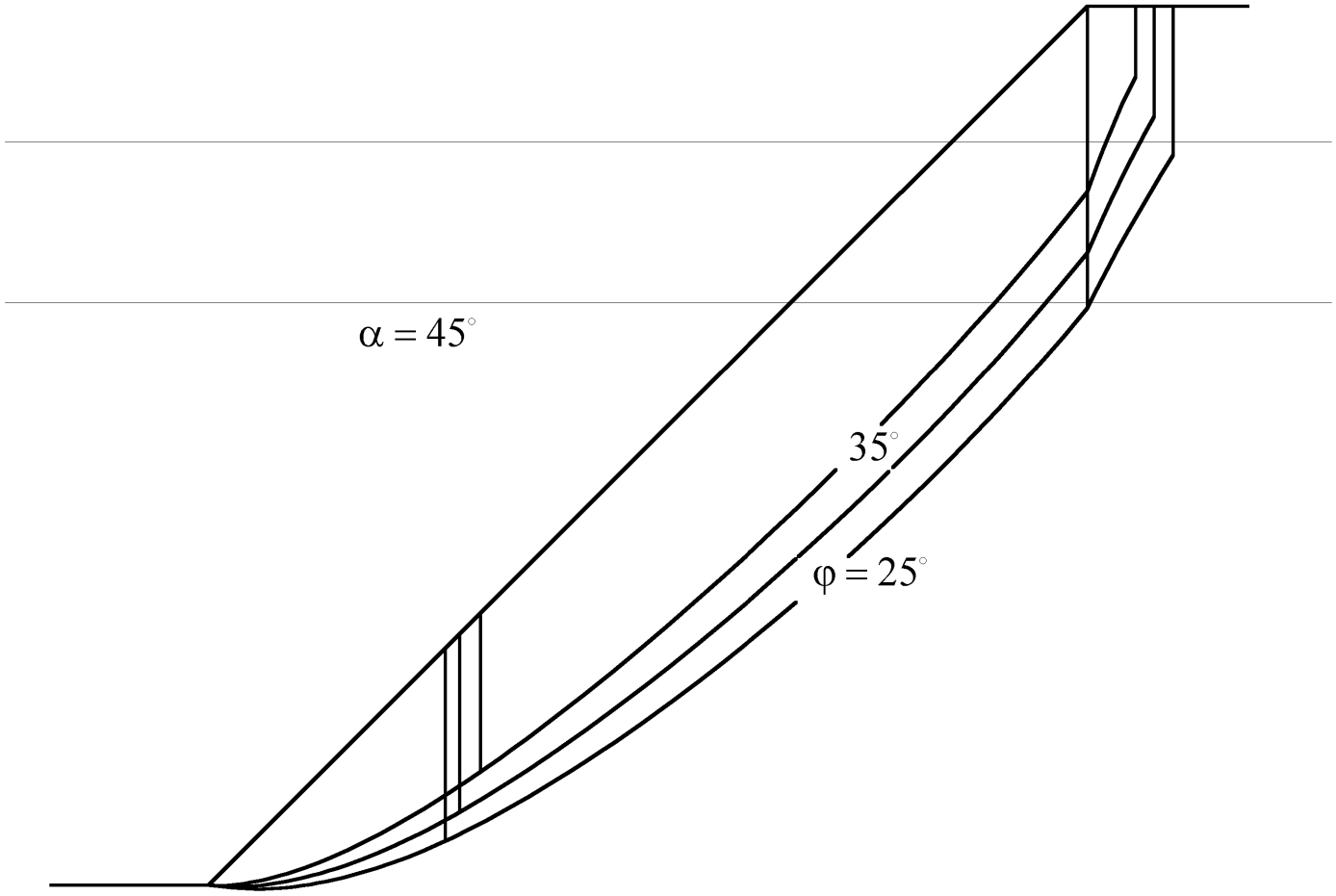


Рис. П. 7.4

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

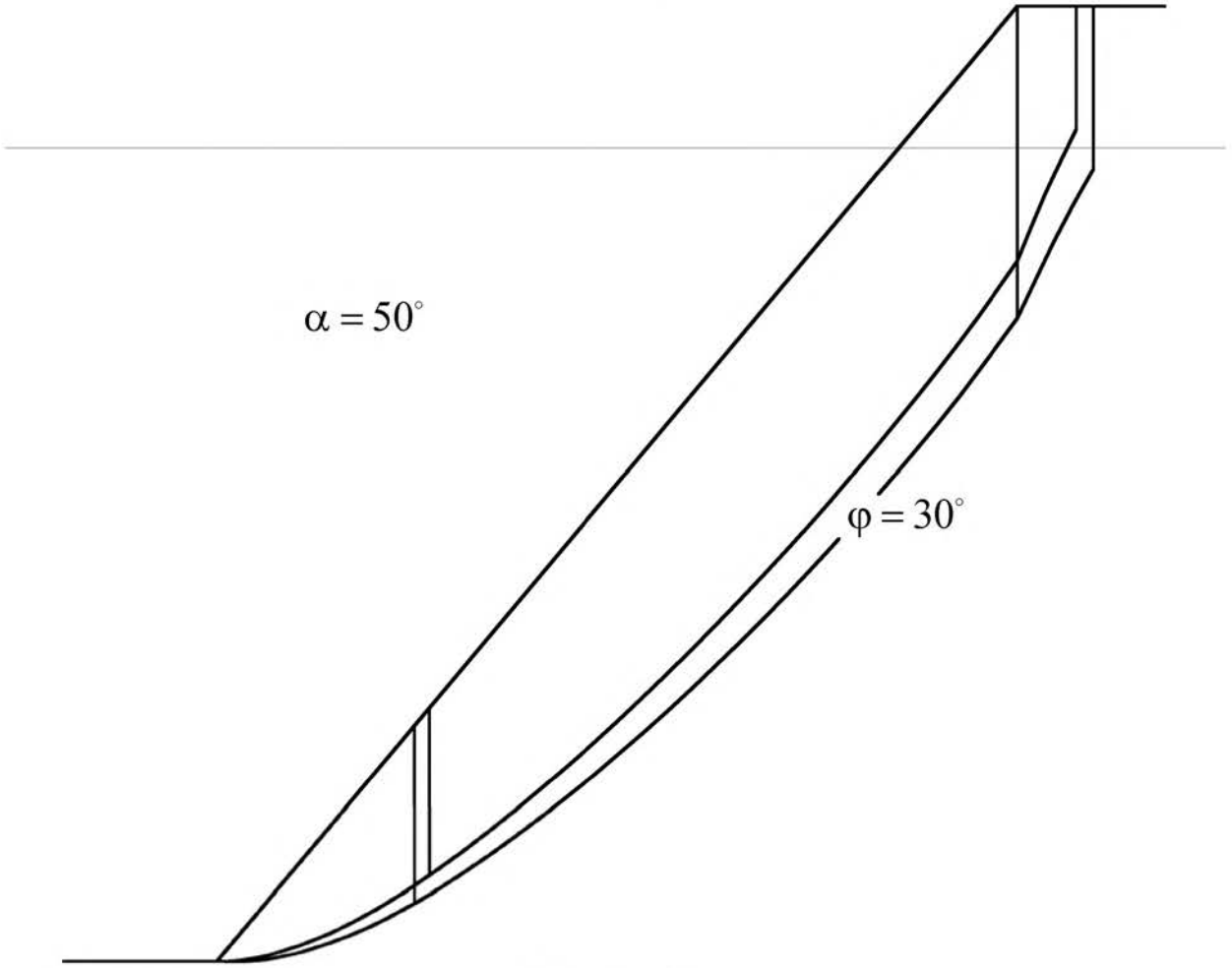


Рис. П. 7.5

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

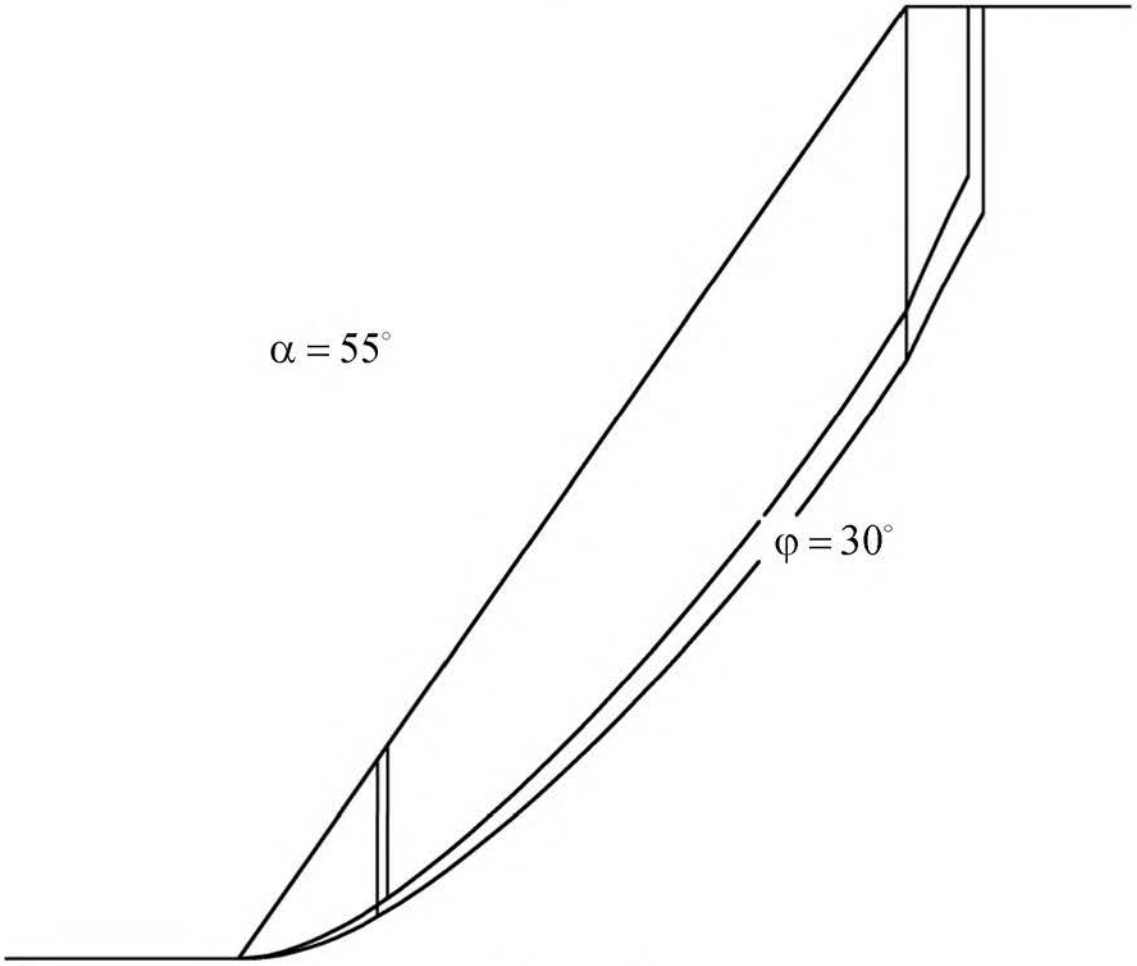
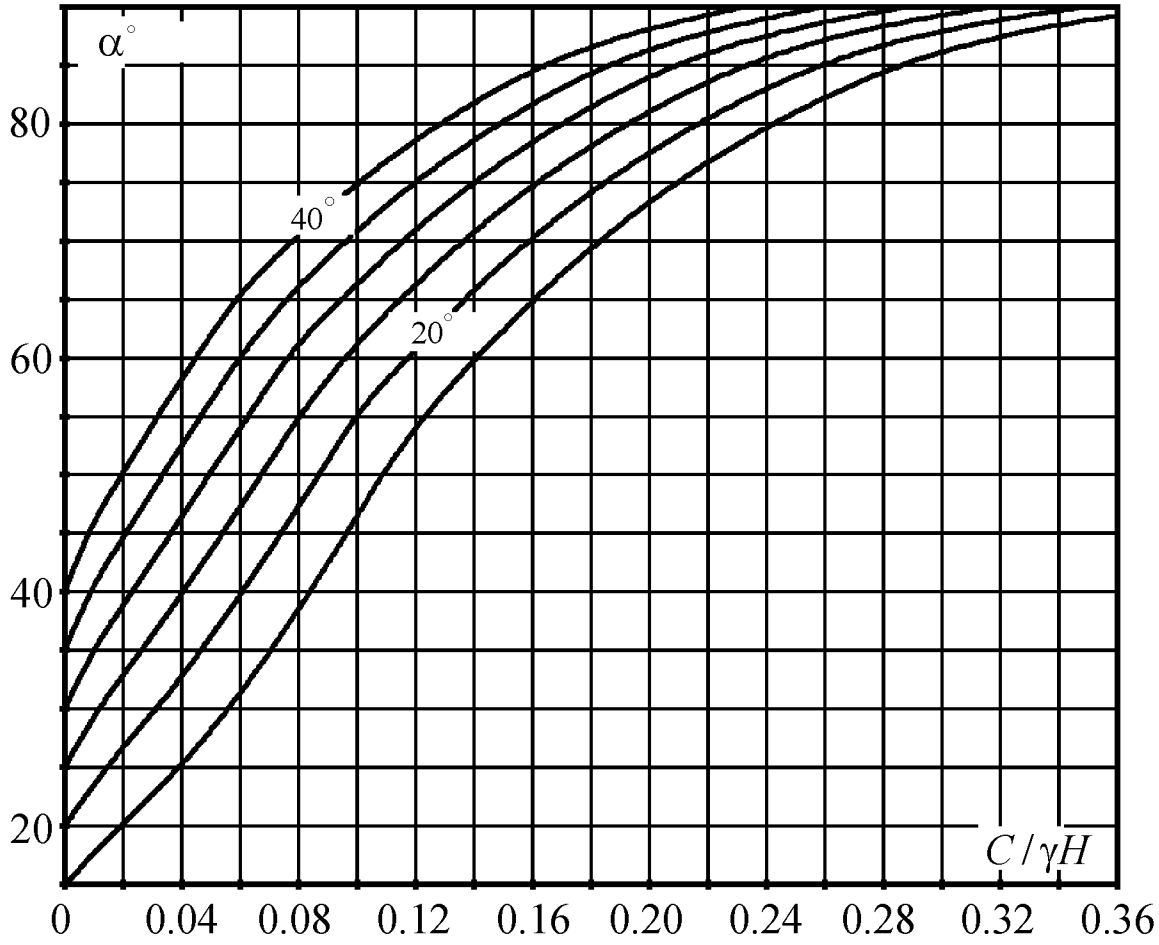


Рис. П. 7.6

Номограмма устйчивости плоских однородных откосов

Задание 8



Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Жабко А.В.

ГЕОМЕХАНИКА

Методические указания к самостоятельной работе и задания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для обучающихся по освоению учебной дисциплины

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Ознакомиться с календарно-тематическим планом самостоятельной работы обучающихся.

3. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

4. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы студента преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется проверка расчетно-графических работ, опрос, контрольная работа. Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов (СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента по данной учебной дисциплине. Объемы и виды трудозатрат по всем отдельным видам представлены в разделе 7. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы студентов, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРС, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий химии, новые незнакомые термины и назва-

ния, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служат вопросы для самопроверки и тренировочные тесты, позволяющие контролировать степень успешности изучения учебного материала.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, студентам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

При самостоятельном изучении теоретического курса студентам необходимо:

самостоятельно освоить и проработать темы теоретического курса в соответствии с учебной программой дисциплины, основательно подготовить ответы на вопросы, приведенные после каждой темы.

Самостоятельно изучаемые вопросы курса в последующем включаются в экзаменационные билеты.

Темы на самостоятельное изучение выдаются студентам на лекционных занятиях.

1. Деформации бортов карьеров
2. Контроль устойчивости откосов бортов карьеров, отвалов и дамб хвостохранилищ
3. Методы расчета (оценки) устойчивости откосов в изотропных массивах
4. Способы расчета устойчивости откосов. Коэффициент запаса устойчивости
5. Расчет устойчивости анизотропных и неоднородных откосов
6. Равноустойчивый откос
7. Расчет устойчивости откосов в сложных горно-геологических условиях.
8. Расчет устойчивости отвалов и оснований сооружений
9. Противодеформационные мероприятия

ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИЛА ЛЕКЦИЙ

Для приобретения прочных знаний и выработки навыков самостоятельной работы по учебной дисциплине «Геомеханика» необходимо повторить материал лекционных занятий, а также прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную для самостоятельного изучения по данной дисциплине [1-10]. Работа с материалом должна носить системный характер.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Для успешной подготовки к практическим занятиям студенту невозможно ограничиться слушанием лекций. Требуется предварительная самостоятельная работа студентов по теме планируемого занятия. Не может быть и речи об эффективности занятий, если студенты предварительно не поработают над конспектом, учебником, учебным пособием, чтобы основательно овладеть теорией вопроса.

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Тема 1: Деформации бортов карьеров

1. Факторы, определяющие устойчивость бортов карьеров.
2. Виды деформаций бортов карьеров и условия их возникновения.
3. Динамика и морфология развития.
4. Расчетные показатели при оценке устойчивости откосов.
5. Методы определения показателей при оценке устойчивости откосов.

Тема 2: Контроль устойчивости откосов бортов карьеров, отвалов и дамб хвостохранилищ

1. Контроль устойчивости откосов бортов карьеров, отвалов и дамб хвостохранилищ.
2. Проект наблюдательной станции.
3. Предельные значения деформаций.
4. Паспортизация деформаций бортов карьеров.

Тема 3: Методы расчета (оценки) устойчивости откосов в изотропных массивах

1. Анализ и классификация методов расчета (оценки) устойчивости откосов в изотропных массивах.

2.Поверхность скольжения, способы ее построения.

3. Недостатки существующих методов.

Тема 4: Способы расчета устойчивости откосов. Коэффициент запаса устойчивости

1. Метод предельного напряженного состояния (статика сыпучей среды).

2. Метод предельного равновесия.

3. Коэффициент запаса устойчивости, его нормативное значение.

4. Способы расчета устойчивости откосов, рекомендуемые нормативными документами. Недостатки.

.

Тема 5: Расчет устойчивости анизотропных и неоднородных откосов

1. Расчет устойчивости анизотропных и неоднородных откосов.

2. Углы излома и построение поверхностей скольжения.

Тема 6: Равноустойчивый откос

1. Понятие равноустойчивого откоса.

2. Рациональный профиль борта карьера.

3. Расчет откосов криволинейных в плане.

Тема 7: Расчет устойчивости откосов в сложных горно-геологических условиях.

1. Расчет устойчивости откосов в сложных горно-геологических условиях.

2. Сейсмичность, тектонические поля напряжений, обводненность, подработка подземными горными работами, карст.

.

Тема 8: Расчет устойчивости отвалов и оснований сооружений

1. Расчет устойчивости отвалов и оснований сооружений.

2. Геомеханическое проектирование отвалообразования

Тема 9: Противодеформационные мероприятия

1. Противодеформационные мероприятия.

2. Спецтехнология отработки приконтурных лент.

3. Дренаж карьерного поля.

5. Искусственное укрепление бортов карьеров.

ПОДГОТОВКА И НАПИСАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Для подготовки и написания курсового проекта по дисциплине «*Геомеханика*» разработано учебно-методическое пособие [1].

В учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы геомеханики открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Разработаны задания и подробно описаны методики их выполнения. Задания для выполнения курсового проекта соответствуют наиболее часто встречаемым производственным задачам инженера-маркшейдера. Методики решения задач соответствуют рекомендациям действующих нормативных документов.

Учебно-методическое пособие содержит методики решения задач по наблюдениям за деформациями уступов, бортов карьеров, определению расчетных характеристик физико-механических свойств горных пород и оценке устойчивости откосов в однородной среде и в анизотропных массивах.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *экзамену* по дисциплине «*Геомеханика*» обучающемуся рекомендуется:

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 «*Геомеханика*».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса.

Рекомендуемая литература

1. Устойчивость бортов карьера: учебно-методическое пособие к курсовому проекту по дисциплине «Геомеханика» для студентов специализации «Маркшейдерское дело» специальности 130400 – «Горное дело» / А. В. Жабко, А. П. Бадулин. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. – 59 с.
2. Жабко А.В. Аналитическая геомеханика: научная монография; УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. – 224 с.
3. Жабко А.В., Бадулин А.П. Геомеханика открытых горных работ: учебное пособие по дисциплине “Геомеханика”; УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. – 150 с.
4. Макаров А.Б. Практическая геомеханика: пособие для горных инженеров. – М.: Горная книга, 2006. – 391 с.
5. Зотеев О.В. Геомеханика: Учебное пособие. — Екатеринбург: УГГУ, ИГД УРО РАН, 2003. — 252 с.
6. Арсентьев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А. Устойчивость бортов и осушение карьеров: Учеб. для ВУЗов. – М.: Недра, 1982. – 165 с.
7. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – М.: МГГУ, 2003. – 473 с.
8. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
9. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
10. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Жабко А.В.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАРКШЕЙДЕРИИ

Учебно-методическое пособие к курсовой работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

Оглавление

Задания для выполнения курсовой работы 3
1. Комплекс CREDO 4
1.1. Основные функции комплекса CREDO 4
1.2. Обработка инженерно-геодезических изысканий в CREDO 6
1.3 Технологии сбора и обработки ТГИ при наземных съемках. 7
1.4 Проект полигона по замкнутому контуру 9
2. Работа с программой CREDO 19
2.1 Подготовка и использование бумажных картматериалов. 19
2.2. Работа с программой TRANSFORM 21
2.3. Работа с программой CREDO ГЕНПЛАН. 25
Заключение 33
Список литературы 34

Задания для выполнения курсовой работы

1. Произвести расчет и уравнивание маркшейдерской опорной сети, построить эллипсы ошибок плановых измерений в программе CREDO DAT. Получить ведомости ходов, координат пунктов и ведомость погрешностей их положения, осуществить экспорт данных в формат DXF (файл с результатами измерений выдается преподавателем).

2. Осуществить калибровку деформированного плана топографической съемки, осуществить обрезку плана по внешним границам координатной сетки и привязать план к принятой системе прямоугольных координат в программе CREDO TRANSFORM. Осуществить экспорт растрового изображения для дальнейшего использования в программе CREDO ГЕНПЛАН (файл растрового изображения для выполнения задания выдается преподавателем).

3. По результатам предыдущего задания (файл подложки из программы CREDO TRANSFORM) в программе CREDO ГЕНПЛАН создать цифровую модель местности (ЦММ) и цифровую модель рельефа (ЦМР) в существующих границах плана, построить профиль рельефа местности.

4. В программе CREDO ГЕНПЛАН произвести подсчет объемов выемки и насыпи между существующей поверхностью ЦМР (задание 3) и проектной (задается преподавателем), вывести на печать таблицу с получившимися данными.

1. Комплекс CREDO

1.1. Основные функции комплекса CREDO

- камеральные работы при создании государственных и местных сетей геодезической опоры;

- камеральная обработка инженерно-геодезических изысканий;

- обработка геодезических данных при проведении геофизических работ.

- подготовка данных для создания цифровой модели местности инженерного назначения;

- создание и корректировка цифровой модели местности инженерного назначения на основе данных изыскания и существующих картматериалов;

- формирование чертежей топопланов и планшетов на основе цифровой модели местности, экспорт данных по цифровой модели местности в системы автоматизированного проектирования и геоинформационные системы;

- обработка лабораторных данных инженерно-геологических изысканий;

- создание и корректировка цифровой модели местности инженерного назначения на основе данных изысканий и существующих картматериалов;

- формирование чертежей топопланов и планшетов на основе созданной цифровой модели местности, экспорт данных по цифровой модели местности в системы автоматизированного проектирования и геоинформационные системы;

- обработка лабораторных данных инженерно – геологических изысканий;

- создание и корректировка цифровой модели геологического строения площадки или полосы изысканий;

- формирование чертежей инженерно – геологических разрезов и колонок на основе цифровой модели геологического строения местности, экспорт геологического строения разрезов в системы автоматизированного проектирования;

- маркшейдерское обеспечение процесса добычи полезных ископаемых;

- проектирование генеральных планов объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства;

- проектирование профилей внешних инженерных коммуникаций;

- проектирование нового строительства и реконструкции автомобильных дорог;

- ведение дежурных планов территорий и промышленных объектов;

- геодезическое обеспечение строительных работ;

- геодезические работы в землеустройстве

- подготовка сметной документации при проведении инженерно - геодезических и инженерно – геологических изысканий.

1.2. Обработка инженерно-геодезических изысканий в CREDO

Современные требования к качеству проектирования и оперативности принятия проектных решений в промышленном, гражданском и транспортном строительстве требуют применения высокоэффективных технологий на всех стадиях создания проекта, включая этапы инженерных изысканий. Эти требования определяются двумя ключевыми моментами:

- необходимостью вариантного проектирования с быстрой детальной проработкой, экономической и экологической оценкой вариантов проектных решений;
- организацией сквозной технологии изыскания и проектирования на основе единого набора данных для всех элементов технологической цепочки и разделов проекта.

Оба этих момента в комплексе CREDO реализуются на основе цифрового моделирования как в системах обработки изысканий, так и в системах автоматизированного проектирования.

Идеологической основой технологии CREDO является изменение подходов к основным результатам инженерных изысканий и проектирования. Это выражается в переходе от «бумажного» результата (чертежи, планшеты) к модели, т.е. к созданию цифровой модели местности (ЦММ) как результата инженерно-геодезических изысканий, созданию объемной геологической модели (ОГМ) как результата инженерно-геологических изысканий, созданию и оценке цифровой модели проекта (ЦМП) как результата проектирования.

1.3 Технологии сбора и обработки ТГИ при наземных съемках.

Основной системой обработки данных наземных площадных и полосных съемок в комплексе CREDO является система CREDO_DAT, ориентированная на сбор топографо-геодезической информации (ТГИ) как традиционными приборами (теодолиты, нивелиры, рулетки) с записью в журналы, так и электронными тахеометрами, и спутниковыми системами.

CREDO_DAT импортирует данные практически из всех распространенных форматов электронных приборов и регистраторов.

Система CREDO_DAT предоставляет возможность выработать **оптимальный проект** сети планово-высотного обоснования, подобрать необходимую точность измерений, то есть обеспечить эффективность и экономичность работ по созданию опорной сети.

При вводе или импорте данных система производит автоматическое распознавание и сепарацию данных по типам измерений, автоматическое формирование топологии сети планово-высотного обоснования, формирование данных для уравнивания по всем типам и методикам создания плановых геодезических сетей.

Уравнивание плановых и высотных геодезических сетей производится параметрическим способом по методу наименьших квадратов.

Обработка съемки, выполненной электронными тахеометрами или традиционным тахеометрическим методом, ведется с одновременным формированием семантики топографических объектов.

Рациональной организации полевых и камеральных работ способствует возможность эффективного **манипулирования данными** – возможность объединение данных из разных наборов, замораживание, перенос, удаление отдельных измерений и блоков.

На всех этапах обработки обеспечивается одновременная **графическая иллюстрация** действий, позволяющая выполнять визуальный контроль операций.

1.4 Проект полигона по замкнутому контуру

Запускаем программу CREDO DAT IV

Создаем новый проект

Настройка проекта осуществляется путем изменения свойств. Для этого открываем на панели инструментов вкладку «Файл», выбираем пункт «Свойства проекта».

В открытом окне, во вкладках: «Общие сведения», «Параметры», «Точность представления», вносим необходимые изменения.

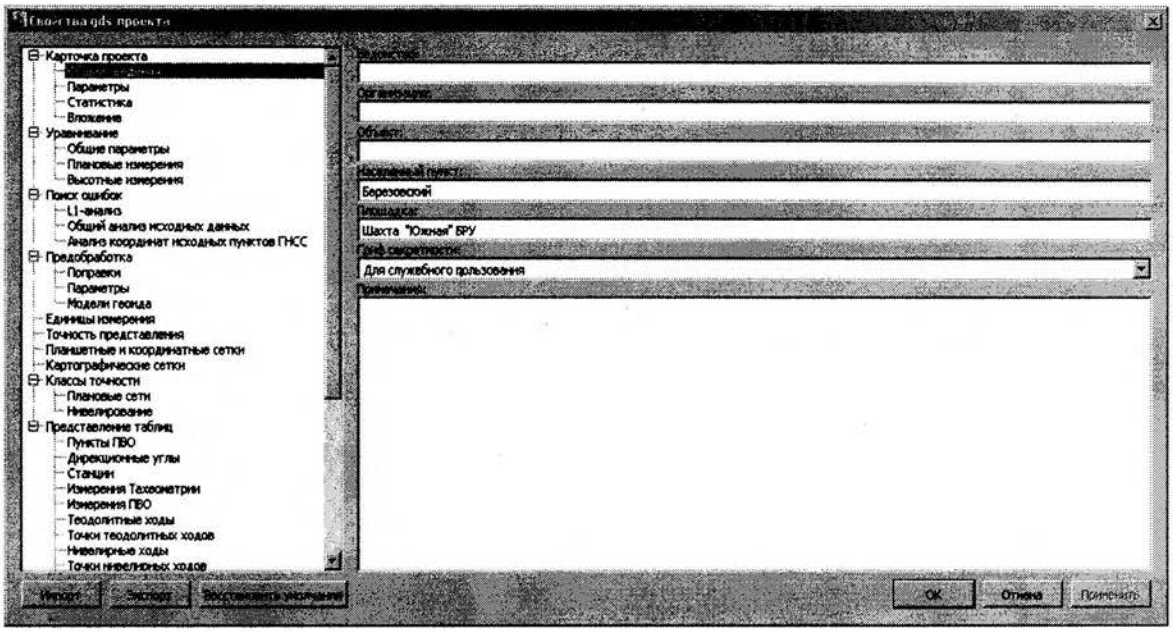


Рисунок 1

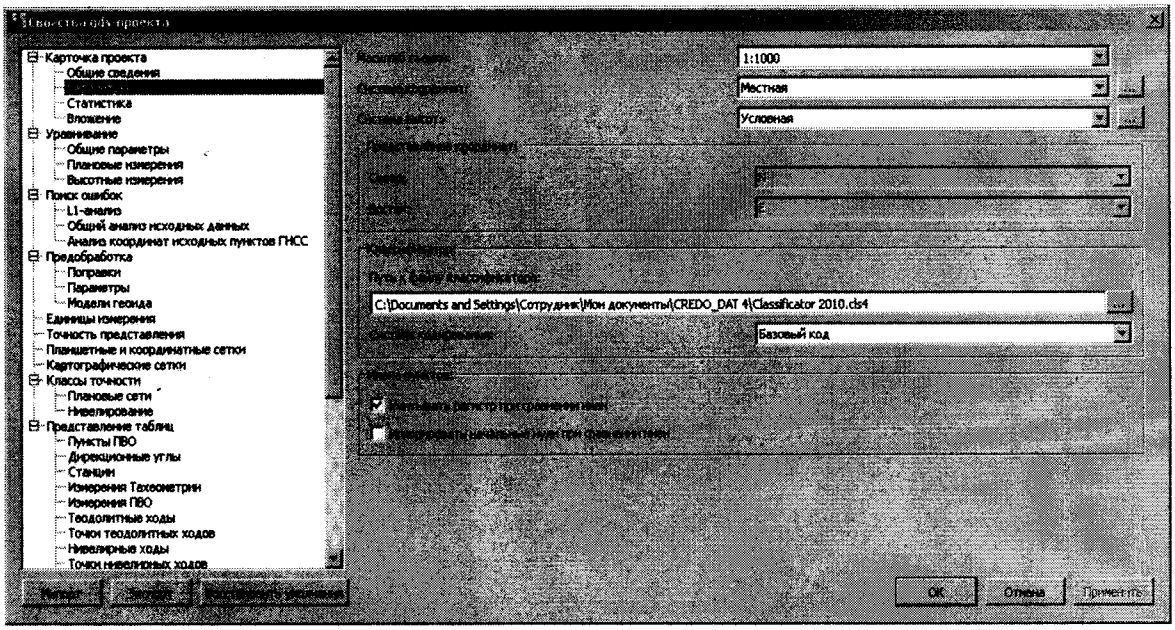


Рисунок 2

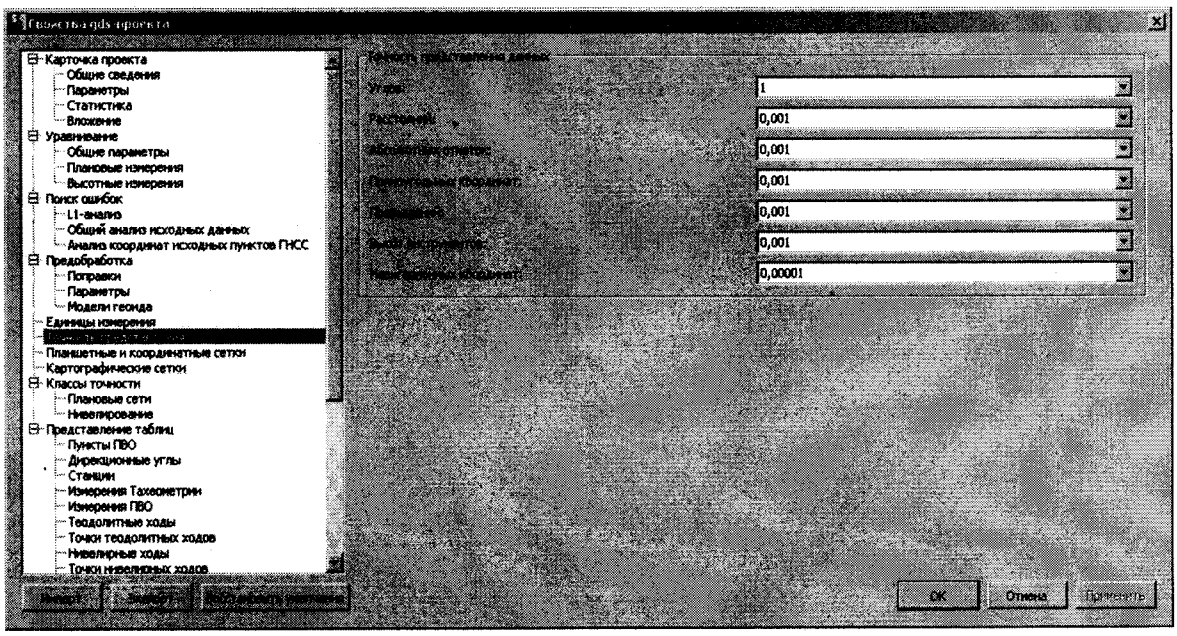


Рисунок 3

Вводим координаты исходного пункта точки VIII, во вкладке «Пункты ПВО» на панели инструментов; изменяем «Тип пункта» на «Исходный».

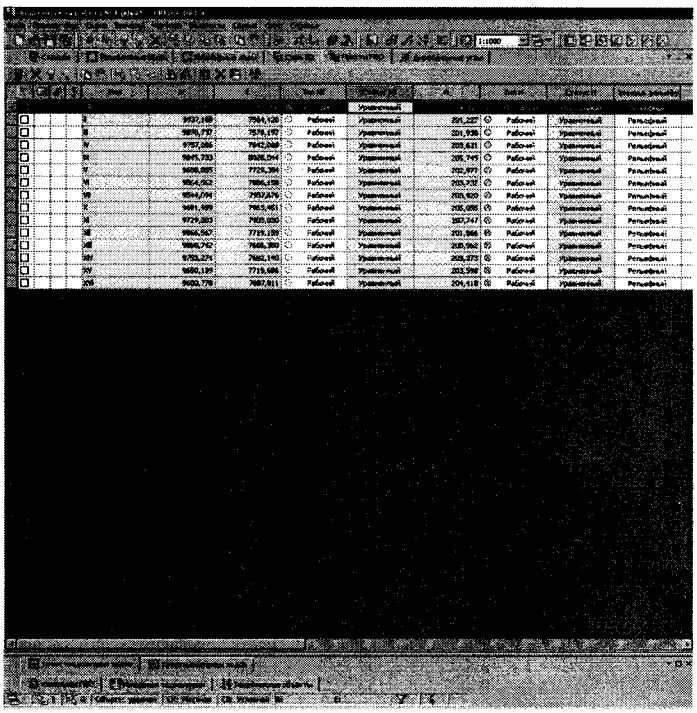


Рисунок 4

Вводим дирекционный угол исходной стороны VIII-VII, во вкладке «Дирекционные углы». Изменяем «Класс NE» на 1-й разряд.

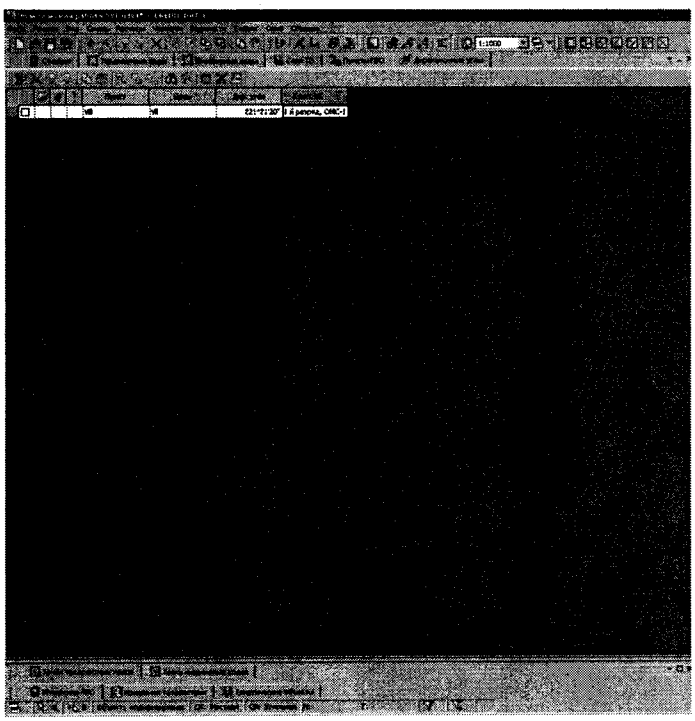


Рисунок 5

Создаем первый и второй теодолитные хода, изменяя «Класс NE» на 1-й разряд. Вводим номера пунктов, горизонтальные углы и расстояния между точками, во вкладке «Точки теодолитных ходов» в нижнем окне.

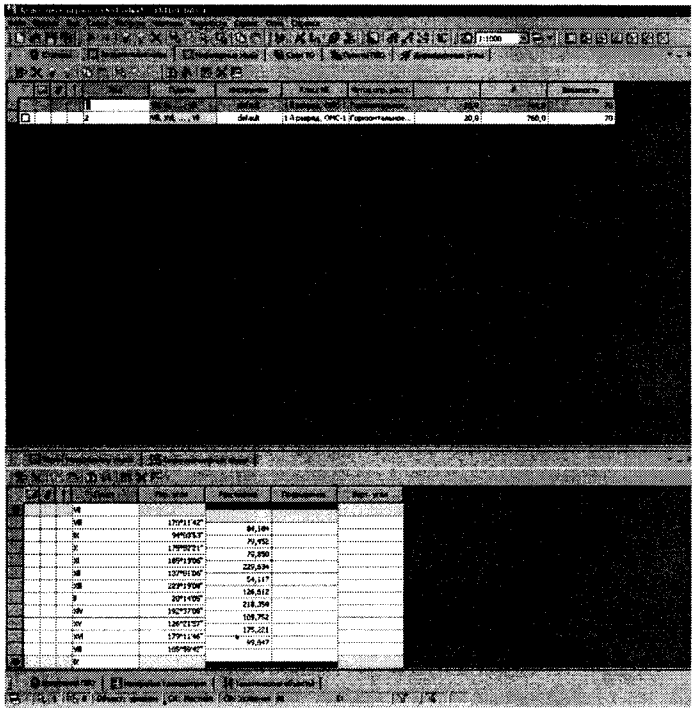


Рисунок 6

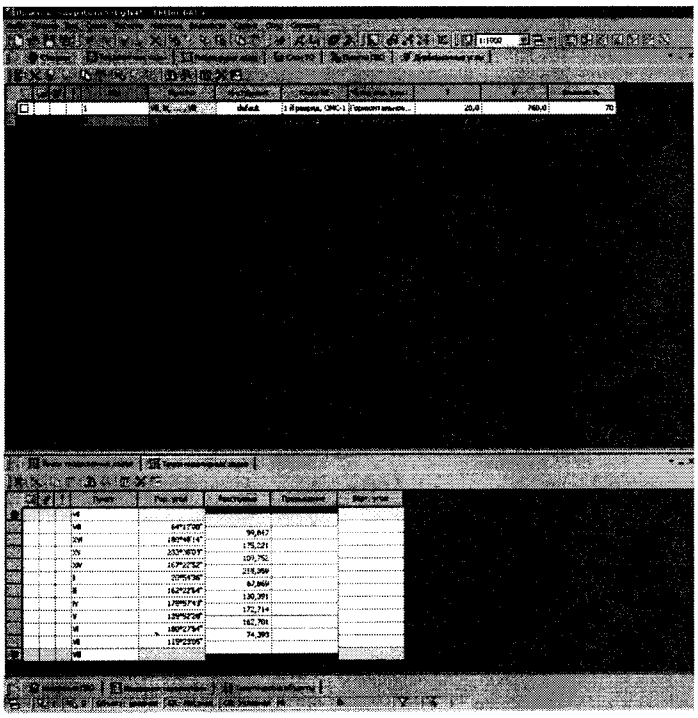


Рисунок 7

Создаем первый и второй нивелирные хода, изменяя «Класс Н» на IV-й класс. Вводим номера пунктов, превышения и расстояния между точками, во вкладке «Точки нивелирных ходов» в нижнем окне.

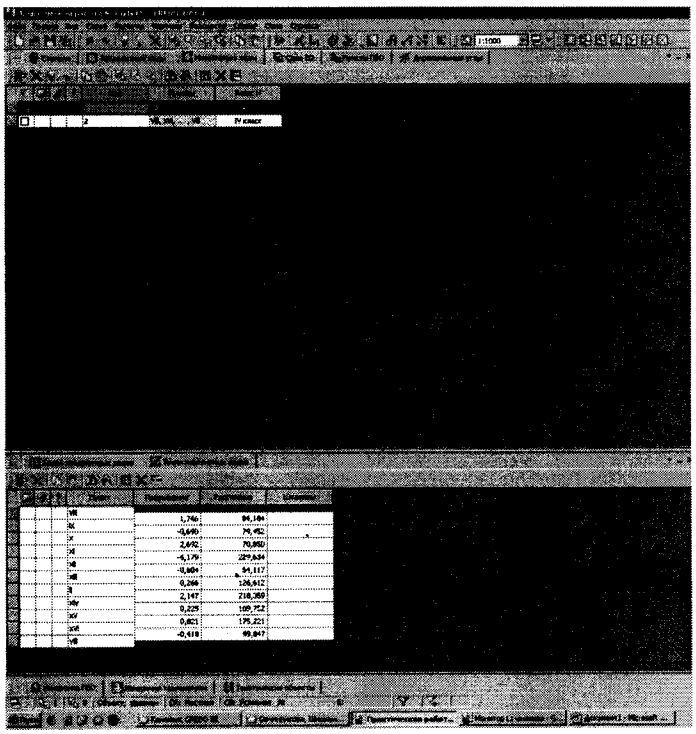


Рисунок 8

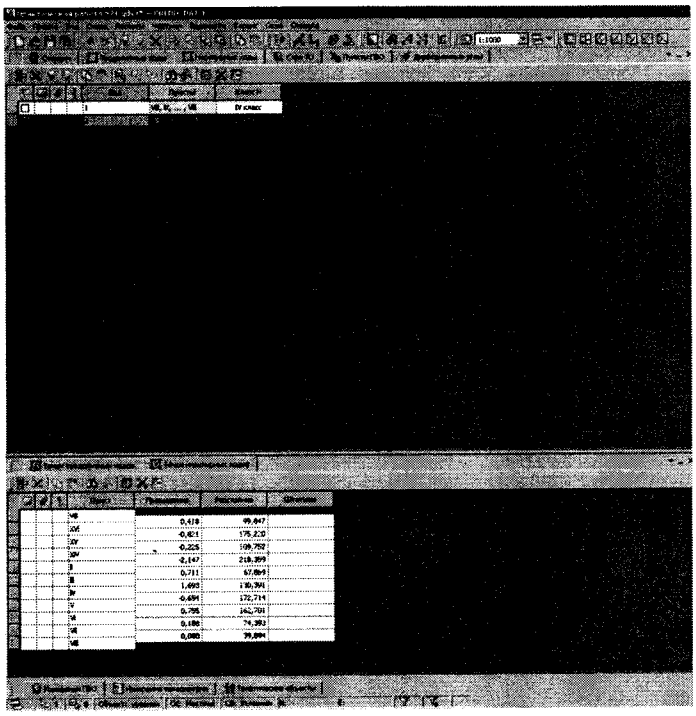


Рисунок 9

На панели инструментов во вкладке «Расчеты» выбираем пункт «Предобработка» - «Расчет».

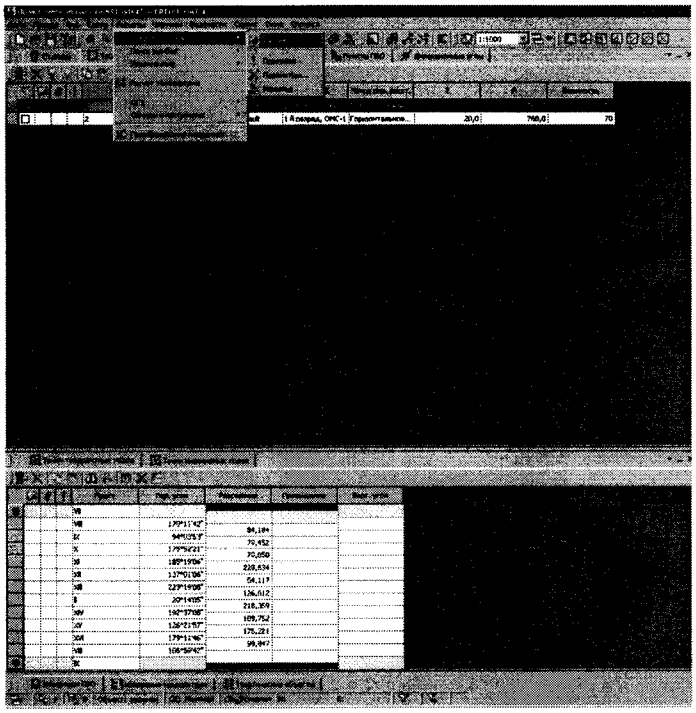


Рисунок 10

На панели инструментов во вкладке «Расчеты» выбираем пункт «Уравнивание» - «Расчет».

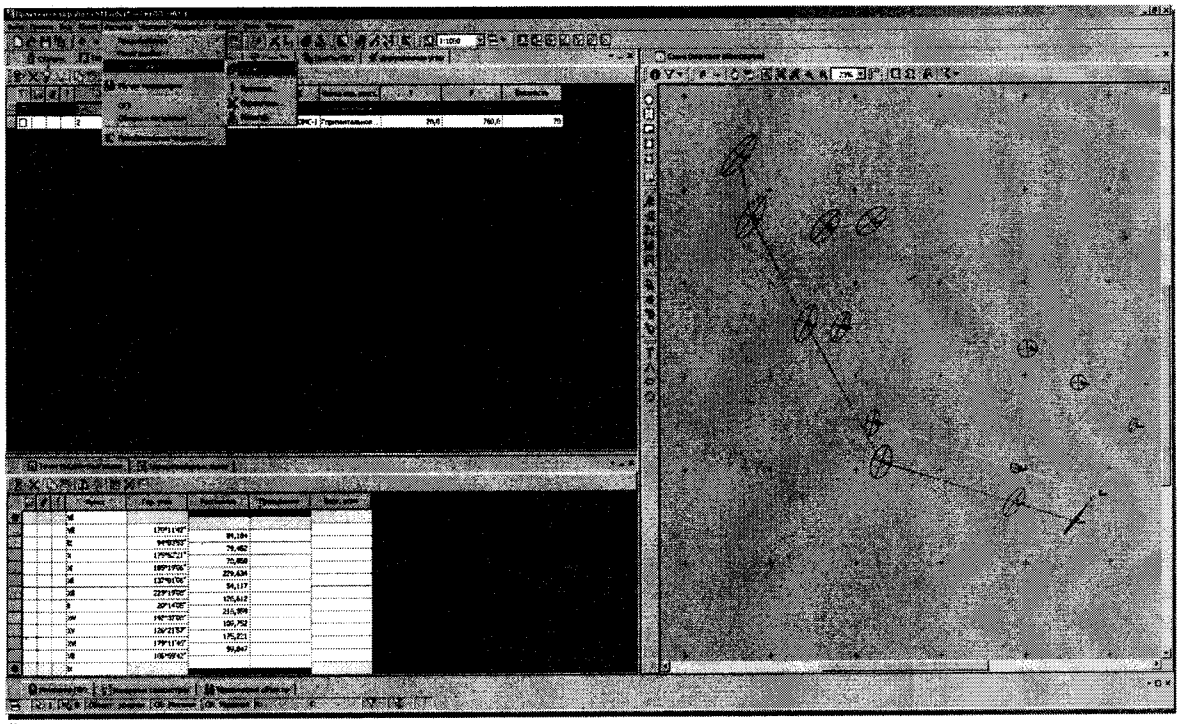


Рисунок 11

На панели инструментов во вкладке «Ведомости» выбираем пункт «Уравнивание» - «Ведомость оценки точности положения пунктов»

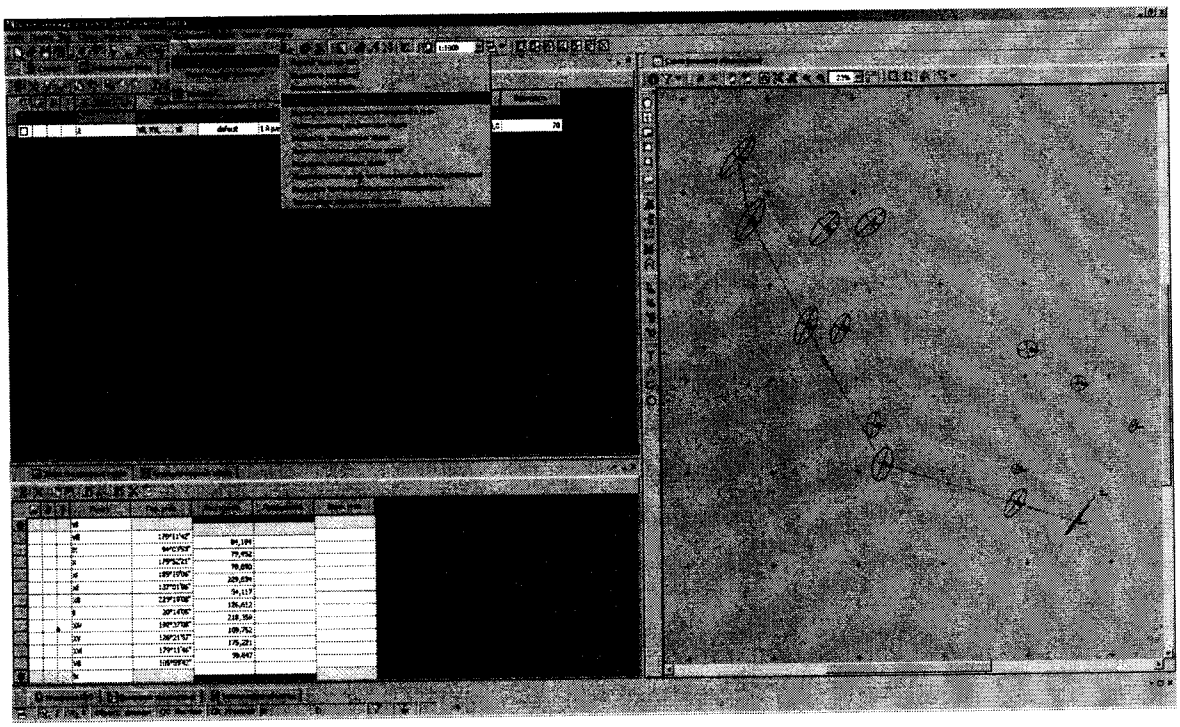
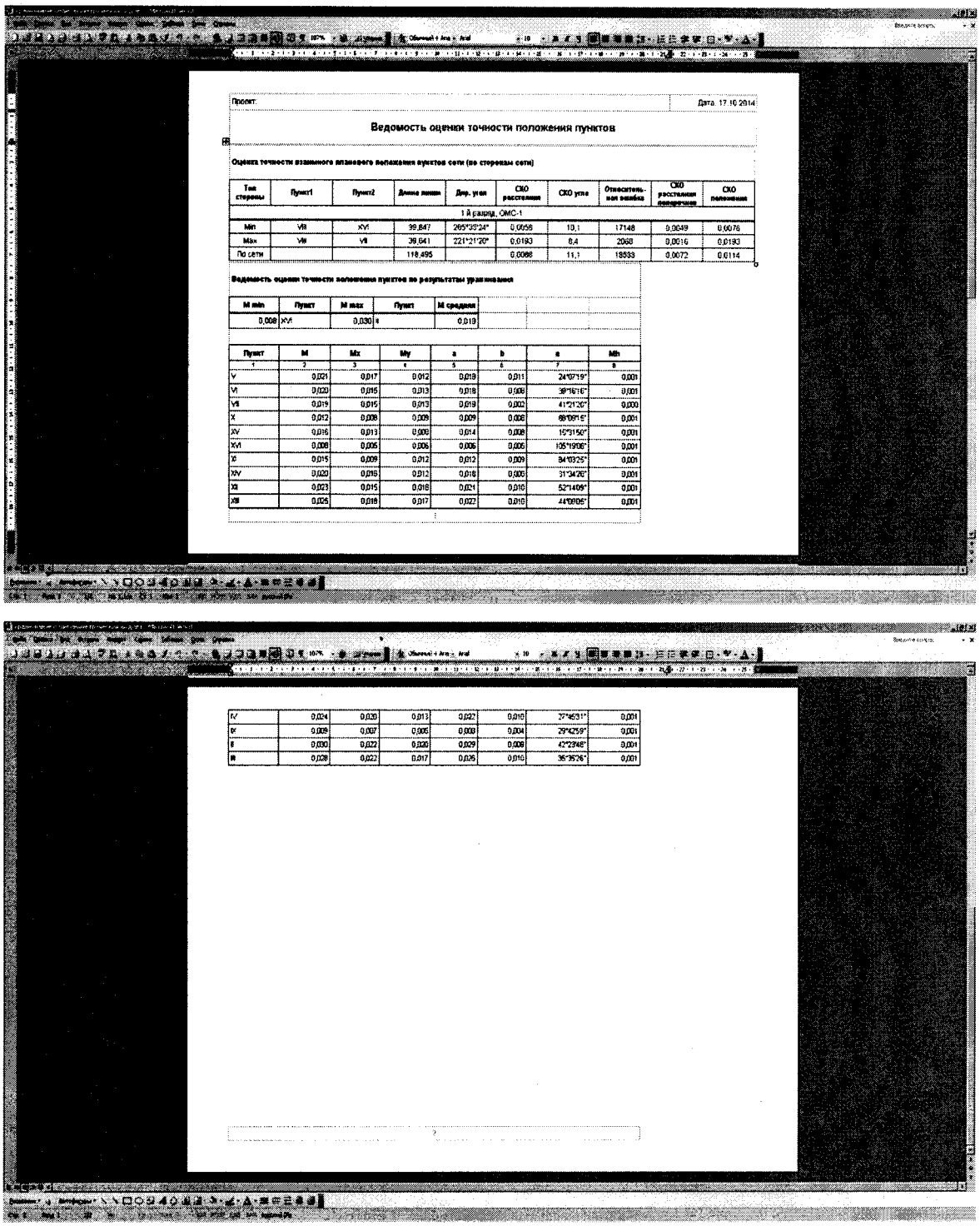


Рисунок 12

Ведомость открывается в новом окне.



Проект: Дата: 17.10.2014

Ведомость оценки точности положения пунктов

Оценка точности взаимного планового положения пунктов сети (по сторонам сети)

Тип стороны	Пункт1	Пункт2	Длина линии	Дир. угол	СКО расстояния	СКО угла	Относительная ошибка	СКО расстояния поперечная	СКО положения
1 й разряд, ОМС-1									
Min	VIII	XVI	99,847	265°35'24"	0,0056	10,1	17148	0,0049	0,0076
Max	VIII	VII	39,641	221°21'20"	0,0193	6,4	2068	0,0016	0,0193
По сети			118,495		0,0068	11,1	18533	0,0072	0,0114

Ведомость оценки точности положения пунктов по результатам уравнивания

M min	Пункт	M max	Пункт	M средняя
0,008	XVI	0,030	4	0,019

Пункт	M	Mx	My	a	b	α	Mh
1	2	3	4	5	6	7	8
V	0,021	0,017	0,012	0,019	0,011	24°0'19"	0,001
VI	0,020	0,015	0,013	0,018	0,008	38°16'16"	0,001
VII	0,019	0,015	0,013	0,019	0,002	41°21'20"	0,000
X	0,012	0,008	0,009	0,009	0,008	88°08'15"	0,001
XV	0,016	0,013	0,009	0,014	0,008	15°3'150"	0,001
XVI	0,008	0,005	0,006	0,006	0,005	135°19'06"	0,001
XI	0,015	0,009	0,012	0,012	0,009	84°03'25"	0,001
XIV	0,020	0,015	0,012	0,018	0,005	31°34'20"	0,001
XII	0,023	0,015	0,018	0,021	0,010	52°14'09"	0,001
XIII	0,025	0,018	0,017	0,022	0,010	44°09'05"	0,001

IV	0,024	0,020	0,013	0,022	0,010	27°46'31"	0,001
III	0,009	0,007	0,005	0,009	0,004	29°42'59"	0,001
II	0,030	0,022	0,020	0,029	0,008	42°23'48"	0,001
I	0,028	0,022	0,017	0,025	0,010	35°35'26"	0,001

Рисунок 13

Аналогичную работу при необходимости производим с другими ведомостями.

На панели инструментов во вкладке «Ведомости» выбираем пункт «Уравнивание» - «Ведомость оценки теодолитных ходов»

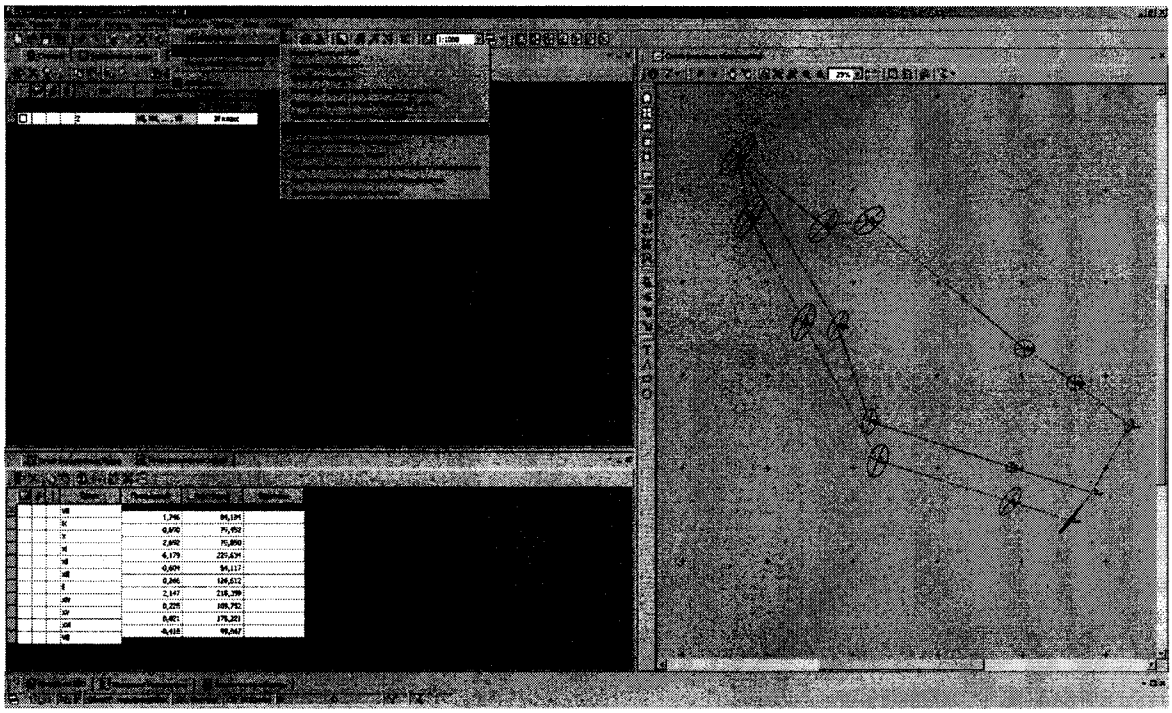


Рисунок 14

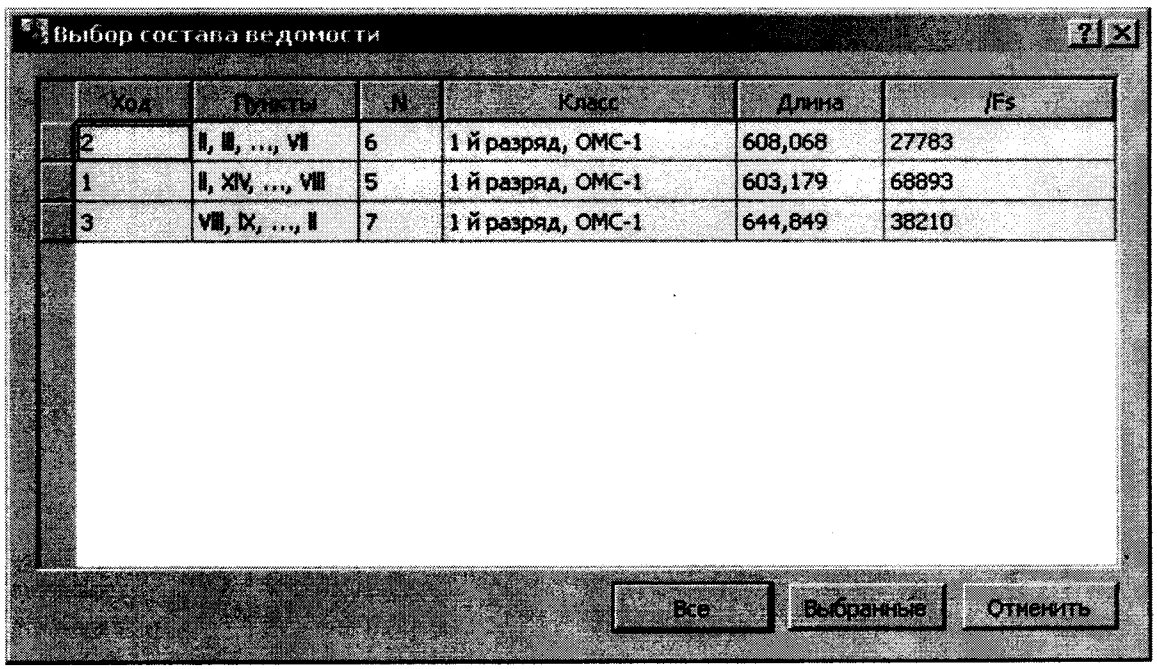


Рисунок 15

Ведомость открывается в новом окне.

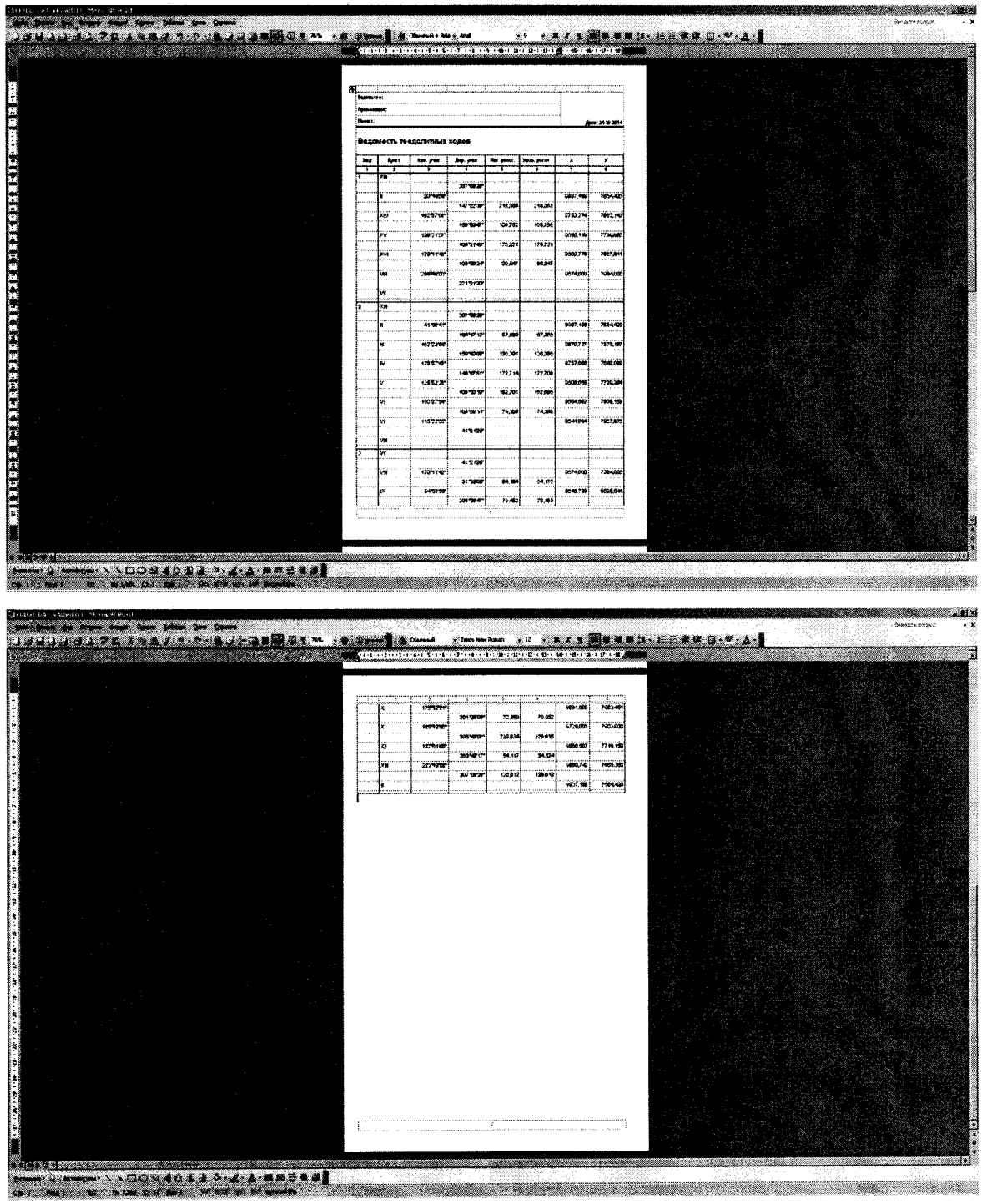


Рисунок 16

2. Работа с программой CREDO

2.1 Подготовка и использование бумажных картматериалов.

Далеко не всегда изыскания проводятся с применением только наземной съемки. При изысканиях на стадии ТЭО широко используются карты мелких масштабов, на застроенной территории зачастую имеются крупномасштабные топографические планы (планшеты). В таких ситуациях существующий картматериал сканируется и используется для создания ЦММ в качестве растровой подложки.

Для подготовки таких растров в CREDO используется программа **TRANSFORM.** С ее помощью карты и планы сканируются. Отсканированные фрагменты трансформируются в рабочую систему координат, причем локальные и общие деформации исходного материала частично или полностью устраняются. Фрагменты растра «сшиваются», «обрезаются» в нужной конфигурации и экспортируются в CREDO.

По растровым подложкам, в зависимости от задач изысканий, в заданной полосе или на заданной площади ведется дигитализация (оцифровка) растра, то есть создается ЦММ нужного содержания.

Участки местности, на которых не стоится ЦММ, но необходимые заказчику для обзора прилегающей к участку территории, остаются в растровом виде.

Результаты инженерно-геодезических изысканий представляются в следующих видах:

- Собственно, **ЦММ в форматах CREDO,** позволяющая проектировщикам, работающим в CREDO, немедленно приступать к проектированию, минуя трудоемкие стадии конвертации, дигитализации.
- **Чертежи** – традиционные, оформленные по ГОСТ листы топографических планов на бумажном носителе.

• **Планшеты,** оформленные в принятой разграфке с соответствующим зарамочным оформлением.

• Файлы в форматах **ГИС MapInfo (MIF/MID),** позволяющие данные изысканий вносить в действующую на территории города или предприятия базу.

• Файлы в **формате DXF,** обеспечивающие передачу данных в САПР. CREDO экспортирует ЦММ в выбранном фрагменте или нескольких фрагментах в двух видах: 2D – «плоская» модель, оформленная в виде чертежа (в форматах ГОСТ) или 3D – трехмерная модель в реальных координатах.

• Файлы с **данными трасс –** продольного, поперечного профилей и пересечек в текстовом или бинарном формате для систем проектирования дорог и трубопроводов (СЕТИ, CAD_CREDO, DROGA и других).

2.2. Работа с программой TRANSFORM.

В качестве исходных данных для работы в программе CREDO мы используем планшет, отсканированный программой TRANSFORM.

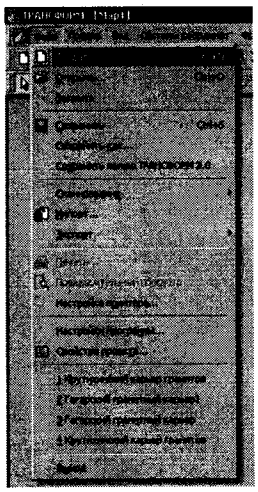


Рисунок 17

Открываем программу ТРАНСФОРМ, создаем новый проект, импортируем предварительно отсканированные и сохраненные файлы в формате PDF.

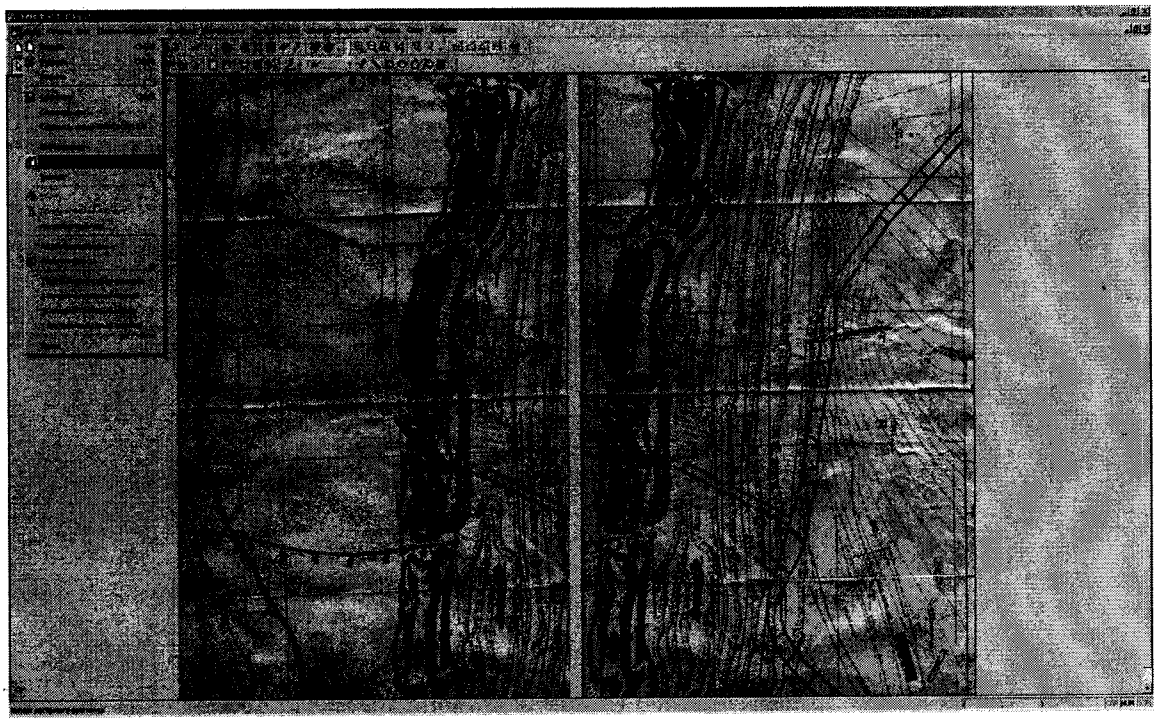


Рисунок 18

Для того чтобы трансформировать отсканированные файлы, с помощью инструмента «опорные точки по сетке» присваиваем координаты с планшета на изображения. Это позволяет соединить два отсканированных изображения в одно и убрать искажения, которые были допущены при сканировании.

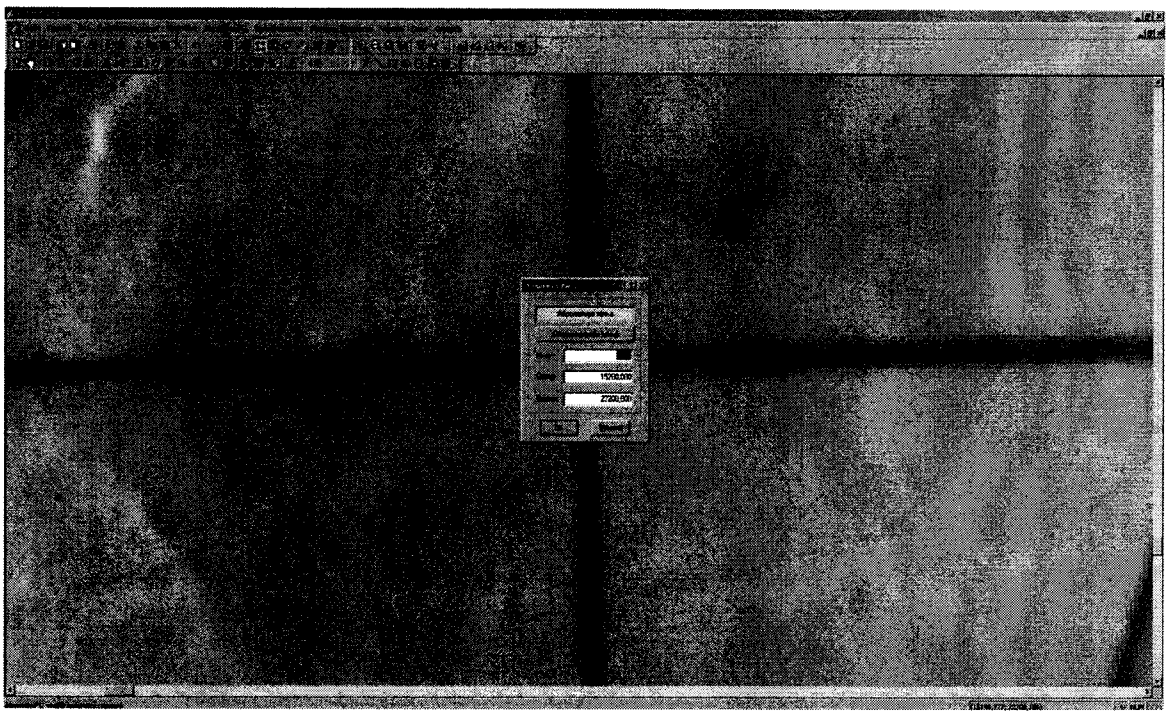


Рисунок 19

Координаты наносятся на оба изображения с перекрытиями.

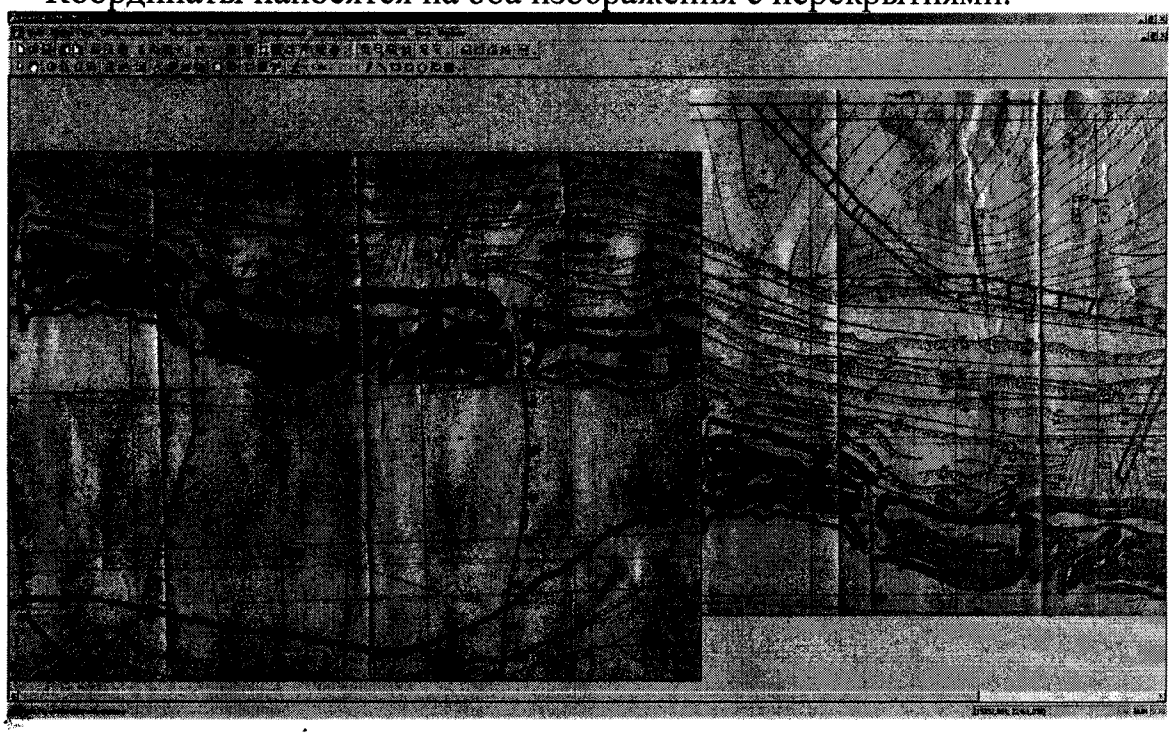


Рисунок 20

Трансформировали изображение. После трансформации, возможно, на линии соединения изображения будет сдвиг. Для исправления, необходимо задать относительные точки, выбирая характерные точки изображения в полосе перекрытия, с одинаковыми именами. После чего изображение заново трансформируется.

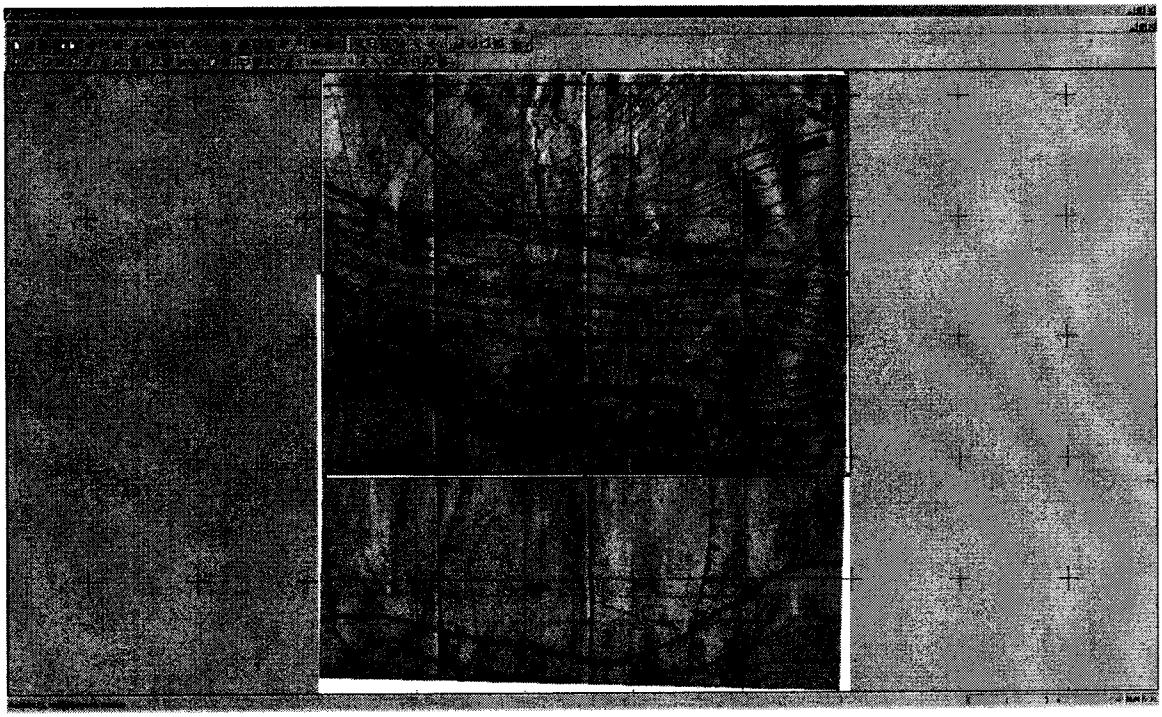


Рисунок 21

Чтобы убрать просветы в трансформированном изображении, а также избавиться от полосы перекрытия, применяем команду «Создать контур видимости». Выделяем области, которые нам необходимо соединить.

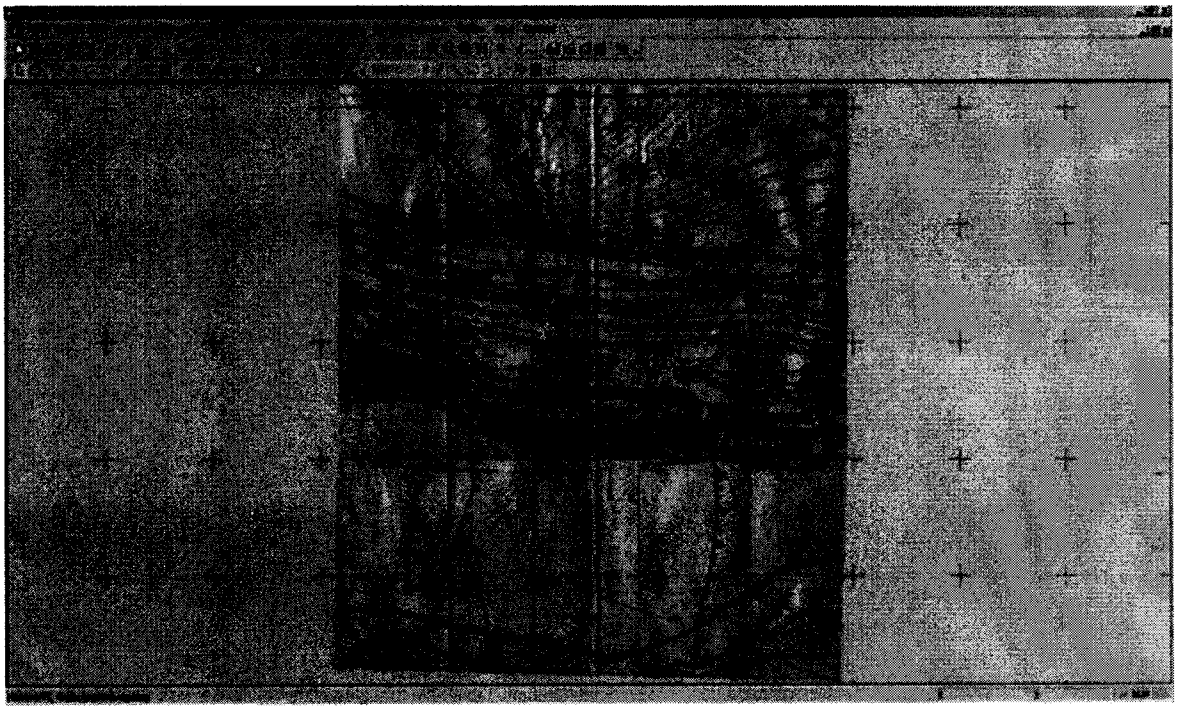


Рисунок 22

Так выглядит изображение после нанесения контура видимости.

2.3. Работа с программой CREDO ГЕНПЛАН.

В программе Credo ГЕНПЛАН создаём новый проект. В меню «Данные» выбираем «Растровые подложки», затем в появившемся окне выбираем «Импортировать».

В появившемся окне указываем способ импорта «Из файла», затем выбираем папку, из которой необходимо импортировать транспонированный объект. После импортирования закрываем окно «Управление растровыми подложками» и находим растр путём нажатия кнопки «Показать всё» на панели инструментов, в результате чего изображение встанет по центру экрана.

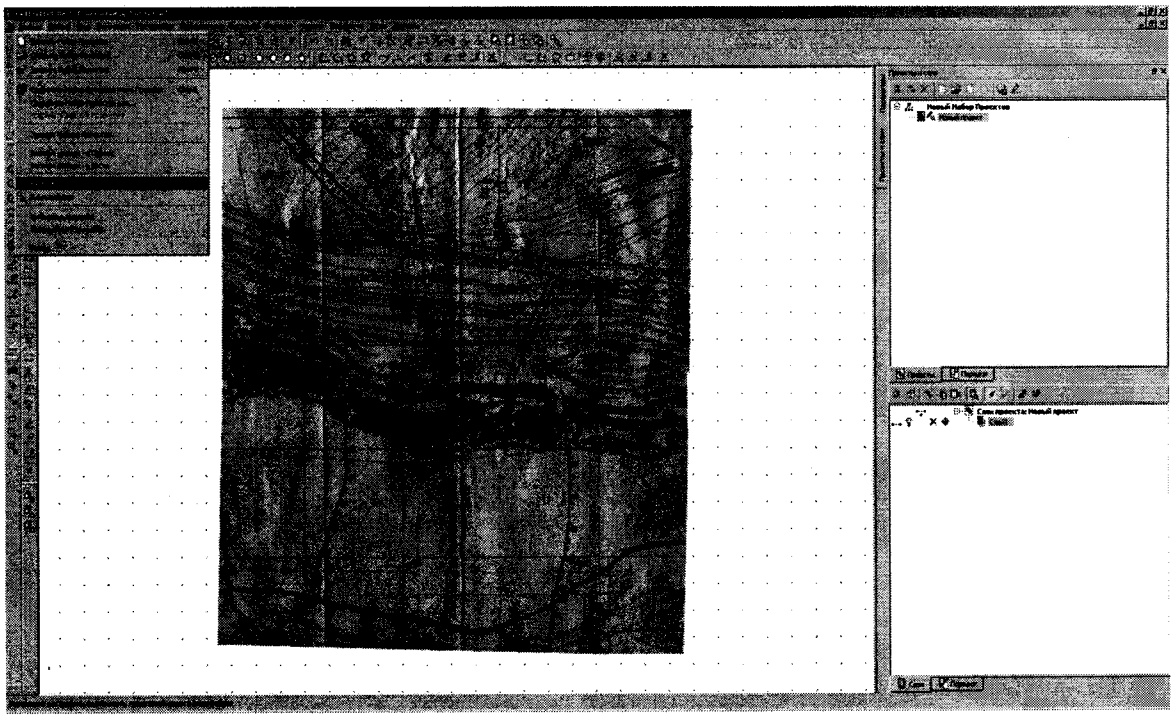


Рисунок 23

Для правильного отображения размеров на чертеже в меню «Установки» выбираем «Свойства набора проекта», затем в «Карточке набора проектов» в поле «Масштаб» меняем масштаб на 1:2000 в соответствии с масштабом отсканированного планшета. Также меняем остальные поля, если это необходимо. Растр встает по координатам сетки.

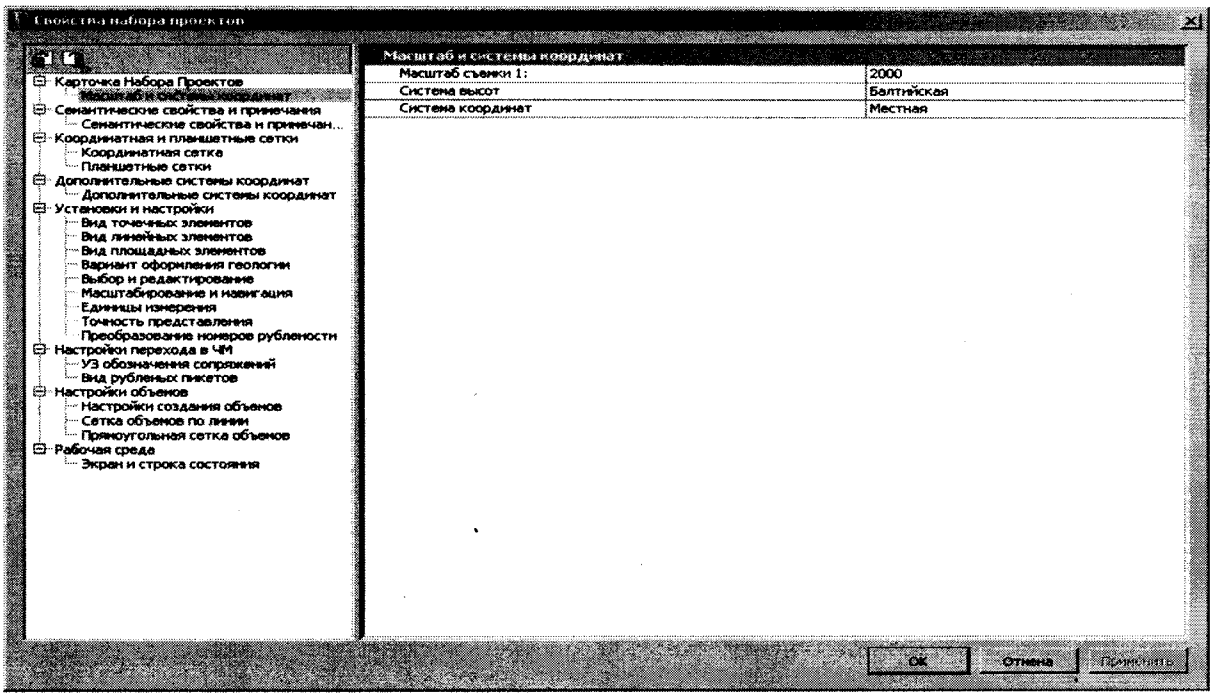


Рисунок 24

Переименовываем слой, в котором будет храниться растр в «Растр» и больше в этом слое не работаем, для того, чтобы не перегружать систему. С помощью организатора слоев создаем новый слой на том же уровне и называем его «Точки», устанавливаем его активным и сохраняем набор проектов.

Увеличиваем квадрат, который необходимо оцифровать, немного выходя за границы квадрата сетки и отмечаем характерные высотные точки, назначаем их высоту. Создаем еще два слоя: «Горизонтали» и «Бровки». Инструментом «Сплайн по точкам» в первом слое отрисовываем горизонтали с «постоянной высотой», задаем высоту в специальном поле. В слое «Бровки» этим же инструментом проводим верхние и нижние бровки уступа, привязываясь к характерным точкам. Меняем «С постоянной высотой» на «Сплайн-интерполяцию».



Рисунок 25

По отрисованным горизонталям и бровкам строим разрез.

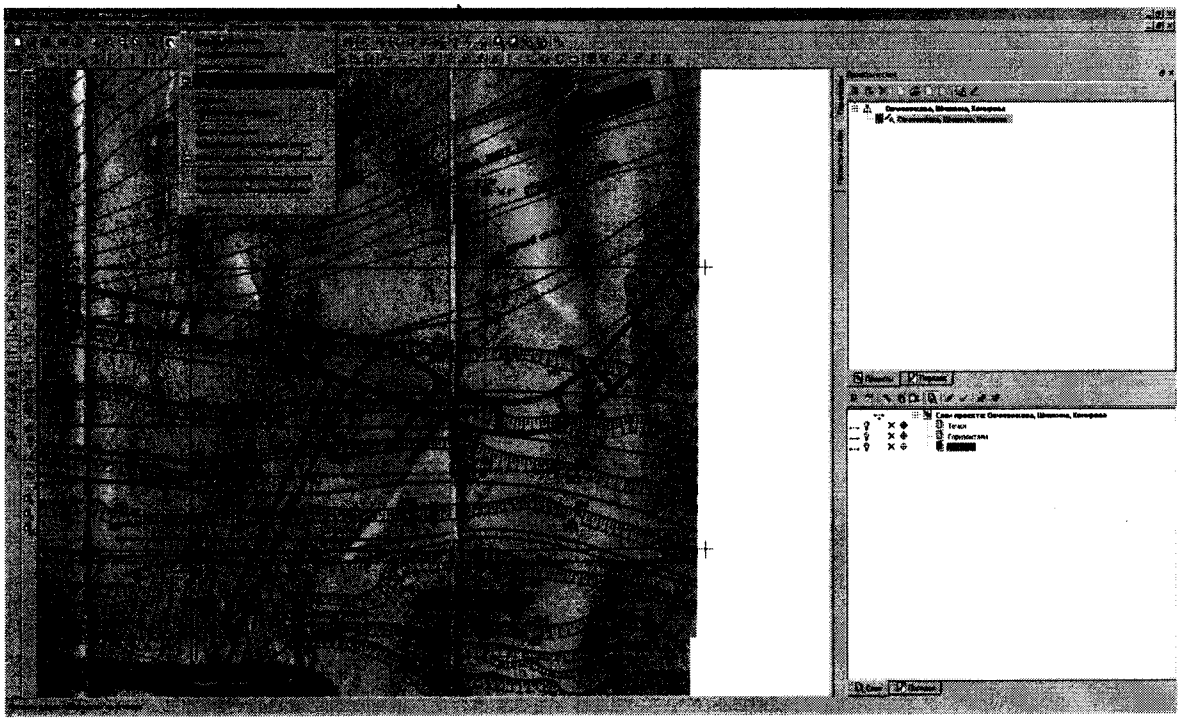


Рисунок 26

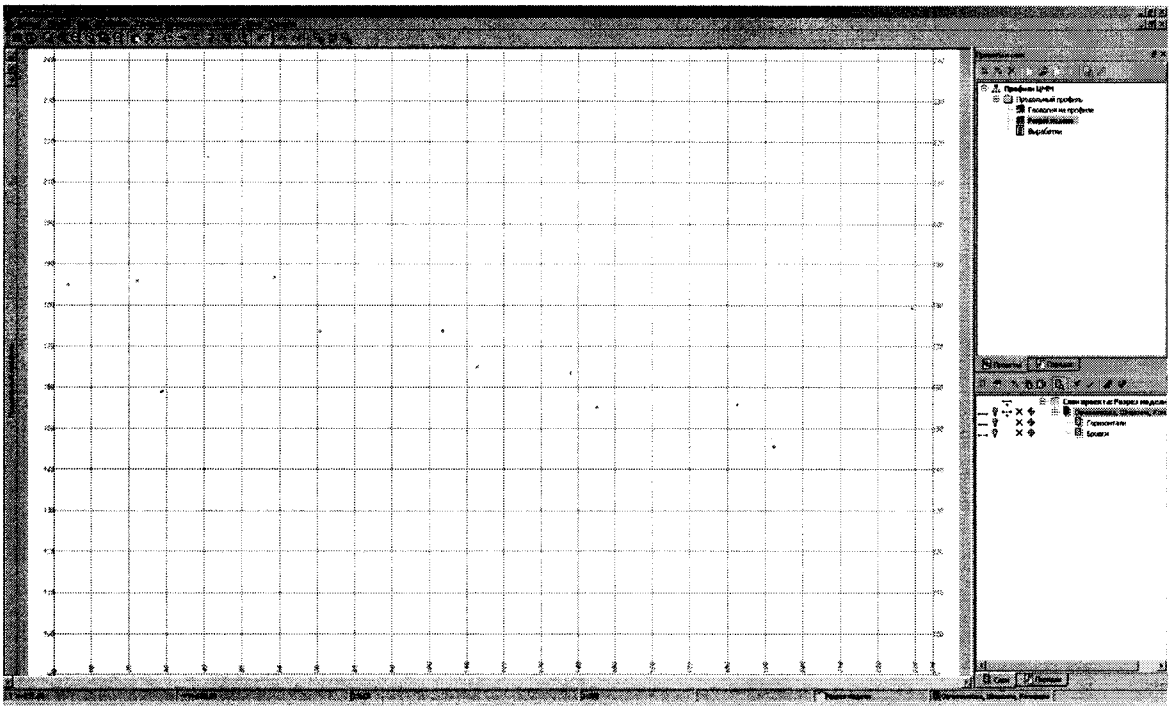


Рисунок 27

Создаем базовую поверхность с помощью инструмента «Поверхность» - «Создать поверхность» - «Создать в слое». Выбираем «Стиль поверхности» - горизонтали проектные.

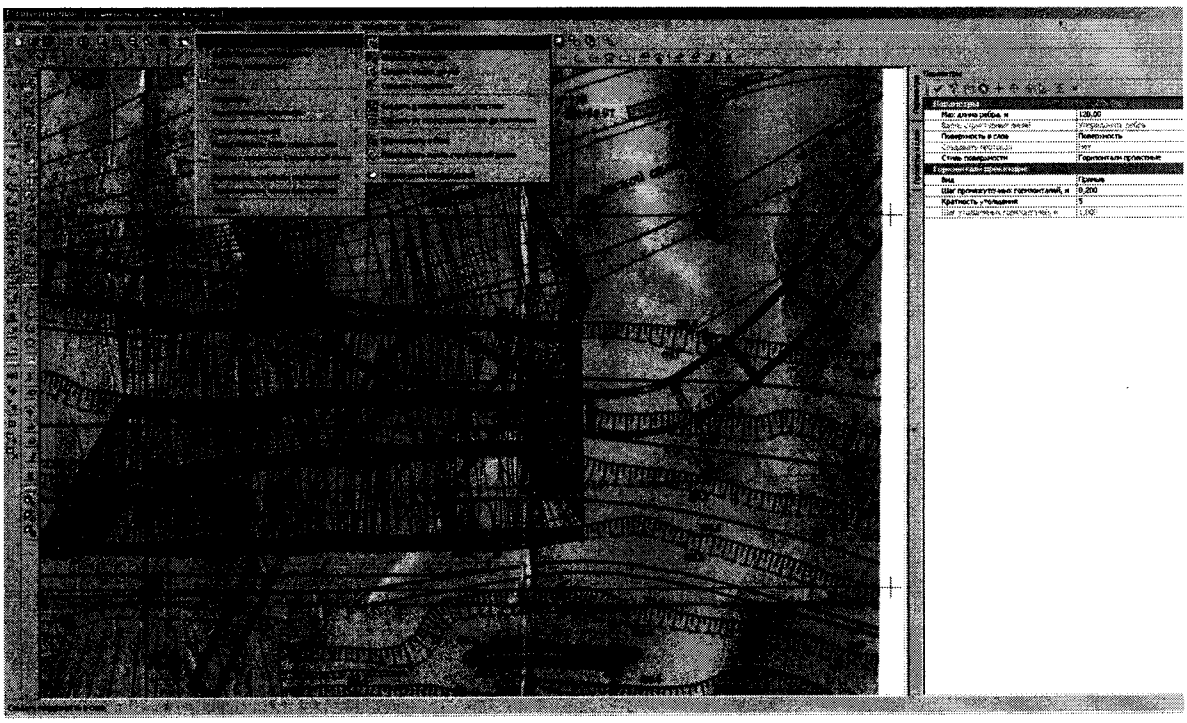


Рисунок 28

Заново строим разрез.

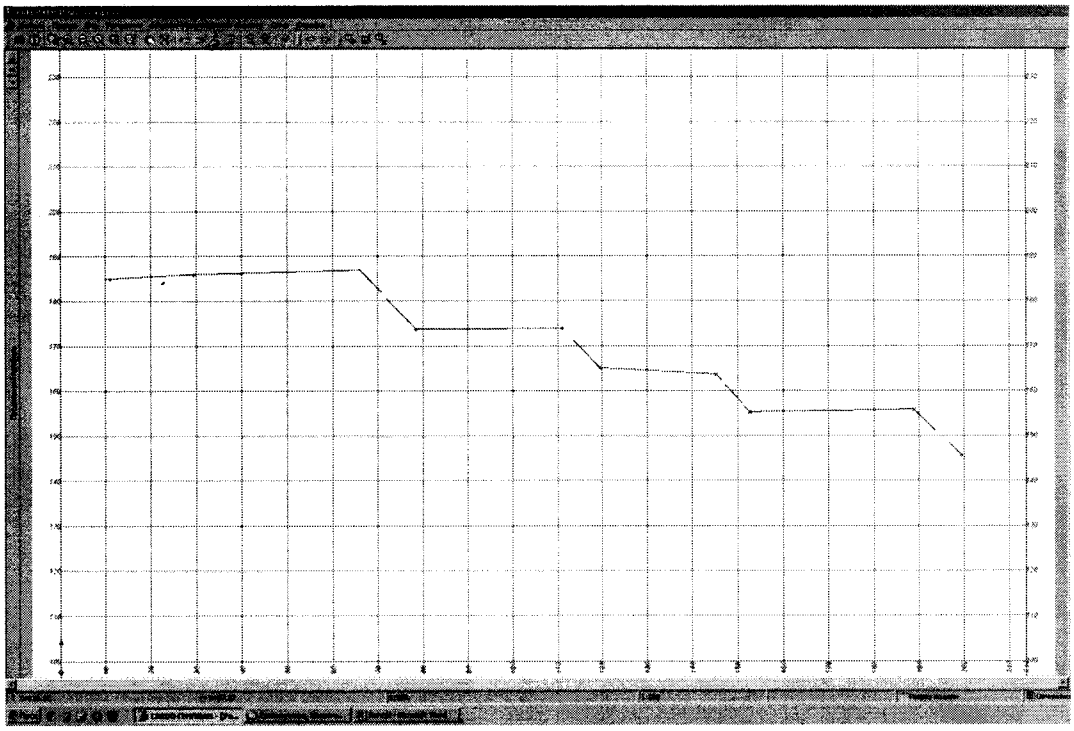


Рисунок 29

Для подсчета объемов необходимо изменить положение уступа, для этого воспользуемся новыми координатами положения уступа.

Создаем новый узел в проекте на том же уровне, «Новый проект» и импортируем в него координаты точек по варианту в формате txt. Переносим координаты в проект предварительно назначив номера точек и координаты XYZ.

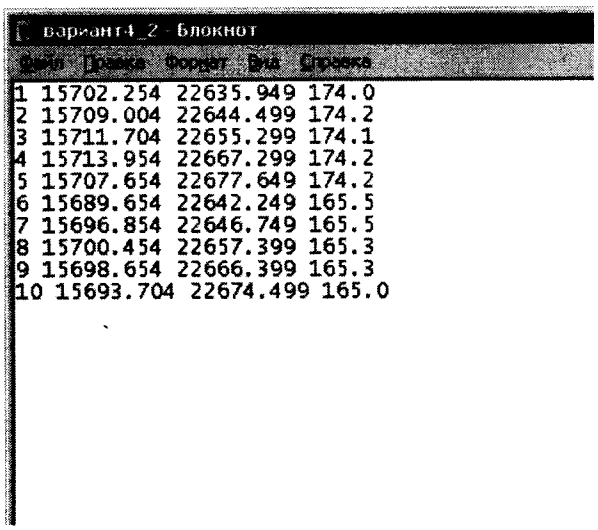


Рисунок 30

Далее открываем «Менеджер слоев» (в котором находится «Слой 1», его переименовываем в слой «Точки»). Создаем в этом проекте слой «Бровки» и копируем в него «Бровки» из предыдущего проекта и «Точки» из этого же. При копировании пользуемся инструментом «Врезать в слой». Сохраняем набор проектов.

Редактируем бровки уступов, для начала разрезаем структурную линию, удаляем лишний отрезок. Снова воспользовавшись инструментом «Сплайн по точкам» продолжаем бровку, привязываясь уже к новым точкам.

Снова строим поверхность, но «стиль поверхности» меняем на «без отображения». Затем копируем полученную поверхность в новый слой базового проекта. Считаем объем «между слоями».

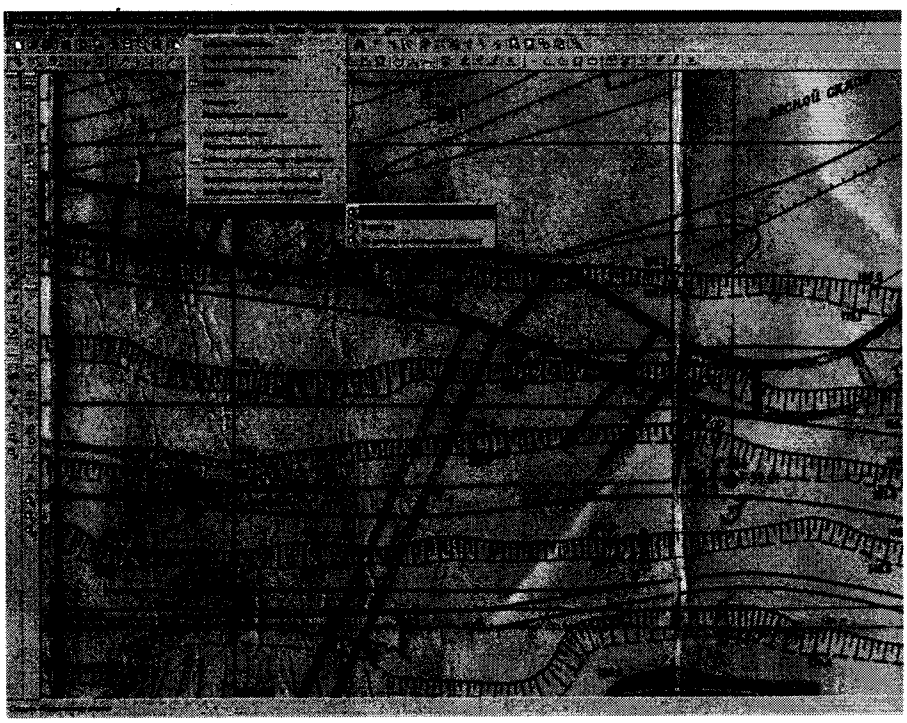


Рисунок 31

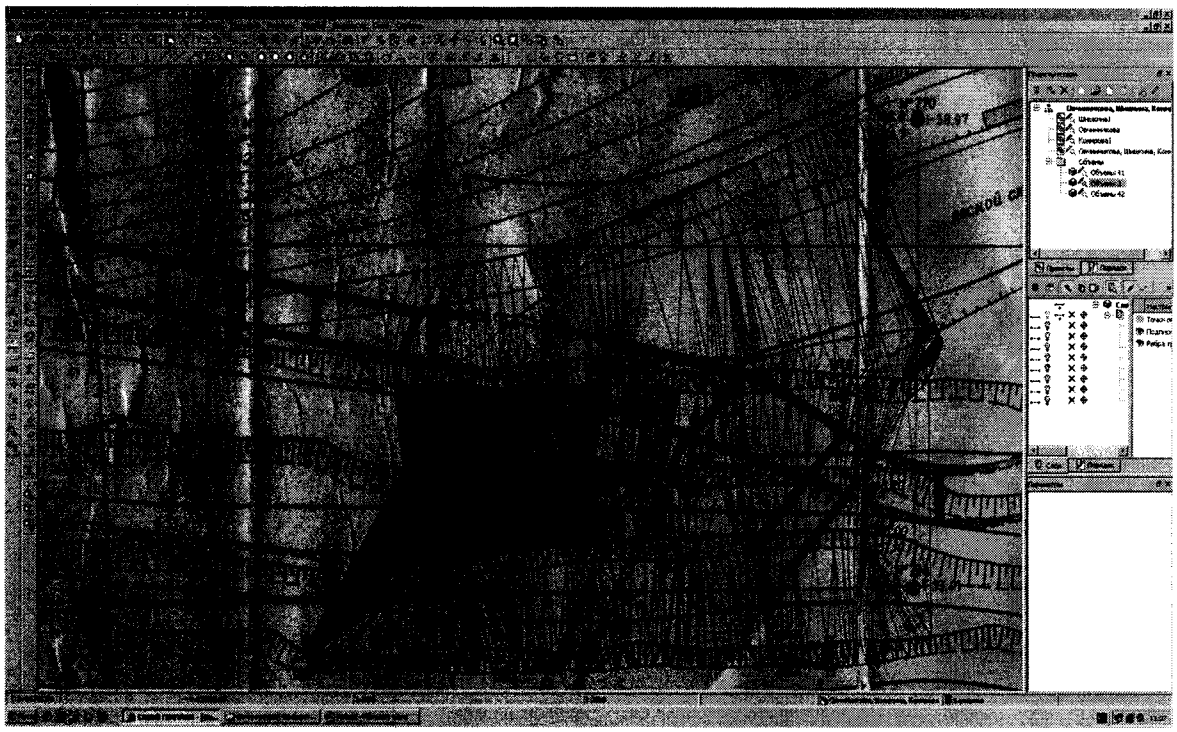


Рисунок 32

Строим разрез по вертикальной линии. На чертеже отчетливо видны положительные и отрицательные объемы.

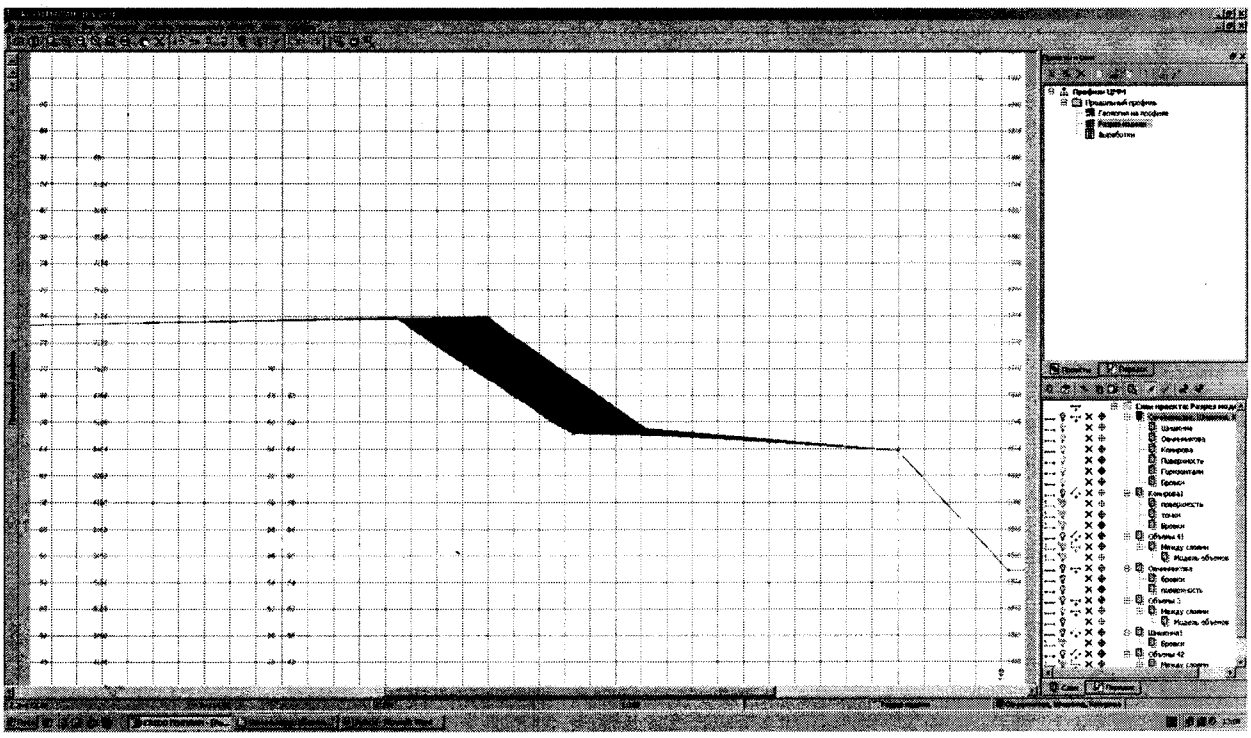


Рисунок 33

Откосы строим по уже существующим структурным линиям «Ситуация – откосы - создать». Выделяем первую точку и последнюю.

Для исправления направления бергштрихов необходимо зайти «Ситуация – Откосы - Исправить»

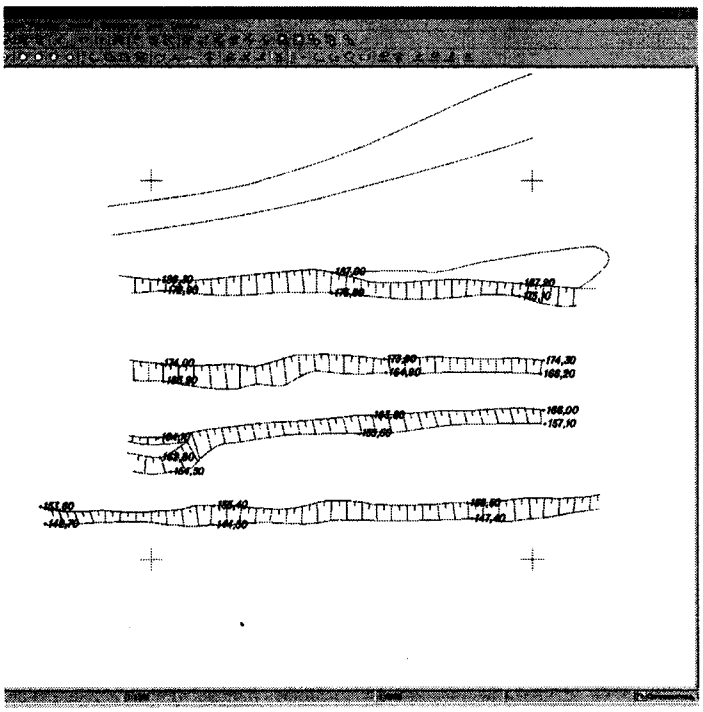


Рисунок 34

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Клепко В.Л.

ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....3
Лабораторная работа № 1.....4-9
Лабораторная работа № 2.....10-42
Лабораторная работа № 3.....43-70
Лабораторная работа № 4.....71-79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....81

ВВЕДЕНИЕ

Одним из разделов дисциплины «Высшая геодезия» является «Основные геодезические работы». Успешному освоению теоретических положений этого раздела должно способствовать выполнение лабораторных работ.

Все лабораторные работы выполняются в одной ученической тетради. Все записи должны вестись ручкой аккуратно, запрещается исправлять вычисления путем написания "цифры по цифре". Разрешается оформление выполненной работы с помощью компьютера, но все листы должны быть пронумерованы и сброшюрованы в папке.

Прежде чем приступить к выполнению любой лабораторной работы, необходимо ознакомиться с последовательностью всех действий на предлагаемом примере.

Лабораторная работа № 1

Обработка результатов измерений горизонтальных направлений

Горизонтальные направления в сети триангуляции 1-го разряда измерены теодолитом Т2 способом круговых приемов. Число приемов – VI. Результаты измерений записаны в журнале (табл. 1) в столбцах 3,4,5.

Журнал, в котором записаны измерения трех приемов, выдается каждому студенту. Необходимо вычислить в журнале значения направлений (табл. 2) и произвести вывод средних направлений на пункте из шести приемов (табл. 3). Значения средних направлений в IV, V и VI приемах выдаются преподавателем.

Таблица 1

Журнал измерений горизонтальных направлений
способом круговых приемов

Пункт Барвинка **Прием** I

Дата 9.07.2007 г. **Т** +18° **Погода** облачная **Ветер** слабый

Время 16 ч. 35м. **Видимость** удовлетворительная **Изображения** четкие

Название направления	Круг	Отсчет по штрихам лимба	Отсчеты по микрометру		$\frac{a_1+a_2}{2}$	$\frac{Л+П}{2}$	Значение направлений
			a_1	a_2			
1	2	3	4	5	6	7	8
Ольгино	Л	0° 00'	03,1"	03,2"			
	П	180 00	06,4	06,5			
Кашино	Л	69 17	25,3	25,3			
	П	240 17	31,5	31,1			
Роща	Л	111 15	08,6	07,8			
	П	291 15	58,1	57,6			
Ольгино	Л	0 00	07,7	08,2			
	П	180 00	11,0	11,1			

Незамыкание: $\Delta_л =$ $\Delta_п =$ $\Delta_{ср} =$

Образец вычислений значений измеренных направлений в приеме I, приведенных в табл.1, показан в табл.2.

Таблица 2

Журнал измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов

Пункт Барвинка **Прием** I

Дата 9.07.2007 г. **Т** +18° **Погода** облачная **Ветер** слабый

Время 16 ч. 35м. **Видимость** удовлетворительная **Изображения** четкие

Название направления		Отсчет по штрихам лимба	Отсчеты по микрометру a_1	a_2	$\frac{a_1+a_2}{2}$	$\frac{Л+П}{2}$	Значение направлений
1	2	3	4	5	6	7	8
Ольгино	Л	0° 00'	03,1"	03,2"	**03,2"**		
	П	180 00	06,4	06,5	**06,4**	04,8"	0° 00' 00,0"
Кашино	Л	60 17	25,3	25,3	25,3	– 1,6	
	П	240 17	31,5	31,1	31,3	28,3	60 17 21,9
Роща	Л	111 15	08,6	07,8	08,2	– 3,1	
	П	291 14	58,1	57,6	57,8	03,0	111 14 55,1
Ольгино	Л	0 00	07,7	08,2	**08,0**	– 4,7	
	П	180 00	11,0	11,1	**11.0**	09,5	

Незамыкание: $\Delta_Л = +4{,}8$; $\Delta_П = +4{,}6$; $\Delta_{ср} = +4{,}7$

В столбе 6 по каждому направлению выводят средние значения отсчетов по микрометру при КЛ и КП.

Вычисляют расхождения между результатами наблюдений на начальное направление в начале и в конце полуприема (незамыкание) $\Delta_Л$ и $\Delta_П$. Например, на пункт Ольгино в конце полуприема среднее из отсчетов равно 8,0", а в начале полуприема – соответственно 3,2". Следовательно,

$$\Delta_Л = 8{,}0'' - 3{,}2'' = +4{,}8'',$$ аналогично $\Delta_П = 11{,}0'' - 6{,}4'' = +4{,}6''$.

Значения $\Delta_Л$ и $\Delta_П$ не должны превышать 8". Вычисляют среднее значение: $\Delta_{ср} = \frac{\Delta_Л + \Delta_П}{2} = +4{,}7''$.

В столбце 7 вычисляют среднее значение каждого направления, причем разность средних значений начального направления, вычисленные дважды – в начале и в конце приема, должна равняться среднему значению незамыкания горизонта $\Delta_{ср}$.

Величину $\Delta_{ср}$ распределяют в средние значения направлений путем введения поправки с обратным знаком:

$$\delta_k = \frac{-\Delta_{ср}}{n}(k-1),$$

где δ_k – поправка в направление; n – число направлений (в примере n=3); k – порядковый номер направления.

Поправка в начальное направление равна 0 (k=1), поправка в начальное направление в конце приема должна равняться $\Delta_{ср}$ (в примере $\delta_4 = -4{,}7''$).

Вычисленные поправки записывают в столбец 7 над значениями направлений (за исключением первого направления).

Значения направлений вычисляют и записывают в столбец 8. Начальное направление принимают равным 0° 00' 00,0", остальные значения направлений получают путем вычитания из среднего значения каждого направления (с учетом поправки) среднего значения первого направления. Например, значение третьего направления получают:

$$111°14' 59{,}9'' - 0° 00' 04{,}8'' = 111° 14' 55{,}1''.$$

Аналогично вычисляются значения направлений в остальных приемах. Колебания значений направлений, приведенных к общему нулю, в отдельных приемах не должны превышать установленных допусков (например, при измерениях теодолитом Т2 – 8").

Вывод средних направлений на пункте выполняют в таблице 3.

В столбцы 3 и 5 выписывают значения направлений, полученных во всех приемах в порядке их номеров. По каждому направлению вычисляют

среднее значение из всех приемов, а затем уклонения V значений направлений в каждом приеме от среднего. Значения V записывают со своим знаком в столбцы 4 и 6. ΣV должна равняться нулю. Возможно не соблюдение равенства $\Sigma V = 0$ из-за ошибок округления при вычислении среднего значения направления из всех приемов. Затем получают сумму абсолютных значений V из всех приемов $|V|$, которая необходима для оценки точности угловых измерений. Средняя квадратическая погрешность направления, измеренного одним приемом, вычисляют по формуле:

$\mu = K\frac{\sum|V|}{n}$, где $K = \frac{1,25}{\sqrt{m(m-1)}}$, n – число направлений, m – число приемов.

Средняя квадратическая погрешность направления, полученного из всех приемов, вычисляют по формуле:

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{m}}.$$

Таблица 3

Вывод средних направлений на пункте Барвинка

Начальное направление Ольгино 0° 00′ 00,0″

Номер приема	Установка лимба	Кашино		Роща		Наибольшая величина незамыкания
		60° 17′	V	111° 14′	V	
1	2	3	4	5	6	7
I	0° 00′	21,9″	- 0,9″	55,1″	+ 2,2″	
II	60 10	19,8	- 3,0	51,7	- 1,2	
III	120 20	26,3	+ 3,5	49,5	- 3,4	
IV	180 30	20,7	- 2,1	54,3	+ 1,4	
V	240 40	23,5	+ 0,7	53,9	+ 1,0	
VI	300 50	24,8	+ 2.0	53,0	+ 0,1	
	Среднее	22,8		52,9		
	$\Sigma(+V)$		6,2		4,7	$\Sigma V^2 = 57,77$
	$\Sigma(-V)$		6,0		4,6	$\Sigma\|V\| = 21,5''$

Средняя квадратическая погрешность направления, измеренного одним приемом

$$\mu = 0,23\frac{21,5}{3} = 1,65''.$$

Средняя квадратическая погрешность направления, полученная из VI приемов

$$M = \frac{1,65''}{\sqrt{6}} = 0,67''.$$

Лабораторная работа № 2

Предварительные вычисления в сети триангуляции

Конечной целью предварительных вычислений является составление сводных таблиц всех измеренных в геодезической сети величин, приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера. Кроме этого, одной из важнейших задач является анализ результатов измерений и их контроль по свободным членам условных уравнений.

Предварительные вычисления в сети триангуляции предусматривают:

– вывод средних направлений на пункте и оценка их точности;

– составление рабочей схемы сети;

– предварительное решение треугольников;

– вычисление поправок в направления за центрировку прибора и редукцию визирных целей;

– вычисление приближенных координат пунктов;

– вычисления поправок в направления за кривизну изображения геодезических линий на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера;

– составление сводной таблицы приведенных к центам пунктов и редуцированных на плоскость измеренных направления;

– оценка точности измерений

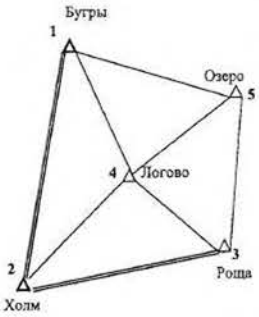
Пример предварительных вычислений в сети триангуляции

Исходные данные приведены в табл. 4.

Порядок составления сводок измеренных направлений (вывод средних направлений на пункте) и оценка их точности рассмотрены в лабораторной работе № 1.

Таблица 4

Исходные данные

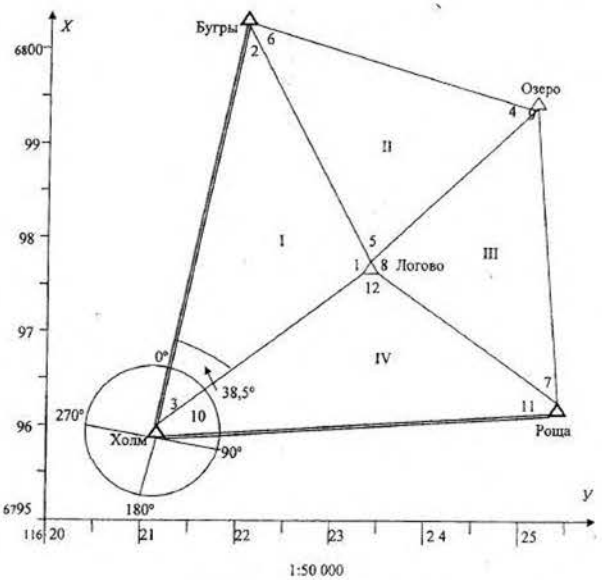


Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Бугры		l = 0,101 м
Озеро	0° 00′ 00″	θ = 10° 00′
Логово	48 45 46	l_1 = 0,150 м
Холм	84 36 40	θ_1 = 15° 00′
		на Озеро
Холм		l = 0,071 м
Бугры	0 00 00	θ = 100° 15′
Логово	38 36 25	l_1 = 0,051 м
Роща	74 20 16	θ_1 = 20° 00′
		на Бугры
Роща		l = 0,053 м
Холм	0 00 00	θ = 210° 15′
Логово	39 00 34	l_1 = 0,055 м
Озеро	87 49 45	θ_1 = 10° 00′
		на Холм
Логово		
Бугры	0 00 00	
Озеро	68 40 55	
Роща	149 11 41	
Холм	254 27 23	
Озеро		
Роща	0 00 00	l_1 = 0,101 м
Логово	50 39 58	θ_1 = 190° 30′
Бугры	113 13 18	на Роща

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Бугры	6 800 240,1	11 622 090,1
Холм	6 795 842,3	11 621 210,3
Роща	6 796 159,9	11 625 378,7

Рабочая схема сети составляется на листе бумаги (можно миллиметровой) формата А4 в произвольном масштабе. Оцифровку координатных осей выбирают так, чтобы схема была расположена в центре листа. Исходные пункты наносят по прямоугольным координатам (табл. 4), положение остальных пунктов получают графически засечками по измеренным направлениям с точностью до 0,5° с помощью транспортира (рис. 1). В начале строят направления с исходных пунктов на определяемые, а затем с определяемых пунктов.



1:50 000

Рис. 1. Рабочая схема сети триангуляции

Рабочая схема сети позволяет в дальнейшем осуществлять приближенный контроль правильности вычислений углов и длин сторон.

Для дальнейших вычислений необходимо знать дирекционные углы исходных направлений и длины сторон между исходными пунктами. Их получают из решения обратных геодезических задач (табл. 5).

Таблица 5

Исходные пункты	Координаты, м		Дирекционные углы	Длины сторон, м
	X	y		
Бугры	6 800 240,1	11 622 090,1	191° 18' 46,6"	4484.9
Холм	6 795 842.3	11 621 210,3	85 36 34,5	4180,5
Роща	6 796 159,9	11 625 378,7		

Предварительное решение треугольников выполняют с целью определения длин сторон сети, которые необходимы для вычисления поправок за центрировки прибора и редукции визирных целей (табл. 6).

Сообразуясь с рабочей схемой сети (см. рис. 1), составляют треугольники в следующем порядке:

– в каждом треугольнике в столбец 3 записывают в первой строке номер угла, лежащий против исходной стороны, а в третьей – номер угла, лежащий против стороны, которая будет исходной в следующем треугольнике;

– в столбец 4 записывают значения этих углов, получаемые как разность направлений, вычисляют их сумму, которая должна быть близкой к 180°, и определяют невязку *w*. Невязку вычисляют как разность между суммой углов и 180° и записывают в столбец 5.

В столбец 6 выписывают значение исходной стороны в треугольнике I, лежащей против угла 1 и полученной из решения обратной геодезической задачи. Затем вычисляют остальные длины сторон этого треугольника. В треугольнике с измеренными углами A, B, C длины противолежащих сторон a, $в$, c связаны соотношением (теорема синусов):

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{в}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = q.$$

Если $\frac{a}{\sin A} = q$, то $в = q \cdot \sin B$, $c = q \cdot \sin C$. Длины сторон вычисляют с точностью до метра.

В следующих треугольниках в столбце 6 записывают в первой строке значение длины стороны, полученной в третьей строке предыдущего треугольника. Пример предварительного решения треугольников приведен в таблице 6.

Таблица 6

Предварительное решение треугольников

Номер треугольника	Название вершины	Номер угла	Углы	w (невязка), с	Длины сторон, м
1	2	3	4	5	6
I	Логово	1	105° 32' 37"		4485
	Бугры	2	35 50 54		**2726**
	Холм	3	38 36 25		2905
		Σ	179 59 56	- 4"	
II	Озеро	4	62 33 20		2905
	Логово	5	68 40 55		3050
	Бугры	6	48 45 46		2462
		Σ	180 00 01	+ 1	
III	Роща	7	48 49 11		2462
	Логово	8	80 30 46		3226
	Озеро	9	50 39 58		2530
		Σ	179 59 55	- 5	
IV	Холм	10	35 43 51		2530
	Роща	11	39 00 34		**2727**
	Логово	12	105 15 42		4180
		Σ	180 00 07	+7	

Контролем правильности вычислений является сходимость длин сторон, вычисленных дважды. Например, в треугольнике IV длина стороны напротив угла 12 равна 2727 м, а эта же длина стороны в треугольнике I против угла 2 равна 2726 м.

Поправки в направления за центрировку прибора и редукцию визирных целей вычисляют по формулам:

$$c'' = \frac{l \sin(M + и)}{s} \rho'',$$

где c'' – поправка в направление за центрировку прибора;

l и θ – линейный и угловой элементы центрировки;

s – расстояние между пунктами;

M – измеренное направление;

$\rho'' = 206265''$.

$$r = \frac{l_1 \sin(M + \theta_1)}{s} \rho'',$$

где r – поправка в направление за редукцию визирной цели;

l_1 и θ_1 – линейный и угловой элементы редукции.

Значения расстояний между пунктами выбирают из таблицы 6. Поправки c и r вычисляют с точностью до 0,1". Пример вычислений приведен в табл. 7.

Таблица 7

Вычисление поправок за центрировку и редукцию

Назв. пункта	Назв. напр.	M	$M + \theta$	$M + \theta_1$	S, м	c''	r''
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5	0° 00' 00	10° 00' 00	15° 00' 00"	3050	+1,2	**+2,6**
	4	48 45 46	58 45 46	63 45 46	2906	+6,1	+9,6
	2	84 36 40	94 36 40	99 36 40	4487	+4,6	+6,8
2	1	0 00 00	100 15 00	20 00 00	4487	+3,2	+0,8
	4	38 36 25	138 51 25	58 36 25	2728	+3,5	+3,2
	3	74 20 16	174 35 16	94 20 16	4181	+0,3	+2,5
3	2	0 00 00	210 15 00	10 00 00	4181	-1,3	+0,5
	4	39 00 34	249 15 34	49 00 34	2530	-4.0	+3,4
	5	87 49 45	298 04 45	97 49 45	3226	-3,0	+3,5

Окончание табл. 7

Назв. пункта	Назв. напр.	M	$M+\theta$	$M+\theta_1$	S, м	c''	r''
1	2	3	4	5	6	7	8
4	1	0 00 00			2906		
	5	68 40 55			2462		
	3	149 11 41			2530		
	2	254 27 23			2728		
5	3	0 00 00		190 30 00	3226		-1,2
	4	50 39 58		241 09 58	2462		-7,4
	1	113 13 18		303 43 18	3050		-5,7

Для вычислений поправок в измеренные направления за кривизну изображения геодезической линии на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера необходимо знать ***приближенные координаты пунктов***. Приближенные координаты пунктов в данном примере вычисляют (табл. 8) по формулам прямой геодезической задачи на плоскости:

$$x_P = x_A + s_{AP}\cos\alpha_{AP};$$
$$y_P = y_A + s_{AP}\sin\alpha_{AP}.$$

Таблица 8

Вычисление приближенных координат пунктов

Пункт	Углы	α	s, км	Δx, км	Δy, км	X, км	Y, км
2							
		11° 18'					
1	84° 37'					**6 800,24**	**11 622,09**
		106 41	3,05	-0,88	+2,92		
5	62 33					6 799,36	11 625,01
		224 08	2,46	-1,77	-1,71		
4	279 29					6 797,59	11 623,30
		124 39	2,53	-1,44	+2,08		
3	39 01					**6 796,15**	**11 625,38**
		265 38					
2	74 20						
		11 18					

Поправки за кривизну изображения геодезической линии на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера вычисляются по формуле;

$$\delta_{1-2} = f(x_1 - x_2)y_{ср},$$

где δ_{1-2} – поправка в направление с пункта 1 на пункт 2;

$f = \frac{\rho''}{2R^2}$ – коэффициент, значение которого в триангуляции 1 разряда принимают равным 0,00253;

x_1, x_2 - приближенные абсциссы точек 1 и 2;

$y_{ср}$ - среднее расстояние сети от осевого меридиана.

Для вычисления $y_{ср}$ необходимо вычислить истинные значения y' для всех точек сети, т. е. отбросить номер зоны и вычесть 500 км, а затем взять среднее значение (табл. 9).

Таблица 9

Вычисление $y_{ср}$

Номер точки	y	y'
1	11 622,09	122,09
2	11 621,21	121,21
3	11 625,38	125,38
4	11 623,30	123,30
5	11 625, 01	125,01
	среднее	**123,40**

Поправка в направление $д_{i-k}$ должна быть равна с противоположным знаком поправке $д_{k-i}$, что является контролем правильности вычисления поправок. Поправки δ вычисляют с точностью до 0,1".

Составление сводной таблицы направлений, приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость проекции Гаусса-Крюгера.

Все вычисления выполняются в таблице 10. В столбцы 1, 2, 3 заносят данные из аналогичных столбцов табл. 7, в столбец 4 – вычисленные значения поправки c. Особое внимание следует обратить на правильную запись

поправок r за редукцию визирной цели. Вычисленное значение редукции в измеренные направления на пункте заносятся в столбец 5, но для тех пунктов, с которых производились наблюдения на данный пункт.

Таблица 10

Сводная таблица направлений, приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера

Назв. пункта	Назв. напр.	Измеренное направление	c	r	δ	$(c+r+\delta)$	$(c+r+\delta) - (c+r+\delta)_0$	Приведенное направление
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	5	0° 00' 00"	+1.2	-5,7	+0,3	**-4,2**	**0**	0° 00' 00"
1	4	**48 45 46**	+6,1	-	+0,8	**+6,9**	**+11,1**	**48 45 57**
	2	84 36 40	+4,6	+0,8	+1,4	+6,8	+11,0	84 36 51
	1	0 00 00	+3,2	+6,8	-1,4	+8,6	0	0 00 00
2	4	38 36 25	+3,5	-	-0,5	+3,0	-5,6	38 36 19
	3	74 20 16	+0,3	+0,5	-0,1	+0,7	-7,9	74 20 08
	2	0 00 00	-1,3	+2,5	+0,1	+1,3	0	0 00 00
3	4	39 00 34	-4.0	-	-0,4	-4,4	-5,7	39 00 28
	5	87 49 45	-3.0	-1,2	-1,0	-5,2	-6,5	87 49 38
	1	0 00 00	-	+9,6	-0,8	+8,8	0	0 00 00
4	5	68 40 55	-	-7,4	-0,5	-7,9	-16,7	68 40 38
	3	149 11 41	-	+3,4	+0,4	+3,8	-5,0	149 11 36
	2	254 27 23	-	+3,2	+0,5	+3,7	-5,1	254 27 18
	3	0 00 00		+3,5	+1,0	+4,5	0	0 00 00
5	4	50 39 58		-	+0,5	+0,5	-4,0	50 39 54
	1	113 13 18		**+2,6**	-0,3	+2,3	-2,2	113 13 16

Например, на пункте 1 вычислено значение редукции в направление 1–5: r = +2,6" (табл.7, столбец 8). Это значение должно быть записано в столбец 5 (табл. 10) на пункте 5 в направление 5–1 с тем же знаком: r = +2,6".

В столбце 7 записывают вычисленное значение суммарной поправки $(c+r+\delta)$. В столбец 8 записывают $(c+r+\delta) - (c+r+\delta)_0$, где $(c+r+\delta)_0$ – суммарное значение поправки $(c+r+\delta)$ в исходное направление на каждом пункте. Например, на пункте 1: $(c+r+\delta)$ в направление 1–5 равно: – 4,1", а в направление 1– 4: +6,9". В столбец 8 записано в направление 1– 5: $(c+r+\delta) - (c+r+\delta)_0 = 0$, а в направление 1– 4: $(c+r+\delta) - (c+r+\delta)_0$ = + 6,9" – (– 4,1") = + 11,0".

В столбце 9 получают приведенные направления по формуле

$$M' = M + (c + r + \partial) - (c + r + \partial)_0,$$

где M – измеренное направление (например, направление 1–4: 48° 45' 46");

M' – направление, приведенное к центрам пунктов и редуцированное на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера (например, 48°45'46"+11"= 48° 45' 57").

Оценка точности результатов измерений

По приведенным направлениям (см. табл.10, столбец 9) составляют треугольники аналогично составлению треугольников при их предварительном решении (табл. 6) и вычисляют невязку в каждом треугольнике по формуле:

$$w = \sum \beta - 180^\circ,$$

где w – угловая невязка; $\sum\beta$ – сумма углов в треугольнике.

Предельные невязки в треугольниках вычисляют по формуле

$$w_{пред} = 2{,}5\,m''\sqrt{3},$$

где m – средняя квадратическая погрешность измерения угла в триангуляции соответствующего класса. В триангуляции 1 разряда m = 5". Следовательно, предельная невязка в треугольнике не должна превышать ±20".

Вычисления выполняются в табл. 11.

Таблица 11

Вычисления невязок треугольников

Номер треугольника	Номер угла	Углы	w
1	2	3	4
I	1	105° 32' 42"	- 5"
	2	35 50 54	
	3	38 36 19	
	Σ	179 59 55	

Продолжение табл. 11

II	4	62 33 22	- 3"
	5	68 40 38	
	6	48 45 57	
	Σ	179 59 57	
III	7	48 49 11	+ 3"
	8	80 30 58	
	9	50 39 54	
	Σ	180 00 03	
IV	10	35 43 57	+ 7"
	11	39 00 28	
	12	105 15 42	
	Σ	180 00 07	

По полученным угловым невязкам треугольников (см. табл. 11, столбец 4) вычисляют среднюю квадратическую погрешность измерения угла по формуле Ферреро

$$m_\beta = \pm\sqrt{\frac{\sum w^2}{3n}} = \pm\sqrt{\frac{5^2+3^2+3^2+7^2}{12}} = \pm\sqrt{\frac{92}{12}} \pm 2{,}8'',$$

где n – число треугольников.

Средняя квадратическая погрешность измерения углов, вычисленная по невязкам треугольников, не должна превышать в триангуляции 1 разряда 5".

Вторым критерием оценки качества угловых измерений является соответствие свободных членов синусных условий допустимым значениям.

В рассматриваемой в качестве примера сети триангуляции возникают два синусных условия: полюсное и базисное.

Полюсное условие (полюс в пункте 7) имеет вид:

$$\frac{\sin 2\sin 4\sin 7\sin 10}{\sin 3\sin 6\sin 9\sin 11} = \frac{\Pi_1}{\Pi_2} = 1,$$

где Π_1 и Π_2 – произведения синусов углов в числителе и знаменателе соответственно.

Свободный член полюсного условия

$$W_\Pi = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2} \cdot \rho'' = \frac{0{,}22844 - 0{,}22843}{0{,}22843} \cdot 206263'' = 9{,}03''.$$

$$W_{доп} = \pm 2{,}5m\sqrt{\sum \operatorname{ctg}^2\beta} = \pm 2{,}5 \cdot 5''\sqrt{8{,}412} = 36{,}25''.$$

Вычисления выполнены в табл. 12.

Таблица 12

Вычисление свободного члена полюсного условия и коэффициента для вычисления его допустимого значения

Номер угла	Значение угла	sin β	ctg β	ctg²β
2	35° 50' 54"	0,58564	1,384	1,915
4	62 33 22	0,88746	0,519	0,269
7	48 49 11	0,75264	0,875	0,766
10	35 43 57	0,58400	1,390	1,932
	Π_1 =	**0,22844**		
3	38 36 19	0,62395	1,252	1,568
6	48 45 57	0,75202	0,876	0,767
9	50 39 54	0,77345	0,820	0,672
11	39 00 28	0,62942	1,234	1,523
	Π_2 =	**0,22843**		

W_Π = 9,03"

$W_{доп}$ = 36,25"

$\sum \operatorname{ctg}^2\beta$ = 8,412

Базисное условие возникает при наличии в сети триангуляции избыточных исходных сторон (непосредственно измеренных или вычисленных по координатам исходных пунктов). В сети триангуляции (см. рис. 1) получены длины исходных сторон из решения обратных геодезических задач на плоскости (см. табл.4). При составлении базисного условия выделяют в сети цепочку треугольников, соединяющих исходные стороны по наикратчайшему пути. Вычисления выполнены в табл. 13.

Свободный член базисного условия вычисляют по формуле

$$W_Б = \left(\frac{\sin 3\sin 6\sin 9\sin 12}{\sin 1\sin 4\sin 7\sin 10} - \frac{Б_2}{Б_1}\right) = \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2} - \frac{Б_2}{Б_1}\right) \cdot \rho'',$$

где $П_1$ и $П_2$ – произведение синусов углов в числителе и знаменателе соответственно;

$Б_1$ и $Б_2$ – длины исходных сторон 2-1 и 2-3 .

$$\frac{П_1}{П_2} = \frac{0{,}35012}{0{,}37581} = 0{,}93164; \quad \frac{Б_2}{Б_1} = \frac{4181{,}2}{4487{,}4} = 0{,}93176; \qquad \sum ctg^2\beta = 6{,}125$$

$$W_Б = (0{,}93164 - 0{,}93176)\ 206265'' = 24{,}75''$$

$$W_{доп} = \pm 2{,}5 \cdot m \sqrt{\sum ctg^2\beta} = \pm 2{,}5 \cdot 5'' \sqrt{6{,}125} = 30{,}94''.$$

Таблица 13

Вычисление свободного члена базисного условия и коэффициента для вычисления его допустимого значения

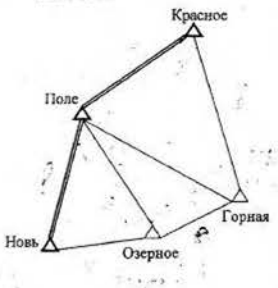
Номер угла	Значение угла	sin β	ctg β	$ctg^2\beta$
3	38 36 19	0,62395	1,252	1,568
6	48 45 57	0,75202	0,876	0,767
9	50 39 54	0,77345	0,820	0,672
12	105 15 42	0,96473	- 0.273	0,074
	$П_1$ =	**0,35012**		
1	105 32 42	0,96342	- 0,278	0,077
4	62 33 22	0,88746	0,519	0,269
7	48 49 11	0,75264	0,875	0,766
10	35 43 57	0,58400	1,390	1,932
	$П_2$ =	**0,37581**		

$W_Б = -24{,}75''$ $\quad W_{доп} = 30{,}94''.$ $\quad \sum ctg^2\beta = 6{,}125$

Ниже приведены варианты для выполнения лабораторной работы. Номер варианта должен соответствовать номеру, под которым записан студент в журнал учета посещаемости студентов.

Вариант № 1

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Поле		l = 0,152 м
Красное	0°00'00"	$\theta = 188°30'$
Горная	51 46 01	l_1 = 0,169 м
Озерное	82 15 18	$\theta_1 = 150°00'$
Новь	136 31 52	на Красное
Красное		l = 0,074 м
Горная	0 00 00	$\theta = 15°30'$
Поле	60 47 40	l_1 = 0,140 м
		$\theta_1 = 28°30'$
		на Горная
Новь		l = 0,196 м
Поле	0 00 00	$\theta = 120°30'$
Озерное	52 44 49	l_1 = 0,183 м
		$\theta_1 = 108°00'$
		на Волок
Горная		
Озерное	0 00 00	l_1 = 0,179 м
Поле	76 16 34	$\theta_1 = 27°00'$
Красное	143 42 44	на Озерное
Озерное		
Новь	0 00 00	l_1 = 0,116 м
Поле	72 58 40	$\theta_1 = 273°30'$
Горная	~~146 13 09~~	на Новь

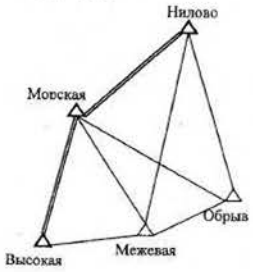
$146°12'58''$

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красное	5 366 684,6	10 397 047,6
Поле	5 364 733,1	10 392 283,5
Новь	5 359 325,5	10 389 847,2

Вариант № 2

Схема сети



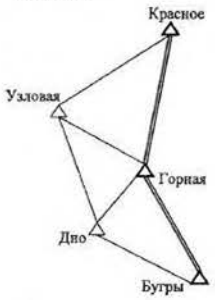
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Нилово		l = 0,216 м
Морская	0° 00' 00"	и = 296°30'
Обрыв	258 38 16	l_1 = 0,191 м
Межевая	314 28 24	$и_1$ = 302°30'
		на Морская
Морская		l = 0,048 м
Нилово	0 00 00	и = 212°40'
Обрыв	25 56 20	l_1 = 0,042 м
Межевая	53 17 20	$и_1$ = 305°10'
Высокая	121 39 37	на Нилово
Высокая		l_1 = 0,044 м
Морская	0 00 00	$и_1$ = 314°30'
Межевая	56 51 00	на Морская
Межевая		
Нилово	0 00 00	
Обрыв	42 09 15	l= 0,127 м
Высока	224 02 05	и = 26°30'
Морская	278 48 52	на Нилово
Обрыв		l = 0,064 м
Нилово	0 00 00	и = 87°00'
Межевая	277 59 26	l_1 = 0,053 м
Морская	307 18 03	$и_1$ = 345°50'
		на Нилово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*Y*
Нилово	6 349 490,2	11 358 226,0
Морская	6 347 866,0	11 354 578,5
Высокая	6 345 077,7	11 354 203,6

Вариант № 3

Схема сети



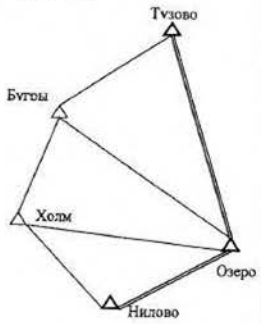
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Красное		l = 0,154 м
Узловая	0°00'00"	θ = 51°00'
Горное	305 01 46	l_1 = 0,202 м
		$θ_1$ = 64°30'
		на Узловая
Горная		
Бугры	0 00 00	l_1 = 0,120 м
Дно	88 50 57	$θ_1$ = 328°00'
Узловая	134 44 05	На Бугры
Красное	199 32 25	
Бугры		l = 0,237 м
Горное	0 00 00	θ = 31°30'
Дно	324 22 04	l_1 = 0,475 м
		$θ_1$ = 32°00'
		на Горное
Дно		
Узловая	0 00 00	
Горная	102 58 49	
Бугры	158 30 17	
Узловая		
Красное	0 00 00	l_1 = 0,048 м
Горное	60 13 12	$θ_1$ = 117°30'
Дно	91 21 06	на Красное

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*Y*
Красное	6 366 684,6	11 397 047,6
Горная	6 362 337,5	11 396 519,2
Бугры	6 359 311,1	11 397 196,7

Вариант № 4

Схема сети



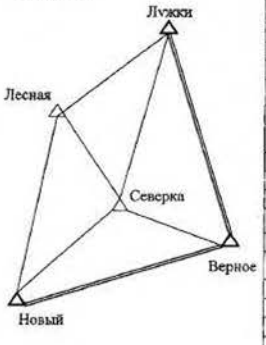
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Озеро		l = 0,021 м
Нилово	0°00'00"	θ =93°30'
Холм	17 35 03	l_1 = 0,015 м
Бугры	42 48 54	θ_1 = 73°30'
Тузово	92 31 55	на Нилово
Тузово		l_1 = 0,018м
Озеро	0 00 00	θ_1 = 302°00'
Бугры	76 55 06	На Озеро
Нилово		l = 0,067м
Холм	0 00 00	θ =302°00'
Озеро	137 59 44	l_1 = 0,014 м
		θ_1 = 261°30'
		на Холм
Бугры		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,022 м
Тузово	200 22 16	θ_1 = 284°00'
Озеро	253 44 14	На Холм
Холм		l = 0,043 м
Бугры	0 00 00	θ =168°30'
Озеро	48 30 16	l_1 = 0,040 м
Нилово	72 55 28	θ_1 = 151°30'
		На Бугры

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*Y*
Тузово	6 428 517,8	11 358 193,5
Озеро	6 425 406,4	11 358 305,7
Нилово	6 425 167,0	11 355 323,6

Вариант № 5

Схема сети



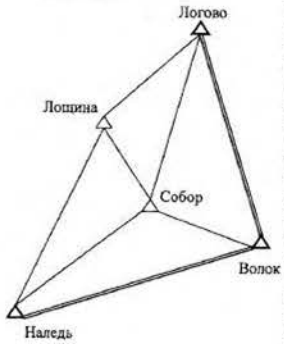
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Лужки		
Верное	0°00'00"	l_2 = 0,087 м
Северка	33 04 11	θ_1 = 237°30'
Лесная	72 22 54	на Верное
Новый		l = 0,425м
Верное	0 00 00	θ = 101°00'
Лесная	316 19 04	l_1 = 0,335 м
Северка	342 19 36	θ_1 = 104°30'
		на Верное
Верное		l = 0,219м
Новый	0 00 00	θ = 141°00'
Северка	29 17 20	l_1 = 0,030 м
Лужки	66 54 19	θ_1 = 108°30'
		на Новый
Северка		
Новый	0 00 00	
Лесная	68 36 02	
Лужки	117 38 43	
Верное	226 57 38	
Лесная		
Новый	0 00 00	
Лужки	182 57 42	
Северка	274 36 22	

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*Y*
Лужки	6 350 094,5	11 350 757,0
Верное	6 345 833,2	11 352 987,4
Новый	6 345 303,6	11 346 312,2

Вариант № 6

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Логово		l = 0,011м
Волок	0°00'00"	θ = 96°10'
Собор	33 04 10	l_1 = 0,014 м
Лощина	72 22 56	θ_1 = 153°10'
		на Волок
Наледь		l = 0,014м
Волок	0 00 00	θ = 210°30'
Лощина	316 19 04	l_1 = 0,010 м
Собор	342 19 35	θ_1 = 15°10'
		на Волок
Волок		l = 0,013м
Наледь	0 00 00	θ = 92°10'
Собор	29 17 19	l_1 = 0,010 м
Логово	66 54 19	θ_1 = 230°10'
		на Наледь
Собор		l = 0,039м
Наледь	0 00 00	θ = 141°15'
Лощина	68 36 02	l_1 = 0,012 м
Логово	117 38 41	θ_1 = 191°10'
Волок	226 57 40	на Наледь
Лощина		l = 0,010м
Наледь	0 00 00	θ = 155°20'
Логово	182 57 44	l_1 = 0,017 м
Собор	274 36 21	θ_1 = 210°10'
		на Наледь

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Логово	6 455 122,9	11 455 984,1
Волок	6 449 611,8	11 458 833,6
Наледь	6 448 971,9	11 450 221,1

Вариант № 7

Схема сети



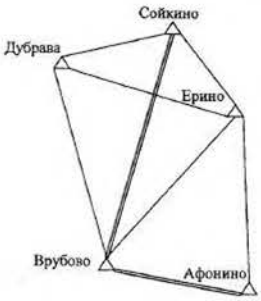
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Ленский		l = 0,139м
Фалово	0°00'00"	θ = 255°00'
Бор	40 28 38	l_1 = 0,170 м
Холм	60 05 30	θ_1 = 210°00'
		ня Фалово
Холм		l = 0,146м
Ленский	0 00 00	θ = 146°30'
Бор	34 04 19	l_1 = 0,117 м
Уверь	68 09 56	θ_1 = 116°00'
		на Ленский
Фалово		
Ленский	0 00 00	l= 0,051 м
Уверь	239 01 23	θ = 117°20'
Бор	279 46 54	на Ленский
Бор		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,100 м
Ленский	126 19 05	θ_1 = 336°00'
Фалово	185 37 11	на Холм
Уверь	259 22 38	
Уверь		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,101 м
Бор	45 17 09	θ_1 = 127°30'
Фалово	110 46 01	на Холм

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Ленский	6 364 733,1	11 392 283,5
Холм	6 359 325,5	11 389 847,2
Фалово	6 361 816,0	11 394 390,3

Вариант № 8

Схема сети



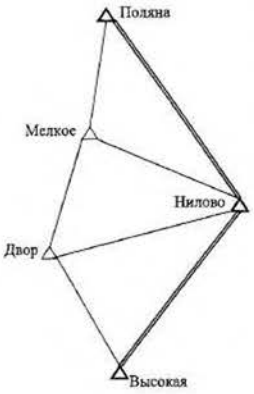
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Сойкино		l = 0,170м
Ерино	0°00'00"	θ = 156°10'
Врубово	40 39 24	l_1 = 0,126 м
Дубрава	90 13 16	θ_1 = 233°20"
		на Ерино
Врубово		l = 0,088м
Дубрава	0 00 00	θ = 283°40'
Сойкино	28 20 59	l_1 = 0,186 м
Ерино	48 06 48	θ_1 = 217°40"
Афонино	110 23 36	на Дубрава
Афонино		l = 0,210м
Врубово	0 00 00	θ = 210°50'
Ерино	63 17 07	l_1 = 0,118 м
		θ_1 = 328°00"
		на Врубово
Дубрава		l = 0,140м
Сойкино	0 00 00	θ = 320°10'
Ерино	38 35 47	l_1 = 0,096 м
Врубово	102 05 07	θ_1 = 15°10"
		на Сойкино
Ерино		l = 0,142м
Афонино	0 00 00	θ = 76°40'
Врубово	54 26 06	l_1 = 0,193 м
Дубрава	122 49 55	θ_1 = 250°10"
Сойкино	174 01 24	на Афонино

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*У*
Сойкино	6 482 623,1	11 435 673,4
Врубово	6 477 045,0	11 433 336,5
Афонино	6 475 992,8	11 437 326,2

Вариант № 9

Схема сети



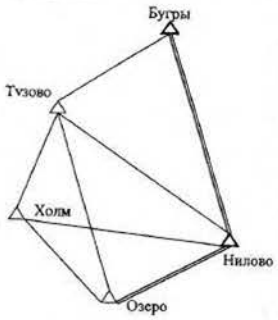
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Нилово		l = 0,223 м
Поляна	0°00'00"	θ = 15°30'
Высокая	258 47 12	l_1 = 0,215 м
Двор	297 49 26	θ_1 = 20°00'
Мелкое	333 19 24	на Поляна
Поляна		l = 0,057 м
Нилово	0 00 00	θ = 308°00'
Мелкое	41 24 19	l_1 = 0,035 м
		θ_1 = 316°00'
		на Нилово
Высокая		l_1 = 0,033 м
Нилово	0 00 00	θ_1 = 327°30'
Двор	302 52 32	на Нилово
Мелкое		
Нилово	0 00 00	l_1 = 0,045 м
Двор	102 02 16	θ_1 = 115°30'
Поляна	248 04 58	На Нилово
Двор		
Нилово	0 00 00	l_1 = 0,138 м
Высокая	83 50 16	θ_1 = 126°00'
Мелкое	317 32 30	На Нилово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*У*
Нилово	6 349 490,2	11 358 226,0
Поляна	6 353 418,8	11 355 326,0
Высокая	6 345 077,7	11 354 203,6

Вариант № 10

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Нилово		l = 0,021 м
Озеро	0°00'00"	$\theta = 93°30'$
Холм	17 35 03	l_1 = 0,015 м
Тузово	42 48 54	$\theta_1 = 73°30'$
Бугры	92 31 55	на Озеро
Бугры		l_1 = 0,018 м
Нилово	0 00 00	$\theta_1 = 302°00'$
Тузово	76 55 06	На Нилово
Озеро		l = 0,067 м
Холм	0 00 00	θ =302°00'
Тузово	52 52 22	l_1 = 0,014 м
Нилово	137 59 44	$\theta_1 = 261°30'$
		на Холм
Тузово		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,022 м
Бугры	200 22 16	$\theta_1 = 284°00'$
Нилово	253 44 14	На Холм
Озеро	305 47 54	
Холм		l = 0,043 м
Тузово	0 00 00	$\theta = 168°30'$
Нилово	48 30 16	l_1 = 0,040 м
Озеро	72 55 28	$\theta_1 = 151°30'$
		На Тузово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Бугры	6 328 517,8	11 408 193,5
Нилово	6 325 406,4	11 408 305,7
Озеро	6 325 167,0	11 405 323,6

Вариант № 11

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Волок		l = 0,210 м
Красное	0°00'00"	$\theta = 188°30'$
Горная	51 46 01	l_1 = 0,233 м
Озерное	82 15 18	$\theta_1 = 150°00'$
Новь	136 31 52	на Красное
Красное		l = 0,102 м
Горная	0 00 00	$\theta = 15°30'$
Волок	60 47 40	l_1 = 0,193 м
		$\theta_1 = 28°30'$
		на Горная
Новь		l = 0,270 м
Волок	0 00 00	$\theta = 120°30'$
Озерное	52 44 49	l_1 = 0,252 м
		$\theta_1 = 108°00'$
		на Волок
Горная		
Озерное	0 00 00	l_1 = 0,247 м
Волок	76 16 34	$\theta_1 = 27°00'$
Красное	143 42 44	на Озерное
Озерное		
Новь	0 00 00	l_1 = 0,160 м
Волок	72 58 40	$\theta_1 = 273°30'$
Горная	146 13 09	на Новь

146°12'58"

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красное	6 373 962,4	11 838 957,0
Волок	6 371 269,3	11 832 382,5
Новь	6 363 806,8	11 829 020,4

Вариант № 12

Схема сети



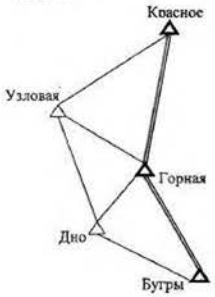
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Нилово		l = 0,179 м
Морская	0° 00′ 00″	θ = 296°00′
Обрыв	258 38 16	l_1 = 0,158 м
Межевая	314 28 24	θ_1 = 302°30′
		на Морская
Морская		l = 0,040 м
Нилово	0 00 00	θ = 212°40′
Обрыв	25 56 15	l_1 = 0,035 м
Межевая	53 17 20	θ_1 = 305°10′
Высокая	121 39 37	На Нилово
Высокая		l_1 = 0,036 м
Морская	0 00 00	θ_1 = 314°30′
Межевая	56 51 00	на Морская
Межевая		
Нилово	0 00 00	
Обрыв	42 09 15	l = 0,105 м
Высока	224 02 05	θ = 26°30′
Морская	278 48 52	на Нилово
Обрыв		l = 0,053 м
Нилово	0 00 00	θ = 87°00′
Межевая	277 59 26	l_1 = 0,044 м
Морская	307 18 03	θ_1 = 345°50′
		на Нилово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*Y*
Нилово	6 421 532,5	11 361 772,5
Морская	6 420 184,4	11 358 745,1
Высокая	6 417 870,1	11 358 433,9

Вариант № 13

Схема сети



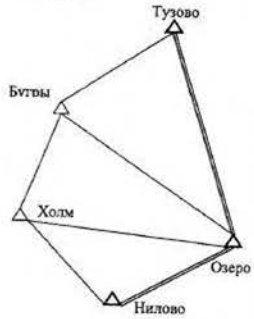
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Красное		l = 0,109 м
Узловая	0°00′00″	θ = 51°00′
Горное	305 01 46	l_1 = 0,143 м
		θ_1 = 64°30′
		на Узловая
Горная		
Бугры	0 00 00	l_1 = 0,085 м
Дно	88 50 57	θ_1 = 328°00′
Узловая	134 44 05	На Бугры
Красное	199 32 25	
Бугры		l = 0,168 м
Горное	0 00 00	θ = 31°30′
Дно	324 22 04	l_1 = 0,337 м
		θ_1 = 32°00′
		на Горное
Дно		
Узловая	0 00 00	
Горная	102 58 49	
Бугры	158 30 17	
Узловая		
Красное	0 00 00	l_1 = 0,034 м
Горное	60 13 12	θ_1 = 117°30′
Дно	91 21 06	на Красное

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	*X*	*Y*
Красное	6 500 349,1	11 547 585,4
Горная	6 497 262,6	11 547 210,3
Бугры	6 495 113,9	11 547 691,3

Вариант № 14

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Озеро		l = 0,017 м
Нилово	0°00'00"	θ = 93°30'
Холм	17 35 03	l_1 = 0,012 м
Бугры	42 48 54	θ_1 = 73°30'
Тузово	92 31 55	на Нилово
Тузово		l_1 = 0,014м
Озеро	0 00 00	θ_1 = 302°00'
Бугры	76 55 06	На Озеро
Нилово		l = 0,054м
Холм	0 00 00	θ = 302°00'
Озеро	137 59 44	l_1 = 0,011 м
		θ_1 = 261°30'
		на Холм
Бугры		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,018 м
Тузово	200 22 16	θ_1 = 284°00'
Озеро	253 44 14	На Холм
Холм		l = 0,035 м
Бугры	0 00 00	θ = 168°30'
Озеро	48 30 16	l_1 = 0,032 м
Нилово	72 55 28	θ_1 = 151°30'
		На Бугры

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Тузово	6 824 715,2	11 835 319,4
Озеро	6 822 195,0	11 835 410,3
Нилово	6 822 001,1	11 832 994,8

Вариант № 15

Схема сети



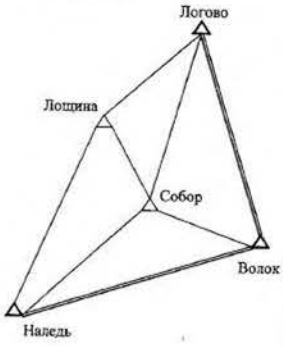
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Лужки		
Верное	0°00'00"	l_1 = 0,069 м
Северка	33 04 11	θ_1 = 237°30'
Лесная	72 22 54	на Верное
Новый		l = 0,336м
Верное	0 00 00	θ = 101°00'
Лесная	316 19 04	l_1 = 0,265 м
Северка	342 19 36	θ_1 = 104°30'
		на Верное
Верное		l = 0,173м
Новый	0 00 00	θ = 141°00'
Северка	29 17 20	l_1 = 0,024 м
Лужки	66 54 19	θ_1 = 108°30'
		на Новый
Северка		
Новый	0 00 00	
Лесная	68 36 02	
Лужки	117 38 43	
Верное	226 57 38	
Лесная		
Новый	0 00 00	
Лужки	182 57 42	
Северка	274 36 22	

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Лужки	6 547 189,7	11 646 625,8
Верное	6 543 823,3	11 648 387,8
Новый	6 543 413,5	11 643 113,7

Вариант № 16

Схема сети



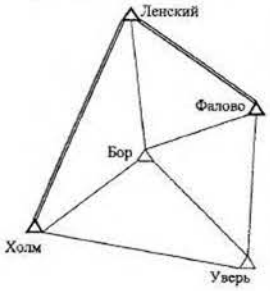
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Логово		l = 0,008м
Волок	0°00'00"	θ = 96°10'
Собор	33 04 10	l_1 = 0,011 м
Лощина	72 22 56	θ_1 = 153°10'
		на Волок
Наледь		l = 0,011м
Волок	0 00 00	θ = 210°30'
Лощина	316 19 04	l_1 = 0,008 м
Собор	342 19 35	θ_1 = 15°10'
		на Волок
Волок		l = 0,010м
Наледь	0 00 00	θ = 92°10'
Собор	29 17 19	l_1 = 0,008 м
Логово	66 54 19	θ_1 = 230°10'
		на Наледь
Собор		l = 0,030м
Наледь	0 00 00	θ = 141°15'
Лощина	68 36 02	l_1 = 0,009 м
Логово	117 38 41	θ_1 = 191°10'
Волок	226 57 40	на Наледь
Лощина		l = 0,008м
Наледь	0 00 00	θ = 155°20'
Логово	182 57 44	l_1 = 0,013 м
Собор	274 36 21	θ_1 = 210°10'
		на Наледь

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Логово	6 498 303,6	11 582 217,8
Волок	6 494 115,2	11 584 383,4
Наледь	6 493 628,9	11 577 837,9

Вариант № 17

Схема сети



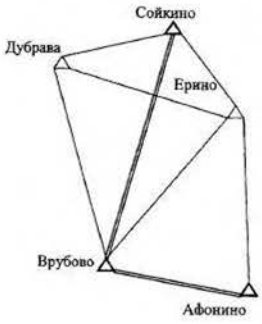
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Ленский		l = 0,107м
Фалово	0°00'00"	θ = 255°00'
Бор	40 28 38	l_1 = 0,131 м
Холм	60 05 30	θ_1 = 210°00'
		на Фалово
Холм		l = 0,112м
Ленский	0 00 00	θ = 146°30'
Бор	34 04 19	l_1 = 0,090 м
Уверь	68 09 56	θ_1 = 116°00'
		на Ленский
Фалово		
Ленский	0 00 00	l = 0,039 м
Уверь	239 01 43	θ = 117°20'
Бор	279 46 54	на Ленский
Бор		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,077 м
Ленский	126 19 05	θ_1 = 336°00'
Фалово	185 37 11	на Холм
Уверь	259 22 38	
Уверь		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,078 м
Бор	45 17 09	θ_1 = 127°30'
Фалово	110 46 41	на Холм

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Ленский	6 939 417,4	11 400 363,2
Холм	6 935 253,5	11 398 487,2
Фалово	6 937 171,2	11 401 985,3

Вариант № 18

Схема сети



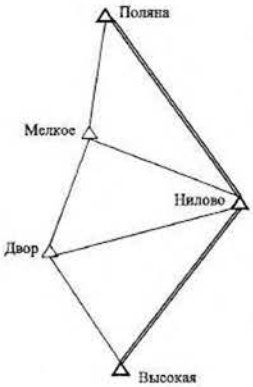
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Сойкино		l = 0,138м
Ерино	0°00'00"	θ = 156°10'
Врубово	40 39 24	l_1 = 0,102 м
Дубрава	90 13 16	θ_1 = 233°20'
		на Ерино
Врубово		l = 0,071м
Дубрава	0 00 00	θ = 283°40'
Сойкино	28 20 59	l_1 = 0,151 м
Ерино	48 06 48	θ_1 = 217°40'
Афонино	110 23 36	на Дубрава
Афонино		l = 0,170м
Врубово	0 00 00	θ = 210°50'
Ерино	63 17 07	l_1 = 0,096 м
		θ_1 = 328°00'
		на Врубово
Дубрава		l = 0,113м
Сойкино	0 00 00	θ = 320°10'
Ерино	38 35 47	l_1 = 0,078 м
Врубово	102 05 07	θ_1 = 15°10'
		на Сойкино
Ерино		l = 0,115м
Афонино	0 00 00	θ = 76°40'
Врубово	54 26 06	l_1 = 0,156 м
Дубрава	122 49 55	θ_1 = 250°10'
Сойкино	174 01 24	на Афонино

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Сойкино	6 482 236,9	11 435 736,6
Врубово	6 477 718,6	11 433 843,7
Афонино	6 476 866,3	11 437 075,4

Вариант № 19

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Нилово		l = 0,167 м
Поляна	0°00'00"	θ = 15°30'
Высокая	258 47 12	l_1 = 0,161 м
Двор	297 49 26	θ_1 = 20°00'
Мелкое	333 19 24	на Поляна
Поляна		l = 0,043 м
Нилово	0 00 00	θ = 308°00'
Мелкое	41 24 19	l_1 = 0,026 м
		θ_1 = 316°00'
		на Нилово
Высокая		l_1 = 0,025 м
Нилово	0 00 00	θ_1 = 327°30'
Двор	302 52 32	на Нилово
Мелкое		
Нилово	0 00 00	l_1 = 0,034 м
Двор	102 02 16	θ_1 = 115°30'
Поляна	248 04 58	На Нилово
Двор		
Нилово	0 00 00	l_1 = 0,104 м
Высокая	83 50 16	θ_1 = 126°00'
Мелкое	317 32 30	На Нилово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Нилово	6 349 490,2	11 358 226,0
Поляна	6 352 436,6	11 356 051,0
Высокая	6 346 181,0	11 355 209,2

Вариант № 20

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Поле		l = 0,152 м
Красново	0°00'00"	θ = 188°30'
Горное	51 44 31	l_1 = 0,169 м
Озерное	82 14 24	θ_1 = 150°00'
Бор	136 29 22	на Красново
Красново		l = 0,074 м
Горное	0 00 00	θ = 15°30'
Озерное	26 37 30	l_1 = 0,140 м
Поле	82 45 18	θ_1 = 28°30'
		на Горное
Бор		l = 0,196 м
Поле	0 00 00	θ = 120°30'
Озерное	62 58 24	l_1 = 0,183 м
		θ_1 = 108°00'
		на Поле
Горное		
Озерное	0 00 00	l_1 = 0,179 м
Поле	63 40 50	θ_1 = 27°00'
Красново	109 10 56	на Озерное
Озерное		
Бор	0 00 00	
Поле	62 46 41	l_1 = 0,116 м
Красново	104 24 29	θ_1 = 273°30'
Горное	148 36 17	на Бор

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красново	6 265 926,5	11 495 198,8
Поле	6 264 733,1	11 492 283,5
Бор	6 261 149,0	11 490 670,7

Лабораторная работа № 3

Предварительные вычисления в полигонометрическом ходе

Целью предварительных вычислений в полигонометрическом ходе является составление сводных таблиц приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера измеренных направлений и длин линий и вычисление рабочих координат пунктов полигонометрического хода.

Предварительные вычисления в полигонометрическом ходе предусматривают:

– составление рабочей схемы сети;

– приведение измеренных горизонтальных направлений к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера;

– приведение измеренных длин линий к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера;

Исходные данные для выполнения предварительных вычислений в конкретном полигонометрическом ходе, как пример, приведены в табл. 14, 15, 16.

Таблица 14

Прямоугольные координаты и абсолютные высоты исходных пунктов

Исходные пункты	X, м	У, м	H, м
Луговая	6 352 171,11	11 436 867,71	
Роща	6 348 547,60	11 436 173,83	230,28
Холм	6 345 896,09	11 436 485,28	215,50
Волок	6 342 465,99	11 434 339,44	

Таблица 15

Измеренные длины линий, превышения между пунктами хода и их высоты

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Роща			**230,28**
	798,32	-50,44	
пп 213			179,84
	706,23	-23,90	
пп 214			155,94
	548,98	+18,88	
пп 215			174,82
	639,26	+40,68	
Холм			**215,50**

Таблица 16

Измеренные направления и элементы приведений

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Луговая	Роща		l_1 = 0,933 м
			Θ_1 = 125° 00'
Роща	Луговая	0° 00' 00"	l = 0,375 м
	пп 213	154 09 30	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,165 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 213	Роща	0° 00' 00"	
	пп 214	185 11 41	
пп 214	пп 213	0° 00' 00"	
	пп 215	192 20 49	
пп 215	пп 214	0° 00' 00"	
	Холм	176 48 29	
Холм	пп 215	0° 00' 00"	l = 0,469 м
	Волок	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,357 м
			Θ_1 = 315° 15'
Волок	Хдлм		l_1 = 0,754 м
			Θ_1 = 10° 45'

Рабочая схема полигонометрического хода составляется в произвольном масштабе. Вначале наносятся исходные пункты по их прямоугольным координатам, затем пункты полигонометрического хода построением углов поворота и отложением измеренных длин линий (рис. 2).

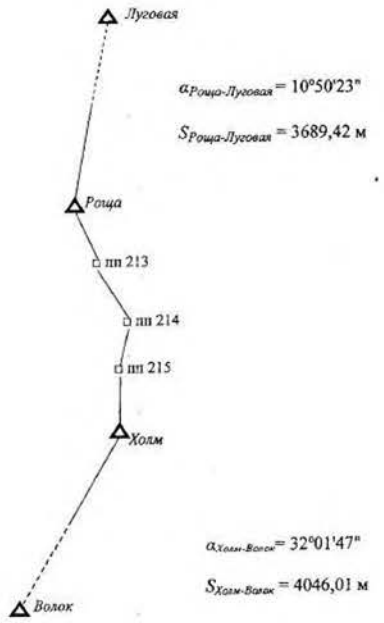


Рис. 2. Схема полигонометрического хода

Приведение измеренных направлений к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера производится так же, как в предварительных вычислениях в сети триангуляции (см. табл. 6, 7, 8, 9).

Таблица 17

Вычисление поправок за центрировку и редукцию

Назв. пункта	Назв. напр.	M	M + θ	M + θ₁	S, м	c″	r″
1	2	3	4	5	6	7	8
Луговая	Роща	0° 00′ 00″	-	125° 00′	3689	-	42,7
Роща	Луговая	0° 00′ 00″	104°30′	200 45	3689	20,3	-3,3
	пп 213	154 09 30	258 39	354 54	798	-95,0	–3,8
Холм	пп 215	0 00 00	160 30	315 15	639	50,5	-81,1
	Волок	212 44 59	13 15	168 00	4046	5,5	3,8
Волок	Холм	-	-	10 45	4046	-	7,2

Таблица 18

Вычисление приближенных координат пунктов полигонометрии

Название пункта	Измерен. угол	D, км	Дирекционный угол	Приращения координат, км		Координаты, км	
				ΔX	ΔY	X	Y
Луговая							11 436,87
			190°50′				
Роща	154° 07′					6 348,55	11 436,17
		0,798	164 57	-0,77	+0,21		
пп 213	185 12					6 347,78	11 436,38
		0,706	170 09	-0,70	+0,12		
пп 214	192 21					6 347,08	11 436,50
		0,549	182 30	-0,55	-0,02		
пп 215	176 47					6 346,53	11 436,48
		0,639	179 17	-0,64	+0,01		
Холм	212 44					6 345,89	11 436,49
			212 01				
Волок							11 434,34
						$Y_{среднее}$ =	436,18

$$Y'_{среднее} = 436{,}18\text{км} - 500\text{км} = -63{,}82\text{км},$$

Таблица 19

Сводная таблица направлений, приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера

Назв. пункта	Назв. направления	Изм. направление	c″	r″	δ″	c+r+δ	(c+r+δ) - (c+r+δ)₀	Приведенное направление
Роща	Луговая	0 00 00	+20,3	+ 42,7	+ 0,6	63,6	0	0° 00′ 00″
	пп 213	154 09 30	-95,0	0	-0,1	-95,1	-158,7	154 06 51
пп 213	Роща	0 00 00		- 3,8	+0,1	-3,7	0	0 00 00
	пп 214	185 11 41			-0,1	-0,1	3,6	185 11 45
пп 214	пп 213	0 00 00			+0,1	0,1	0	0 00 00
	пп 215	192 20 49			-0,1	-0,1	-0,2	192 20 49
пп 215	пп 214	0 00 00			+0,1	0,1	0	0 00 00
	Холм	176 48 29		-81,1	-0,1	-81,2	-81,3	176 47 08
Холм	пп 215	0 00 00	+50,5	0	+0,1	50,6	0	0 00 00
	Волок	212 44 59	+ 5,5	+ 7,2	-0,5	12,2	-38,4	212 44 21

Приведение измеренных длин линий к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера производится путем введения поправок: $\Delta D_Ц, \Delta D_Г, \Delta D_Н, \Delta D_П$.

Приведение длин линий к центрам пунктов производится путем введения поправки $\Delta D_Ц$ по формуле

$$\Delta D_Ц = -\left\{l_i \cos(M_{i-j} + \theta_i) + l_j \cos(M_{j-i} + \theta_j)\right\}$$

где i и j – номера пунктов, между которыми измерена длина линии;

M_{i-j}, M_{j-i} - начальные направления на пунктах i и j соответственно;

l_i, θ_i - элементы центрировки, определенные на пункте i ;

l_j, θ_j - элементы центрировки, определенные на пункте j.

Например, при измерении длины линии Роща - пп 213 светодальномер был установлен на пункте Роща, а отражатель – на пункте пп 213 над центром пункта. Следовательно, элементы центрировки определены только на пункте Роща (табл.16), и поправка за центрировку вычисляют по формуле:

$$\Delta D_Ц = -\left\{l_i \cos(M_{i-j} + \theta_i)\right\}$$

Приведенная длина линии вычисляют по формуле:

$$D_Ц = D_M + ДD_Ц,$$

где $D_Ц$ – приведенная к центрам пунктов длина стороны;

D_M – измеренное расстояние (см. табл. 15).

Поправка за центрировку в длину линии Роща–пп. 213

$$\Delta D_Ц = -\left[0{,}375\text{ м}\cos(154^\circ09' + 104^\circ30')\right] = +0{,}07\text{ м},$$

а приведенная к центрам пунктов длина стороны –

$$D_Ц = 798{,}32\text{ м} + 0{,}07\text{ м} = 798{,}39\text{ м}.$$

Приведение $D_Ц$ к горизонту осуществляется по формулам:

$$D_Г = D_Ц + \Delta D_Г;\quad \Delta D_Г = -\frac{h_{i-j}^2}{2D_Ц};\quad h_{i-j} = H_j - H_i,$$

где $D_Г$ – приведенная к горизонту длина линии $D_Ц$;

$D_Ц$ – приведенная к центру пунктов измеренная длина линии;

H_i, H_j – абсолютные высоты начальной и конечной точек линии;

h_{i-j} – превышение между начальной и конечной точками линии.

Длина линии Рощино – пп 213, приведенная к центрам пунктов, $D_Ц = 798{,}39$ м; $h = -50{,}44$ м.

$$\Delta D_Г = -\frac{(-50{,}44\text{м})^2}{2\cdot 798{,}39\text{м}} = -1{,}59\text{ м};\quad D_Г = 798{,}39\text{ м} - 1{,}59\text{ м} = 796{,}80\text{ м}.$$

Редуцирование длины линии $D_Г$ на уровень моря производится по формулам: $D_H = D_Г + ДD_H;\quad ДD_H = -\frac{H_m}{R} D_Г,$

где H_m – средняя высота линии над уровнем моря;

R – средний радиус Земли (R = 6371 км).

$$H_m = \frac{230{,}28\text{ м} + 179{,}84\text{ м}}{2} = 205{,}06\text{ м};$$

$$D_H = -\frac{205{,}06\text{ м}}{6371000\text{ м}} 796{,}80\text{ м} = -0{,}02\text{ м}.$$

$$D_H = 796{,}80\text{м} - 0{,}02 = 796{,}78\text{ м}.$$

Редуцирование длины линии D_H на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера производится по формулам:

$$D_П = D_H + ДD_П;\quad ДD_П = +\frac{Y_m^2}{2R^2} D_H,$$

где Y_m - среднее удаление стороны хода от осевого меридиана зоны.

Для решения этой задачи необходимы приближенные прямоугольные координаты пунктов полигонометрического хода (табл. 18).

$$Y_m = \frac{436{,}17\text{ км} + 436{,}38\text{ км}}{2} - 500\text{ км} = -63{,}72\text{ км};$$

$$\Delta D_П = +\frac{(-63{,}72\text{ км})^2}{2\cdot 6371^2} 796{,}78\text{ м} = 0{,}04\text{ м};\quad D_П = 796{,}78\text{ м} + 0{,}04\text{ м} = 796{,}82\text{ м}.$$

Таблица 20

Приведение измеренных длин линий к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера

Назв. пункта	D, м изм.	$\Delta D_Ц$, м	$D_Ц$, м	$\Delta D_Г$, м	$D_Г$, м	ΔD_H, м	D_H, м	Y_m	$\Delta D_П$, м	$D_П$, м
Роща										
	798,32	0,07	798,39	-1,59	796,80	-0,02	796,78	-63,72	0,04	**796,82**
пп 123										
	706,23			-0,40	705,83	-0,02	705,81	-63,56	0,04	**705,85**
пп 124										
	548,98			-0,32	548,66	-0,01	548,65	-63,51	0,03	**548,68**
Пп 215										
	639,26	0,44	639,70	-1,29	638,41	-0,02	638,39	-63,52	0,03	**638,42**
Холм										

После приведения измеренных величин (горизонтальных направлений и длин линий) к центрам пунктов и редуцированных на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера производится вычисление прямоугольных координат пунктов полигонометрического хода и оценка точности (табл. 21, 22).

Таблица 21

Вычисление приращений координат пунктов полигонометрического хода и оценка точности

Наз. пункта	Измеренный угол	Исправленный угол	Дирекционный угол	D, м	Приращения координат, м			
					вычисленные		исправленные	
					ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Луговая								
	+1"		190°50'48"					
Роща	154°06'51"	154°06'52"			+0,01	+0,03		
	+1"		164 57 40	796,82	-769,53	+206,75	-769,52	+206,78
пп 213	185 11 45	185 11 46				+0,03		
	+1"		170 09 26	705,85	-695,46	+120,66	-695,46	+120,69
пп 214	192 20 49	192 20 50				+0,02		
	+1"		182 30 16	548,68	-548,16	-23,98	-548,16	-23,96
пп 215	176 47 08	176 47 09				+0,03		
	+1"		179 17 25	638,42	-638,37	+7,91	-638,37	+7,94
Холм	212 44 21	212 44 22						
			212 01 47					
Волок								
	$\sum$= 921° 10' 54"			$\sum$ = 2689,77	$f_{\Delta X}$ =	$f_{\Delta Y}$ =		
					= - 0,01м	= -0,01м		

$a_{кон} - a_{нач}$ =21°10'59"

f_β =-5";

$f_{\beta доп} = 10'' \sqrt{n} = 22''$,

где n – число углов; n =5

$f_S = \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2} = 0{,}11$м

$f_{отн}$ = 1:24452; $f_{отн.\ доп.}$ = 1:10000

Таблица 22

Вычисление прямоугольных координат пунктов подигонометрического хода

Название пункта	Приращения координат, м		Координаты, м	
	ΔX	ΔY	X	Y
Роща			**6 348 547,60**	**11 436 173,83**
	-769,52	+206,78		
пп 213			6 347 778, 08	11 436 380,61
	-695,46	+120,69		
пп 214			6 347 082,62	11 436 501,30
	-548,16	-23,96		
пп 215			6 346 534,46	11 436 477,34
	-638,37	+7,94		
Холм			**6 345 896,09**	**11 436 485,28**

Варианты для самостоятельной работы

Вариант № 1

Исходные данные

Исходные пункты	***X*, м**	***Y*, м**	***H*, м**
Горка	6 327 145,86	11 411 842,46	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 870,84	11 411 460,03	349,89
Лесная	6 317 440,74	11 409 314,19	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	***D*, м**	***h*, м**	***H*, м**
Олехово			400,13
	798,12	-49,99	
пп 123			350,14
	706,23	+19,46	
пп 124			369,60
	549,38	+20,31	
пп 125			389,91
	639,26	-40,02	
Ручей			349,89

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	**Название направления**	**Измеренные направления**	**Элементы приведений**
Горка	Олехово		l_1 = 1,012 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,563 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,432 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,113 м
	Лесная	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,357 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,021 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 2

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 327 327,04	11 411 877,17	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 738,26	11 411 475,62	347,38
Лесная	6 317 136,65	11 409 222,49	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	838,03	-52,49	
пп 123			347,64
	741,54	+20,44	
пп 124			368,08
	576,85	+21,32	
пп 125			389,40
	671,23	-42,02	
Ручей			347,38

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,063 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,591 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,454 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,119 м
	Лесная	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,375 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,072 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 3

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 327 508,22	11 411 911,89	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 605,69	11 411 491,21	344,86
Лесная	6 316 832,58	11 409 130,79	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	877,94	-54,99	
пп 123			345,14
	776,54	+21,41	
пп 124			366,55
	604,32	+22,34	
пп 125			388,89
	703,19	- 44,03	
Ручей			344,86

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,113 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,619 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,475 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,124 м
	Лесная	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,393 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,123 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 4

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 327 689,39	11 411 946,60	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 473,11	11 411 506,81	342,35
Лесная	6 316 528,49	11 409 039,09	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	917,84	-57,48	
пп 123			342,65
	812,17	+22,38	
пп 124			365,03
	631,78	+23,35	
пп 125			388,38
	735,15	- 46,03	
Ручей			342,35

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,164 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,647 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,497 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,130 м
	Лесная	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,410 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,174 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 5

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 327 870,57	11 411 981,31	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 340,54	11 411 522,40	339,84
Лесная	6 316 224,42	11 408 947,39	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	957,75	-59,98	
пп 123			340,15
	847,48	+23,36	
пп 124			363,51
	659,25	+24,37	
пп 125			387,88
	767,12	- 48,04	
Ручей			339,84

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,214 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,676 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,518 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,136 м
	Лесная	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,428 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,225 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 6

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 328 051,74	11 412 016,03	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 207,96	11 411 537,99	337,33
Лесная	6 315 920,33	11 408 855,69	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	997,66	-62,48	
пп 123			337,65
	882,79	+24,33	
пп 124			361,98
	686,72	+25,38	
пп 125			387,36
	799,08	- 50,03	
Ручей			337,33

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,265 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,704 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			l_1 = 0,540 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,141 м
	Лесная	212 44 59	Θ = 160° 30'
			l_1 = 0,446 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,276 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 7

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 328 232,92	11 412 050,74	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 075,38	11 411 553,58	334,82
Лесная	6 315 616,25	11 408 763,99	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	1037,56	-64,98	
пп 123			335,55
	918,10	+25,30	
пп 124			360,45
	714,19	+26,40	
пп 125			386,85
	831,04	- 52,03	
Ручей			334,82

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,316 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,732 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			l_1 = 0,562 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,147 м
	Лесная	212 44 59	Θ = 160° 30'
			l_1 = 0,464 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 1,327 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 8

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 326 964,69	11 411 807,74	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 321 003,42	11 411 444,44	352,40
Лесная	6 317 744,82	11 409 405,89	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	758,22	-47,49	
пп 123			352,64
	670,92	+18,49	
пп 124			371,13
	521,91	+19,29	
пп 125			390,42
	607,30	- 38,02	
Ручей			352,40

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 0,961 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,535 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			l_1 = 0,410 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,107 м
	Лесная	212 44 59	Θ = 160° 30'
			l_1 = 0,339 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 0,970 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 9

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 326 783,52	11 411 773,03	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 321 135,99	11 411 428,84	354,91
Лесная	6 318 048,90	11 409 497,58	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	718,31	-44,99	
пп 123			355,14
	635,61	+17,52	
пп 124			372,66
	494,44	+18,28	
пп 125			390,94
	575,34	- 36,03	
Ручей			354,91

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 0,911 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,507 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			l_1 = 0,389 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,102 м
	Лесная	212 44 59	Θ = 160° 30'
			l_1 = 0,321 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 0,919 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 10

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Горка	6 326 602,34	11 411 738,32	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 321 268,57	11 411 413,25	357,42
Лесная	6 318 354,96	11 409 589,29	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Олехово			400,13
	678,41	-42,49	
пп 123			357,64
	600,30	+16,54	
пп 124			374,18
	466,97	+17,26	
пп 125			391,44
	543,37	- 34,02	
Ручей			357,42

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 0,911 м
			Θ_1 = 125° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,507 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			l_1 = 0,389 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Олехово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 125	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,102 м
	Лесная	212 44 59	Θ = 160° 30'
			l_1 = 0,321 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		l_1 = 0,919 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 11

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 324 544,51	11 399 863,24	
Шахта	6 328 777,44	11 401 266,19	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	17,76
Холм	6 334 361,68	11 405 121,99	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	659,62	+23,44	
пп 173			123,55
	702,65	-10,08	
пп 174			113,47
	666,78	-55,03	
пп 175			58,44
	799,45	- 40,68	
Урочище			17,76

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,020 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,552 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,456 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,056 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,320 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,863 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 12

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 325 879,30	11 400 427,32	
Шахта	6 329 265,65	11 401 549,68	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	34,24
Холм	6 333 733,05	11 404 634,32	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	527,70	+18,76	
пп 173			118,87
	562,12	- 8,06	
пп 174			110,81
	533,42	-44,03	
пп 175			66,78
	639,56	- 32,54	
Урочище			34,24

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,016 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,418 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,365 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,045 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,056 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,690 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 13

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 324 210,81	11 399 722,22	
Шахта	6 328 655,39	11 401 195,32	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	13,66
Холм	6 334 518,84	11 405 243,90	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	692,60	+24,62	
пп 173			124,73
	737,79	-10,58	
пп 174			114,15
	700,12	-57,78	
пп 175			56,37
	839,43	- 42,71	
Урочище			13,66

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,021 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,580 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,479 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,059 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,386 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,906 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 14

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 325 545,61	11 400 286,30	
Шахта	6 329 143,60	11 401 478,81	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	30,12
Холм	6 333 890,21	11 404 756,24	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	560,68	+19,93	
пп 173			120,04
	597,26	- 8,56	
пп 174			111,48
	566,76	-46,78	
пп 175			64,70
	679,54	- 34,58	
Урочище			30,12

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,017 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,469 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,388 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,048 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,122 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,734 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 15

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 323 877,12	11 399 581,20	
Шахта	6 328 533,34	11 401 124,44	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	9,54
Холм	6 334 676,00	11 405 365,82	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	725,58	+25,79	
пп 173			125,90
	772,92	-11,08	
пп 174			114,82
	733,46	-60,54	
пп 175			54,28
	879,40	- 44,74	
Урочище			9,54

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,022 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,607 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,502 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,062 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,452 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,949 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 16

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 325 211,91	11 400 145,28	
Шахта	6 329 021,55	11 401 407,93	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	26,00
Холм	6 334 047,37	11 404 878,15	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	593,66	+21,10	
пп 173			121,21
	632,39	- 9,07	
пп 174			112,14
	600,10	-49,53	
пп 175			62,61
	719,51	- 36,61	
Урочище			26,00

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,018 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,479 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,410 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,050 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,188 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,777 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 17

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 323 543,41	11 399 440,18	
Шахта	6 328 411,28	11 401 053,57	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	5,41
Холм	6 334 833,16	11 405 487,74	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	758,56	+26,96	
пп 173			127,07
	808,05	-11,59	
пп 174			115,48
	766,79	-63,29	
пп 175			52,19
	919,37	- 46,78	
Урочище			5,41

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,023 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,635 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,524 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,064 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,518 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,992 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 18

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 324 878,22	11 400 004,26	
Шахта	6 328 899,50	11 401 337,06	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	21,89
Холм	6 334 204,53	11 405 000,07	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	626,64	+22,27	
пп 173			122,38
	667,52	- 9,57	
пп 174			112,81
	633,44	-52,28	
пп 175			60,53
	759,48	- 38,64	
Урочище			21,89

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,019 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,524 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,433 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,053 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,254 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,820 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 19

Исходные данные

Исходные пункты	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
Ольгино	6 326 213,01	11 400 568,34	
Шахта	6 329 387,71	11 401 620,55	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	38,34
Холм	6 333 575,89	11 404 512,40	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	*D*, м	*h*, м	*H*, м
Шахта			100,11
	494,72	+17,58	
пп 173			117,69
	526,99	- 7,56	
пп 174			110,13
	500,08	-41,28	
пп 175			68,85
	599,59	- 30,51	
Урочище			38,34

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,015 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,414 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,342 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 173	Ольгино	0° 00' 00"	
	пп 174	175 11 41	
пп 174	пп 173	0° 00' 00"	
	пп 175	182 51 52	
пп 175	пп 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пп 175	0° 00' 00"	l = 0,042 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 0,990 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,647 м
			Θ_1 = 98° 45'

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практикум содержит лабораторные работы, выполняемые студентами очного и заочного обучения, по разделу «Основные геодезические работы» дисциплины «Высшая геодезия». Их выполнение должно способствовать более глубокому осмысливанию теоретических положений, приобретению практических навыков в предварительной обработке результатов геодезических измерений, оценки их точности, и подготовки данных для их дальнейшего уравнивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акулова Е. А., Клепко В. Л.* Основные геодезические работы: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: УГГГА, 2003. – 39 с.

2. *Высшая геодезия*: учебник / В. Г. Зданович [и др.]. – М.: Недра, 1970. – 512 с.

3. *Инструкция по вычислению нивелировок*. – М.: Недра,1971. – 112 с.

4. *Клепко В. Л., Александров А. В.* Высшая геодезия: учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2009. – 195 с.

5. *Яковлев Н. В.* Высшая геодезия: учебник. – М.: Недра, 1989. – 445 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Шмонин А.Б.

ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента	6
2. Содержание курса. Контрольные вопросы и упражнения	7
3. Расчётно-графичесие работы	9
3.1. Расчётно-графическая работа №1. Обработка результатов измерений горизонтальных направлений в триангуляции .	9
3.2. Расчётно-графическая работа №2. Предварительные вычисления в триангуляции	11
Рекомендуемая литература	13

Введение

Самостоятельная работа обучающихся является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки обучающихся по дисциплине «Высшая геодезия» составляет 108 часа или 3 зачетных единиц. Из них 35 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Высшая геодезия» обязательная самостоятельная работа обучающихся осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых практических работ; подготовка к тестированию; подготовка к зачёту.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Высшая геодезия». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины «Высшая геодезия» в данном учебно-методическом пособии. приведены контрольные вопросы по темам и образцы тестовых заданий.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны разделы и страницы учебника, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения и тестовые задания. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовые задания.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

Тема 1. Содержание и задачи дисциплины «Высшая геодезия»

Содержание, задачи и разделы дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи основных разделов высшей геодезии.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные научные задачи высшей геодезии.
2. Назовите основные научно-технические задачи высшей геодезии.
3. Назовите основные разделы дисциплины «высшая геодезия».
4. Какие показатели заложены в классификацию триангуляции?
5. объекты изучения и задачи основных разделов высшей геодезии?
6. . Что изучает теоретическая геодезия?
7. Что изучает сфероидическая геодезия?
8. Что изучает геодезическая астрономия?
9. Что изучает раздел «основные геодезические работы»?
10. Теоретическое и практическое значение высшей геодезии для маркшейдеров?

Тема 2. Основные понятия сфероидической геодезии

Земной эллипсоид в качестве модели Земли. Общеземные эллипсоиды ПЗ-90 и WGS-84, референц-эллипсоид Красовского. Радиус кривизны меридиана. Радиус кривизны первого вертикала. Средний радиус кривизны. Вычисление длин дуг меридианов и параллелей. Взаимные нормальные сечения. Геодезическая линия на поверхности эллипсоида.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Земной эллипсоид в качестве математической модели Земли.
2. Что такое референц-эллипсоид?
3. Чем различаются общеземной и референц-эллипсоид?
4. Какими параметрами характеризуется Земной эллипсоид?

5. К какому типу эллипсоидов относятся эллипсоиды ПЗ-90 и WGS-84?
6. Каковы параметры общеземных эллипсоидов ПЗ-90 и WGS-84?
7. Каковы параметры референц-эллипсоида Красовского?
8. Как определяется радиус кривизны меридиана?
9. Как определяется радиус кривизны первого вертикала?
10. Как определяется средний радиус кривизны?
11. Как определяется длина дуги меридиана?
12. Как определяется длина дуги параллели?
13. Что такое взаимные нормальные сечения эллипсоида?
14. Что такое геодезическая линия на поверхности эллипсоида?
15. Что такое «полярное сжатие» эллипсоида?

Тема 3. Основные понятия теоретической геодезии

Основные сведения о фигуре и гравитационном поле земли. Сила тяжести и уровенные поверхности Земли. Потенциал силы притяжения земли и потенциал центробежной силы. Потенциал силы тяжести. Физическая поверхность Земли. Геоид и квазигеоид. Нормальная Земля и фигура реальной Земли. Уклонение отвесных линий.

Контрольные вопросы и упражнения

1. Что понимается фигурой «геоид»?
2. Чем отличается квазигеоид от геоида?
3. Какие науки изучают гравитационное поле Земли?
4. Где на Земле сила тяжести имеет наименьшее значение?
5. Каким прибором измеряется ускорение силы тяжести?
6. Как влияет вращение Земли на значение силы тяжести на её поверхности?
7. В каких единицах измерения определяется ускорение силы тяжести в при гравиметрических измерениях?
8. Как связаны сила тяжести и уровенные поверхности Земли?
9. Что принято называть «Нормальной Землёй»?
10. Что такое фигура «реальной Земли»?

11. Что такое геодезическая высота?

12. Что такое аномалия высот?

Тема 4. Геодезические сети, их виды, назначение и методы создания

Государственная геодезическая сеть. Методы создания государственной геодезической сети традиционные и современные. Геодезические сети сгущения. Геодезические съемочные сети. Геодезические сети специального назначения.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Основные положения построения ГГС в России?
2. Классификация государственных геодезических сетей.
3. Какие виды геодезических сетей используются на горных предприятиях?
4. Что такое «центр» и «знак» у государственного геодезического пункта?
5. Сущность и область применения государственной триангуляции?
6. Сущность и область применения государственной полигонометрии.
7. Сущность и область применения государственной трилатерации?
8. Какими параметрами характеризуется геодезическая сеть
9. Как и для чего строится государственная гравиметрическая сеть
10. Геодезические сети специального назначения.

Тема 5. Системы координат в геодезии

Системы координат в геодезии. Пространственная прямоугольная геоцентрическая система координат. Геодезические широта и долгота. Геодезическая высота. Система плоских прямоугольных координат в картографической проекции Гаусса-Крюгера. Единая государственная система координат и высот. Вычисление плоских прямоугольных координат пункта по его широте и долготе. Вычисление широты и долготы пункта по его плоским прямоугольным координатам.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Классификация систем координат в .геодезии.
2. Что такое прямоугольная геоцентрическая подвижная система координат?
3. Что такое геодезическая широта?

4. Что такое геодезическая долгота?
5. Где используется прямоугольная геоцентрическая подвижная система координат?
6. Система плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.
7. Система государственных координат 1942 года (СК-42).
8. Система государственных координат 1995 года (СК-95).
9. Система государственных координат 2011 года (ГСК-2011).
10. Где применяются системы координат ПЗ-90 и WGS-84 ?

Тема 6. Проектирование геодезических сетей

Проектирование сетей триангуляции полигонометрии. Порядок составления технического проекта. Расчёт высоты геодезических знаков. Центры и знаки геодезических сетей. Оценка точности построения геодезической сети. Проектирование спутниковых измерений в сети. Расчёт объёмов геодезических работ, времени их выполнения и сметы расходов.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Основные положения о составлении проекта сети триангуляции.
2. Для чего нужно проектировать геодезическую сеть на топографической карте?
3. Какие задачи должны быть решены в проекте геодезической сети?
4. Как спроектировать сеть триангуляции IV класс?
5. Как спроектировать сеть триангуляции 1 и 2 разрядов?
6. Как спроектировать полигонометрию 1 и 2 разрядов?
7. Каковы требования Инструкции к параметрам триангуляции 1 и 2 разрядов?
8. Каковы требования Инструкции к параметрам триангуляции IV класса?
9. Каковы требования Инструкции к параметрам полигонометрии 1 и 2 разрядов?
10. Как рассчитывается высота геодезического знака?

Тема 7. Предварительные вычисления в геодезических сетях

Способы измерения горизонтальных направлений в сети триангуляции. Обработка результатов измерений горизонтальных направлений способом круговых приёмов. Предварительное решение треугольников в сети триангуляции и вычисление приближённых координат пунктов сети. Вычисление поправок в измеренные направления за центрировку прибора и редукцию визирных целей. Вычисление поправок в измеренные направления за кривизну изображении геодезических линий на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера. Вычисление приведённых к центрам пунктов направлений и оценка точности измерений в сети триангуляции.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Обработка результатов измерений горизонтальных направлений в сети триангуляции.
2. Как производится вывод средних направлений на пункте триангуляции?
3. Какие производится предварительное решение треугольников в сети?
4. Как и для чего составляется рабочая схема сети триангуляции?
5. Что такое элементы приведения и как они используются?
6. Как вычисляются поправки в направления за центрировку прибора?
7. Как вычисляются поправки в направления за редукцию визирных целей?
8. Как и для чего вычисляются приближенные координаты пунктов триангуляции?
9. Как вычисляются поправки за кривизну изображения геодезических линий на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера?
10. Как выполняется оценка точности результатов измерений по приведённым направлениям?

Тема 8. Государственная нивелирная сеть

Понятие о системах высот. Государственная нивелирная сеть. Уравнивание нивелирных сетей.

***Контрольные вопросы и упражнения*:**

1. Каков основной принцип развития государственной нивелирной сети?.
2. Что такое репера и как они создаются?
3. Основные положения о геометрическом нивелировании III и IV классов.
4. Основные положения о геометрическом нивелировании I и II классов.
5. В чем суть нивелирных сетей с узловыми точками и какими методами производится их уравнивание?

Тема 9. Глобальные навигационные спутниковые системы

Современные глобальные навигационные спутниковые системы. (ГНСС) Сущность геодезических измерений спутниковыми методами. Методы измерений и вычислений. Основные источники ошибок. Использование ГНСС для создания опорных геодезических сетей.

***Контрольные вопросы и упражнения*:**

1. Какие глобальные навигационные спутниковые системы сейчас работают?
2. Какие 3 сегмента входят в глобальную навигационную спутниковую систему?
3. Как классифицируются спутниковые приёмники по назначению?
4. Чем отличаются космические группировки спутников ГЛОНАСС и GPS
5. Какова точность измерения координат навигационным спутниковым приёмником?
6. Какова точность измерения координат геодезическим спутниковым приёмником?
7. Чем отличаются абсолютный и относительный метод определения координат спутниковыми приёмниками?
8. Назовите источники ошибок при спутниковом позиционировании.
9. Какой DOP используется при спутниковых координатных измерениях?
10. Чем различаются методы спутниковых измерений «статика» и «кинематика?
11. Какие технологии используются при создании опорных геодезических сетей геодезическими спутниковыми приёмниками?

12. Какие технологии используются при создании съёмочных геодезических сетей геодезическими спутниковыми приёмниками?

Рекомендуемая литература

1. Высшая геодезия: учебное пособие / В.Л. Клепко, А.В. Александров; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. - 429 с.

2. Высшая геодезия: практикум /В.Л. Клепко, Уральский гос. горный ун-т. 2-е издание, исправленное. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013.- 81 с

3. Высшая геодезия: учебно-методическое пособие / В. Л. Клепко. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. - 47 с

4. Клепко В. Л. Системы координат в геодезии /В. Л. Клепко, А. В. Александров. – Екатеринбург: УГГУ, 2011. – 114 с

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Леонтьев А.Т.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР

Учебное пособие к курсовой работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ 7
1.1. Задачи планирования горных работ 10
1.2. Периоды планирования горных работ. 11
1.3. Годовые планы горных работ. 13
1.3.1. Порядок рассмотрения и согласования годовых планов горных работ 14
1.3.2. Требования к составлению годового плана горных работ 19
1.3.3. Графические материалы планов горных работ 21
1.3.4. Табличные материалы планов горных работ.. .26
1.3.5. Пояснительная записка планов горных работ 27
2. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УЧАСТКЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ 30
2.1. Общие сведения. 30
2.2. Краткая горно-геологическая характеристика участка месторождения 31
2.3. Анализ состояния горных работ и обеспеченности запасами на начало планового периода 35
2.4. Расчет основных плановых показателей, планирование направления развития, объемов и календарных сроков

производства горных работ 38
2.5. Состояние горных работ и обеспеченность запасами на конец планового периода 47
3. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ 51
3.1. Общие сведения. 51
3.2. Краткая горно-геологическая и технологическая характеристика участка месторождения 52
3.3. Анализ состояния горных работ на начало планового периода 55
3.4. Основные плановые показатели по добыче полезного ископаемого 57
3.5. Распределение объемов добычи горной массы по горизонтам 58
3.6. Составление графика работы экскаваторов. 70
3.7. Движение запасов. 72
3.8. Расчет величины плановых потерь и разубоживания. 73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 80

ВВЕДЕНИЕ

Целью планирования развития горных работ является обеспечение разработки месторождения в соответствии с проектом, рациональное и комплексное использование полезного ископаемого, охрана недр и окружающей среды.

Планирование развития горных работ в процессе разработки месторождения полезных ископаемых осуществляется в строгом соответствии с законодательством о недрах, действующими нормативными документами.

Маркшейдерская служба горного предприятия принимает непосредственное участие в планировании развития горных работ.

В процессе подготовки и составления годового плана развития горных работ маркшейдерская служба выполняет съемку фактического состояния горных работ и пополняет графический материал, рассчитывает ожидаемый объем вскрышных, подготовительных и добычных работ, составляет календарный план ведения горных работ, рассчитывает показатели движения запасов при добыче, определяет плановые величины потерь и разубоживания полезного ископаемого. Анализ состояния горных работ, который проводится при планировании, позволяет учесть все отклонения от плана текущего года и принять их во внимание при составлении плана на следующий год.

Учебное пособие содержит основные требования законодательных и нормативных документов по вопросам составления и согласования планов развития горных работ, а также

два практических задания по составлению годовых планов развития горных работ на участке угольного месторождения, разрабатываемого подземным способом, и участке железорудного месторождения, отрабатываемого открытым способом. В практических заданиях рассмотрены лишь основные этапы разработки планов горных работ, в которых непосредственное участие принимает маркшейдерская служба горного предприятия.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Вопросы составления планов развития горных работ регламентируются Законом РФ «О недрах», Законом РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», нормативными документами «Правила охраны недр», «Инструкция по согласованию годовых планов развития горных работ».

Требования законов и инструкций являются обязательным для всех организаций независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, а также для индивидуальных предпринимателей, осуществляющих пользование недрами на территории РФ и в пределах её континентального шельфа и морской исключительной экономической зоны РФ.

В соответствии со статьей 22 Закона РФ «О недрах» пользователь недр обязан обеспечить:

– соблюдение требований законодательства, а также утвержденных в установленном порядке стандартов (норм, правил) по технологии ведения работ, связанных с пользованием недрами, и при первичной переработке минерального сырья;

– соблюдений требований технических проектов, планов и схем, развития горных работ, недопущение сверхнормативных потерь, разубоживания и выборочной отработки полезных ископаемых;

– ведение геологической, маркшейдерской и иной документации в процессе всех видов пользования недрами и ее сохранность;

– безопасное ведение работ, связанных с пользованием недрами;

– соблюдение утвержденных в установленном порядке стандартов (норм, правил), регламентирующих условия охраны недр, атмосферного воздуха, земель, лесов, вод, а также зданий и сооружений от вредного влияния работ, связанных с пользованием недрами;

– приведение участков земли и других природных объектов, нарушенных при пользовании недрами, в состояние, пригодное для их дальнейшего использования;

– сохранность разведочных горных выработок и буровых скважин, которые могут быть использованы при разработке месторождений и (или) в иных хозяйственных целях; ликвидацию в установленном порядке горных выработок и буровых скважин, не подлежащих использованию;

– выполнение условий, установленных лицензий или соглашением о разделе продукции.

В соответствии со статьей 23 указанного Закона к основным требованиям по рациональному использованию и охране недр относятся:

– обеспечение полноты геологического изучения, рационального комплексного использования и охраны недр;

– проведение опережающего геологического изучения недр, обеспечивающего достоверную оценку запасов полезных ископаемых или свойств участка недр, предоставленного в пользование в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых;

– обеспечение наиболее полного извлечения из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов;

– достоверный учет извлекаемых и оставляемых в недрах запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов при разработке месторождения полезных ископаемых;

– охрана месторождений полезных ископаемых от затопления, обводнения, пожаров и других факторов, снижающих качество полезных ископаемых и промышленную ценность месторождений или осложняющих их разработку;

– предотвращение загрязнение недр при проведении работ, связанных с пользованием недрами, особенно при подземном хранении нефти, газа или иных веществ и материалов, захоронении вредных веществ и отходов производства, сбросе сточных вод;

– соблюдение установленного порядка консервации и ликвидации предприятий по добыче полезных ископаемых и подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых;

– предупреждение самовольной застройки площадей залегания полезных ископаемых с соблюдением установленного порядка использования этих площадей в иных целях;

– предотвращение накопления промышленных и бытовых отходов на площадях водосбора и в местах залегания подземных вод, используемых для питьевого или промышленного водоснабжения.

В соответствии со статьей 24 указанного Закона к основным требованиям по обеспечению безопасного ведения работ, связанных с пользованием недрами, относятся:

– проведение комплекса геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон;

– осуществление специальных мероприятий по прогнозированию и предупреждению внезапных выбросов газов, прорывов воды, полезных ископаемых и пород, а также горных ударов;

– управление деформационными процессами горного массива, обеспечивающее безопасное нахождение людей в горных выработках;

– разработка и проведение мероприятий, обеспечивающих охрану работников предприятий и населения от вредного влияния горных работ в их нормальном режиме и при возникновении аварийных ситуаций.

1.1. Задачи планирования горных работ

Основными задачами планирования развития горных работ являются:

– обеспечение выполнения плана по добыче полезного ископаемого за данный отрезок времени;

– планомерное развитие горных работ за счет правильного соотношения и распределения объемов добычи и подготовительных выработок;

– рациональное использование запасов шахтного поля, всемерное сокращение потерь полезного ископаемого при его разработке;

– обеспечение непрерывного восполнения запасов, пригодных к выемке с целью обеспечения бесперебойной и ритмичной работы горного предприятия;

– определение перспективы дальнейшего развития горного предприятия за счет своевременного вскрытия новых горизонтов, шахтного строительства и ввода в эксплуатацию новых производственных мощностей;

– обеспечение правил технической эксплуатации, техники безопасности и охраны труда при ведении горных работ.

1.2. Периоды планирования горных работ

По продолжительности планового периода планы бывают: генеральные, перспективные и текущие.

Генеральный план развития горных работ – общетехнический план, определяет основные направления развития горных работ на

весь срок существования предприятия. Он устанавливает технические границы горного предприятия, промышленные запасы, схему и порядок вскрытия, систему разработки, энергосбережение, водоотлив, вентиляцию, пропускную способность каждого звена производственного процесса и производственную мощность горного предприятия.

Перспективный план развития горных работ составляется на пятилетний период. Он должен предусматривать:

– осуществление доразведки месторождения и эксплуатационной разведки;

– планомерность отработки месторождения, обеспечивающую достижение оптимального уровня извлечение полезных ископаемых из недр при добыче;

– совершенствование применяемых и внедрение новых прогрессивных способов и систем разработки, а также технологии добычи с целью повышения уровня извлечения полезных ископаемых из недр и улучшения безопасности труда, охраны зданий и сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок;

– выполнение заданий государственного плана по охране недр и рациональному использованию минеральных ресурсов;

– восполнение вскрытых подготовленных и готовых к выемке запасов в соответствии с установленными предприятию нормами;

– сохранение забалансовых запасов и ранее законсервированных балансовых запасов полезных ископаемых или вовлечение их в отработку;

– использование вскрышных и вмещающих пород;

– меры по технике безопасности и охране месторождения или его частей от затоплений, пожаров и других факторов, снижающих качество полезных ископаемых и промышленную ценность месторождения или осложняющих отработку;

– порядок и сроки погашения пустот;

– меры по охране зданий, сооружений земной поверхности и водных объектов от вредного влияния горных разработок;

– применение селективной выемки запасов полезных ископаемых с оставлением пустых пород в выработанном пространстве, если такая выемка повышает извлечение из недр или снижает разубоживание полезных ископаемых;

– решение вопросов усреднения руд;

– рекультивацию земель, нарушенных горными работами.

Текущее планирование ведется на год, квартал, месяц.

1.3. Годовые планы горных работ

Под годовым планом развития горных работ или годовой программой работ (далее – годовой план) понимается документ, составленный пользователем недр и определяющий направления развития горных работ, объемов добычи полезных ископаемых, объемов производства геологоразведочных, рекультивационных,

вскрышных, горно-подготовительных и добычных работ. Годовой план содержит сведения о подготовке (обработке) и переработке минерального сырья (при наличии перерабатывающих производств), иных работах, предусмотренных условиями лицензий на пользование недрами, техническим проектом, проектными технологическими документами, а также нормативах потерь полезных ископаемых при их добыче и нормативах потерь полезных ископаемых при переработке минерального сырья (при наличии перерабатывающих производств). В годовом плане также отмечаются мероприятия по охране недр, рациональному, комплексному использованию минерального сырья, промышленной безопасности, предотвращению вредного влияния горных работ на окружающую среду, здания и сооружения.

Годовые планы составляются на основании утвержденного проекта, в соответствии с законодательными и нормативными требованиями в области охраны недр, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, условиями лицензии на пользование недрами, соглашений о разделе продукции с учетом рекомендаций государственных контролирующих органов, научных и проектных организаций.

1.3.1. Порядок рассмотрения и согласования годовых планов горных работ

Согласование годовых планов государственными органами горного надзора осуществляется в целях обеспечения рационального

и безопасного ведения горных работ, соблюдения законодательных и нормативных требований, условий лицензий на пользование недрами, проектных решений по отработке запасов полезных ископаемых и их переработке, установления оптимальных величин нормативов потерь полезных ископаемых, недопущения сверхнормативных потерь, выборочной отработки месторождений полезных ископаемых и их порчи от неправильного ведения горных работ, своевременного восстановления нарушенных горными работами земель, охраны подрабатываемых зданий и сооружений, опережающего геологического изучения недр, а также выполнения мероприятий по охране недр, промышленной безопасности и предотвращению вредного влияния горных работ на окружающую среду.

Годовые планы рассматриваются и согласовываются управлением округа (управлением) Ростехнадзора или, по его поручению, отделом управления округа (управления). Полномочия по согласованию годовых планов распределяются согласно приказу по управлению округа (управлению).

Рассмотрение годовых планов осуществляется по графику. Графиком должно устанавливаться рассмотрение годовых планов в период не раннее 1 сентября и не позднее 15 декабря года, предшествующего планируемому. Допускается включение в график более поздних дат рассмотрения годовых планов при сезонном характере добычных работ, но не позднее, чем за две недели до начала добычного сезона.

Годовой план рассматривается в присутствии представителей недропользователя, включая одного из руководителей организации,

главного маркшейдера и главного геолога. Местом рассмотрения плана может являться управление округа (управления) или его отдела, а также местонахождение недропользователя.

При рассмотрении годового плана территориальным органом Ростехнадзора обращается внимание:

– на соответствие планируемых направлений и объемов горных работ техническому проекту и проектным технологическим документам;

– планомерность разработки месторождения полезных ископаемых или его части, исключающую выборочную отработку наиболее богатых по минеральному составу участков;

– соответствие предусмотренных годовым планом основных технических и технологических параметров разработки месторождения фактическим геологическим и горнотехническим условиям, их эффективность в части рационального извлечения полезных ископаемых и промышленной безопасности;

– предотвращение сверхнормативных потерь;

– соответствие нормативов потерь при добыче полезных ископаемых и при переработке минерального сырья (при наличии перерабатывающих производств) проектным показателям и условиям лицензии на пользование недрами;

– наличие лицензии на пользование недрами и выполнение условий ее действия;

– наличие горного и земельного отвода;

– причины образования временных неактивных запасов и порядок их отработки;

– ликвидацию (консервацию) горных выработок, участков, блоков, горизонтов на отработанных участках месторождения полезных ископаемых;

– техническую обоснованность расчетов платежей при пользовании недрами;

– обоснованность технико-экономическими расчетами нормативов потерь и разубоживания по каждой выемочной единице;

– обеспечение рационального использования и сохранности попутно добываемых полезных ископаемых, а также горных пород, пригодных для производства строительных материалов;

– эффективность мероприятий по рациональному использованию и охране недр;

– ожидаемые деформации подрабатываемых зданий, сооружений и природных объектов, планируемые меры по охране;

– соблюдение требований промышленной и экологической безопасности;

– правильность определения опасных зон и наличие вокруг них утвержденных границ безопасного ведения горных работ, эффективность мероприятий по безопасному ведению работ вблизи опасных зон;

– соответствие планируемых объемов эксплуатационной разведки, вскрышных и горно-подготовительных работ планируемой добыче полезных ископаемых;

– соответствие планируемых работ по рекультивации нарушенных горными работами земель проектным направлениям и

заданиям, а также условиям лицензий на пользование недрами, договору аренды земельных участков.

Результаты рассмотрения годового плана оформляются протоколом, в котором указываются представители территориального органа Госгортехнадзора России и пользователя недр, принявшие участия в его рассмотрении.

По результатам рассмотрения может быть принято решение по согласованию годового плана, либо по отказу в согласовании, либо по переносу даты рассмотрения. Решение включается в протокол, куда также могут включаться условия согласования и рекомендации. В случаях переноса даты рассмотрения годового плана или отказа в его согласовании в протоколе указываются причины.

Протокол рассмотрения годового плана подписывается начальником территориального органа Ростехнадзора или его заместителем или по их поручению начальником отдела. На графических материалах в случае согласования ставится специальный штамп с надписью «**СОГЛАСОВАНО**» (наименование территориального органа Ростехнадзора), а также указываются номер и дата протокола. Один экземпляр протокола годового плана в срок не позднее 7 дней направляется пользователю недр.

В решении о согласовании годового плана указываются:

– перечень согласованных нормативов потерь и разубоживания при добыче по выемочным единицам;

– перечень нормативов потерь при переработке полезного ископаемого по каждому из компонентов, извлечение которых предусмотрено лицензий на пользование недрами и проектом

перерабатывающего производства (при наличии перерабатывающих производств);

– условия по устранению выявленных недостатков годового плана;

– рекомендации по повышению уровня рационального и комплексного использования запасов полезных ископаемых, промышленной безопасности, охраны окружающей среды и геолого–маркшейдерского обслуживания горных работ.

Согласованию не подлежат годовые планы в случаях выявления в них существенных нарушений законодательных и нормативных требований, а также условий лицензий на пользование недрами, отклонений от проектов, систематического нарушения пользователем недр установленных правил пользования недрами и норм безопасности, невыполнения условий согласования годовых планов за предыдущий период.

Производство горных работ без согласованного с территориальными органами Ростехнадзора годового плана, а также с отступлениями от согласованного годового плана не допускается.

При выявлении в процессе ведения горных работ изменений геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий разработки месторождения или отработки отдельных выемочных единиц, строительства подземных сооружений, необходимые изменения вносятся в годовой план по согласованию с территориальным органом Ростехнадзора.

1.3.2. Требования к составлению годового плана

горных работ

Годовые планы должны предусматривать:

– рациональное ведение горных работ, исключающее выборочную отработку более богатых участков, порчу других полезных ископаемых и обеспечивающее правильность разработки месторождений полезных ископаемых;

– оптимальные показатели нормативов потерь и разубоживания при добыче, установленные по выемочным единицам, и нормативов потерь при переработке минерального сырья (при наличии перерабатывающих производств), а также нормативов потерь попутного (растворенного) газа и нефти при их подготовке;

– оптимальную концентрацию горных работ, исключающую их разбросанность и многогоризонтность при разработке месторождений твердых полезных ископаемых;

– применение технологий, повышающих извлечение запасов;

– восполнение вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых при разработке месторождений твердых полезных ископаемых;

– меры по охране зданий, сооружений и природных объектов, расположенных на земной поверхности в зоне вредного влияния горных разработок;

– горные меры по охране подземных объектов, сооружений и горных выработок;

– безопасное ведение горных работ и мероприятия по промышленной безопасности;

– системы наблюдений за вредным влиянием горных работ на окружающую среду (горно–экологический мониторинг);

– геологическое изучение недр, включая реализацию рекомендаций ГКЗ (ЦКЗ, ТКЗ), МПР России и ЦКР (ТКР) Минтопэнерго России;

– мероприятия по охране недр, рациональному и комплексному использованию минерального сырья;

– предотвращение подработки барьерных целиков;

– ликвидацию (консервацию) отработанных горных выработок, блоков, горизонтов;

– установление границ опасных зон и порядка ведения работ вблизи них;

– рекультивацию нарушенных горными работами земель;

– предотвращение образования сверхнормативных потерь в результате неправильного ведения горных работ, включая случаи подработки или надработки запасов полезных ископаемых;

– сохранность попутно добываемых полезных ископаемых, а также горных работ, пригодных для производства строительных материалов.

Годовой план подписывается руководителем (главным инженером), главным маркшейдером и главным геологом горнодобывающей организации, подписи скрепляются печатью.

1.3.3. Графические материалы планов горных работ

Графические материалы годовых планов должны быть представлены планами горных работ (проекциями на вертикальную или горизонтальную плоскость) с разбивкой по кварталам и необходимыми поперечными разрезами. Они составляются в соответствии с установленными требованиями условных обозначений для горной графической документации.

На графические материалы наносят:

– контуры балансовых запасов, утвержденных ГКЗ (ЦКЗ, ТКЗ) МПР России, запасов, уточненных по результатам последующей доразведки и разработки месторождения, запасов, уже погашенных и намечаемых к погашению на планируемый год с разбивкой по кварталам, временно неактивных запасов;

– участки нормируемых потерь;

– участки опасных зон по всем факторам опасности и границы безопасного ведения работ;

– схема вентиляции, виды механизации выемки, типы крепи, способ управления кровлей в подготовительных и очистных забоях, расположение водоотливных станций и дренажных выработок;

– границы барьерных и предохранительных целиков;

– участки постоянно затопленных выработок;

– участки с заложенным выработанным пространством и погашенные горные выработки;

– геологические нарушения;

– вынимаемая мощность полезного ископаемого (фактическая и планируемая);

– местоположение других полезных ископаемых, попадающих в зону влияния горных работ;

– скважины различного назначения;

– положение забоев подземных горных выработок, уступов карьеров и разрезов на начало и конец планируемого периода;

– границы горного отвода;

– границы земельного отвода (на планах поверхности и планах открытых горных работ);

– проектные границы разноса бортов карьера или разреза как в плане, так и на глубину разработки;

– границы участков нарушенных, отработанных и рекультивированных земель (на планах поверхности и планах открытых горных работ);

– границы отвалов, хвосто- и шламохранилищ, складов плодородного слоя почвы;

– технологическая схема движения (транспортирования) минерального сырья от места добычи до выпуска готовой продукции;

– надписи, ориентирующие по сторонам света.

На топографических планах поверхности (обзорных) в масштабе не мельче 1:25000 показываются жилые и промышленные здания и сооружения, объекты наземных и подземных коммуникаций, водоемы, устья действующих и ликвидированных выработок, границы горного и земельного отводов, контуры разведанных запасов.

На схемах вскрытия месторождения показываются:

– пересеченные вскрывающими выработками пласты, рудные тела, залежи и вмещающие породы;

– основные выработки, определяющие характер вскрытия месторождения (стволы, штольни, квершлаги, уклоны, гезенки и др.);

– абсолютные отметки устьев стволов шахт и скважин, околоствольных дворов и горизонтов, сетки высот (на вертикальной проекции).

На погоризонтных планах горных работ показываются:

– контуры пласта, рудного тела, углы его падения и простирания;

– технические границы по проекту;

– границы отработки на планируемый период и фактические границы отработки;

– границы блоков, камер, целиков с указанием их номеров и среднего содержания или зольности полезного ископаемого, мощности пласта, контуры очистной выемки и погашенных участков, границы безопасного ведения работ;

– устья выработок, вскрывающих месторождение, капитальные, подготовительные, нарезные и погашенные выработки;

– линии разрезов, прилагаемых к планам.

На сводных планах горных работ показываются:

– технические границы по проекту;

– границы горного и земельного отводов;

– границы отработки на планируемый период и фактические границы отработки;

– основные формы рельефа земной поверхности на площади горного отвода и основные элементы ситуации поверхности;

– охраняемые здания, сооружения и объекты, контуры предохранительных целиков, границы зон вредного влияния горных работ на земную поверхность;

– главные разведочные, горнокапитальные и другие выработки, дающие общую картину горных работ;

– основные тектонические нарушения, линии разрезов и проекций, а также отметки горизонтов горных работ;

– способы погашения выработок;

– места образования провалов на земной поверхности и прорыва плывунов.

На вертикальных разрезах показываются:

– технические границы по проекту;

– границы горного и земельного отводов;

– границы отработки на планируемый период и фактические границы отработки;

– стволы шахт и скважин, штольни, квершлаги, восстающие, а также основные выработки отдельных горизонтов, рудных тел, залежей;

– номера эксплуатационных блоков, лав, камер, целиков и характеризующих их данные;

– контуры пласта, рудного тела, углы их падения и углы падения выработок, контуры очистной выемки и погашенных участков, границы безопасного ведения горных работ, отметки устьев выработок и др.

На геологические планы и разрезы наносятся основные горные выработки и скважины, характеризующие направление геологоразведочных работ и эксплуатационной разведки.

При наличии перерабатывающих производств прилагается схема переработки минерального сырья (проектная и фактическая), схема цепи аппаратов, схема опробования и контроля технологических процессов по переработке минерального сырья (при раздельной переработке – по каждому сорту или виду сырья).

1.3.4. Табличные материалы планов горных работ

Материалы годовых планов включают таблицы:

– состояния и движения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых по состояния на начало планируемого периода и ожидаемого на конец этого периода (при добыче твердых полезных ископаемых);

– основных показателей по плану горных работ на планируемый период и ожидаемых на конец текущего года (план-факт);

– потерь и разубоживания за текущий год (план-факт) и на планируемый период по выемочным единицам (при добыче твердых полезных ископаемых);

– потерь минерального сырья при переработке (при наличии перерабатывающих производств);

– состояние и движение отходов добычи и переработки минерального сырья;

– пустот выработанного пространства при добыче с закладкой выработанного пространства и план погашения (закладки) их на планируемый период;

– объемов (бурения, проходки) эксплуатационно–разведочных работ (при разработке месторождений твердых полезных ископаемых);

– объемов заказчика (агентов) в системах поддержания пластового давления по каждой залежи (при добыче нефти);

– движения фонда скважин (при добыче нефти и газа).

1.3.5. Пояснительная записка планов горных работ

В пояснительной записке годового плана приводятся сведения:

– о новых геологических данных, обеспеченности запасами на начало планируемого периода, а при разработке месторождения твердых полезных ископаемых – запасами по их подготовленности к отработке (вскрытыми, подготовленными и готовыми к выемке по норме и фактически);

– наличии временно неактивных запасов, причинах их образования и намечаемых сроках их погашения (при разработке месторождений твердых полезных ископаемых);

– применяемых системах разработки, их удельном весе в объеме годовой добыче;

– выполнении ранее согласованных годовых планов по извлечению запасов полезных ископаемых, а также мероприятий по охране недр, промышленной и экологической безопасности;

– технико–экономических расчетах показателей планируемых нормативов потерь при добыче и переработке минерального сырья;

– состоянии вентиляционного хозяйства и обеспеченности отдельных участков и в целом рудника или шахты требуемым количеством воздуха на начало и конец планируемого периода (при подземных работах);

– мероприятиях по улучшению использования и охраны недр в планируемом году, а также по промышленной и экологической безопасности;

– состоянии горных работ, в том числе горно-капитальных;

– наличии опорного и съемочного обоснования, видах и сроках работ по маркшейдерскому и геологическому обеспечению горных работ;

– фактической обеспеченности планируемых горных работ маркшейдерскими и геологическими кадрами и их техническом оснащении;

– выполненных и намечаемых направлениях и объемах рекультивации нарушенных горными работами земель;

– технической обоснованности расчетов платежей при пользовании недрами;

– выполненных и намечаемых направлениях и объемах геологоразведочных работ и эксплуатационной разведки (при разработке месторождений твердых полезных ископаемых);

– выполненных и намечаемых мерах охраны подрабатываемых зданий, сооружений и объектов;

– намечаемых мероприятиях по безопасному ведению работ вблизи опасных зон;

– наличии у недропользователя лицензии на право ведения горных работ, связанных с повышенной опасностью, и на пользование недрами;

– выполнении условий лицензии на пользование недрами, включая внесение платежей при пользовании недрами, рекомендаций ГКЗ (ЦКЗ, ТКЗ) МПР России, ЦКР (ТКР) Минтопэнерго России;

– состоянии авторского надзора проектной организации за реализацией проекта, наличии у нее лицензии на право проектирования горных производств и объектов, дате составления проекта разработки месторождения и дополнений к нему;

– мероприятиях по совершенствованию технологического процесса переработки минерального сырья, обеспечивающих оптимальное извлечение полезных компонентов (при наличии перерабатывающих производств);

– организации учета количества и качества минерального сырья, поступающего на переработку и потребителю.

2. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УЧАСТКЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

2.1. Общие сведения

Основными этапами разработки плана развития горных работ, в которых непосредственное участие принимает маркшейдерская служба горного предприятия, являются:

- анализ состояния горных работ и обеспеченности запасами на начало планового периода;
- расчет плановых показателей, определение направления развития и объемов вскрышных, подготовительных, добычных и рекультивационных работ на основе планового задания по добыче полезного ископаемого и с учетом принятой технологии ведения работ;
- определение календарных сроков производства горных работ;
- определение плановых величин потерь и разубоживания полезного ископаемого;
- анализ ожидаемого состояния горных работ и обеспеченности запасами на конец планового периода.

Результаты этих работ оформляются в виде пояснительной записки, графического и табличного материала.

Пояснительная записка содержит следующие разделы:

– краткая горно-геологическая характеристика участка;

– анализ состояния горных работ на начало планового периода;

– основные плановые показатели;

– заключение.

Табличный материал включает:

– обеспеченность запасами по лавам на начало планового периода;

– характеристику работы лав;

– график ввода и вывода лав (фронт работ);

– плановые эксплуатационные потери;

– подсчет запасов на конец планового периода.

Графический материал включает:

– сводный план с контурами горных работ на начало планируемого года;

– календарный план ведения горных работ;

– сводный план с контурами горных работ на конец планируемого года.

Расчетная, графическая и пояснительная части плана развития горных работ выполняются совместно.

2.2. Краткая горно-геологическая характеристика участка месторождения

В пояснительной записке приводится краткая горно-геологическая характеристика участка месторождения, в которой указывают сведения о форме и условиях залегания угольных пластов,

мощности пласта, содержании золы, объемной массе угля, структурных показателях пласта и вмещающих пород, тектонических нарушениях.

Объемная масса угля γ, мощность пласта m и производительность пласта P определяются как средние величины для отдельно взятых участков шахтного поля, где предполагаются горные работы.

Значение объемной массы угля принимают по данным лабораторного определения.

Мощность угольных пластов в районе будущих горных работ может быть определена на основании:

– замеров мощности пласта по уже пройденным очистным и подготовительным выработкам;

– известных мощностей при отработке пласта на верхних горизонтах и экстраполяции их на нижележащие невскрытые горизонты;

– данных по геологоразведочным скважинам в районе будущих работ.

Различают общую, полезную и товарную (вынимаемую) мощности угольного пласта. Полезная мощность пласта равна общей мощности за вычетом мощности прослоек «пустых» пород в пласте угля. Товарная мощность это мощность угольного пласта, извлекаемая при добыче (зависит от технических характеристик средств механизации горных работ).

По разнице общей и товарной мощностей пласта определяют мощность оставляемых угольных пачек, которые относятся впоследствии к потерям по мощности.

Производительность пласта это количество угля в тоннах, которое можно получить при разработке с одного квадратного метра площади пласта. Ее подсчитывают по формуле

$$P_i = m_{\text{Т}} * \gamma \, , \qquad (2.1)$$

где $m_{\text{Т}}$ – товарная мощность пласта (слоя), м; γ – объемный вес угля, т/м^3.

Исходные данные к выполнению практического задания

Для практического задания по планированию развития подземных горных работ в качестве примера взят участок угольного месторождения, представляющего собой одиночный пласт угля со следующими параметрами:

- угол падения пласта – 40-45˚;
- зольность товарного угля – 39 %;
- мощность пласта: общая – 1,5 м; полезная – 1,4 м; товарная – 1,3 м;

объемная масса - 1,5 т/м^3.

Тектонических нарушений на участке месторождения не отмечено.

При планировании развития горных работ на участке в параметры угольного пласта необходимо внести индивидуальные поправки из табл. 2.1.

Например, Иванов Петр получает следующие поправки: в мощность угольного пласта – $\Delta m = +0{,}6$; в объемный вес угля $\Delta\gamma = 0$.

Таблица 2.1

Поправки в параметры угольного пласта

Начальная буква фамилии, имени	Фамилия	Имя
	Δm, м	$\Delta\gamma$, т/м^3
А	+1,1	0
Б	+1,4	+0,1
В	+1,2	+0,1
Г	0	-0,1
Д	+0,5	-0,1
Е	+0,4	+0,1
Ж	+0,8	-0,1
З	+1,2	+0,1
И	+0,6	0
К	0	-0,1
Л	0,2	+0,1
М	+1,4	+0,1
Н	+1,1	-0,1
О	+0,6	+0,1
П	+0,7	0
Р	+0,8	+0,1
С	0	-0,1
Т	+0,2	-0,1
У	-0,1	+0,1
Ф	+1,1	+0,1
Х	+0,5	-0,1
Ц	+0,3	0
Ч	-0,2	-0,1
Ш	+0,4	+0,1
Щ	+0,5	+0,1
Э	-0,1	0
Ю	0	+0,1
Я	+0,6	-0,1

Например, Иванов Петр получает следующие поправки: в мощность угольного пласта – $\Delta m = +0,6$; в объемный вес угля $\Delta\gamma = 0$.

2.3. Анализ состояния горных работ и обеспеченности запасами на начало планового периода

На этапе анализа состояния горных работ на начало планового периода составляется маркшейдерский план участка в проекции на наклонную плоскость. На план наносится фактическое положение горно-подготовительных и очистных выработок на начало планового периода.

Для выполнения практического задания выдается индивидуальный графический материал (пример представлен на рис. 2.1).

Состояние горных работ на начало планового периода на участке следующее.

Разработка участка пласта угля ведется на двух горизонтах (100 и 200 м). На каждом горизонте отрабатываются по две лавы (№ № 114, 115 и 217, 218 соответственно). По проекту отработка лав 115 и 218 производится после завершения работ в лавах 114, 217 и проходки разрезных печей и штреков в лавах 115 и 218.

Для нашего примера параметры охранных целиков откаточных штреков приняты следующие: ширина - 20 м, длина - 80 м, высота - по общей мощности пласта. Размеры целиков у наклонных выработок (ходок, бремсберг): ширина – 10 м, длина – по всей длине выработки.

Обеспеченность предприятия запасами полезного ископаемого на данном участке представляется в виде табличного материала. Учет

запасов ведется по степени их подготовленности к выемке на начало планового периода для каждой лавы (табл. 2.2).



Рис.2.1. План горных работ по пласту «Новый» на начало года

Таблица 2.2

Обеспеченность запасами по лавам на начало года

Горизонт	Лава	Балансовые запасы, тыс. т	Промышленные запасы, тыс. т	Подготовленные запасы, тыс. т	Готовые к выемке запасы, тыс. т
200	217	64,9	47,4	47,4	47,4
	218	237,6	165,4	52,4	0
Итого		302,5	212,8	99,8	47,4
100	114	81,0	44,9	44,9	44,9
	115	225,2	156,0	49,9	0
Итого		306,2	200,9	94,8	44,9
Всего		608,7	413,7	194,6	92,3

Балансовые запасы (БЗ) определяются как произведение общей площади пласта в границах лавы S (например, S_{1234} для лавы 218 на рис. 2.1), общей мощности пласта $m_{общ}$ и объемного веса угля γ.

Промышленные запасы (ПрЗ) это часть балансовых запасов, подлежащих добыче по проекту, определяются как произведение площади пласта в границах, подлежащих отработке S (например, S_{5678} для лавы 115 на рис. 2.1), товарной мощности пласта $m_{тов}$ и объемного веса угля γ.

Подготовленные к выемке запасы (ПВЗ) это часть промышленных запасов, определяемая как произведение площади участка, где пройдены все подготовительные выработки S (например, *Sабвг* для лавы 218 на рис. 2.1), товарной мощности $m_{тов}$ и объемного веса угля γ.

Готовые к выемке запасы (ГВЗ) это часть подготовленных к выемке запасов, определяемая как произведение площади участка лавы, где пройдены все необходимые подготовительные и нарезные выработки S (например, $S_{АБВГ}$ для лавы 217 на рис.2.1), товарной мощности $m_{тов}$ и объемного веса угля γ.

2.4. Расчет основных плановых показателей, планирование направления развития, объемов и календарных сроков производства горных работ

Все планируемые работы должны быть увязаны в объемах, во времени и пространстве.

Для рассматриваемого примера приняты следующие исходные данные:

- выемка угольной массы осуществляется узкозахватным комбайном 1К101У с шириной захвата 0,8 м;
- режим работы шахты – 6 - дневная рабочая неделя, число рабочих дней в году – 305.

Результаты расчета основных плановых показателей сводят в таблицы «Характеристика работы лав» (табл. 2.3) и «График ввода и вывода лав (фронт работ)» (табл. 2.4).

Необходимые геометрические параметры горных выработок на участке планирования горных работ определяются непосредственно по маркшейдерским чертежам (см. рис. 2.1).

Линия забоев

При разработке угольных месторождений в отчетных и плановых показателях различают очистную и подготовительную линии забоев или фронт работ.

К очистным забоям относятся забои лав, уступов, полос, заходок, коротких столбов, камер, щитовые забои и забои горизонтальных и поперечнонаклонных слоев.

К подготовительным угольным забоям относят забои выработок, проводимых по углю: бремсберги, уклоны, штреки, ходки, просеки, разрезные и вентиляционные печи и гезенки.

Линия забоев определяется только по угольным забоям.

Под очистной линией забоев понимают длину лав в плоскости пласта (расстояние вдоль забоя между выработками или целиками, оконтуривающими забой).

Талица 2.3

Характеристика работы лав

Год, число дней	Номер лавы	Угол падения пласта	Мощность пласта, м			Зольность, %	Объемный вес, т/м^2	Производительность пласта, т/м	Ср. длина лавы, м	Линия забоя, м	Площадь выемки, м	Подвигание, м	Среднесут. добыча, т	Добыча за год, т	Кол-во раб. дней	Среднегод. кол-во забоев
			общая	полезная	товарная											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
								6*8		10*17	15:9	12:10		14*16		16:1
2005	217	40-45	1,5	1,4	1,3	39	1,5	2,0	160	65,6	28272	177	456	56544	124	0,41
305	218		1,5	1,4	1,3	39	1,5	2,0	160	94,4	41268	258		82536	181	0,59
	Итого										69540	435		139080	305	1,00
	114	40 -45	1,5	1,4	1,3	39	1,5	2,0	160	57,6	24852	155		49704	109	0,36
	115		1,5	1,4	1,3	39	1,5	2,0	160	102,4	44688	279		89376	196	0,64
	Итого										69540	435		139080	305	1,00
	Всего										139080	869		278160		

Таблица 2.4

График ввода и вывода лав (фронт работ)

Номера лав	Фронт работ											
	на 01.02.05	на 01.03.05	на 01.04.05	на 01.05.05	на 01.06.05	на 01.07.05	на 01.08.05	на 01.09.05	на 01.10.05	на 01.11.05	на 01.12.05	на 01.01.06
217	36	36	36	36	28							
218	(60+80)	(60+80)	(60)		8	36	36	36	36	36	36	36
114	36	36	36	36	16							
115	(60+80)	(60+80)	(60)		20	36	36	36	36	36	36	36

Примечание: 36 п.м./ месяц – среднедействующая очистная линия забоя (произведение суточного подвигания забоя на количество рабочих дней в месяце). Скорость проходки разрезной печи принимается 80 п.м./месяц, а штрека – 60 п.м./месяц.

Подготовительная линия угольных забоев определяется как ширина поперечного сечения выработок по углю, работающих в течение планового периода.

Например, по лаве 217:

действующая очистная линия 1/160,

действующая подготовительная 0/0,

всего 1/160.

В числителе указывается общее количество забоев по углю, в знаменателе их длина в метрах.

При планировании составляют график ввода лав с указанием количества и длины среднедействующих очистных и подготовительных забоев.

Плановая скорость подвигания очистных и подготовительных забоев

Подвигание забоя за один цикл определяется средствами механизации и организации работ. Например, в забое работает комбайн – 1К101У с захватом шириной 0,8 м. Организация работ – два цикла в сутки. Подвигание забоя за один цикл $l_{ц} = 0{,}8$ м.

Суточное плановое подвигание очистного забоя определяют по формулам

$$L_{сут} = N_{ц} \cdot l_{ц}, \qquad (2.2)$$

где $N_{ц}$ – норматив цикличности.

Норматив цикличности это плановое число циклов, подлежащее выполнению в плановом периоде в конкретных горно-геологических условиях. Величину его определяют по формуле

$$N_{ц} = k_{ц} \cdot t_{у} \cdot n_{ц}, \qquad (2.3)$$

где $k_ц$ – коэффициент цикличности; учитывает горно-геологические и технические условия работы и принимается не более 0,9 (чем труднее геологические условия и больше длина забоя, тем меньше $k_ц$); $t_у$ – продолжительность планового периода или число рабочих дней ($t_у$ = 1, т. е. одни сутки); $n_ц$ – число циклов в сутки, которое может быть выполнено в данном забое($n_ц$ = 2).

$N_ц$ =0,9 · 1 · 2= 1,8;

$L_{сут}$= 1,8 · 0,8= 1,44 м.

Площадь выемки за сутки рассчитывается как произведение суточного подвигания забоя $L_{сут}$ на среднедействующую длину линии забоя за сутки $a_{ср.д}$.

$$F = a_{ср.д} \cdot L_{сут}, \qquad (2.4)$$

где $a_{ср.д}$- среднедействующая длина лавы; $L_{сут}$ – суточное подвигание забоя, м.

F = 160 х 1,44 = 230,4 м^2.

Тогда плановую добычу угля из очистного забоя за сутки определяют по формуле

$$D_{сут} = F \cdot p \cdot c, \qquad (2.5)$$

где F – площадь выемки пласта, м^2; p – производительность пласта, т/м^2; c – коэффициент извлечения, учитывающий потери отбитого угля в забое (c = 0,99).

$D_{сут}$ = 230,4 · 2,0 · 0,99 = 456,2 т.

Таким образом, добыча за год составит:

$$D_{год} = D_{сут} \cdot N_{раб}, \qquad (2.6)$$

где $D_{сут}$ – суточная добыча, т; $N_{раб}$ – количество рабочих дней в году.

$D_{год} = 456{,}2 \cdot 305 = 139141$ т.

Расчет показателей по подготовительному забою производится аналогично очистному забою.

Общая добыча вычисляется по формуле

$$D_{общ} = D_{о} + D_{п}. \qquad (2.7)$$

Все полученные данные заносятся в табл. 2.3 и составляется Календарный план горных работ (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Календарный план горных работ по пласту «Новый»

На графическом материале участки производства горных работ планируемого года наносятся и затушевываются красным цветом с разбивкой по месяцам. Планируемые потери запасов в целиках штрихуются линиями желтого цвета.

Расчет плановых эксплуатационных потерь

В плановые эксплуатационные потери включаются:

- потери от системы разработки:

а) по площади (оставляемые в недрах целики у подготовительных выработок и очистном пространстве);

б) по мощности (теряемый при разработке уголь в почве и кровле пластов и между слоями при слоевой выемке);

- потери в охранных и барьерных целиках, если в последующем не будет производиться их выемка;

- потери по геологическим и гидрогеологическим условиям;

- потери отбитого угля (образуются вследствие неполной зачистки угля в очистных и подготовительных забоях и рассыпания угля при транспортировании от забоя до склада готовой продукции).

Потери от неправильного ведения горных работ включают: потери в целиках и пачках угля, оставляемых сверх нормативов, установленных для данной системы разработки; потери в целиках, пачках и слоях, оставленных из-за пожаров, а также потери в недоработанных участках у границ и в середине шахтного поля; потери в подработанных пластах. Такие потери проектом не планируются. Их учет ведется уже в процессе разработки.

Расчет плановых потерь ведется по пластам, участкам и шахте, причем раздельно по системам разработки. Для этого используются

планы горных работ, структурные колонки по пластам, геологические разрезы. Рассчитанные данные заносятся в таблицу (2.5).

На планах горных работ теряемые целики у подготовительных выработок обычно закрашиваются желтым цветом. Потери по площади вычисляются по формуле

$$П_п = S_ц \cdot m_{тов} \cdot \gamma, \qquad (2.8)$$

где $S_ц$ – площадь всех целиков, м^2; $m_{тов}$ – товарная мощность угля, м; γ – объемный вес угля, т/м^3;

Потери по мощности

$$П_м = S \cdot (m_{общ} - m_{тов}) \cdot \gamma, \qquad (2.9)$$

где S – площадь добытых запасов, м^2; $m_{тов}$ – товарная мощность угля, м; $m_{общ}$ – общая мощность угля, м; γ – объемный вес угля, т/м^3;

Потери отбитого угля принимаются 0,3 % от добычи.

Эксплуатационные потери определяются как сумма всех видов потерь. Потери по геологическим и гидрогеологическим причинам, а также потери в охранных и барьерных целиках в данной работе не предусмотрены.

2.5. Состояние горных работ и обеспеченность запасами на конец планового периода

В завершающем этапе планирования горных работ заполняют таблицу обеспеченности запасами (табл. 2.6) план состояния горных работ на конец планового периода (рис. 2.3).

Таблица 2.5.

Плановые эксплуатационные потери

Лава	Добыча, т	Эксплуатационные потери		в том числе								
				от системы разработки			по геологическим и гидрогеологическим причинам		в охранных и барьерных целиках		потери отбитого угля	
				всего	из них							
		т	%	т	по площади, т	по мощности, т	т	%	т	%	т	%
217	56544	14752	26,1	14582	6100	8482	-		-		170	0,3
218	82536	21528	26,1	21280	8900	12380	-		-		248	0,3
114	49704	32905	66,2	32756	25300	7456	-		-		149	0,3
115	89376	33974	38,0	33706	20300	13406	-		-		268	0,3
Всего	278160	103159	37,1	102324	60600	41724	-		-		835	0,3

Таблица 2.6.

Подсчет запасов на конец планового периода

Горизонт	Лава	Балансовые запасы, тыс. т	Промышленные запасы, тыс. т	Подготовленные запасы, тыс. т	Готовые к выемке запасы, тыс. т
200	217	0	0	0	0
200	218	131,7	91,8	91,8	91,8
Итого		131,7	91,8	91,8	91,8
100	114	0	0	0	0
100	115	118,8	75,5	75,5	75,5
Итого		448,8	75,5	75,5	75,5
Всего		250,5	167,3	167,3	167,3



Рис. 2.3. План горных работ по пласту «Новый» на конец года

3. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

3.1. Общие сведения

Работа по составлению годового плана развития горных работ включает проведение расчетов, составление пояснительной записки и оформление графического материала.

Пояснительная записка содержит следующие разделы:

– краткая горно-геологическая характеристика участка;

– анализ состояния горных работ на начало планового периода (остатки балансовых, вскрытых и готовых к выемке запасов);

– основные плановые показатели по добыче руды и горно-подготовительным работам;

– составление годового плана развития горных работ;

– заключение.

Графический материал включает:

– сводный план с контурами горных работ на начало планируемого года;

– погоризонтные планы горных работ;

– поперечный и продольный разрезы;

– сводный план с контурами горных работ на конец планируемого года.

В процессе подготовки и составления годового плана развития горных работ маркшейдерская служба предприятия выполняет следующие основные работы:

– подготавливает материалы о выполнении плана горных работ на текущий год и делает их анализ;

– выполняет съемку фактического состояния горных работ и пополняет графический материал;

– на оставшееся время, в соответствии с планом, рассчитывает ожидаемые объемы добычи полезного ископаемого и горно-подготовительных работ;

– наносит на планы ожидаемое выполнение объемов добычи рудной массы и горно-подготовительных работ;

– отстраивает на погоризонтных планах ожидаемые контуры горных работ на 1 января планируемого года.

Перечисленные мероприятия являются исходной информацией для целей планирования горных работ.

3.2. Краткая горно-геологическая и технологическая характеристика участка месторождения

В этом разделе приводится информация о геометрических параметрах и элементах залегания залежи полезного ископаемого (форма залежи, ее падение, простирание, мощность, глубина залегания), качественных показателях полезного ископаемого (среднее содержание полезного компонента, плотность рудной массы), указываются характеристики условий разработки (система

разработки залежи, оборудование, с помощью которого осуществляется погрузка и транспортировка руды и пустой породы).

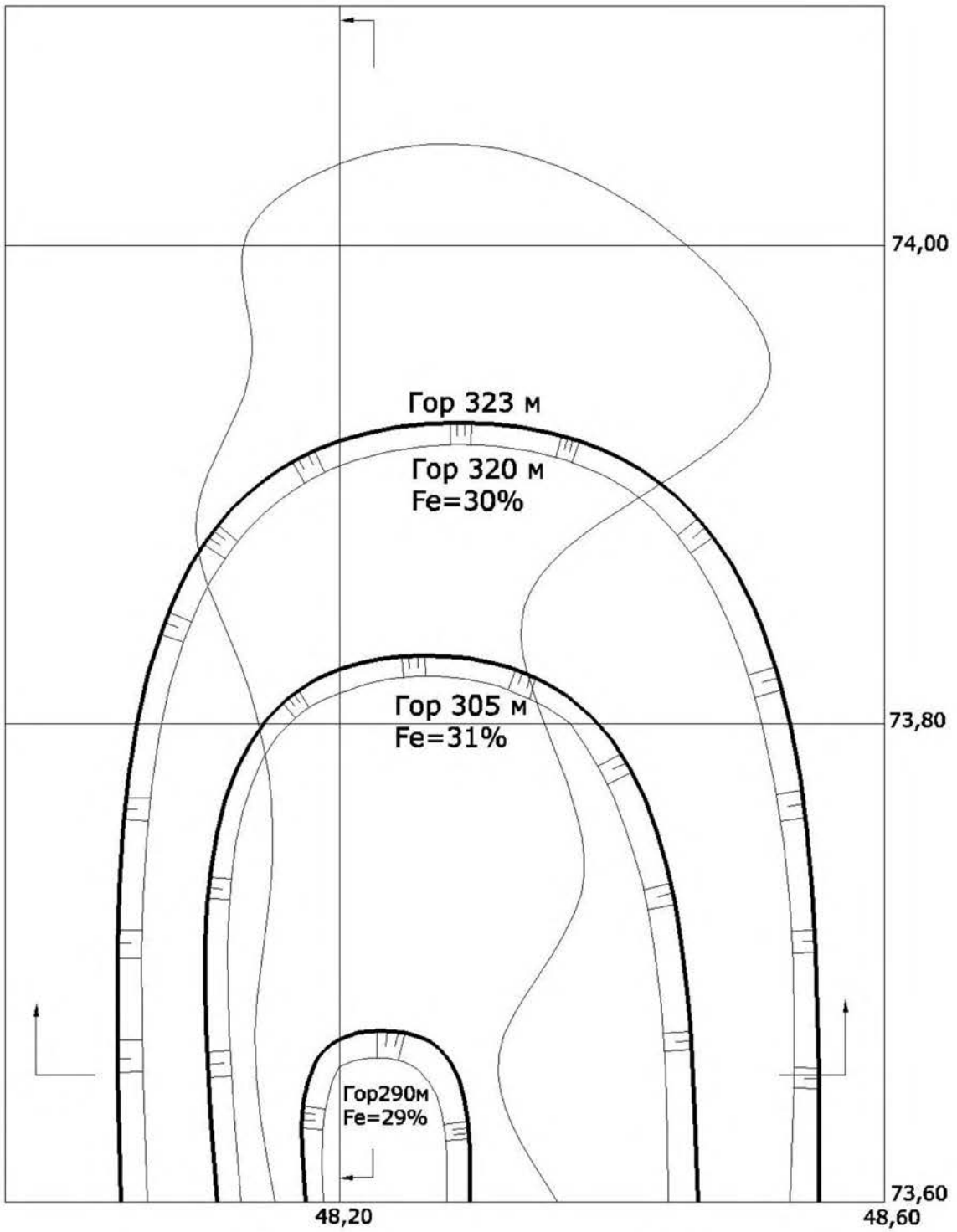
Северный участок железорудного месторождения представлен залежью неправильной формы. На верхних горизонтах она залегает вертикально, а с глубины 50 м наблюдается ее восточное падение. Залежь простирается в меридианальном направлении, мощность колеблется от 100 до 300 м. Залежь разведана до глубины 500 м. Среднее содержание железа на верхних горизонтах составляет 25-27 %. Плотность рудной массы – 3,2 т/м^3, вмещающие породы скальные, их плотность 2,8 т/м^3. На поверхности залежь покрыта наносами мощностью 3 м. Эти рыхлые отложения имеют плотность 2 т/м^3.

Разработка залежи ведется открытым способом.

Северный участок вскрыт системой железнодорожных съездов, расположенных на юго-западном борту карьера. Отработка залежи ведется горизонтальными слоями высотой 15 м, с применением буровзрывных работ. Погрузка руды и пустой породы осуществляется тремя экскаваторами ЭКГ -4,6 м^3. Транспортировка горной массы осуществляется железнодорожным транспортом нормальной колеи.

Положение горных работ на участке на начало планового периода, представляется на сводном и погоризонтных планах горных работ (Рис. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

Для выполнения практического задания выдается индивидуальный графический материал (пример представлен на рис. 3.1).



Сводный план горных работ на 01.01.17г.
1:2000

Рис. 3.1. Состояние горных работ на начало планируемого периода

3.3. Анализ состояния горных работ на начало планового периода

Состояние горных работ определяется наличием горно-транспортного оборудования, фронтом работы и количеством запасов, подготовленных для промышленного освоения на планируемый год (остатки балансовых, промышленных, вскрытых, подготовленных к добыче). Табл.3.3.

Балансовые (экономические) запасы, это запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам, экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

Промышленные запасы – часть балансовых запасов, которая подлежит извлечению из недр по проектам или планам развития горных работ. Определяются путем исключения из балансовых запасов проектных потерь. В нашем примере все балансовые запасы являются и промышленными.

Вскрытые запасы – часть промышленных запасов предприятия, освобожденные от покрывающих пустых пород или обнаженные в следствие естественных условий залегания, для разработки которых пройдена въездная траншея для транспорта, скипового подъемника, конвейера и выполнены горно-капитальные работы, предусмотренные техническим проектом. Вскрытые запасы ограничены: сверху – поверхностью полезного ископаемого,

обнаженной в следствие выполненных горных работ или естественных условий залегания; снизу – горизонтом, на который пройдена въездная траншея; со стороны добычных работ – обнаженными поверхностями откосов уступов; со стороны массива полезного ископаемого – поверхностями, построенными от границ верхней обнаженной поверхности залежи под углами откосов уступов и с учетом размеров предохранительных берм, предусмотренных техническим проектом.

Подготовленные запасы – запасы уступов (из числа вскрытых) с обнаженной верхней и боковой поверхностями, для разработки которых выполнены горно-подготовительные работы, предусмотренные техническим проектом или планом развития горных работ. Подготовленные запасы ограничены: сверху – верхней обнаженной поверхностью уступа; снизу горизонтом подошвы уступа; со стороны добычных работ – обнаженной поверхностью откоса уступа; со стороны массива полезного ископаемого – поверхностью, построенной от границ предохранительной бермы вышележащего уступа под углом откоса, предусмотренным техническим проектом.

Роль вскрытых запасов заключается в обеспечении независимости добычных и вскрышных работ, подготовленные запасы обеспечивают независимое подвигание смежных уступов, готовые к выемке запасы обеспечивают независимость отдельных процессов по добыче полезного ископаемого.

Для расчета подготовленных запасов предохранительные бермы принимаются для верхнего рудного горизонта 3 м, для нижних рудных – 30 м.

Границы вскрытых (ВЗ) и подготовленных запасов (ПЗ) отмечаются на погоризонтных планах и разрезах.

Подсчет запасов ведется на погоризонтных планах одним из методов:

– геологических блоков;

– эксплуатационных блоков;

– геологических разрезов;

– объемной палетки Соболевского.

Обеспеченность предприятия остатками вскрытых и подготовленных запасов ($N_в$, $N_п$) в месяцах определяется по формулам

$$N_В = (РМ_{вз}/D) \cdot 12; \qquad (3.1)$$

$$N_П = (РМ_{пз}/D) \cdot 12\ , \qquad (3.2)$$

где $РМ_{вз}$, $РМ_{пз}$ – остатки вскрытых и подготовленных запасов на начало планируемого года;

D – годовой план добычи в пересчете на балансовые запасы;

12 – число месяцев в году.

Например.

На начало планового периода Северный участок обеспечен запасами

$N_В = 1896 / 2300 \cdot 12 = 10$ мес.;

$N_П = 1547 / 2300 \cdot 12 = 8$ мес.

3.4. Основные плановые показатели по добыче полезного ископаемого

Исходя из потребности в минеральном сырье, состояния горных работ, наличия горно-транспортного оборудования, его производительности и остатков запасов, подготовленных для промышленного освоения, руководство предприятия определяет основные плановые показатели для годового планирования горных работ. В рассматриваемом примере план по добыче рудной массы (РМ) берется в пределах 50-60% от объема остатков балансовых запасов (табл. 3.3).

Плановые показатели по объемам горно-подготовительных работ получают в результате расчетов при планировании (табл.3.1).

Например, для данного участка основные плановые показатели по добыче составляют:

рудная масса (РМ) – 2300 тыс.т.;

горно-подготовительные работы [ГПР] – 2955 тыс.т.;

горная масса (ГМ = РМ + ГПР) – 5255 тыс.т.

Количество подготовленных запасов на конец планового периода должно обеспечить работу предприятию на определенное количество месяцев; это число рассчитывается по формуле (3.2).

Основные направления развития горных работ должны соответствовать направлениям, принятым в техническом проекте.

При отработке приконтактной зоны норма потерь на 1 пог.м. должна составлять не более 3,5 %, разубоживания – 2,5 %.

3.5. Распределение объемов добычи горной массы по горизонтам

Распределение объемов добычи горной массы по горизонтам производят с учетом остатков подготовленных запасов, производительности экскаваторов их количества и качества руды. Сначала распределяют объемы в целом по горизонтам, а затем, после составления графика работы экскаваторов, по блокам горизонта.

Для нашего примера горные работы на участке ведутся в северном направлении на горизонтах 320, 305 и 290 м. На верхнем горизонте 323 м лежит слой рыхлых наносов мощностью 3 м, которые необходимо снять без взрывных работ в летний период. Нижние горизонты сложены скальными породами и рудой.

На участке имеются три экскаватора ЭКГ -4,6 м^3. Производительность экскаваторов с учетом коэффициента их использования составляет на горизонтах 320, 305 м – 1800 тыс. т, на нижнем горизонте 290 м – 1600 тыс. т.

В плане развития горных работ принимается, что на горизонте 290 м целый год будет работать экскаватор № 1, два экскаватора № 2 и 3 на горизонте 305 м. Для снятия наносов экскаватор № 2 в летний период переводится на горизонт 320 м.

Нарезка объемов выемки руды и горно-подготовительных работ на погоризонтных планах должна вестись с таким расчетом, чтобы обеспечить: выполнение планового задания; фронт работы

экскаваторов (с учетом их производительности) и подготовку запасов на начало работы следующего года.

Рассмотрим последовательность планирования горных работ на примере, приведенного участка железорудного месторождения:

1. Планирование горных работ, по выполнению плана по добыче и вскрыше (горно-подготовительные работы), начинают вести с нижнего горизонта до верхнего вскрышного горизонта. Подготавливают графический материал по каждому планируемому горизонту – планы горных работ, на которых отображают фактическое состояние горных работ, границы вскрытых и подготовленных запасов, для дальнейшего подсчета их остатков (табл. 3.3).

2. Нарезку объемов добычи рудной массы (РМ), горно-подготовительных работ (ГПР) и горной массы (ГМ) начинаем с нижнего горизонта – 200 м. Принимая во внимание, что на данном горизонте в течение года будет работать один экскаватор с производительностью 1600 тыс. т по горной массе и имеющиеся остатки подготовленных запасов (табл. 3.3) намечают плановый контур горных работ на конец планируемого года так, чтобы максимально выполнить план по добыче руды. В пределах установленного контура подсчитывают объемы по рудной массе (РМ), вскрыше (ГПР) и суммарный баланс горной массы (ГМ), который должен соответствовать производительности экскаватора на данном горизонте-1600 тыс. т. Поскольку планируемый контур устанавливается методом приближения, то возможно отклонение

величины ГМ от производительности в сторону увеличения или уменьшения не более чем на 5%.

3. Аналогичный порядок планирования производится на следующем вышележащим горизонте 305 м. В отличие от нижнего горизонта (290 м.) объем добычи на гор. 305 м. будет равен разнице принятого планом объема добычи на год- 2300 тыс.т. и запланированным объемом добычи рудной массы нижележащего горизонта-1000 тыс.т., т.е. объем добычи на этом горизонте будет известен заранее и будет равен-1300 тыс.т.. Остается подсчитать объемы вскрышных работ (ГПР) при разносе бортов и подсчитать объемы добычи горной массы (ГМ). Поскольку на данном горизонте работают два экскаватора, то и объемы (ГМ) расписываются по каждому отдельно. При этом один из экскаваторов №3 нагружается полностью до его производительности 1800 тыс. т, а второй №2 по остаточному принципу. Цифры по объемам добычи выписывают на план данного горизонта.

4. При планировании горных работ верхнего рудного горизонта (в нашем случае гор. 305 м), контур отработки «залезет» под границы существующего вскрышного горизонта. Для обеспечения плана добычи на гор. 305 м необходимо будет произвести вскрышные работы на гор.320 м. высота наносов, которых составляет 3 м. Объемы вскрышных работ (ГПР) должны обеспечить прирост рудной массы на величину, равную необходимой добыче на данном горизонте и имеющихся остатков подготовленных запасов, но не более остатков объемов производительности экскаватора №2 горизонта 305 м, т.е. объемы по вскрыше гор. 320 м

будут ≤ остатку производительности экскаватора №2, осуществляющего добычу на гор. 305 м. В нашем примере эта цифра по ГПР не должна превышать величины 355 тыс. т, что соответствует остатку производительности экскаватора № 2. Все результаты по планированию рудной массы (РМ), горно-подготовительных работ (ГПР) и горной массы (ГМ) фиксируются на погоризонтаных планах и заносятся в соответствующие таблицы 3.1, 3.2.

5. Графическая часть процесса планирования заканчивается созданием сводного плана горных работ на планируемый период (год), а также построением продольных и поперечных разрезов с фиксацией на них состояния горных работ на начало и конец планируемого года. Все результаты промежуточных расчетов заносятся в табл. 3.3 – «Движение запасов…» с окончательным расчетом их остатков на конец планируемого года (или на начало следующего за годом планирования), что одно и то же.

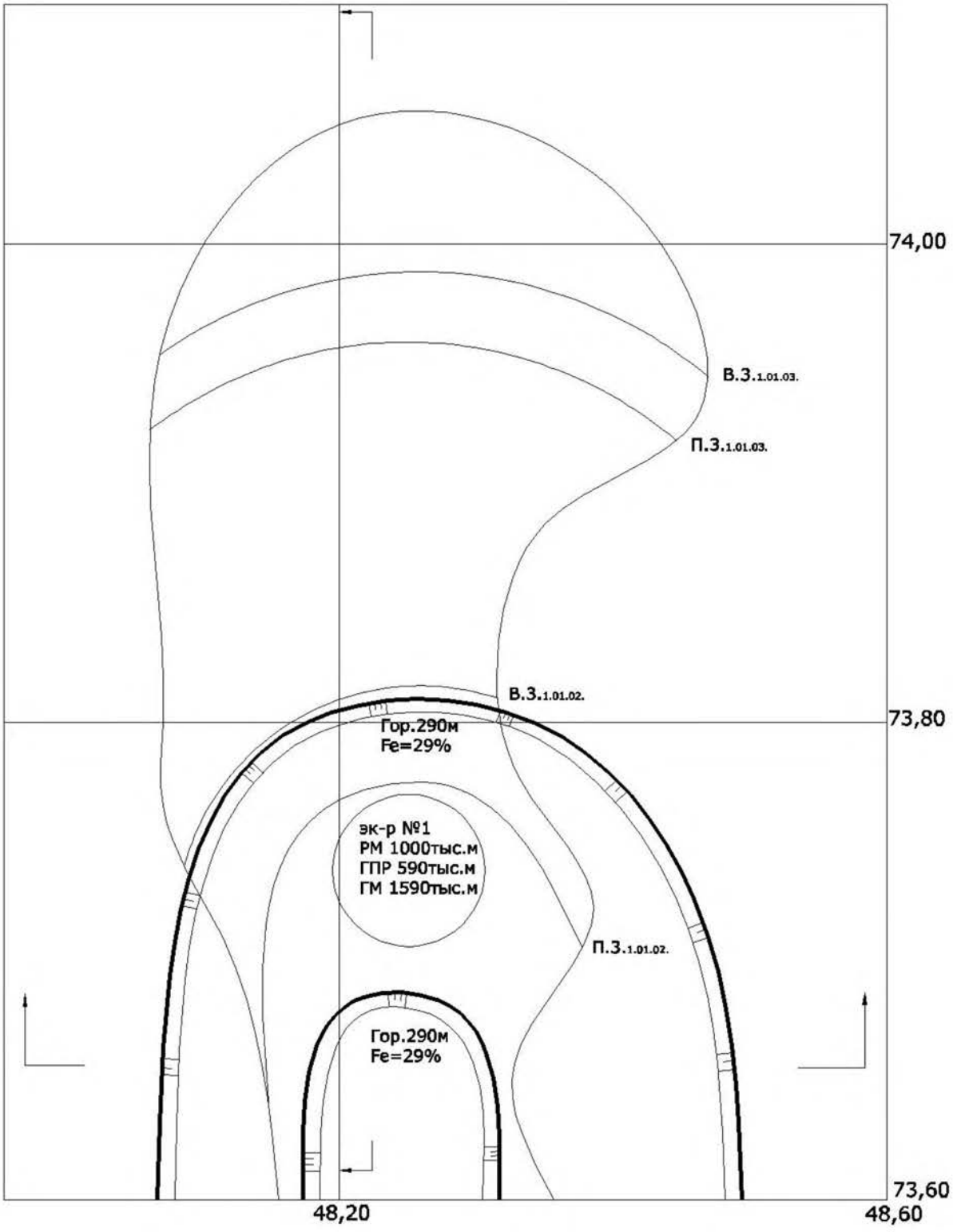
Объемы добычи руды и горно-подготовительных работ по горизонтам подсчитываются методом горизонтальных сечений (площади сечений измеряются планиметром).

Распределение объемов добычи горной массы по горизонтам и блокам заносят в таблицу 3.1, и в график работы экскаваторов(табл.3.2.

Таблица 3.1

Распределение горной массы по блокам

№ п/п	Наименование блока	Горизонт	Рудная масса, тыс.т.			Горно-подготовительные работы, тыс. т.	Горная масса, тыс. т
			РМ	%	М		
1	Северный борт	320				355	355
2	Северо-западный борт	305	635	31	197	810	1445
3	Северо-восточный борт	305	665	31	206	1200	1865
4	Итого	305	1300	31	403	2010	3310
5	Северный борт	290	1000	29	290	590	1590
	Итого		2300	30	693	2955	5255



"План горизонта 290м"
масштаб 1:2000

Рис. 3.2. Планирование горных работ на горизонте 290 м

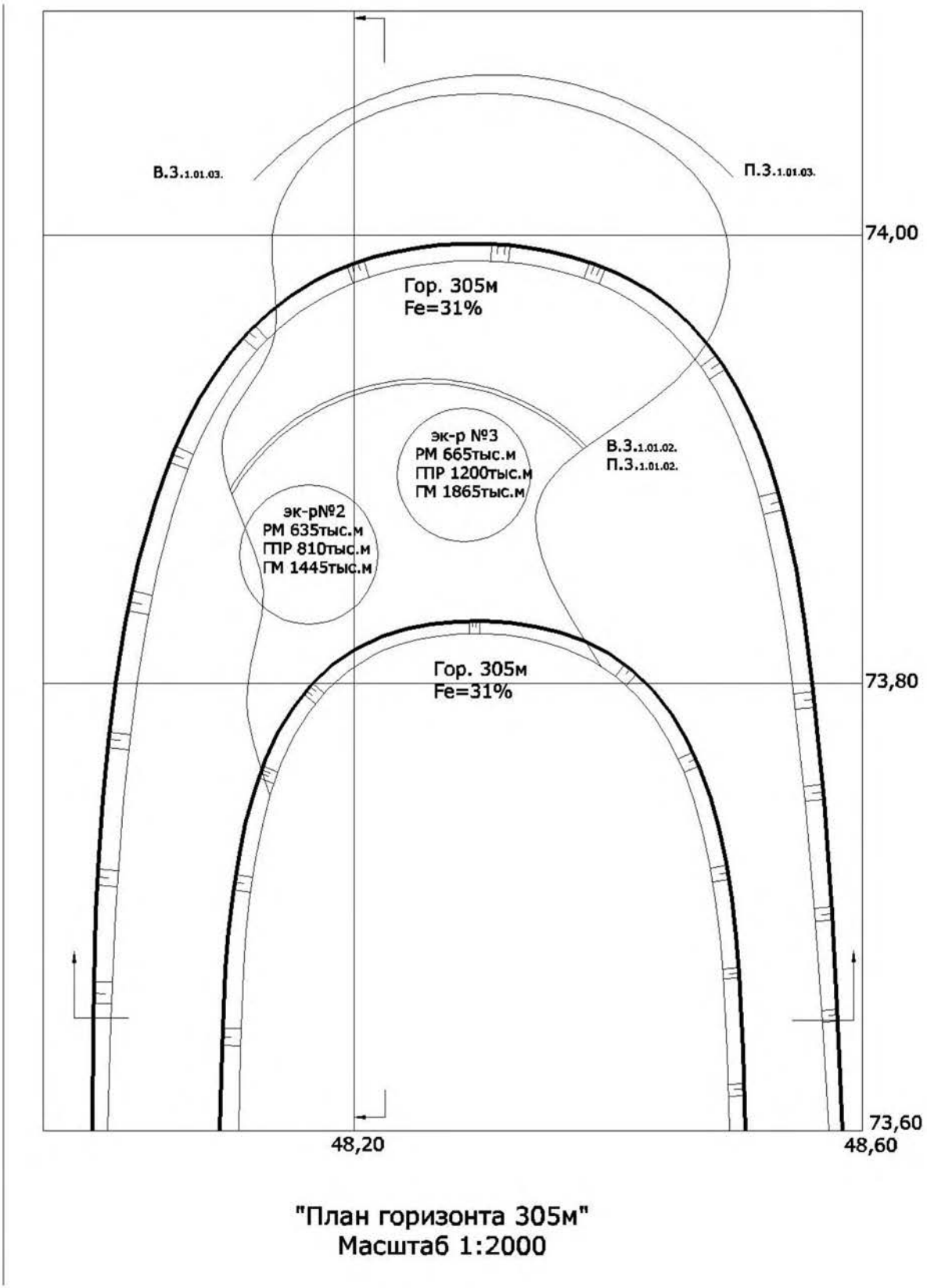


Рис. 3.3. Планирование горных работ на горизонте 305 м

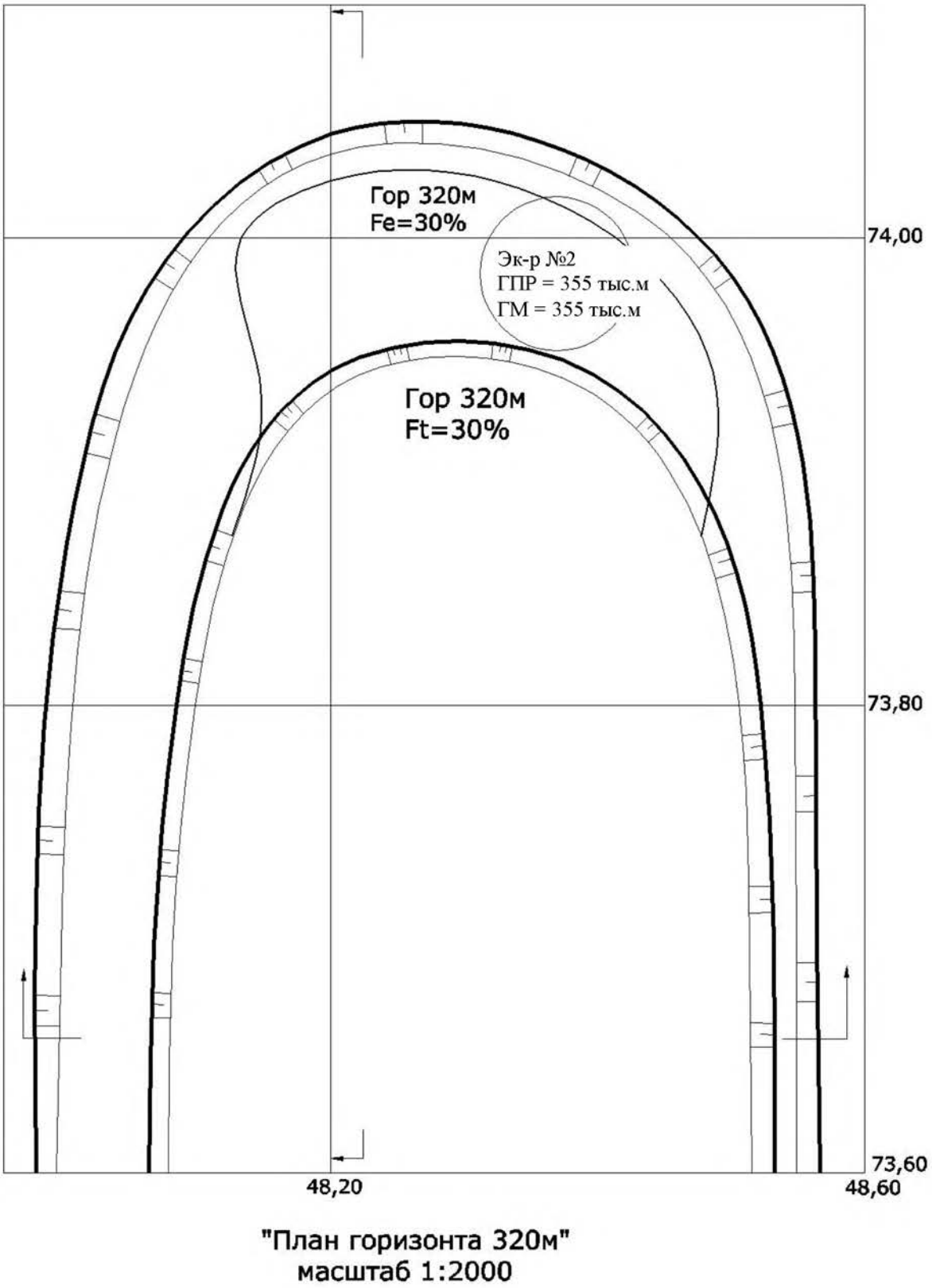
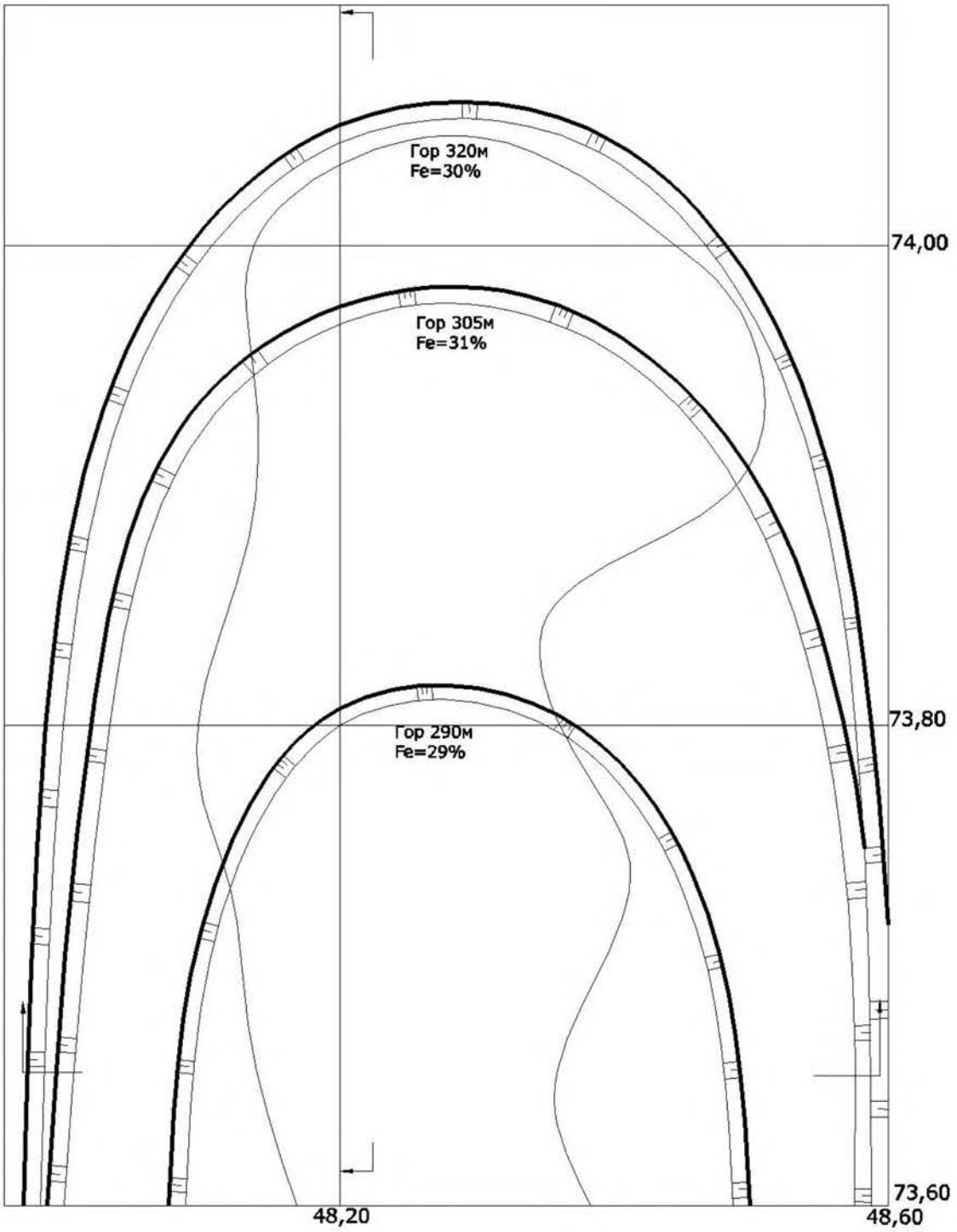


Рис. 3.4. Планирование горных работ на горизонте 320 м



Сводный план горных работ на 01.01.18г.

1:2000

Рис. 3.5. Состояние горных работ на конец планового периода

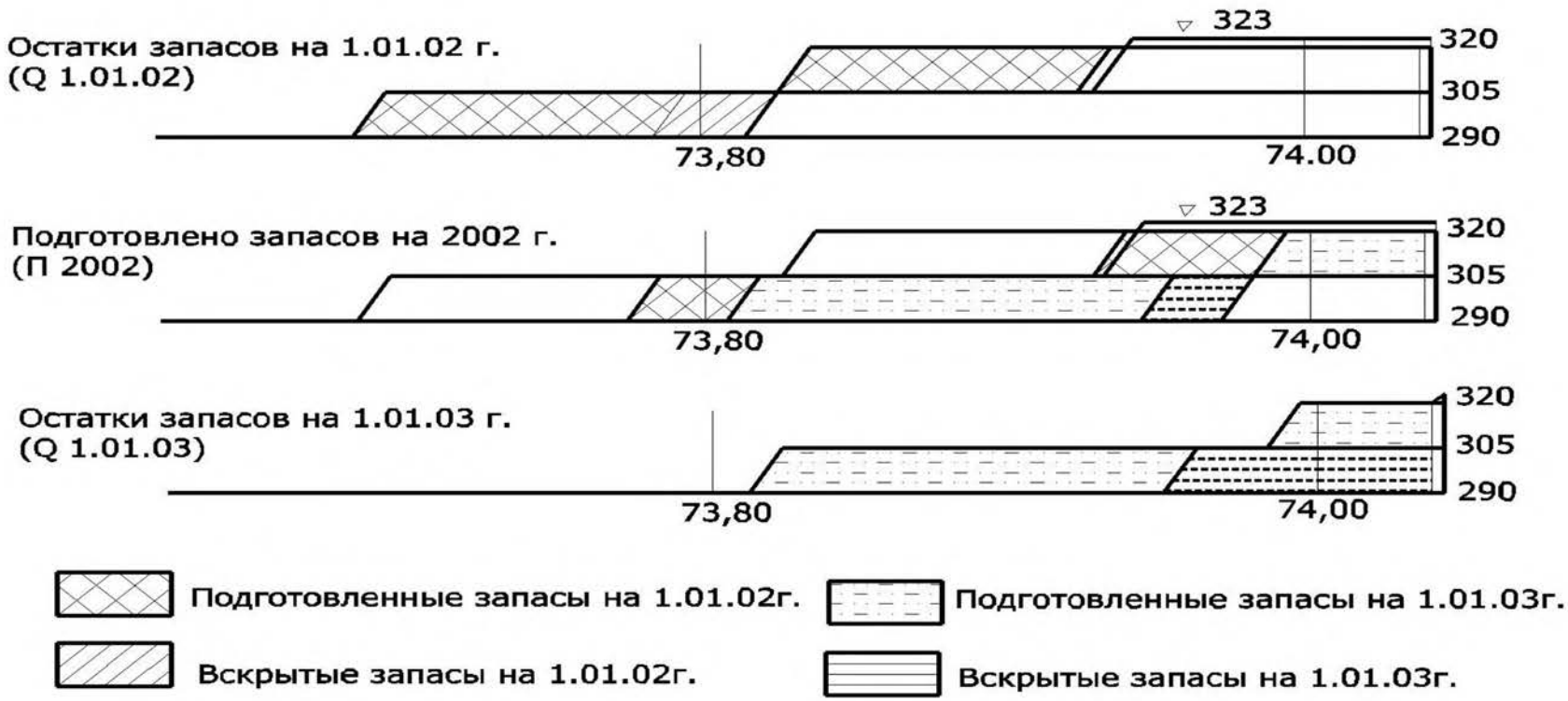


Рис. 3.6. Продольный разрез



Рис. 3.7. Поперечный разрез

3.6. Составление графика работы экскаваторов

Условиями для составления графиков работы экскаваторов являются:

– обеспечение ритмичной добычи руды и проведения горно-подготовительных работ по кварталам;

– выполнение квартальной и годовой производительности каждым экскаватором;

– выполнение запланированных объемов добычи руды и горно-подготовительных работ на каждом горизонте;

– минимальная перестановка экскаваторов по горизонтам и блокам.

Графики работы экскаваторов будут составлены правильно при условии обеспечения выполнения плановых объемов по кварталам, экскаваторам, горизонтам и блокам.

Пример графика работы экскаваторов представлен в табл. 3.2.

Объемы, выполняемые экскаваторами, выписываются на погоризонтных планах (см. рис. 3.2, 3.3, 3.4). После составления графика работы экскаваторов вычерчивается сводный план горных работ с контурами на конец планового периода (см. рис. 3.5) и продольный и поперечный разрезы (см. рис. 3.6, 3.7). Затем делается подсчет остатка балансовых, вскрытых и подготовительных запасов, обеспечивающих добычу руды в следующем году.

Таблица 3.2

График работы экскаваторов

Наименование блока	Горизонт	Номер экскаватора	Кварталы				Итого по экскаваторам		
			I	II	III	IV	РМ	ГПР	ГМ
Северный борт	320	2			[320] 320	[35] 35		355	355
Северо-западный борт	305	2	(215) [260] 475	(215) [290] 505		(205) [260] 465	635	810	1445
Северо-восточный борт	305	3	(120) [300] 420	(118) [310] 428	(309) [290] 599	(118) [300] 418	665	1200	1865
Северный борт	290	1	(240) [205] 445	(242) [170] 412	(266) [50] 316	(252) [165] 417	1000	590	1590
Итого по участку									
Рудная масса (РМ), тыс. т			575	575	575	575	2300		
Горно-подготовительные работы [ГПР], тыс. т			765	770	660	760		2955	
Горная масса (ГМ), тыс. т			1340	1345	1235	1335			5255

3.7. Движение запасов

Состояние горных работ, как на начало, так и на конец планового периода характеризуется наличием вскрытых и подготовленных запасов. Для этого от ожидаемых на конец планового периода контуров на погоризонтных планах отстраиваются предохранительные бермы и подсчитываются остатки вскрытых и подготовительных запасов на конец планируемого года.

Движение запасов наглядно видно из уравнения

$$О_к = О_н + П_г - D_г, \qquad (3.3)$$

где $О_к$, $О_н$ – остатки запасов на конец и начало плановых периодов;

$П_г$ – вскрытые или подготовленные запасы в течение планируемого года; $D_г$ – руда, запланированная к добыче в планируемом году.

Балансовые запасы определяются по результатам разведки и их пересчета

$$О_к = О_н - D_г. \qquad (3.4)$$

Величины подготавливаемых запасов в течение года можно замерить на планах или сосчитать по формуле

$$П_г = О_к + D_г - О_н. \qquad (3.5)$$

Расчет количества металла в блоках ведется по формуле

$$М = (РМ \cdot С)/100, \qquad (3.6)$$

где М – количество металла, тыс. т.; РМ – рудная масса, тыс. т.; С – содержание металла, %.

Среднее содержание металла на горизонте или участке определяется как среднее взвешенное значение, пропорциональное количеству добываемой руды. Все результаты подсчетов записываются в таблицу (табл. 3.3).

Запасы руды и металла считаются подсчитанными верно, если соблюдается условие формулы $О_к = О_н + П_г - D_г$.

3.8. Расчет величины плановых потерь и разубоживания

Нормативные показатели величин потерь и разубоживания руды устанавливаются на основе технико-экономических расчетов, возможных вариантов отработки участков месторождения. Например, нормы плановых потерь в приконтактной зоне установлены 110 т, разубоживания – 70 т на 1 пог. м контакта.

Величины потерь и разубоживания и их проценты определяются по формулам

$$П = N_n \cdot l; \qquad (3.7)$$

$$R = N_p \cdot l, \qquad (3.8)$$

где П – количество теряемой руды, т; R – разубоживающая порода, т; N_n, N_p – нормы потерь и разубоживания, т/пог. м контакта; l -длина контакта на горизонте в контурах отработки планируемого года, м.

Таблица 3.3

Движение запасов на Северном участке месторождения

Наименование блока	Горизонт, м	Остаток запасов на 01.01.02г.			Подготовлено за 2002г.			Добыто за 2002г.			Остаток запасов на 01.01.03г.		
		РМ	%	М	РМ	%	М	РМ	%	М	РМ	%	М
Балансовые запасы													
Северный участок	305	1725	31	535				1300	31	403	425	31	132
Северный участок	290	2798	29	811				1000	29	290	1798	29	521
Итого по залежи		4523	29,8	1346				2300	30,1	693	2223	29,4	653
Вскрытые запасы													
Северный участок	305	825	31	256	926	31	287	1300	31	403	451	31	140
Северный участок	290	1071	29	311	1297	29	376	1000	29	290	1368	29	397
Итого по залежи		1896	29,9	567	2223	29,8	663	2300	30,1	693	1819	29,5	537
Подготовленные запасы													
Северный участок	305	803	31	249	948	31	294	1300	31	403	451	31	140
Северный участок	290	744	29	216	1302	29	378	1000	29	290	1046	29	303
Итого по залежи		1547	30,0	465	2250	29,8	672	2300	30,1	693	1497	29,6	443

$$П = (П/РМ) \cdot 100\%; \quad (3.9)$$

$$R = [R/(РМ - П + R)]*100\% , \quad (3.10)$$

где РМ – количество добытой руды за планируемый период для каждого горизонта.

Результаты расчета величин плановых потерь и разубоживания оформляются в табличной форме (табл. 3.4).

Таблица 3.4.

Результаты расчета плановых потерь и разубоживания

Горизонт, м	Длина контакта, м	Потери, тыс. т	Разубоживание, тыс. т	Потери, %	Разубоживание, %
305	398	43,8	27,9	3,4	2,2
290	328	36,1	23,0	3,6	2,3
Итого по участку		79,9	50,9	3,5	2,2

В заключение приводятся следующие сведения:

1) состояние горных работ на начало планирования;

2) условия выполнения плана развития горных работ на планируемый год и их объемы;

3) горно-геологические особенности и состояние сырьевой базы на конец планируемого периода с анализом работы участка уже на последующий год.

Например.

На начало планового периода Северный участок обеспечен вскрытыми запасами на 10 месяцев, подготовленными – на 8 месяцев.

Плановым заданием установлены следующие объемы горных работ:

добыча рудной массы – 2300 тыс. т;

проведение горно-подготовительных работ – 2960 тыс. т.

Разработка участка месторождения ведется с использованием трех экскаваторов:

на горизонте 290 м – ЭКГ № 1, с производительностью 1600 тыс. т;

на горизонте 320 м – ЭКГ № 2, 3, с производительностью 1800 тыс. т.

В плановый период на горизонте 290 м будет добыто 1000 тыс. т рудной массы и выполнено горно-подготовительных работ в объеме 590 тыс. т; на горизонте 305 м соответственно 1300 тыс. т и 2010 тыс. т. На горизонте 320 метров будут проведены вскрышные работы в объеме 355 тыс. т.

При отработке приконтактной зоны плановые потери составят 3,47 %, а разубоживание – 2,24 %.

На конец планового периода остатки вскрытых запасов на Северном участке составят 1819 тыс.т.; подготовленных – 693 тыс. т.

Остатки вскрытых запасов обеспечат работу участку при плановой производительности в течение 8 месяцев, а подготовленных – в течение 6 месяцев.

Развитие горных работ соответствует направлениям, принятым в техническом проекте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части учебного пособия приведены основные требования к составлению, согласованию и утверждению годовых планов развития горных работ. Вторая часть учебного пособия представляет собой методические указания по планированию горных работ на участке угольного месторождения, отрабатываемого подземным способом, и на участке железорудного месторождения, отрабатываемого открытым способом.

Планирование горных работ на различных месторождениях имеет определенные особенности, но можно выделить и общие методические основы составления годовых планов развития горных работ, к которым относятся:

- анализ состояния горных работ и обеспеченности запасами на начало планового периода;
- расчет плановых показателей, определение направления развития и объемов вскрышных, подготовительных, добычных и рекультивационных работ на основе планового задания по добыче полезного ископаемого и с учетом принятой технологии ведения работ;
- определение календарных сроков производства горных работ;
- определение плановых величин потерь и разубоживания полезного ископаемого;
- анализ ожидаемого состояния горных работ и обеспеченности запасами на конец планового периода.

Годовой план является важнейшей составляющей горного производства, т. к. он определяет направление развития горных работ, объемы добычи полезного ископаемого, объемы производства геологоразведочных, рекультивационных, вскрышных и горно-подготовительных работ, а также рассматривает мероприятия по охране недр, охране окружающей среды, рациональному и комплексному использованию полезного ископаемого.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Маркшейдерская документация: Учебное пособие по курсу «Маркшейдерское дело» / Н. В. Кортев, А. Т. Леонтьев, А. В. Самарин; УГГГА. Екатеринбург, 2001.68с.

Омельченко А. Н. Справочник по маркшейдерскому делу. М.: «Недра»,1973. 487с.

Планирование горных работ при подземном способе разработки: Методические указания по курсу «Маркшейдерское дело» / И. И. Попов; Карагандинский политехнический институт. Караганда, 1980. 21с.

*Правила охраны недр (*ПБ 07 – 601 – 03).Серия 07. Выпуск 11. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. 64с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Леонтьев А.Т.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР

Методические указания к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1.Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся	5
2.Содержание курса	7
3.Перечень вопросов для проведения самопроверки и подготовки к зачету, экзамену	8
4.Содержание расчетно-графических работ	11
5.Курсовая работа	17
6.Перечень рекомендуемой литературы	19

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 под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы обучающихся является закрепление знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у обучающихся 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 обучающихся, 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 обучающихся 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 обучающихся);
- информационно-обучающую (учебная деятельность обучающихся на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества специалиста и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы обучающихся должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития обучающихся;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню обучающихся.

Содержание самостоятельной работы обучающихся представляет собой совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить обучающийся в процессе обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы для обучающихся по дисциплине «Рациональное использование и охрана недр» обращают внимание обучающегося 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*, сдаче теста зачета экзамена и выполнения курсовой работы.

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 «Рациональное использование и охрана недр» 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 тестированию;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к зачету и экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Рекомендации для обучающихся по освоению учебной дисциплины

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Ознакомиться с календарно-тематическим планом самостоятельной работы обучающихся.

3. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

4. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы обучающегося преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы обучающихся используется проверка расчетно-графических работ, опрос, контрольная работа. Форма промежуточной аттестации: зачет,экзамен.

Организация самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов (СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы обучающегося по данной учебной дисциплине. Объемы и виды трудозатрат по всем отдельным видам представлены в разделе 7 (РПД). Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы обучающихся, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРС, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий химии, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма це-

лесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служат вопросы для самопроверки и тренировочные тесты, позволяющие контролировать степень успешности изучения учебного материала.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, обучающимся следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи рационального использования и охраны недр.

Тема 2: Нормативно- правовая база законодательства РФ о недрах

Дается понятие «Недр». История формирования законодательства о недрах в Российской Империи, в советское время и в настоящий период. Закон Российской Федерации «О недрах». Федеральный закон «О драгоценных металлах и драгоценных камнях». Положение о лицензировании деятельности по производству маркшейдерских работ и другие законодательные акты, направленные на повышение эффективности использования полезных ископаемых из недр.

Тема 3: Понятие о запасах п.и. Принципы их разведки и оконтуривания

Понятие запасов п.и. Единицы их измерений. Геологические, промышленные, балансовые, забалансовые запасы. Категории запасов. Предварительная, детальная, эксплуатационная стадии разведки месторождений. Виды контуров тел полезных ископаемых. Оконтуривание тел полезных ископаемых по совокупности разведочных выработок и морфологическим принципам. Геологические, морфологические, геофизические, статистические и геометрические приемы экстраполяции при оконтуривании тел п.и.

Тема 4: Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых п.и. по степени их геологической изученности, для проектирования горных предприятий и степени их подготовленности к добыче

История создания классификации запасов «ресурсов» твердых п.и. Классификация запасов п.и. в СССР (России). Понятие балансовых, забалансовых запасов и ресурсов. Рамочная классификация энергетических и минеральных ресурсов ООН. Процентное соотношение балансовых запасов различных категорий, используемых при проектировании предприятий по добыче твердых п.и. в СССР (России). Группы месторождений по сложности геологического строения. Подготовленность месторождений для промышленного освоения. Градация промышленных запасов по степени подготовленности к добыче (вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы).

Тема 5: Определение исходных данных для подсчета запасов. Методы подсчета запасов. Оценка точности подсчета запасов

Общие сведения о параметрах подсчета запасов. Способы определения площадей залежей в пределах контура подсчета запасов (графический, механический, аналитический).Определение мощности тела п.и. Определение содержания полезного компонента. Определение плотности горных пород. Общая характеристика и применимость методов подсчета запасов: метод геологических блоков; эксплуатационных блоков; многоугольников; треугольников; геологических разрезов; изолиний и объемной палетки проф. П.К. Соболевского; комбинированный способ подсчета запасов. Факторы, влияющие на точность определения запасов в недрах. Погрешность подсчета запасов. Учет состояния и движения запасов п.и.

Тема 6: Показатели полноты и качества извлечения п.и. из недр. Классификация потерь твердых полезных ископаемых, методы их определения и нормирования.

Основные понятия и термины: балансовые запасы; забалансовые запасы; добытая рудная масса; бортовое содержание; минимально промышленное содержание; потери запасов п.и.; потери полезного компонента; разубоживание полезного ископаемого. Условные обозначения основных терминов и понятий. Обзор и анализ различных показателей полноты и качества извлечения п.и. при их добыче. Требования предъявляемые к классификации потерь п.и. при разработке месторождений. Классификационные признаки

потерь. Единая классификация потерь твердых полезных ископаемых при разработке месторождений. Методы определения потерь и разубоживания при разработке месторождений полезных ископаемых (прямой; косвенный). Оценка экономических последствий потерь п.и. при разработке месторождений. Методы нормирования потерь: статистический; конструктивный; расчетный; экспериментальный; метод аналогии.

Тема 7:Маркшейдерский учет объемов горных работ и их движение при добыче п.и.

Общие положения. Подсчет объемов горных пород по маркшейдерской съемке. Определение объемов горных пород по результатам взвешивания транспортных сосудов. Определение остатков п.и. на складах и бункерах. Учет запасов: первичный учет; отчетность. Оперативный учет добычи п.и. Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи п.и.

Тема 8:Задачи, этапы и виды планирования развития горных работ

Задачи планирования горных работ**.** Периоды планирования горных работ: генеральный; перспективный; текущий. Годовые планы развития горных работ. Порядок их рассмотрения и согласования. Требования к их составлению. Подготовка исходной информации. Расчет параметров добычи п.и., расчет потерь и разубоживания при добыче. Составление пояснительной записки и графических материалов.

Примерный перечень вопросов для проведения самопроверки и подготовки к зачету, экзамену

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

1. Назовите основные задачи предмета «Рациональное использование и охрана недр».
2. Дайте определение понятия «недр».
3. Что относится к недрам и в чем заключается их ценность.
4. Основные экологические и другие функции недр.
5. Экологические последствия разработки недр.
6. Основное природное богатство недр.
7. Раскройте понятие- рациональное использование и охрана недр.
8. В чем заключается связь полезных ископаемых с недрами.
9. С какими видами маркшейдерских работ связана изучаемая дисциплина?

Тема 2: Нормативно правовая база законодательства РФ о недрах

1. Назовите основные этапы развития горного права Российской Империи (1700-1917гг.).
2. Раскройте понятие указов: «Об учреждении приказа Рудокопных дел», «Берг- привилегии»; Устава Горного Российской Империи.
3. Что составляло основу законодательства о недрах периода РСФСР и СССР.
4. Какой порядок недропользования устанавливался Горным положением Союза ССР (1927г.) и Горным законом РСФСР (1928г.)?
5. Назовите основные разделы «Основ законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах» (1975г.).
6. Какую роль играл Кодекс РСФСР о недрах, утвержденный в 1976г.?
7. Что послужило причиной разработки нового закона РФ «О недрах».
8. Назовите основные разделы закона РФ «О недрах».
9. Раскройте перечень статей «Раздела III. Рациональное использование и охрана недр» закона РФ «о недрах».
10. Что понимают под термином рациональное использование недр?
11. Что понимают под понятием охрана недр?
12. Дайте полное определение понятия недр.
13. Как вопрос о недрах звучит в Конституции РФ 1993года?

Тема 3: Понятие о запасах п.и. Принцыпы их разведки и оконтуривания

1. Что понимается под оконтуриванием тел полезных ископаемых?
2. Виды контуров тел полезных ископаемых.
3. Определение контуров тел п.и. в пределах отдельных разведочных выработок.
4. Оконтуривание тел п.и. по совокупности разведочных выработок.
5. Определение контуров тел п.и. за пределами разведочных выработок.
6. Какие приемы экстраполяции используются при оконтуривании тел п.и.?
7. Что понимается под геологическими приемами экстраполяции тел п.и.?
8. Морфологические приемы проведения внешнего контура рудной залежи.
9. Статистические приемы оконтуривания рудных залежей.
10. Геометрические приемы оконтуривания тел п.и. и их три основные группы.
11. Оконтуривание балансовых запасов по кондиционной мощности.
12. Построение контура балансовых запасов по бортовому содержанию.
13. Как производится оконтуривание рудных тел при совместном учете естественных границ, кондиций по мощности и содержанию?
14. Назовите стадии разведки месторождений полезных ископаемых?
15. Дайте определение понятию «запасы полезных ископаемых.
16. Дайте определение понятию «балансовые и забалансовые запасы»
17. Что понимается под понятием «геологические и промышленные запасы»?

Тема 4: Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых п.и. по степени их геологической изученности, для проектирования горных предприятий и степени их подготовленности к добыче

1. Суть и назначение классификации запасов полезных ископаемых.
2. В какой стране появилась первая классификация запасов?
3. Этапы создания классификаций запасов в нашей стране.
4. Что означает понятие «разведанные и предварительно оцененные запасы»?
5. В классификации какого года появилось понятие балансовых и забалансовых запасов?
6. Что такое прогнозные ресурсы полезных ископаемых?
7. Дайте определение понятию категорий запасов «А, В, С1, С2».
8. Назовите критерии по которым месторождения отнесены по сложности строения на четыре группы?
9. Назовите группы месторождений по размерам тел полезных ископаемых?
10. Назовите группы месторождений по характеру непрерывности орудинения?
11. На сколько групп поделены месторождения по изменчивости морфологии тел полезных ископаемых?
12. Какие группы месторождений существуют по степени равномерности распределения полезного компонента?
13. Назовите группы месторождений по сложности геологического строения для металлических и нерудных п.и. и углей и горючих сланцев?
14. Дайте процентное соотношение категорий запасов для всех групп сложности при их проектировании?
15. Раскройте сущность классификации запасов по степени подготовленности к добыче.
16. Дайте определение вскрытым, подготовленным и готовым к выемке запасам при открытом и подземном способах отработки месторождений.

Тема 5: Определение исходных данных для подсчета запасов. Методы подсчета запасов. Оценка точности подсчета запасов

1. Приведите общую формулу подсчета запасов и полезного компонента.
2. Раскройте параметры, входящие в формулы подсчета запасов и полезного компонента.
3. Назовите способы определения площадей рудных тел (залежей)?
4. Графический способ определения площадей рудных залежей.

5. Сущность механического способа определения площадей рудных залежей.
6. Аналитический способ определения площадей рудных залежей.
7. Как определить мощность рудного тела, имеющего четкие геологические границы?
8. Как определить истинную мощность тел полезных ископаемых по скважине?
9. Какие существуют способы определения средней мощности п.и?
10. Лабораторный способ определения содержания полезного компjанента.
11. Какие показатели используются при средневзвешанном способе определения содержания полезного компонента?
12. Назовите методы определения плотности горных пород?
13. Метод пробной вырубки при определении плотности горных пород.
14. На чем основан лабораторный способ определения плотности горных пород?
15. Сущность аналитического метода определения плотности горных пород.
16. Как подсчитать запасы п.и. «методом геологических блоков»?
17. Как подсчитать запасы п.и. «методом эксплуатационных блоков»?
18. Как подсчитать запасы п.и. «методом многоугольников»?
19. Как подсчитать запасы п.и. «методом треугольников»?
20. Как подсчитать запасы п.и. «методом геологических разрезов»?
21. Как подсчитать запасы п.и. «методом изолиний и объемной палетки проф. П.К. Соболевского»?
22. Какие факторы влияют на точность определения запасов в недрах?
23. Напишите формулу общей погрешности запасов руды и металла.
24. Дайте определение грубым, систематическим и случайным ошибкам измерений.
25. В чем заключается учет состояния и движения запасов полезных ископаемых?

Тема 6: Показатели полноты и качества извлечения п.и. из недр. Классификация потерь твердых полезных ископаемых, методы их определения и нормирования.

1. Назовите основные понятия и термины, применяемые при расчете показателей полноты и качества извлечения запасов из недр.
2. Каким показателем характеризуется полнота извлечения запасов из недр?
3. Что характеризуется коэффициентом изменения качества?
4. Напишите формулы вычисления показателей полноты и качества извлечения запасов из недр для рудных нерудных и угольных месторождений.
5. Что понимается под понятием «потери» и «разубоживание» руды?
6. Каким условиям должна удовлетворять классификация потерь полезных ископаемых?
7. Назовите классификационные признаки потерь?
8. Дайте единую классификацию потерь твердых полезных ископаемых при разработке месторождений.
9. Какие группы методов определения потерь существуют в настоящее время?
10. На чем основаны прямые и косвенные методы определения потерь?
11. Назовите причины возникновения потерь и разубоживания руды.
12. Напишите формулы вычисления показателей потерь и разубоживания косвенным методом.
13. Какие виды потерь подлежат нормированию?
14. Назовите методы нормирования потерь.
15. Какими принципами и обще методическими указаниями по нормированию потерь и разубоживания руководствуются при добыче запасов?

Тема 7: Маркшейдерский учет объемов горных работ и их движение при добыче п.и.

1. Основные принципы учета состояния и движения запасов.
2. Какова схема разделения запасов и добытой горной массы?
3. Что понимается под понятием «кондиции» на п.и. и кто их устанавливает?
4. Из чего слагается учет запасов, задачи учета запасов?
5. Принципы нормирования подготовленных и готовых к выемке запасов.

6. Что называется оперативным учетом добычи полезного ископаемого?
7. Как производится маркшейдерский контроль оперативного учета добычи п.и.?
8. Как ведется подсчет объемов горных пород по маркшейдерской съемке?
9. Как определяются объемы горных пород по результатам взвешивания?
10. Как ведется маркшейдерский контроль добычи и вскрыши?
11. Как определяются остатки полезного ископаемого на складах?

Тема 8: Задачи, этапы и виды планирования развития горных работ

1. Перечислите основные задачи планирования горных работ.
2. Назовите периоды планирования горных работ.
3. Раскройте содержание годового плана развития горных работ?
4. Каков порядок рассмотрения и согласования годовых планов развития горных работ?
5. Какие требования предъявляются к составлению годового плана горных работ?
6. Какие исходные материалы являются основой для составления планов горных работ?
7. Какие показатели горного предприятия подлежат планированию?
8. Для чего проводится анализ состояния горных работ на начало планируемого периода?
9. Состав пояснительной записки плана развития горных работ?
10. Какие графические и табличные материалы содержит пояснительная записка плана развития горных работ?

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические занятия, согласно учебного плана дисциплины «Рациональное использование и охрана недр», включают в себя выполнение пяти расчетно- графических работ (РГР) по подсчету запасов участка железорудного месторождения методами:

1.Геологических блоков.
2.Горизонтальных сечений.
3.Геологических разрезов.
4.Треугольников
5.Ближайших районов.

Исходными данными, для выполнения пяти расчетно-графических работ, служат результаты разведки участка железорудного месторождения, представленные в виде таблицы, в которой приведены координаты (x,y,z) восьми скважин и отметки висячего и лежачего боков залежи, а также приведен пример фрагмента плана с координатной сеткой масштаба 1:2000.Обучающемуся необходимо нанести скважины на план, выписать около каждой скважины ее мощность, методом интерполирования установить контур рудной залежи по изолинии нулевого метра и подсчитать запасы руды пятью методами.

Таблица исходных данных для подсчета запасов

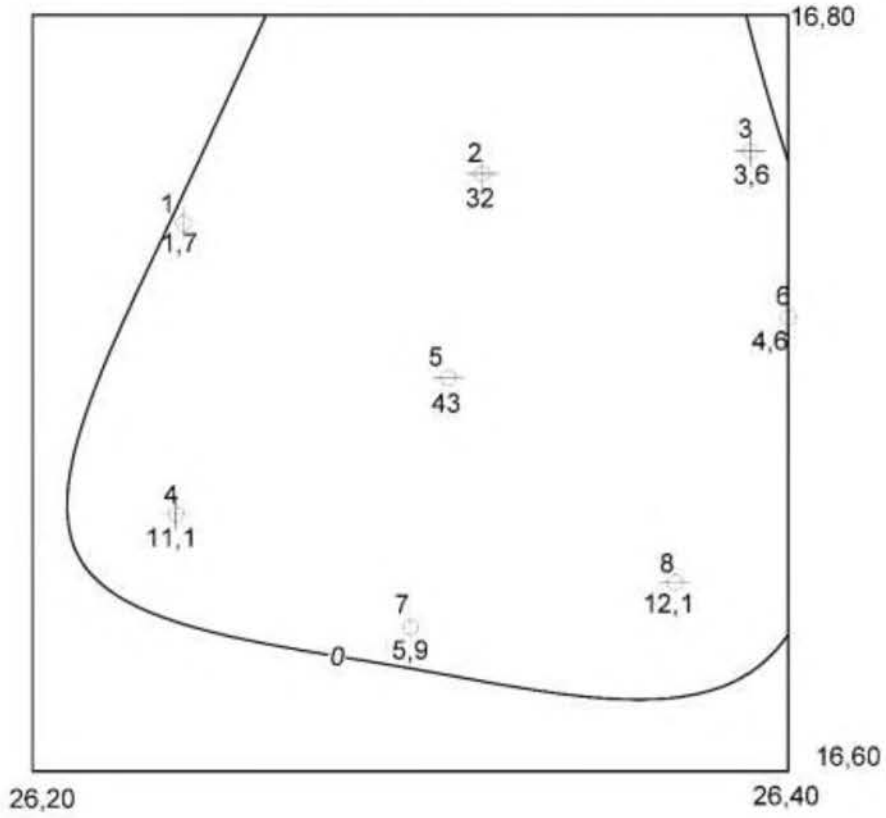
№ скв	X, м	Y, м	Z		m, м
			вис. бок	леж. бок	
1	16745,000	26240,000	233,5	231,8	1,7
2	16758,000	26319,000	263,0	231,0	32,0

3	16764,000	26390,000	236,8	233,2	3,6
4	16668,000	26238,000	239,2	228,1	11,1
5	16704,000	26310,000	269,3	226,3	43,0
6	16720,000	26400,000	236,6	232,0	4,6
7	16638,000	26300,000	236,8	230,9	5,9
8	16650,000	26370,000	241,0	228,9	12,1
Среднее					14,3

γ=3,2 т/м^3

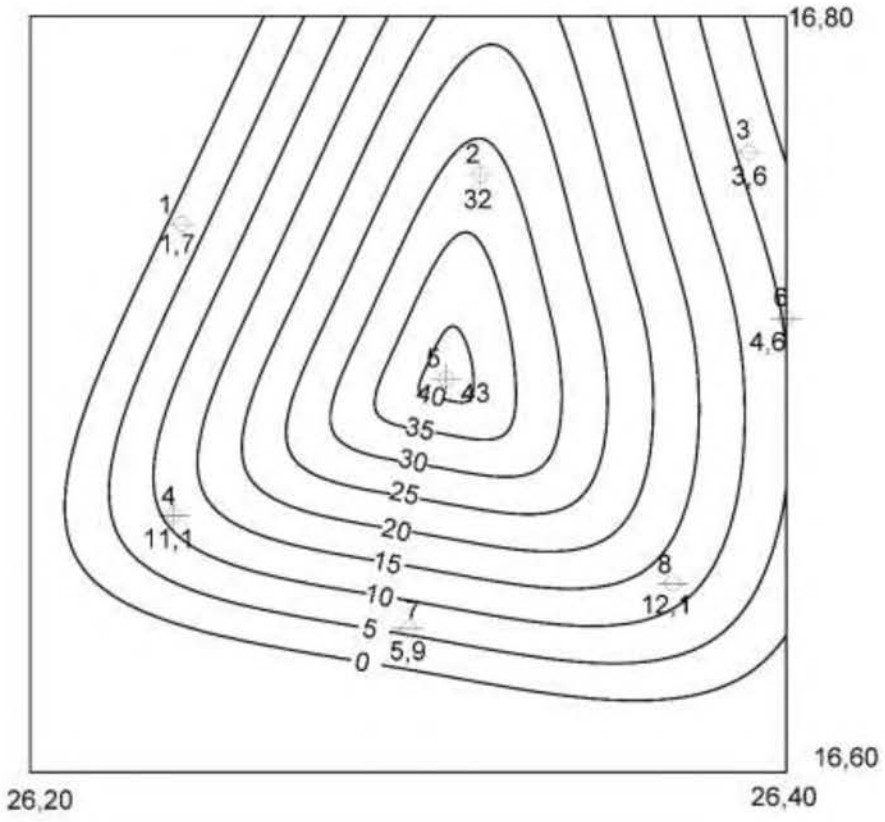
Примеры заданий для расчетно-графических работ

Расчетно-графическая работа- 1.Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом геологических блоков



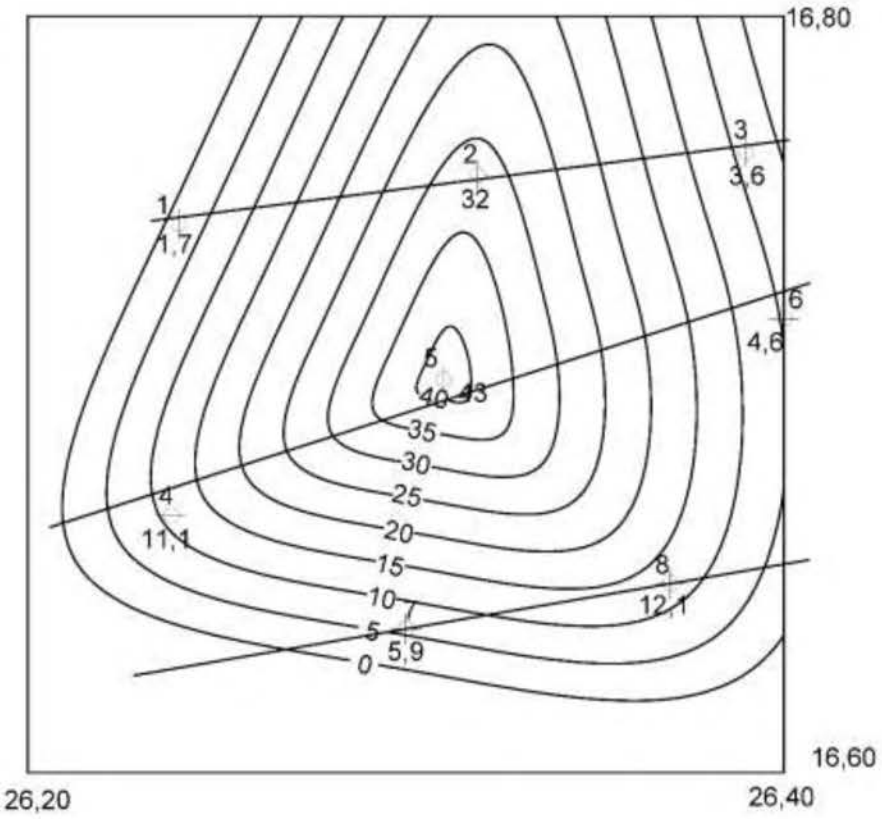
Расчетно-графическая работа- 2. Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом горизонтальных сечений

В качестве горизонтальных сечений используются изолинии мощности с величиной сечения 5 метров.

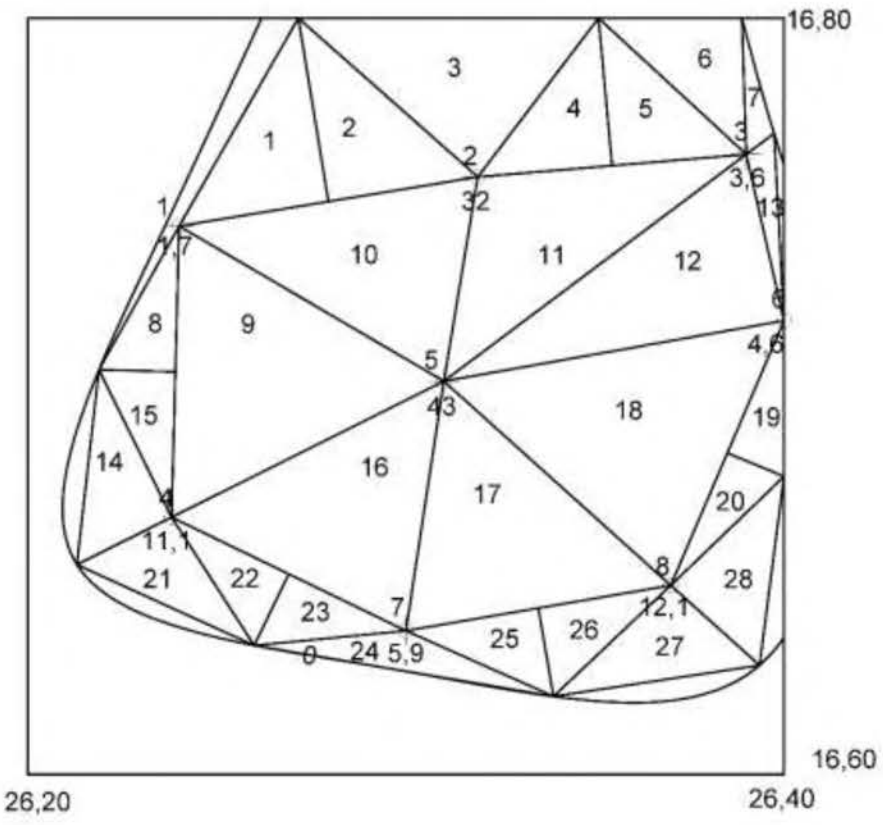


Расчетно-графическая работа- 3. Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом вертикальных сечений

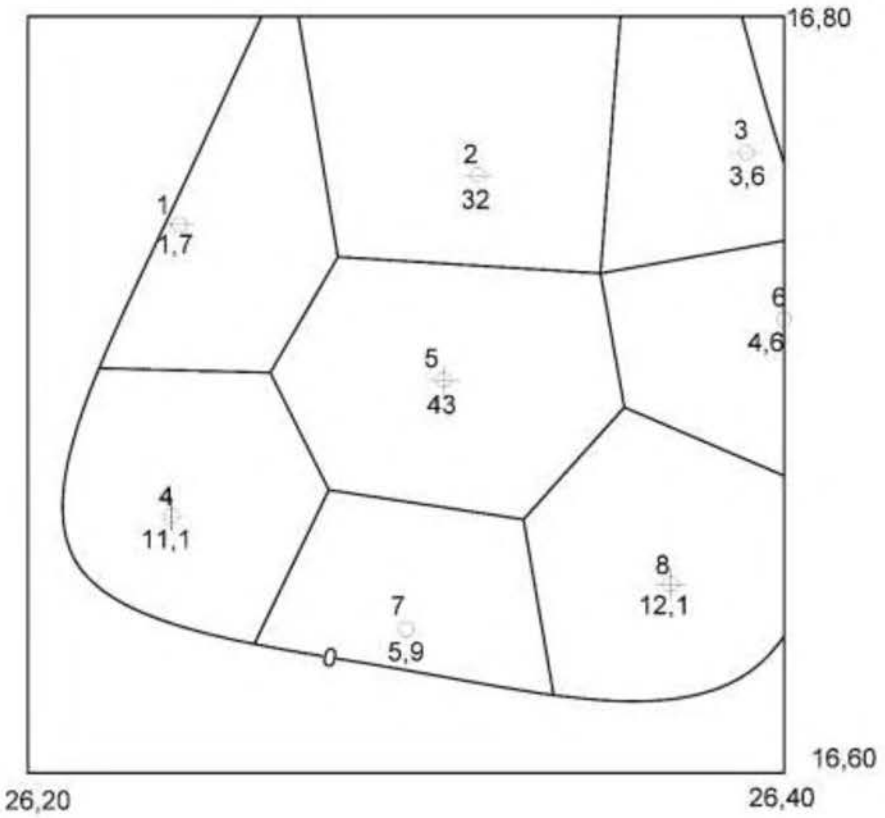
Вертикальные сечения строятся вдоль разведочных линий.



Расчетно-графическая работа-4.Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом треугольников



Расчетно-графическая работа-5.Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом ближайших районов



КУРСОВАЯ РАБОТА

Количество заданий курсовой работы соответствует количеству обучающихся в группе. Тема курсовой работы для всех заданий имеет одно название «Составление плана развития горных работ на участке железорудного месторождения, разрабатываемого открытым способом» но выполняется, каждым обучающимся, по индивидуальному заданию.
Курсовая работа по составлению годового плана развития горных работ включает проведение расчетов, составление пояснительной записки и оформление графического материала.

Пояснительная записка содержит следующие разделы:

- краткая горно-геологическая характеристика участка;
- анализ состояния горных работ на начало планового периода (остатки балансовых, вскрытых и готовых к выемке запасов);
- основные плановые показатели по добыче руды и горно-подготовительным работам;
- составление годового плана развития горных работ;
- заключение.

Графический материал включает:

- сводный план с контурами горных работ на начало планируемого года;
- погоризонтные планы горных работ;
- поперечный и продольный разрезы;
- сводный план с контурами горных работ на конец планируемого года.

Индивидуальное задание курсовой работы включает в себя, краткую горно-геологическую характеристику участка месторождения и графический материал-план горных работ на начало планируемого периода.

Для выполнения курсовой работы обучающийся пользуется учебным пособием [2].

Пример задания для курсовой работы

Задание № 1.

Краткая горно-геологическая и технологическая характеристика участка месторождения

В этом разделе приводится информация о геометрических параметрах и элементах залегания залежи полезного ископаемого (форма залежи, ее падение, простирание, мощность, глубина залегания), качественных показателях полезного ископаемого (среднее содержание полезного компонента, плотность рудной массы), указываются характеристики условий разработки (система разработки залежи, оборудование, с помощью которого осуществляется погрузка и транспортировка руды и пустой породы).

Северный участок железорудного месторождения представлен залежью неправильной формы. На верхних горизонтах она залегает вертикально, а с глубины 50 м наблюдается ее восточное падение. Залежь простирается в меридианальном направлении, мощность колеблется от 100 до 300 м. Залежь разведана до глубины 500 м. Среднее содержание железа на верхних горизонтах составляет 25-27 %. Плотность рудной массы – 3,2 т/м^3, вмещающие породы скальные, их плотность 2,8 т/м^3. На поверхности залежь покрыта наносами мощностью 3 м. Эти рыхлые отложения имеют плотность 2 т/м^3.

Разработка залежи ведется открытым способом.

Северный участок вскрыт системой железнодорожных съездов, расположенных на юго-западном борту карьера. Отработка залежи ведется горизонтальными слоями высотой 15 м, с применением буровзрывных работ. Погрузка руды и пустой породы осуществляется

тремя экскаваторами ЭКГ -4,6 м^3. Транспортировка горной массы осуществляется железнодорожным транспортом нормальной колеи.

Положение горных работ на участке на начало планового периода, представляется на сводном и погоризонтных планах горных работ (Рис. 1.1).

Для выполнения курсовой работы каждому обучающемуся выдается индивидуальный графический материал (пример представлен на рис. 1.1).

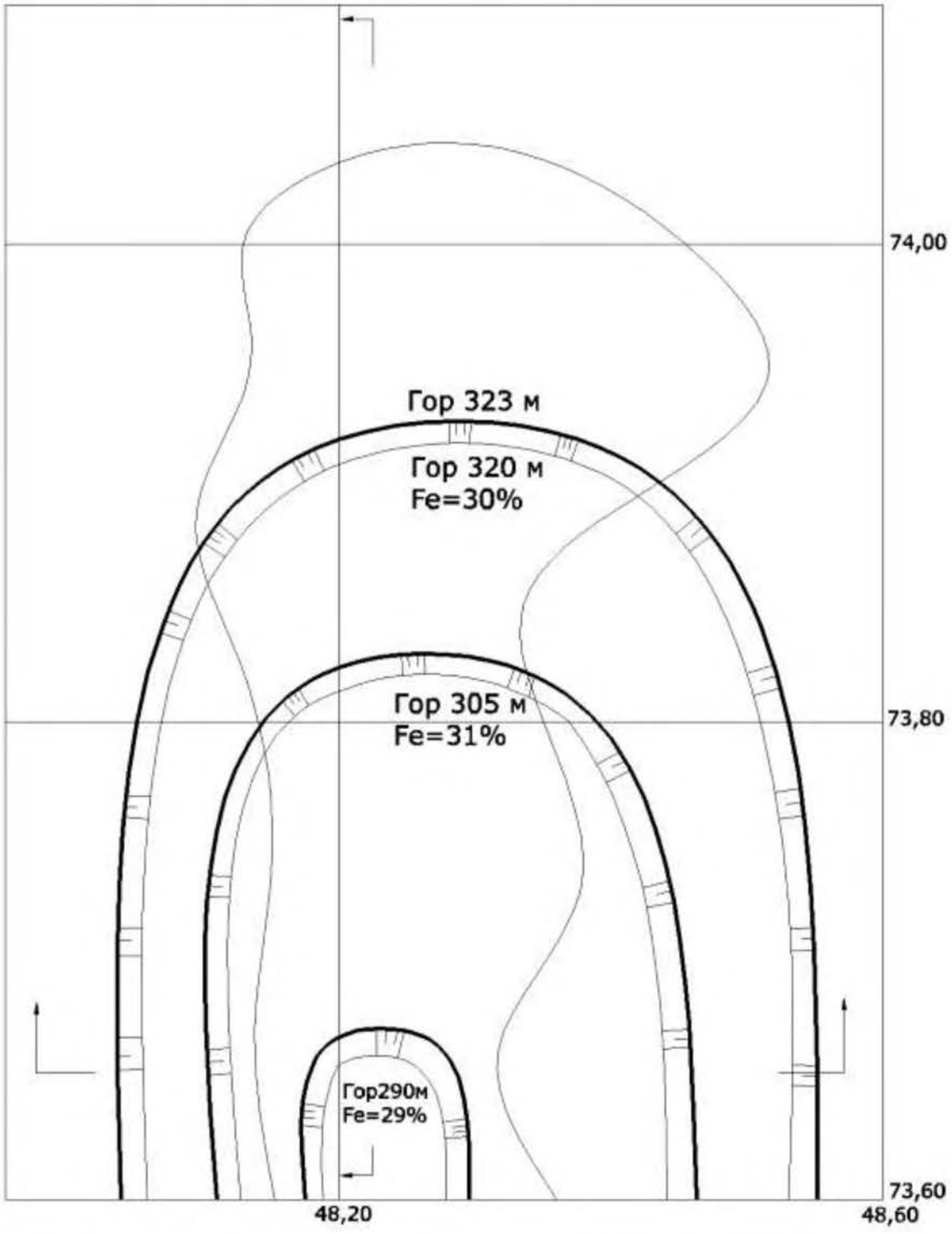


Рис. 1.1. План горных работ на начало планируемого периода

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букринский В.А. Геометрия недр : учеб. Для вузов.-4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во « .Горная книга», 2012.-550 с.
2. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР. Планирование развития горных работ: учебное пособие / А.Т.Леонтьев; Урал. гос. Горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 80с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Туринцев Ю.И., Самарин В.П.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Подземная разработка месторождений и строительство различных объектов в горном массиве всегда сопровождаются нарушением равновесия горных пород, которое в зависимости от горной технологии может или локализоваться внутри массива, или проявиться в той или иной степени на земной поверхности.

Поэтому *под сдвижением горных пород следует понимать перемещение и деформирование массива горных пород вследствие нарушения горными работами их естественного состояния, а под сдвижением земной поверхности – перемещение и деформации земной поверхности в результате сдвижений толщи горных пород под влиянием горных разработок, изменение физико-механических свойств пород*, в том числе при их обезвоживании и увлажнении и других причин.

При подземной разработке месторождений полезных ископаемых на земной поверхности над выработанным пространством могут образоваться провалы, уступы, трещины и значительные по размерам зоны сдвижения, в которых оседания происходят неравномерно и достигают иногда нескольких метров. Сдвижение земной поверхности от влияния подземных разработок с середины прошлого столетия стало наносить значительный ущерб зданиям, сооружениям, путям сообщения, сельскому хозяйству и другим объектам.

В истории горного дела известно немало случаев, когда недостаточная изученность процесса сдвижения приводила к значительному экономическому ущербу и человеческим жертвам. С другой стороны, в горной практике имеется много примеров успешной выемки полезного ископаемого под разнообразными объектами, когда горные работы проводились по специальным проектам, учитывающим вредные последствия горных разработок и предусматривающим мероприятия по снижению величин деформаций и конструктивные усиления подрабатываемых сооружений.

Проблемы в области сдвижения горных пород и земной поверхности, стоявшие на протяжении всей истории подземной разработки полезных ископаемых, приобретают все большее значение в современной горной промышленности в связи с расширением мас-

штабов добычи и освоением глубокозалегающих месторождений со сложными горнотехническими условиями.

Характеристика роли и места проблемы сдвижения горных пород при разработке полезных ископаемых дана одним из основоположников отечественной горной геомеханики И.М.Бахуриным [2]: "Сдвижение пород в руднике является одним из основных затруднений при добыче полезного ископаемого. Оно же является одной из основных угроз безопасному ведению горных разработок: оно ломает крепление, уменьшает полезное сечение выработок, а иногда и совершенно заваливает их. Мы не ошибемся, если скажем, что вся история изыскания наилучших систем разработок есть история борьбы со сдвижением горных пород".

Особая острота проблемы сдвижения горных пород проявляется при проектировании разработки месторождения, когда следует экономически целесообразно выбрать схему вскрытия, параметры систем разработки, места расположения подготовительных выработок.

Отсюда становится очевидной важность надежного прогнозирования возможных последствий подработки объектов с целью принятия необходимых мер по их защите. Эти меры тем эффективнее, чем точнее составлен прогноз ожидаемых деформаций, который, в свою очередь, зависит от полноты знаний процессов, происходящих в подрабатываемой толще пород.

Актуальность знаний характера процесса сдвижения не снижается даже и после завершения разработки месторождения, когда также необходим прогноз последствий от влияния оконченных горных разработок до полного затухания сдвижений.

Горный инженер-маркшейдер является основным специалистом на горном предприятии, на которого возлагается задача по изучению процессов сдвижения и разработке мер охраны от их последствий, что требует значительного внимания в учебном процессе и обуславливает необходимость подготовки и издания учебно-методической литературы [7,8]. Это особенно актуально в связи с выходом в 1998 г. "Правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях"[11].

Во всех учебниках и учебных пособиях при изложении вопросов сдвижения горных пород под влиянием горных разработок значительное внимание уделяется разработке пластовых месторождений, как наиболее изученным. Не является исключением и настоящее учебное пособие.

Однако авторы пытались по мере возможности рассмотреть вопросы сдвижений при разработке рудных месторождений, строительстве тоннелей и метрополитенов, а также последствия от сдвижений горных пород и земной поверхности после окончания разработки месторождения.

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам И.А. Петухову и В.Н. Корнилкову за ценные замечания, направленные на улучшение содержания настоящего пособия.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В сдвижении горных пород и земной поверхности используются следующие понятия и определения [3, 4]:

Активизация сдвижения толщи пород и земной поверхности – изменение характера распределения и величин сдвижений и деформаций земной поверхности и толщи при разработке полезного ископаемого смежными выработками или повторных подработках по сравнению со сдвижениями и деформациями от одиночной выработки при первичной подработке.

Безопасная глубина подработки – глубина, при которой и ниже горизонта которой горные работы не вызывают деформаций, более допустимых.

Вероятные сдвижения и деформации – величины сдвижений и деформаций, определяемые в условиях, когда отсутствуют календарные планы развития горных работ.

Вертикальные деформации земной поверхности (наклоны, кривизна) – деформации в вертикальной плоскости, вызванные неравномерностью вертикальных сдвижений.

Главные сечения мульды сдвижения – вертикальные сечения мульды по простиранию и вкрест простирания пласта или рудной залежи, проходящие через точку максимального оседания земной поверхности.

Глубинный репер – репер, заложенный в скважине и предназначенный для измерения сдвижений и деформаций массива пород.

Горизонтальные деформации растяжения или сжатия – деформации земной поверхности в горизонтальной плоскости, вызванные неравномерностью горизонтальных смещений.

Горизонтальное сдвижение земной поверхности (в мм) – горизонтальная составляющая вектора сдвижения точки в мульде сдвижения земной поверхности.

Граница зоны влияния подземных разработок или граница мульды сдвижения – контур зоны на земной поверхности, определяемый по граничным углам или деформациям наклона ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$); растяжения ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$), при длинах интервалов 15 – 20 м.

Граница зоны опасного влияния подземных разработок – контур зоны опасного сдвижения земной поверхности, определяемый по углам сдвижения или деформациям наклона ($4 \cdot 10^{-3}$), кривизны ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ 1/м), растяжения ($2 \cdot 10^{-3}$).

Граничные углы - внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальными линиями и линиями (последовательно проведенными в коренных породах и наносах), соединяющими границу выработки с границей зоны влияния подземных разработок на земной поверхности (рис. 1.1).

Рис. 1.1. Схема определения угловых параметров сдвижения и длин полумульд на вертикальных разрезах на угольных месторождениях:
а – вкрест простирания при пологом залегании; б - по простиранию; в – вкрест простирания при крутом залегании; 1 – наносы; 2 – коренные породы

Различают граничные углы:

в наносах - φ_0 (принимаются одинаковыми во всех направлениях; учитываются при мощности наносов 5 м и более);

в коренных породах - δ_0, β_0, γ_0, β_{01}.

При определении граничных углов на рудных месторождениях наносы не учитываются (рис. 1.2).

Рис. 1.2. Схема определения угловых параметров сдвижения на рудных месторождениях
а – при пологом и наклонном падении залежи; б – при крутом падении залежи; в – по простиранию залежи; 1 – наносы; 2 – коренные породы

Углами δ_0 определяются границы зоны влияния по простиранию; β_0 и γ_0 – вкрест простирания соответственно со стороны падения и восстания; β_{01} – в лежачем боку пласта, возникающие при углах падения пластов $\alpha > \alpha_п$.

Графики сдвижений и деформаций земной поверхности – линии, изображающие в определенном масштабе распределение величин сдвижений и деформаций земной поверхности на профильной линии.

Различают графики: оседания, горизонтального сдвижения, наклонов мульды сдвижения, горизонтальных деформаций (растяжений, сжатий), кривизны мульды сдвижения, скорости оседания.

Длина полумульды – расстояние в главном сечении на разрезе вкрест простирания или по простиранию (см. рис. 1.1) между границей мульды и точкой пересечения с земной поверхностью линии, проведенной под углами полных сдвижений (при полной подработке) или максимального оседания (при неполной подработке). Участок плоского дна при расчете сдвижений и деформаций в длину полумульды не включается.

Различают длины полумульд (в м) по падению L_1, по восстанию L_2, по простиранию L_3.

Допустимые деформации земной поверхности (основания сооружений) – деформации, вызвавшие повреждения сооружений, при которых их дальнейшая эксплуатация по прямому назначению возможна после проведения текущих наладочных и ремонтных работ.

Зона опасного влияния подземных разработок – часть мульды сдвижения, на которой возникают деформации, опасные для зданий, сооружений и природных объектов.

Зона сдвижения земной поверхности – участок земной поверхности, подвергшийся сдвижению под влиянием горных выработок.

Зона трещин и провалов на земной поверхности – часть мульды сдвижения, на которой в результате влияния горных разработок возникают трещины и провалы.

Исходный репер – репер, заложенный в районе наблюдательной станции на участке, не подвергающемся сдвижению, и служащий для передачи отметки на опорные реперы станции.

Коэффициент безопасности $K_б$ – отношение глубины залегания пласта под объектом к вынимаемой мощности, с помощью которой для некоторых объектов определяется безопасная глубина разработок.

Коэффициент подработанности земной поверхности – отношение фактического размера выработанного пространства к минимальному, при котором наступает полная подработка земной поверхности.

При полной подработке земной поверхности коэффициенты подработанности по линиям простирания и падения равны единице или больше.

Кривизна мульды сдвижения (1/м) – отношение разности наклонов двух соседних интервалов мульды к полусумме длин этих интервалов. Различают кривизну мульды, определенную непосредственно по данным измерений и полученную по сглаженной кривой оседания.

Критические деформации земной поверхности – величины деформации земной поверхности, принятые для определения границ зоны опасного влияния подземных разработок и углов сдвижения.

Максимальное оседание (в мм) – наибольшая вертикальная составляющая векторов сдвижения точек.

Различают максимальные оседания при полной η_0 и неполной η_m подработках.

Меры охраны объектов от вредного влияния горных разработок – мероприятия, направленные на уменьшение вредного влияния горных разработок на здания, сооружения и природные объекты в целях устранения причин нарушения нормальной эксплуатации объектов, которые могут вызвать несчастные случаи.

Мульда сдвижения – участок земной поверхности, подвергшийся сдвижению под влиянием отдельной очистной выработки.

Наклоны интервалов в мульде сдвижения – отношение разности оседаний двух соседних точек мульды к расстоянию между ними.

Неполная подработка земной поверхности – подработка, при которой с увеличением длины (ширины) выработанного пространства увеличивается максимальное оседание.

На рудных месторождениях подработка считается неполной, если глубина разработки превышает размеры выработанного пространства по простиранию или по падению, а также при сложных неправильных контурах выработанного пространства и наличии в нем неразрушенных целиков или безрудных участков (более 15-20 %). Величины сдвижений и деформаций в этом случае не достигают максимальных значений, а углы сдвижения получаются круче, чем в условиях полной подработки.

Неполная серия наблюдений – комплекс измерений, в результате которых устанавливают положение всех или части реперов в одной из плоскостей: в горизонтальной или вертикальной; может включать или не включать определение положения трещин.

Область обрушения горных пород – часть области сдвижения горных пород, подвергшаяся обрушению.

Область прогиба – часть области сдвижения горных пород, подвергшаяся сдвижению в форме прогиба слоев без разрыва их сплошности.

Область сдвижения горных пород – часть массива горных пород, подвергшаяся сдвижению под влиянием горных разработок.

Область трещин и разломов горных пород - часть области сдвижения горных пород, подвергшаяся сдвижению в форме прогиба и сдвига по напластованию с образованием трещин.

Обрушение пород – беспорядочное перемещение разрушенных пород с потерей естественной структуры в результате ведения горных работ.

Общая продолжительность процесса сдвижения – период, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в состоянии сдвижения. За начало процесса сдвижения точки земной поверхности принимается дата, на которую оседание точки достигает 15 мм; за окончание – дата, после которой суммарные оседания на протяжении 6 мес. не превышают 10 % максимальных, но не более 30 мм.

Ожидаемые сдвижения и деформации – величины сдвижений и деформаций, определяемые в условиях, когда имеются календарные планы развития горных работ и известны необходимые для расчетов исходные данные.

Опорный репер - репер профильной линии, заложенный на участке наблюдательной станции, который не подвергается сдвижению и служит исходным для наблюдений на данной профильной линии.

Оседание земной поверхности η (мм) - вертикальная составляющая векторов сдвижения точек в зоне (мульде) сдвижения.

Относительное максимальное горизонтальное сдвижение a_0 — отношение максимального горизонтального сдвижения к мак-

симальному оседанию при горизонтальном залегании пласта, полной подработке и закончившемся процессе сдвижения. На рудных месторождениях не определяется.

Относительное максимальное оседание q_0 — отношение максимального оседания земной поверхности к вынимаемой (считая по нормали) или эффективной мощности при его горизонтальном залегании, полной подработке и закончившемся процессе сдвижения.

Параметры сдвижения земной поверхности - величины, характеризующие процесс сдвижения земной поверхности, зависящие от горно-геологических условий разработки.

К ним относятся: относительные максимальные оседания q_0 и горизонтальные сдвижения a_0; максимальные значения наклонов i_0, кривизны K_0, горизонтальных деформаций ε_0, скорости оседания V_0; углы сдвижения δ, γ, β, β_1, φ; граничные δ_0, γ_0, β_0, β_{01}, φ_0; разрывов δ'', γ'', β'', β_1''; полных сдвижений ψ_1, ψ_2, ψ_3 ; углы обрушения δ''', β''', γ'''; максимального оседания Θ; предельные углы падения $\alpha_п$; общая продолжительность процесса сдвижения и периода опасных деформаций.

Первичная подработка земной поверхности — подработка земной поверхности первым слоем пласта или залежи.

Период опасных деформаций земной поверхности — период сдвижений земной поверхности над выработанным пространством, в течение которого проявляется опасное влияние подземных разработок на сооружения и природные объекты. К интенсивным сдвижениям относятся сдвижения со скоростью оседания не менее 50 мм в месяц при разработке пластов с углами падения $\alpha \leq 45$ на глубине до 500 м и со скоростью оседания не менее 30 мм в месяц при глубине разработки более 500 м, а также при углах падения $\alpha > 45°$ независимо от глубины разработки.

Плоское дно мульды сдвижения — часть мульды сдвижения при полной подработке земной поверхности, в пределах которой оседания имеют максимальные величины. На вертикальных разрезах плоское дно мульды определяется углами полных сдвижений. На рудных месторождениях понятие не применяется.

Повторная подработка земной поверхности — все подработки после первичной другими слоями (пластами, залежами).

Полная подработка земной поверхности — подработка, при которой в мульде сдвижения не увеличивается максимальное оседание с дальнейшим увеличением длины (ширины) выработанного пространства и при пологом залегании пластов образуется плоское дно. На рудных месторождениях подработка считается полной, если размеры выработанного пространства по падению и по простиранию рудного тела равны или превышают глубину разработки, в выработанном пространстве отсутствуют целики или безрудные участки, а углы сдвижения достигают минимальных значений.

Предельные деформации земной поверхности (основания сооружений) – деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений, повлечь угрозу опасности для жизни людей.

Предельные углы падения $\alpha_п$ – минимальные углы падения, при которых возникают сдвижения пород лежачего бока разрабатываемого пласта или залежи.

Предохранительная берма – полоса, прилегающая к контуру охраняемого объекта в плане, внешняя граница которой исходная для построения предохранительного целика.

Предохранительный целик – часть полезного ископаемого, оставляемая в недрах для предотвращения опасного влияния горных разработок на охраняемые объекты.

Провал – участок земной поверхности, подвергшийся обрушению под влиянием подземных горных разработок. На рудных месторождениях в зоне обрушения поверхности различают воронки: первичные, образовавшиеся при отработке верхних этажей слепых залежей, до выхода которых земная поверхность не обрушалась, и вторичные, образующиеся в результате перепуска в выработанное пространство ранее обрушившихся пород.

Профильная линия наблюдательной станции – прямая или ломаная линия, вдоль которой расположены реперы наблюдательной станции.

Рабочий репер – репер профильной линии, предназначенный для определения величин сдвижений земной поверхности, положение которого в пространстве определяется относительно опорных реперов профильной линии.

Радиус кривизны мульды сдвижения (в м) – величина, обратная кривизне мульды сдвижения.

Расслоение горных пород – последовательное отделение от толщи слоев пород и перемещение их в сторону выработанного пространства без нарушения слоистости.

Расчетные сдвижения и деформации – величины сдвижений и деформаций, получаемые умножением ожидаемых или вероятных сдвижений и деформаций на коэффициенты перегрузки; применяются для разработки мер охраны зданий и сооружений.

Репер – знак с фиксированной точкой (центром), закрепленный в грунте, сооружении или горной выработке для наблюдений за их сдвижением.

Сдвиг пород по напластованию – сдвижение слоев горных пород при их прогибе по плоскостям напластования в сторону падения пласта или залежи.

Сдвижение горных пород – перемещение и деформация массива горных пород в результате нарушения их естественного равновесия под влиянием горных разработок.

Сдвижение земной поверхности – перемещение и деформация земной поверхности в результате сдвижения массива горных пород под влиянием горных разработок.

Смежные выработки – выработки, имеющие общую границу по падению, восстанию, простиранию или разделенные целиком такого размера, при котором происходит активизация сдвижения земной поверхности.

Сосредоточенные деформации – деформации (горизонтальные и вертикальные) на небольших (до 5 м) интервалах мульды сдвижения, резко превышающие соответствующие деформации на смежных таких же интервалах; на участках сосредоточенных деформаций обычно возникают трещины и уступы.

Специальная наблюдательная станция – станция, заложенная для детального изучения сдвижения горных пород и земной поверхности – по взаимосвязи деформаций сооружения и основания (грунта); влиянию деформаций подработанной толщи и земной поверхности на фильтрацию из водных объектов в горные выработки и др.

Типовая наблюдательная станция – наблюдательная станция на земной поверхности, заложенная с целью получения основных параметров процесса сдвижения. Продолжительность существования станций от одного года до нескольких десятков лет.

Угол воронкообразования – внешний относительно выработанного пространства угол V, образованный на вертикальном разрезе в любом направлении горизонтальной линией и линией, соединяющей границу выработанного пространства с границей зоны воронок на земной поверхности. На угольных месторождениях не определяется.

Угол максимального оседания θ (в градусах) – угол со стороны падения пласта или залежи, образованный на вертикальном разрезе в главном сечении мульды сдвижения вкрест простирания пласта (залежи) горизонтальной линией и линией, соединяющей середину очистной выработки с точкой максимального оседания при неполной подработке земной поверхности (см. рис. 1.1,в).

Углы обрушения – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах вкрест простирания и по простиранию рудной залежи (по главным сечениям мульды сдвижения) горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границу выработанного пространства с границей зоны обрушения на земной поверхности. Различают углы обрушения у границ выработки по простиранию δ''', по падению β''' и восстанию γ'''. На угольных месторождениях углы обрушения не определяются.

Углы полных сдвижений – внутренние относительно выработанного пространства угла, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды плоскостью пласта и линиями,

соединяющими границы выработки с границами плоского дна мульды сдвижения.

Различают углы полных сдвижений (см. рис. 1.1, а,б) у границ выработки: нижней ψ_1, верхней ψ_2, по простиранию ψ_3. На рудных месторождениях не определяются.

Углы разрывов – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработки с ближайшими к границам мульды сдвижения трещинами на земной поверхности.

Различают углы разрывов (см. рис. 1.1 и рис. 1.2) у границ выработки: нижней β'' и верхней γ'' в висячем боку, по простиранию δ"; нижней в лежачем боку (на крутом падении) β''_1.

Углы сдвижения – внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения при полной подработке горизонтальными линиями и линиями (последовательно проведенными в коренных породах и наносах), соединяющими границу выработки с границей зоны опасного влияния на земной поверхности.

Различают углы сдвижения: в наносах - φ и в коренных породах - δ, β, γ, β_1.

Углами δ определяются границы зоны опасного влияния по простиранию пласта или залежи; β, γ – вкрест простирания соответственно со стороны падения и восстания; β_1 – граница зоны опасного влияния в лежачем боку пласта или залежи.

Углы сдвижения в наносах принимают равными по величине во всех направлениях при мощности наносов 5 м и более. На рудных месторождениях при наличии под наносами выветрелых коренных пород за нижнюю границу наносов принимают нижнюю границу зоны выветрелых (дезинтегрированных) пород. При мощности наносов менее 5 м при определении углов сдвижения в коренных породах наносы не учитываются.

Уступы – сосредоточенные деформации, проявляющиеся в образовании трещин со сдвигом пород. Уступы возникают вследст-

вие относительных разрывных перемещений смежных участков по напластованию, поверхностям разрывных нарушений, осевым поверхностям складок и т.д. Различают прямые и обратные уступы. Участок у края трещины прямого уступа, расположенный ближе к точке максимального оседания, оседает больше, чем расположенный дальше от нее; у обратного – наоборот.

Частотные наблюдения – часто повторяемые серии наблюдений на профильных линиях с промежутками во времени не более одного месяца с целью определения отдельных параметров сдвижения.

Эффективная мощность полезного ископаемого $m_э$ (в м) – мощность, принимаемая для расчета сдвижений и деформаций при разработке с закладкой выработанного пространства. Величина $m_э$ определяется с учетом сближения боковых пород, полноты заполнения выработанного пространства закладкой и последующего уплотнения ее материала.

Следует обратить внимание, что: 1. Углы разрывов, углы обрушения, угол максимального оседания, а на рудных месторождениях и граничные углы определяют без разделения толщи на наносы и коренные породы.

2. При сложном контуре рудной залежи за границу выработанного пространства принимают наиболее выступающую его точку.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1. Формы сдвижения горных пород

Под характером процесса сдвижения подработанной толщи пород понимаются формы их сдвижения и изменения физико-механического состояния толщи в результате ее подработки.

При подработке толщи в ее слоях проявляются различные формы сдвижения. Основными формами сдвижения горных пород при подземной разработке являются:

прогиб, обрушение, сдвиг по напластованию, отжим призабойной части, выдавливание или пластическое течение, сползание.

Прогиб, отжим и выдавливание, или пластическое течение пород, проявляются в той или иной степени при подземной разработке. Сдвиг пород по напластованию проявляется при выемке наклонных и крутопадающих месторождений. Обрушение и сползание пород связаны со способом управления кровлей и могут быть устранены его изменением (закладка, крепь).

Прогиб пород при разработке слоистых полезных ископаемых является преобладающей формой сдвижения подработанной толщи. В этом случае сдвижение пород над выработанным пространством всегда начинается в форме прогиба отдельных слоев толщи в сторону выработанного пространства по нормали к напластованию. Породы прогибаются без и с нарушением сплошности слоев. Нарушение сплошности наступает после появления предельных деформаций растяжения, вызванных прогибом.

Обрушение пород, являясь наиболее бурным проявлением сдвижения, происходит в слоях, расположенных в непосредственной близости над выработанным пространством. Для обрушения характерен отрыв пород от вышележащей толщи и падение их вниз с разделением на куски и глыбы. Обрушению всегда предшествует прогиб, и оно наступает тогда, когда в слоях образуются трещины и разломы и под прогибающимися породами имеется свободное пространство значительных размеров. При обрушении слои пород разрушаются.

Процесс обрушения влечет за собой разрыхление пород, что уменьшает сдвижение вышележащей толщи.

Сдвиг пород по напластованию проявляется одновременно с прогибом слоев при крутом и наклонном залеганиях. Векторы смещения на пластах наклонного и крутого падения (более $25\text{-}30^0$) заметно отклоняются от нормали в сторону падения. Это связано со сдвигом пород по напластованию. Сдвиг пород вызывается деформированием слоев вдоль напластования под действием касательной составляющей веса пород при расслоении толщи. Величина составляющей, параллельной напластованию, достигает 50 % величины полного вектора.

Отжим как форма сдвижения проявляется в призабойной части и характеризуется смятием и выдавливанием полезного ископаемого в выработанное пространство под действием веса налегающих пород. Отжим всегда сопровождается сдвижением толщи и земной поверхности за границами выработанного пространства. Это явление имеет место в большинстве угольных бассейнов и его степень зависит от крепости угольного пласта и боковых пород, а также от горно-геологических условий.

Выдавливание, или пластическое течение, пород из массива в сторону выработанного пространства в выработках проявляется в виде пучения подошвы выработок. При данном виде сдвижения сплошность пород не нарушается, но изменяется мощность слоев. В результате происходит утонение слоев в массиве за границами выработанного пространства и утолщение их над и под выработанным пространством. Пластическое течение, так же, как и отжим, является одной из основных причин сдвижения толщи и земной поверхности за границами выработанного пространства. Оно проявляется главным образом в глинах, глинистых и углистых сланцах и в угле. На отдельных месторождениях пластическое течение проявляется весьма интенсивно. Скорость поднятия подошвы в подготовительных и очистных выработках составляет 1-2 см в сутки, достигая в отдельных случаях 3-5 см/сутки.

Сползание пород проявляется при разработке наклонных и крутопадающих месторождений с обрушением кровли. Для сползания характерно перемещение обрушающихся пород висячего бока, а также нарушаемых пород лежачего бока и целиков из верхней части в

нижнюю часть очистной выработки. Сползание пород увеличивает свободное пространство в верхней части выработки и уменьшает его в нижней части. В результате сползания пород величины сдвижения слоев толщи и земной поверхности возрастают над верхней частью выработки и уменьшаются над ее нижней частью по сравнению с такими же условиями, но при отсутствии сползания пород.

2.2. Схемы сдвижения толщи горных пород

Сдвижение подработанной толщи представляет собой совокупность проявления различных форм сдвижения висячего и лежачего боков, а также разрабатываемого полезного ископаемого. При разработке в движение приходят не только породы кровли и почвы, но и само разрабатываемое полезное ископаемое вблизи выработанного пространства.

С точки зрения форм проявления процесса сдвижения целесообразно выделить следующие 4 схемы:

- схема сдвижения при пологом залегании с углами падения от нуля до равного углу трения (ρ') по наиболее слабым контактам ($\alpha \leq \rho'$);
- схема сдвижения при наклонном залегании с углами падения более угла трения по наиболее слабым контактам, но менее или равными arctg f ', где f '- коэффициент трения скольжения обрушенных пород по почве пласта, равный 0,7÷0,8;
- схема сдвижения при крутонаклонном залегании с углами падения более, чем arctg f ', но менее или равными $45^0+\rho/2$, где ρ - угол внутреннего трения пород;
- схема сдвижения при крутом залегании с углами падения более $45^0+\rho/2$.

Перечисленные схемы более подробно рассмотрены ниже.

2.2.1. Схема сдвижения при пологом залегании

Разработка месторождений подземным способом приводит к перераспределению напряжений в горном массиве и деформациям пород под влиянием этих напряжений. В массиве возникает область пород, подвергшихся сдвижениям и деформациям, которая охватыва-

ет полезные ископаемые, а также покрывающие и подстилающие породы.

Под влиянием горных работ в породном массиве образуется несколько областей (рис.2.1), отличающихся по характеру и степени деформирования пород. Непосредственно над и под выработанным пространством располагается **область разгрузки**. Она характеризуется пониженными, по сравнению с нетронутым массивом, нормальными напряжениями, действующими перпендикулярно к напластованию. Горные породы в области разгрузки расширяются и смещаются в сторону выработанного пространства. Расширение пород происхо-

Рис. 2.1. Схема сдвижения горных пород при пологом залегании пластов
1 – граница области сдвижения ; 2 – область разгрузки; 3 – область обрушения; 4 – область трещин; 5 – область повышенного горного давления; 6 – область плавных сдвижений (включающая области 2 и 5)

дит за счет упругого восстановления. Породные слои, расположенные над выработанным пространством, кроме того под действием собственного веса прогибаются и, разрушаясь, обрушаются в выработанное пространство. Высота **области обрушения**, в которой породы перемещаются с потерей их структуры, по данным наблюдений при разработке угольных месторождений изменяется в пределах (3÷6) m, где m – вынимаемая мощность пласта. Выше области обрушения прогибающиеся породные слои разламываются по системам нормальносекущих трещин и слоистости на крупные блоки, которые сдвигаются упорядоченно.

Высота распространения **области трещин** над выработанным пространством, как правило, не превышает ширины очистной выработки.

Породные слои, залегающие за пределами областей обрушения и трещин, прогибаются без разрыва их сплошности. Эту **область** принято называть областью **плавных сдвижений**.

На границе области трещин с областью плавных сдвижений над выработанным пространством в случаях, когда под слоем породы, имеющим большую жесткость, залегают легко прогибающиеся или обрушающиеся слои, иногда за счет разницы в величине прогиба образуются **полости отслоений** (рис. 2.2). В полостях, если под ними залегают глинистые слои, являющиеся водоупорами, и отсутствуют сквозные нормальносекущие трещины, иногда скапливается вода. Эти полости в последующем под влиянием горных работ в смежных выработках, как правило, ликвидируются, что сопровождается пульсирующими притоками воды в случаях, когда нормальносекущие трещины, образующиеся над очистной выработкой, достигают заполненной водой полости при очередных посадках основной кровли.

За пределами очистной выработки (см. рис. 2.1) в разрабатываемом ископаемом, а также в горных породах на границе области разгрузки располагается **область повышенного горного давления (ПГД)**. В ней нормальные к плоскости напластования напряжения больше, чем в нетронутом массиве. Размер области опорного давления зависит от глубины горных работ, физико-механических свойств пород, мощности и угла падения пласта, размеров выработанного пространства и ряда других факторов. Ширина области опорного давления в плоскости пласта колеблется в пределах (0,1÷0,3) H, где H

– глубина горных работ. Опорное давление распространяется в породах почвы на расстояние, равное примерно ширине области ПГД в плоскости пласта, а в породах кровли – на высоту, превышающую это расстояние в 1,2-1,5 раза.

Под действием опорного давления слой полезного ископаемого сжимается. Деформации в этой области возрастают от упругих до необратимых пластических и даже разрушительных на границе с выработанным пространством. Величина зоны раздавленного угля на кромке целика может достигать 2 – 6 м.

Рис. 2.2. Схема образования полостей отслоений над очистной выработкой на разрезе вкрест простирания
АБВГ – область сдвижения горных пород

В зависимости от условий разработки, способов управления кровлей и других влияющих факторов, число, размер и местоположение областей могут варьировать. Так, при закладке выработанного пространства или при управлении кровлей способом плавного опускания область обрушения, как правило, отсутствует и непосредствен-

но над выработанным пространством располагается область разломов и трещин. При малой вынимаемой мощности и пластичных вмещающих породах может отсутствовать также и она. В этом случае процесс сдвижения происходит в виде плавного прогиба породных слоев без разрыва их сплошности.

Знание размеров областей различных деформаций в массиве горных пород необходимо для решения вопросов, связанных с размещением, охраной и поддержанием горных выработок различного назначения.

При решении вопросов безопасного ведения горных работ вблизи водных объектов, расположенных как в толще горных пород, так и на земной поверхности, первостепенное значение имеют размеры зоны водопроводящих трещин (ЗВТ).

В результате сдвижения горных пород под влиянием горных выработок сдвигается и земная поверхность. Участок земной поверхности, подвергшийся сдвижению под влиянием отдельной очистной выработки, принято называть **мульдой сдвижения**.

В зависимости от величины и характера деформирования земной поверхности в мульде сдвижения различают несколько зон. Это **зона влияния, зона опасного влияния, зона трещин и зона провалов**. На рудных месторождениях иногда выделяют **зону террас**, где раскрытие трещин или высота уступов превышают 0,25 м.

Границы зоны влияния подземных разработок определяются по граничным углам (см. рис. 1.1). Граничными углами называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальными линиями и линиями, последовательно проведенными в коренных породах и наносах, соединяющими границу очистной выработки с границей зоны влияния подземных разработок на земной поверхности.

При определении границ зоны влияния приняты следующие значения деформаций земной поверхности при расстояниях между реперами 15 – 20 м:

наклоны $i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$, растяжения $\varepsilon = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$.

При построении граничных углов на разрезах используются границы очистной выработки, т.к. они наиболее достоверно известны из данных маркшейдерских съемок, хотя и не отражают действитель-

ной границы области влияния на уровне плоскости пласта. Поэтому **линии, проведенные на вертикальных разрезах под граничными углами, нельзя отождествлять с границами области сдвижения горных пород в массиве.**

Различают граничные углы: в наносах φ_0, которые принимаются одинаковыми во всех направлениях и учитываются при мощности наносов более 5 м; в коренных породах - δ_0, β_0, γ_0, β_{01}. Углом δ_0 определяются границы зоны влияния подземных разработок по простиранию пласта, углами β_0 и γ_0 – вкрест простирания пласта соответственно со стороны падения и восстания, углом β_{01} определяется граница зоны влияния в лежачем боку при углах падения α больше предельных значений $\alpha_п$.

В пределах зоны влияния подземных разработок выделяют зону **опасного влияния**. Для определения границ зоны опасного влияния приняты следующие значения деформаций земной поверхности: наклон $i = 4 \cdot 10^{-3}$; кривизна $K = 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ 1/м; растяжение $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ (при среднем интервале 15 – 20 м).

Углы сдвижения могут использоваться только для определения границ зоны опасного влияния на земной поверхности и границ предохранительных целиков, оставляемых для охраны зданий и сооружений, расположенных на земной поверхности.

Для толщи горных пород углы сдвижения физического смысла не имеют.

В пределах зоны опасного влияния на земной поверхности может образоваться **зона трещин**. Границы зоны трещин определяются углами разрывов δ'', β'', γ'', β_1''. Углы разрывов определяются на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границу выработки с ближайшей к границе мульды сдвижения трещиной. Углы разрывов используются при построении предохранительных целиков под водные объекты и для определения границ зоны трещин на земной поверхности.

При разработке слоистого полезного ископаемого на глубинах, равных или меньших, чем ширина выработанного пространства отдельной очистной выработки, в мульде сдвижения образуется так называемое плоское дно, где оседания имеют максимальные величины. Подработка, при которой образуется плоское дно в мульде, называет-

ся **полной**. На вертикальных разрезах плоское дно мульды определяется углами полных сдвижений (см. рис. 1.1).

Углы полных сдвижений - внутренние относительно выработанного пространства, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды плоскостью пласта и линиями, соединяющими границы выработки с границами плоского дна мульды сдвижения. Различают углы полных сдвижений (см. рис. 1.1) у границы выработки: нижней ψ_1, верхней ψ_2, по простиранию ψ_3.

При неполной подработке земной поверхности точка с максимальным оседанием в мульде сдвижения определяется углом максимального оседания. **Угол максимального оседания Θ** - угол со стороны падения пласта, образованный на вертикальном разрезе в главном сечении мульды сдвижения вкрест простирания пласта горизонтальной линией и линией, соединяющей середину очистной выработки с точкой максимального оседания.

Формы сдвижения в сильной степени зависят от угла падения породных слоев. Если при горизонтальном и пологом залегании породные слои сдвигаются в основном в форме последовательного прогиба в сторону выработанного пространства по нормали к напластованию с образованием областей, рассмотренных выше (ПГД, обрушения и др.), то с возрастанием угла падения пласта процесс сдвижения характеризуется появлением новых форм.

2.2.2. Схема сдвижения при наклонном залегании

Одной из таких форм являются **сдвижения по контактам напластования** [10], проявляющие со стороны восстания от обычной зоны сдвижений, ограниченной линией AM (рис. 2.3), где породные слои прогибаются по нормали к напластованию при превышении углов падения пород α угла трения по наиболее слабым контактам (ρ').

Механизм сдвижения пород по напластованию представляется следующим. После проведения очистной выработки AB в пределах контура ABNM происходит сдвижение горных пород с преобладанием формы в виде нормального прогиба. При этом в период активной стадии сдвижения в прогибающихся породах исчезает боковой распор. Таким образом, призма ACM на некоторое время лишается отпора со стороны сдвигающихся пород, расположенных над выработ-

танным пространством, и отдельные слои в этой призме в зависимости от величины сцепления и угла трения по межслоевым контактам сдвигаются (точка D) по падению в сторону выработанного пространства.

Рис 2.3. Схема сдвижения горных пород по контактам напластования

Практически на угольных месторождениях на земной поверхности деформации, вызванные сдвижениями по напластованию на участке МС на выходах наиболее слабых контактов под наносы, достигают опасных значений при углах падения, превышающих 15 – 25°, а при углах падения свыше $\alpha_п$ распространяются на участке СЕ в лежачем боку, где породные слои освобождаются от подпора сдвигающимися породами в области разгрузки, образующейся под выработкой.

Наиболее слабыми контактами в массиве, по которым происходят сдвижения по напластованию, являются, как правило, контакты угольных пластов и пропластков с вмещающими породами. Обследование контактов в шахте показывает, что большинство из них представляют собой зеркала скольжения.

Сдвижения по контактам напластования являются опасными для зданий и сооружений, расположенных на земной поверхности в районе выходов слабых контактов под наносы. Опасны они также для

стволов и других выработок, находящихся в массиве, т.к. вызывают повреждения в местах пересечения ими таких контактов. Эта форма сдвижения не представляет большой опасности для проникновения воды из подрабатываемых водных объектов, так как при ней в массиве не образуется раскрытых водопроводящих трещин.

2.2.3. Схема сдвижения при крутонаклонном залегании

При разработке крутонаклонных месторождений обрушенные породы могут перемещаться на значительные расстояния в выработанном пространстве, в отличие от пологого и наклонного залеганий, где обрушенная порода перемещается только на величину вынимаемой мощности, а отжатый и разрушенный опорным давлением уголь на кромке целика остается на месте и продолжает взаимодействовать с его оставшейся частью.

При крутом падении слоев обрушающаяся порода под действием собственного веса скатывается в нижнюю часть выработанного пространства, где, подбучивая кровлю, не дает ей обрушаться. В верхней же части очистной выработки в образовавшемся куполе обрушение пород и разрушение целика продолжаются до тех пор, пока (с учетом коэффициента разрыхления) ими не будет заполнено выработанное пространство.

В тех случаях, когда выработанное пространство значительно и разрыхленных пород и полезного ископаемого недостаточно, чтобы его заполнить, на земной поверхности образуется провал. В зависимости от величины провала в его окрестности иногда образуются крупные трещины.

При этом прослеживается следующая закономерность: при устойчивых вмещающих породах и углах падения более $65 \div 70^0$ провалы образуются преимущественно в результате разрушения целика оставленного на выходах полезного ископаемого под наносы (рис.2.4, а); при меньших углах падения ($45 \div 65^0$) и слабых вмещающих породах основной причиной образования провалов является обрушение пород над верхней частью выработанного пространства (рис. 2.4, б). В первом случае провалы располагаются непосредственно над выходами пластов под наносы. Ширина зоны провалов и трещин около

Рис. 2.4. Схемы образования провалов при разработке крутопадающих угольных пластов:
а - от разрушений угольного целика, б - от обрушения пород кровли только в верхней части лавы

них достигает 25-30 м. Во втором случае ширина этой зоны достигает 45 и более метров, а местоположение провала смещается в плане от места выхода пласта под наносы в сторону падения.

Сдвижение обрушенных пород и отжатого опорным давлением полезного ископаемого из целика в виде скатывания их из верхней его части выработанного пространства в нижнюю происходит и при разработке на последующих горизонтах. В результате разрушения междуэтажных целиков и потолочин иногда может происходить перепуск ранее обрушенных пород из выработанного пространства вышележащих горизонтов и возобновление процессов обрушения пород кровли и разрушения оставленного целика при разработке на первом горизонте. Поэтому происходит активизация (увеличение размера) старых провалов или образование новых, если их не было при разработке полезного ископаемого на первом горизонте.

Вероятность образования как вторичных, так и первичных провалов при разработке полезных ископаемых на последующих горизонтах уменьшается. Это происходит потому, что, во-первых, обрушенные породы, заполнившие выработанное пространство первого горизонта, со временем слеживаются, а во-вторых, они замещаются прогибающимися породами висячего бока и перестают перепускаться.

Условие превышения угла падения пласта величины arctg f ' не единственное, при котором обрушенные породы скатываются под собственным весом в выработанном пространстве. Скатыванию пород

препятствует наличие крепи в очистной выработке, ее вид и плотность. Кроме того, проявление этой формы сдвижения зависит от мощности породных слоев непосредственной кровли и вынимаемой мощности пласта. Скатывания пород в выработанном пространстве не происходит, если отношение мощности породных слоев в кровле к вынимаемой мощности пласта превышает величину 0,4÷0,5. Поэтому практически скатывание пород и образование провалов на земной поверхности отмечается при углах падения свыше 45^0.

При этой форме сдвижения изменяются граничные условия сдвижения. За счет заполнения выработанного пространства перепустившимися породами, которые действуют как закладка, в нижней части выработанного пространства не происходит обрушения пород кровли. В верхней части граница области, прогибающихся пород висячего бока, сдвигается по восстанию, достигая земной поверхности в случае образования провала.

2.2.4. Схема сдвижения при крутом залегании

При сдвижении горных пород в виде последовательного прогиба слоев по нормали к напластованию отношение горизонтальной составляющей вектора смещения в точке максимального оседания $\xi_{(\eta m)}$ к вертикальной η_m равно тангенсу угла падения пласта. Однако эта зависимость выдерживается только при углах падения менее α_n=45 + ρ/2 (рис.2.5).

При углах падения пласта свыше предельного α_n вертикальная составляющая вектора смещения в точке максимального оседания возрастает по отношению к горизонтальной. Такое качественное изменение характера сдвижения связано с тем, что породные слои теряют свою устойчивость в продольном направлении. Эта форма сдвижения в некотором роде подобна сдвижению пород неустойчивых откосов при открытых разработках и названа сползанием. Основное отличие проявления сдвижения пород в этой форме при подземной разработке заключается в том, что величина сползания ограничивается вынимаемой (эффективной) мощностью пласта и взаимовлиянием сдвигающихся пород висячего и лежачего боков. В форме сползания сдвигаются породы лежачего бока разрабатываемого полезного ископаемого.

Угол падения пласта

Рис. 2.5. График зависимости отношения $\xi_{(\eta m)}$ к η_m от угла падения пласта $1 - \operatorname{tg} \alpha$

Она присутствует также наряду со скатыванием, сдвижениями по напластованию и нормальным прогибом породных слоев в сдвижении пород висячего бока (рис. 2.6).

Таким образом, при слоистом строении и согласном залегании вмещающих пород по мере возрастания угла падения в схемах появляются новые формы, разнообразя и усложняя протекание процесса сдвижения.

Рис. 2.6. Схема сдвижения горных пород при весьма крутом залегании: области: 1- прогиба породных слоев; 2 - нормальных прогибов и сползания пород; 3 - нормальных прогибов и интенсивного сползания пород; 4 - интенсивного сползания пород; 5 - сползания пород

2.3. Возникновение, развитие и затухание процесса сдвижения подработанной толщи

Сдвижение подрабатываемой толщи пород начинается с медленного прогиба кровли в очистной выработке. В первый период, когда забой отошел от целика на незначительное расстояние, непосредственная кровля практически находится в устойчивом состоянии и сдвижение ее в форме прогиба измеряется малыми величинами. По мере увеличения расстояния между целиком и забоем скорость прогиба кровли повышается и наступает интенсивное сдвижение.

Расстояние между целиком и забоем, при котором наступает потеря равновесия кровли и интенсивное сдвижение, колеблется в широких пределах (4-15 м) и зависит от состава пород кровли, их крепости, условий залегания и скорости подвигания забоя очистной выработки. Так, в Подмосковном бассейне это расстояние составляет 3-4 м, в Кузнецком при средней крепости пород – 15 м.

После потери равновесия непосредственной кровли пласта сдвижение пород подработанной толщи распространяется до земной поверхности. Распространение сдвижения пород в подработанной толще от очистной выработки до земной поверхности происходит с различной скоростью и зависит от глубины, мощности слоев и физико-механических свойств пород подработанной толщи.

В Подмосковном бассейне при глубине разработки 40 – 60 м сдвижения на земной поверхности проявляются через 3-10 дней после начала интенсивного сдвижения кровли пласта. К этому времени отход забоя лавы от целика составляет 1/4 - 1/3 глубины разработки (8-16 м). По другим бассейнам (Донецкий, Кузнецкий) при H=100-150 м сдвижение достигает земной поверхности при отходе забоя лавы от целика на расстоянии ½ H.

По мере подвигания забоя лавы в сдвижение приходят новые участки подработанной толщи. Когда забой отходит на значительное расстояние (0,8-1,0 H), сдвижение подработанной толщи приобретает закономерный характер. Закономерность состоит в том, что в зависимости от геологических условий залегания пород, их физико-механических свойств, способа управления кровлей, скорости подвигания забоя и других горнотехнических условий устанавливается вполне определенный характер сдвижения подработанной толщи.

Слои, близко расположенные к выработанному пространству, приобретают наибольшую скорость сдвижения, а наиболее удаленные от выработанного пространства сдвигаются с меньшей скоростью.

Максимальная скорость оседаний земной поверхности ($V_{\eta max}$) находится в обратно пропорциональной зависимости от глубины горных работ и может быть определена по формуле (м/мес)

$$V_{\eta max} = 2K_{\eta}\frac{\eta_m \cdot C}{H}, \qquad (2.1)$$

где η_m – величина максимального оседания в мульде; С – скорость подвигания очистного забоя; Н – глубина разработки; K_{η} - коэффициент, который для угольных месторождений варьирует от 1,5 до 2,2.

Скорости сдвижения слоев колеблются в широких пределах и зависят от крепости пород, мощности прогибающихся слоев, их нарушенности (в том числе предыдущими подработками), угла падения, способа управления кровлей, вынимаемой мощности; скорости подвигания забоя, глубины разработки.

С увеличением крепости пород, мощности слоев, угла падения и расстояния от выработанного пространства скорость сдвижений уменьшается. С увеличением вынимаемой мощности пласта и скорости подвигания забоя скорость сдвижения увеличивается.

Максимальная скорость сдвижения слоев в форме прогиба при различных горно-геологических условиях различная и колеблется от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в сутки.

После остановки забоя и прекращения очистной выемки скорость оседания слоев подработанной толщи уменьшается и процесс сдвижения постепенно затухает.

С увеличением расстояния от выработанного пространства величины сдвижений подработанной толщи уменьшаются. Это происходит в результате увеличения объема пород, обрушающихся в выработанное пространство, за счет образования трещин и разломов в отдельных слоях и расслоения пород, появления промежутков между слоями. Кроме того, при ограниченных размерах выработанного пространства затухание процесса происходит за счет выдавливания (пла-

стического течения) пород из массива в сторону_выработанного пространства. Разработка с обрушением кровли способствует увеличению объема пород подработанной толщи в большей степени, чем выемка с частичной или полной закладкой. Затухание процесса сдвижения в толще при выемке с обрушением кровли на небольших расстояниях от кровли происходит значительно быстрее, чем при выемке с закладкой. Расслоение пород в подработанной толще вызывается неодинаковыми механическими свойствами чередующихся слоев. Мощные и крепкие слои при прогибе и разломе неплотно прилегают друг к другу и образуют в отдельных местах пустоты – отслоения.

Затухание процесса сдвижения в подработанной толще происходит неравномерно, в зоне трещин и разломов значительно быстрее, чем в зоне прогибов. Затухание колеблется в значительных пределах: от 0,1 до 6 мм на 1 м толщи.

Процесс сдвижения земной поверхности в зоне влияния подземных разработок характеризуется общей продолжительностью и периодом опасных деформаций.

Под **общей продолжительностью процесса сдвижения** понимается период, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в состоянии сдвижения.

Общая продолжительность процесса сдвижения (T, мес) от влияния отдельной очистной выработки определяется следующим образом:

при подвигании очистного забоя по простиранию (рис. 2.7, а,б)

$$T = k_T \frac{H}{C}(ctg\delta_0 + ctg\psi_3); \qquad (2.2)$$

при подвигании очистного забоя по падению (см. рис. 2.7, б)

$$T = k_T \frac{H}{C}\left(\frac{\cos(\psi_1 + \alpha)}{\sin\psi_1} + \frac{\cos\beta_0}{\sin(\beta_0 + \alpha)}\right); \qquad (2.3)$$

при подвигании очистного забоя по восстанию (см. рис. 2.7, в,г)

$$T = k_T \frac{H}{C}\left(\frac{\cos\gamma_0}{\sin(\gamma_0 - \alpha)} + \frac{\cos(\psi_2 - \alpha)}{\sin\psi_2}\right), \qquad (2.4)$$

где δ_0, β_0, γ_0 – граничные углы; ψ_1, ψ_2, ψ_3 – углы полных сдвижений, определяемые по нормативным документам [11]; H – глубина залегания пласта под рассматриваемой точкой; α - угол падения пласта; C - скорость подвигания очистного забоя.

Рис. 2.7. Схемы для определения общей продолжительности процесса сдвижения: 1 – 1' и 2 – 2' – соответственно зоны влияния при подвигании очистных забоев по простиранию (а) и по падению либо восстанию (б); 3 – 3' и 4 – 4' – соответственно зоны влияния при подвигании очистных забоев по восстанию (в) и по простиранию (г)

Коэффициент k_T определяется из таблицы в зависимости от средней скорости подвигания очистного забоя C и средней глубины горных работ H (табл. 2.1)

Таблица 2.1.

Значение коэффициента k_T

Средняя скорость подвигания очистного забоя С, м/мес	Глубина горных работ Н, м		
	до 100	до 300	≥ 500
20	1,5	1,2	1,1
60	1,8	1,5	1,3
150	2,0	1,5	1,5

Примечание: для промежуточных значений С и Н k_T определяется интерполированием.

Под **периодом опасных деформаций** понимается период сдвижений земной поверхности, в течение которого проявляется вредное влияние разработок на сооружения и природные объекты, а величины деформаций превышают критические деформации, принятые для определения углов сдвижения.

Период опасных деформаций (t, мес)* определяется в тех случаях, когда горные работы ведутся выше безопасной глубины разработки и определяются из выражений:

$$t = 0{,}65T; \text{ при } H \text{ до } 300 \text{ м};$$
$$t = 0{,}55\ T; \text{ при } H = 500 \text{ м}. \qquad (2.5)$$

За начало процесса сдвижения точки земной поверхности принимается дата, на которую оседание точки достигает 15 мм, за окончание процесса сдвижения принимается дата, после которой суммарные оседания на протяжении 6 месяцев не превышают 10 % от максимальных, но не более 30 мм.

При наличии в массиве мощных крепких песчаников и возможности зависания пород дата окончания процесса сдвижения устанавливается с привлечением специализированной организации.

За начало процесса сдвижения точки впереди движущегося забоя принимается дата, на которую расстояние в плане от забоя до этой точки составляет

* Промежуточные значения t определяются интерполированием.

$$l_1 = H_{ср} \operatorname{ctg}\delta_0, \qquad (2.6)$$

а за начало периода опасных деформаций – дата, на которую расстояние в плане от точки составит

$$l_2 = H_{ср} \operatorname{ctg}\delta, \qquad (2.7)$$

где δ_0 и δ - соответственно граничный угол и угол сдвижения по простиранию.

При разработке свит пластов общая продолжительность процесса сдвижения определяется из выражения $T = k_T T_0$, где T_0 – время разработки всех пластов свиты в зоне влияния на рассматриваемую точку.

2.4. Особенности сдвижения горных пород при разработке рудных месторождений

Рудные месторождения характеризуются большим разнообразием форм и размеров рудных залежей (пласты, линзы, штоки, жилы, дайки и т.д.), горно-геологических условий, широкими пределами изменения крепости, слоистости и трещиноватости вмещающих рудные тела пород, применением разнообразных систем разработки.

В связи с этим процесс сдвижения горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки рудных месторождений имеет более сложные и многообразные формы проявления, чем на угольных месторождениях.

По условиям залегания рудных залежей, структурным особенностям и составу толщи вмещающих пород месторождения подразделяются на три типа. К I типу относятся месторождения, где рудные тела залегают согласно со слоями осадочных, метаморфических или рассланцованных эффузивных пород. При этом осадочные или метаморфические породы имеют четко выраженное напластование, сланцеватость и контакты слоев. Месторождения II типа характеризуются грубослоистым массивом горных пород, в котором рудные тела залегают ориентировочно согласно с чередующимися слоями интрузивных и метаморфических пород, а контакты слоев выражены нечетко. К III типу относятся месторождения, где рудные тела расположены в

массивах пород неслоистого строения или в массивах, утративших слоистость в результате метаморфизма.

При разработке месторождений I типа процесс сдвижения протекает в тех же формах, что и на угольных месторождениях. Разработка мощных и крутопадающих рудных залежей системами с обрушением кровли приводит, как правило, к образованию на земной поверхности зон плавных сдвижений, трещин, террас и провалов (рис. 2.8).

Значения углов сдвижения и других углов зависят от мощности вмещающих пород и от угла падения породных слоев, размеров выработанного пространства и физико-механических свойств пород.

По мере понижения горных разработок размер провала на земной поверхности возрастает до тех пор, пока не произойдет защемление обрушившихся пород прогибающимися породными слоями висячего бока залежи.

На месторождениях II типа сдвижение подработанных пород происходит преимущественно в виде обрушения и сползания породных блоков в выработанное пространство. При этом на величины углов разрыва существенно влияет степень трещиноватости и ориентировка систем трещин породного массива.

В еще большей степени трещиноватость и ориентировка систем трещин, а также прочность вмещающих рудное тело пород влияет на характер процесса сдвижения на месторождениях III типа, которые представлены в основном жильными месторождениями. В неслоистом массиве сдвижение пород протекает в форме сползания. При крепких вмещающих породах и разработке залежей (гнезд, карманов, штоков и др.), не имеющих выхода на земную поверхность, сдвижения горных пород могут ограничиться поверхностью свода обрушения в непосредственной кровле очистной выработки, которые сохраняют устойчивое состояние земной поверхности длительный период (до 100 и более лет).

Под **устойчивым состоянием земной поверхности** понимается такое состояние, когда земная поверхность над горными выработками не сдвигается вообще или получает деформации меньше критических.

При наличии наносов и мощной зоны выветренных пород при разработке рудных жил и даек, залегающих в прочных вмещающих

породах, на земной поверхности образуются зоны, которые показаны на рис. 2.8.

Рис. 2.8. Схема расположения областей и зон сдвижения горных пород и земной поверхности при разработке рудных месторождений: а - на разрезе; б - в плане;
А – мульда сдвижения; зоны: Б – плавных сдвижений, В – трещин, Г – опасных деформаций, Д – террас, Е – провалов; границы: 1 – области сдвижения горных пород, 2 – области обрушения, 3 – мульды сдвижения, 4 – зоны опасных деформаций, 5 – зоны трещин, 6 – зоны террас, 7 – зоны провалов

При ведении очистных работ ниже глубины распространения зоны выветривания, где породы характеризуются малой прочностью, вмещающие рудное тело породы остаются в устойчивом состоянии. Выработанное пространство заполняется перепустившимися породами с вышележащих ранее отработанных горизонтов в случаях разрушения межгоризонтных потолочин (рис. 2.9).

Рис. 2.9. Схема определения зон влияния при наличии выветрелых пород и подсеченных горными выработками тектонических нарушений:
Ж – зона блоковых сдвижений; 1 – граница наносов; 2 – граница распространения выветрелых пород; 3 – тектоническое нарушение

При подсечении очистными горными выработками крупных тектонических нарушений, имеющих угол падения сместителя более угла трения по плоскости сместителя (ρ'_c), на земной поверхности в районе выхода нарушения под наносы могут возникать деформации, превышающие допустимые для сооружений.

На рудных месторождениях граничные углы, углы сдвижения и другие углы, так же, как и на угольных месторождениях, в толще горных пород физического смысла не имеют, т.к. плоскости, проведенные на вертикальных разрезах с использованием их, не являются границами областей деформирования в массиве. Они служат лишь

для определения границ соответствующих зон на земной поверхности.

Исключение составляют углы сдвижения, которые используются для определения границ предохранительных целиков под здания и сооружения, и углы разрыва, применяемые при построении предохранительных целиков под водные объекты.

При полной подработке, когда пластообразные рудные тела и залежи разрабатываются системами, предусматривающими отработку целиков и погашения пустот, общую продолжительность процесса сдвижения земной поверхности (Т, год) после прекращения очистных работ и ликвидации пустот ориентировочно можно определить по зависимости

$$T = 0{,}01\ H, \qquad (2.8)$$

где Н – глубина отработки (в пределах глубин 100-500 м).

В условиях неполной подработки земной поверхности, при отработке слепых рудных тел, при камерно-столбовых системах разработки и системах с закладкой выработанного пространства возможны задержки в развитии процесса сдвижения или сохранение устойчивого состояния земной поверхности на длительные сроки. В указанных условиях продолжительность процесса сдвижения не регламентируется и устанавливается непосредственными инструментальными наблюдениями.

При этом началом процесса считается дата, когда наибольшее оседание точек земной поверхности в мульде сдвижения достигает 15 мм, а окончанием – менее 50 мм в год после прекращения горных работ.

Более подробно о характере процесса сдвижения при разработке рудных месторождений изложено в специальной литературе [5, 13, 15].

3. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ХАРАКТЕР СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Факторы, которые оказывают влияние на характер процесса сдвижения и его параметры, подразделяются на природные и технологические [9].

К первым относятся: геологическое строение толщи, физико-механические свойства пород, угол падения пород, глубина залегания залежи, тектоническая нарушенность месторождения, гидрогеологические условия и т.д.

Ко вторым относятся факторы, которые создаются в процессе разработки месторождения. Это прежде всего применяемые системы разработки и способы управления горным давлением.

В зависимости от природных (естественных) факторов, используя и изменяя технологические (искусственные) факторы, можно существенно влиять на характер процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. Рассмотрим влияние основных из них более подробно.

3.1. Угол падения залежи и вмещающих пород

В главе 2 показано, что угол падения пласта является одним из основных факторов, определяющих форму проявления процесса сдвижения горных пород. При горизонтальном и пологом залегании разрабатываемого пласта процесс сдвижения происходит в виде последовательного прогиба породных слоев (с разрывом или без разрыва их сплошности) в сторону выработанного пространства по нормали к напластованию.

При наклонном залегании к этой форме сдвижения добавляется форма сдвижения, называемая сдвижениями по контактам, когда сдвигающиеся в виде нормального прогиба слои освобождают из-под подпора эти же породные слои на участке по восстанию от выработанного пространства. В результате происходит сдвиг пород по наиболее слабым контактам в направлении падения пласта.

При крутонаклонном залегании обрушенные породы под собственным весом скатываются в нижнюю часть выработанного про-

странства, где подбучивают кровлю, не давая ей обрушиться и, освобождая в верхней части место для последующего обрушения пород, в некоторых случаях вызывают появление провалов на земной поверхности.

При крутом залегании пластов, наряду с формами, перечисленными выше, процесс сдвижения проявляется в виде сползания, когда нарушается устойчивость породных слоев в продольном направлении. В результате возрастает вертикальная составляющая векторов сдвижения пород по сравнению с прогибом по нормали к напластованию и сдвигаются породы лежачего бока.

3.2. Вынимаемая мощность залежи и способ управления горным давлением

При применении систем разработки с управлением горным давлением полным обрушением кровли процесс сдвижения протекает наиболее интенсивно. С увеличением вынимаемой мощности возрастает высота зоны обрушения в подработанной толще. В тех случаях, когда зона обрушения пород достигает земной поверхности, на ней образуются провалы. В зависимости от состава пород налегающей толщи высота области обрушения может достигать (3 – 5)m, где m – вынимаемая мощность пласта.

Существенно снижаются величины сдвижений и деформаций горных пород, когда выемка пластов осуществляется на неполную мощность или с применением закладки выработанного пространства материалом, доставленным из-за пределов зоны влияния на подрабатываемую земную поверхность.

Управление кровлей плавным опусканием на костры или выкладкой в выработанном пространстве бутовых полос также способствует плавному и равномерному сдвижению толщи пород и земной поверхности.

3.3. Размеры выработанного пространства и наличие целиков внутри него

В условиях полной подработки, когда размер выработки превышает глубину разработки, при пологом залегании размер выработ-

танного пространства мало влияет на параметры процесса сдвижения. При неполной подработке увеличение размеров выработанного пространства приводит к возрастанию величин сдвижений и деформаций в мульде сдвижения и к увеличению размеров мульды.

Оставленные в выработанном пространстве целики изменяют характер сдвижения нижних породных слоев кровли, приводят к концентрации напряжений в породах, расположенных над и под целиками. При определенном соотношении размеров целиков и выработанного пространства процесс сдвижения на земной поверхности может не проявиться вообще или длительное время, например, камерных системах разработки.

3.4. Наличие смежных очистных выработок

Влияние смежных выработок на параметры процесса сдвижения горных пород и земной поверхности проявляется в расширении зоны влияния очистной выработки, в увеличении оседаний, изменении величин деформаций в мульде по сравнению с аналогичными параметрами, получаемыми от влияния отдельно взятой первичной очистной выработки.

Общий результат комплексного влияния многих факторов, вызывающих отличия в параметрах, принято называть активизацией процесса сдвижения.

Основными причинами, вызывающими активизацию, являются доуплотнение обрушенных пород и закрытие образовавшихся в массиве горных пород трещин и полостей отслоения.

При посадке кровли, как известно, породы обрушаются под собственным весом, разделяясь на слои и блоки (рис. 3.1).

Около границ выработки породные блоки взаимодействуют как с обрушенными породами в выработанном пространстве, так и необрушенными слоями, передавая свой вес одним краем на почву пласта в выработанном пространстве, а другим – на целик, образуя пустоты у границ выработки. Причем размеры пустот в плоскости пласта максимальны в углах очистной выработки.

В случае, если рядом с вновь проходимой очистной выработкой имеется смежная, ранее пройденная и погашенная очистная выработка при отсутствии целика между ними, породные блоки в кровле но-

вой выработки обрушаются полностью без образования пустот на границе со смежной выработкой. Одновременно дообрушаются зависшие блоки в ранее пройденной выработке, а также закрываются трещины и отдельные полости отслоений в породном массиве, расположенном над ней.

Рис. 3.1. Схема сдвижения пород при наличии смежной выработки:
1 – действующая выработка; 2 – смежная выработка

В результате граница мульды сдвижения, а также точка максимального оседания в ней смещаются в сторону старой смежной выработки. Возрастает величина максимального оседания в мульде сдвижения. Эти моменты учитываются в методике расчета сдвижений и деформаций путем использования других значений граничных углов и угла θ, а также других коэффициентов подработанности N_1 и N_2 [11]. При бесцеликовых технологических схемах отработки пластов наличие смежных ранее отработанных и погашенных выработок наблюдается как со стороны восстания, падения так и по простиранию.

3.5. Глубина горных работ

Глубина горных работ наиболее существенное влияние оказывает на следующие параметры: распределение сдвижений и деформа-

ций земной поверхности; величины деформаций; продолжительность процесса сдвижения; скорость оседаний и деформаций.

При малой глубине разработки земная поверхность может попасть в зону обрушения или зону трещин и разломов. Если высота области обрушения горных пород над выработанным пространством значительна, то на земной поверхности образуются зоны провалов, больших трещин с уступами (террас), трещин и плавных сдвижений. Особенно большие деформации земной поверхности наблюдаются при разработке рудных месторождений, когда рудные тела большой мощности отрабатываются системами с обрушением пород кровли.

На угольных месторождениях при глубине горных работ менее 30 - кратной мощности пласта, пологом и наклонном залегании земная поверхность сдвигается интенсивно с образованием видимых трещин. Сдвижение земной поверхности происходит в виде опускания отдельных блоков, размеры которых соответствуют шагу посадки основной кровли пласта.

Деформации в зонах провалов и больших трещин неравномерны и не поддаются расчету.

С возрастанием глубины горных работ величины сдвижений и деформаций земной поверхности уменьшаются, а процесс сдвижения становится более плавным во времени и пространстве.

Уменьшение деформаций пропорционально степени подработанности земной поверхности, выраженной отношением размера очистной выработки к глубине разработки, и обратно пропорционально размеру мульды сдвижения.

Определение безопасной глубины разработки при охране сооружений на земной поверхности основано на уменьшении деформаций земной поверхности с возрастанием глубины разработки.

3.6. Физико-механические свойства пород

Физико-механические свойства пород оказывают существенное влияние на параметры и характер процесса сдвижения.

На угольных месторождениях прослеживается зависимость изменения угла δ_0 от коэффициента крепости по М.М.Протодьяконову f, которая выражается следующей формулой [1]:

$$\delta_0 = 50^0 + 2f\,. \qquad (3.1)$$

Значение коэффициента f для каждой породы определяется из выражения

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{10}\,, \qquad (3.2)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа.

Для толщи коренных пород [11] коэффициент крепости f находится по формуле

$$f = \frac{K_n \cdot f_n + K_a \cdot f_a}{100}\,, \qquad (3.3)$$

где f_n – средневзвешенный коэффициент крепости песчаников, известняков и других, близких к ним по значениям $\sigma_{сж}$ (конгломераты, гравелиты и др.) пород; f_a – аналогичный коэффициент для алевролитов, аргиллитов, угля и других пород, близких с ними значениями $\sigma_{сж}$; K_n и K_a – содержание прочных и более слабых пород (в процентах) в расчетном геологическом разрезе.

На угольных месторождениях [1] установлены эмпирические зависимости между некоторыми параметрами сдвижения и f, но использование этого коэффициента рекомендуется лишь для неизученных месторождений. Для изученных же месторождений параметры процесса сдвижения определяются по другим зависимостям, в которых механические свойства учитываются опосредованно.

На рудных месторождениях коэффициент крепости по М.М.Протодьяконову f является одним из основных, который характеризует процесс сдвижения и его параметры.

3.7. Тектонические нарушения

Тектонические нарушения являются плоскостями ослабления в массиве, по которым при подработке происходит сдвижение в сторону горных работ.

Наиболее существенные смещения пород проявляются при наклонном и крутом падениях плоскости сместителя (см. рис. 2.9). На земной поверхности в районе выхода тектонических нарушений так же, как при сдвижениях по контактам напластования, образуются сосредоточенные деформации в виде трещин с уступами.

В горном массиве часто встречаются как крупные разломы, так и более мелкие оперяющие нарушения. Как правило, тектонические нарушения представляют собой плоскости или зоны, заполненные разрушенными породами, иногда с глинкой трения. Зоны перемятых, раздробленных пород наблюдаются и в осевых плоскостях синклинальных складок. Многие контакты напластования и трещины представляют собой зеркала скольжения и обладают низкими показателями прочностных свойств.

На земной поверхности над выходами нарушений под наносы и в зонах тектонических нарушений при их подсечении горными выработками наблюдаются не равномерные деформации, приводящие к повреждениям в расположенных здесь зданиях и сооружениях. В шахтных стволах в местах пересечения ими подрабатываемых тектонических нарушений разрушается крепь и, как показывают профилировки стволов, наблюдаются сдвиговые смещения горных пород.

Степень повреждений в сооружениях и величины вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций в зонах тектонических нарушений зависят от многих факторов, главными из которых являются: расположенные нарушения относительно границ очистной выработки и местоположения выхода нарушения в мульде сдвижения; угол падения плоскости сместителя нарушения; углы падения породы слоев в крыльях нарушения, их взаимное соотношение и также соотношение с углом падения плоскости сместителя; мощность тектонической зоны и различие физико-механических свойств пород в зоне тектонического нарушения и его крыльях; размеры очистной выработки и положение ее границ относительно нарушенной зоны.

Взаимное влияние перечисленных факторов количественно установить без специальных исследований в конкретных условиях довольно сложно. Тем не менее, можно отметить качественное влияние отдельных факторов: возрастание угла падения нарушения ведет к увеличению вертикальных и горизонтальных деформаций в месте выхода нарушения под наносы.

Увеличение мощности нарушенной зоны вызывает уменьшение вертикальных и горизонтальных деформаций.

Максимальные вертикальные и горизонтальные деформации увеличиваются с возрастанием разности углов падения в крыльях нарушения, которые в большей степени проявляются в вертикальных деформациях.

Однако, несмотря на существенное влияние указанных выше факторов, основным является расположение тектонических нарушений в зоне влияния очистной выработки, что приводит к изменению характера и угловых параметров сдвижения толщи горных пород и земной поверхности по сравнению с типичными условиями без нарушений.

3.8. Наличие и мощность наносов

На месторождениях коренные породы почти повсеместно покрыты горизонтально залегающими четвертичными, а иногда и третичными отложениями, называемыми наносами. Наносы, в зависимости от их мощности, оказывают существенное влияние на величины и характер распределения сдвижений и деформаций на земной поверхности.

Менее заметное влияние на характер процесса сдвижения земной поверхности оказывают наносы при разработке пластообразных залежей горизонтального и пологого залеганий. В этом случае наносы залегают практически согласно с коренными породами, а когда они расположены выше зоны обрушения, то прогибаются вслед за аналогичным прогибом слоев коренных пород. В результате на земной поверхности возникают деформации, симметрично распределенные относительно средины очистной выработки.

Наиболее заметное влияние на сдвижение земной поверхности оказывают наносы при разработке залежей наклонного и крутого падений. При малой мощности наносов (менее 5 м) они увлекаются сдвигающимися коренными породами, не оказывая существенного сопротивления им и передавая все неравномерности сдвижения коренных пород на земную поверхность.

При значительной мощности наносов h они оказывают большее сопротивление увлечению их коренными породами главным образом в горизонтальной плоскости.

Сопротивление увлечению наносов коренными породами в различных частях мульды сдвижения неодинаково. В полумульде по падению (рис. 3.2) при прогибе наносов возникают усилия, вызывающие сдвижения земной поверхности и наносов в сторону восстания. В эту же сторону происходит увлечение наносов сдвигающимися в сторону выработанного пространства коренными породами. Поэтому сопротивления увлечению наносов коренными породами, а, следовательно и относительные сдвиги, будут незначительными. В полумульде по восстанию точки на земной поверхности в результате прогиба наносов смещаются по направлению к средине мульды сдвижения. Смещение же коренных пород происходит в виде прогиба нормально к пласту. Поэтому здесь возникают наибольшие сопротивления увлечению наносов коренными породами и, следовательно, сдвиги коренных пород относительно наносов. Именно здесь на границе коренных пород с наносами наблюдаются повреждения крепи в вертикальных шурфах и скважинах.

Рис. 3.2. Схема влияния наносов на процесс сдвижения

Однако даже при значительной мощности наносов сопротивление сдвигу они оказывают до момента, который характеризуется появлением разрывов и трещин сдвигов в наносах при определенных величинах сдвижений и деформаций коренных пород.

На рис. 3.3 показана схема передачи наносами сосредоточенных деформаций коренных пород на земную поверхность. Сосредоточенные деформации в коренных породах проявляются при подвижках пород по контактам напластования или по плоскостям тектонических нарушений.

При смещении по контакту одной части горного массива относительно другой в наносах образуются поверхности сдвига, наклоненные под углом, равным $45^0 + \rho/2$. Поверхность сдвига, находящаяся над опускающейся частью массива, реализуется в трещину сдвига, ограничивающую одну сторону призмы. Вторая ее сторона формируется по закону образования вертикального откоса.

Рис. 3.3 – Схема передачи наносами сдвижений пород
по напластованию на земную поверхность:
1 – наносы; 2 – коренные породы; 3 – контакт, по которому происходит сдвиг;
4 – очистная выработка

По мере возрастания величины сосредоточенной деформации происходит поворот образовавшейся призмы на некоторый угол Δ.

Зная угол поворота Δ, деформации растяжения ε_p и сжатия $\varepsilon_{сж}$, вызванные сдвижением пород по ослабленной плоскости с учетом влияния наносов, можно получить выражения:

$$\varepsilon_p = \frac{h\sin\Delta}{l}, \tag{3.5}$$

$$\varepsilon_{сж} = \frac{\eta_c ctg\alpha - h\sin\Delta}{l}, \tag{3.6}$$

где η_c – оседание на контакте коренных пород с наносами; h – мощность наносов; α - угол падения контакта, по которому происходит сдвиг; l - величина интервала между реперами; Δ - угол поворота призмы.

Значение угла Δ может быть вычислено по формуле

$$\Delta = \arcsin\frac{\eta_c\cos(45-\rho/2-\alpha)}{\sin\alpha\sqrt{\frac{\eta_c^2}{\sin^2\alpha}+\frac{h^2}{\sin^2(45+\rho/2)}+\frac{2h\eta_c\cos(45+\rho/2+\alpha)}{\sin\alpha in\alpha\sin+\rho/2)}}}. \tag{3.7}$$

Следует отметить, что деформации растяжений и сжатий на интервалах, приуроченных к соответствующим краям сдвигающейся призмы, вычисленные по формулам (3.5) и (3.6), имеют максимальные значения, так как практически всегда происходит некоторое смятие вершины призмы в точке А (см. рис. 3.3), в результате чего поворот ее уменьшается.

В целом наносы оказывают благоприятное влияние на характер сдвижения земной поверхности, сглаживая неравномерности сдвижения коренных пород.

Влияние наносов учитывается при их мощности свыше 5 м путем введения коэффициента В при определении расчетных значений горизонтальных сдвижений и горизонтальных деформаций в мульде сдвижения (см. главу 8). Коэффициент В вычисляется по формуле

$$B = \frac{1}{a_0}\left(tg\alpha - \frac{h}{H_c}\right) \geq 0, \tag{3.8}$$

где a_0 – относительное максимальное горизонтальное сдвижение; α - угол падения залежи; H_c – средняя глубина разработки; h – мощность наносов.

3.9. Боковой распор

Для построения предохранительных целиков под сооружения используются обобщенные значения углов сдвижения, полученные в основном над одиночными изолированными очистными выработками и в большинстве случаев на малой глубине. Методика получения углов сдвижения приведена в работах [3] и [4].

Однако построенные с использованием полученных таким образом углов сдвижения целики, как оказалось, со временем не обеспечивают сохранности многих сооружений. Особенно это стало заметным, при полном оконтуривании целиков очистными выработками по нескольким пластам свиты и при большой глубине разработки.

Причина данного явления кроется в том, что при построении предохранительных целиков должны использоваться не те значения углов, которые получены из натурных наблюдений, а другие. Если в первом случае, при отработке одиночной изолированной лавой сдвигающийся массив горных пород над ней представляет собой некоторый "островок" среди не нарушенных подработками пород, то во втором случае, наоборот, таким "островком" являются не нарушенные породы над целиком, оконтуренным со всех сторон очистными горными выработками. В первом случае присутствует дополнительный боковой распор со стороны ненарушенных пород, в результате чего углы сдвижения получаются более крутыми, во втором – боковой распор понижен и породы над целиком как бы "расползаются" под более пологими углами.

Практически боковой распор учитывается при определении устойчивых откосов при открытых разработках полезных ископаемых путем введения поправки в значения угла заоткоски (рис. 3.4).

Рис. 3.4. График для определения поправок $\Delta_ц$, $\Delta_в$ в значение угла сдвижения, учитывающих влияние сил бокового распора

В соответствии с решением задачи об устойчивости откосов круглых выемок при вогнутой в плане форме выемки поправка Δ в значение угла откоса δ, учитывающая избыточный боковой распор по сравнению с прямолинейной формой, когда радиус закругления стремится к бесконечности, может быть определена по графику в зависимости от приведенного радиуса закругления R'. Значение радиуса закругления выемки R' может быть найдено из уравнения

$$R' = (H' + 11{,}5\rho - 7)\,\mathrm{tg}\,(45^0 - \rho^\circ), \qquad (3.9)$$

где ρ, ρ° - угол внутреннего трения пород, рад, град соответственно; H' - приведенная высота откоса, определяется из выражения:

$$H' = \frac{H}{H_{90}}, \qquad (3.10)$$

где H – заданное значение высоты откоса, м;

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma}\mathrm{ctg}(45^0 - \rho^0/2), \qquad (3.11)$$

где С – величина сцепления горных пород; γ - объемный вес горных пород; ρ° - угол внутреннего трения пород, град.

По аналогии с изложенным выше можно получить поправку Δ, учитывающую влияние бокового распора в угол сдвижения при подземной разработке месторождений, принимая в первом приближении очистную выработку за низ выемки, а угол сдвижений - за угол ее откоса.

Следовательно, значение угла сдвижения по простиранию, которое должно использоваться при построении предохранительных целиков под наиболее ответственные сооружения, например вертикальные стволы, может быть получено из выражения

$$\delta_ц = \delta_н - \Delta_в - \Delta_ц, \qquad (3.12)$$

где $\delta_ц$ - значение угла сдвижения δ, используемого для построения целика; $\delta_н$ – значение угла δ, полученного из натурных наблюдений от влияния на земную поверхность одиночной очистной выработки; $\Delta_в$ - поправка, учитывающая избыточный боковой распор по сравнению с прямолинейной в плане формой очистного забоя; $\Delta_ц$ – поправка, учитывающая недостаточный боковой распор по сравнению с прямолинейной в плане границей целика.

Аналогичные поправки вводятся в углы β и γ.

Использование более пологих углов обеспечивает хорошую сохранность стволов весь период эксплуатации шахты. Это гораздо лучше, чем иметь проблемы с обеспечением безопасности при эксплуатации деформированных стволов. Тем более, что запасы полезного ископаемого из увеличенных предохранительных целиков под промплощадку могут быть более эффективно извлечены в конце срока эксплуатации шахты.

3.10. Дренирование толщи горных пород

Практически с начала строительства капитальных вскрывающих горных выработок при промышленном освоении месторождений

приходится откачивать воду, поступающую из обводненных горных пород. Вследствие длительной откачки воды из шахты, сопровождающей весь период ее существования, в массиве горных пород развивается глубокая и широкая депрессионная воронка, площадь которой значительно превышает площадь горного и земельного отводов отдельной шахты. В результате понижения уровня подземных вод возрастает эффективное давление на породный скелет, которое вызывает уплотнение пород и приводит к оседанию земной поверхности. Увеличение эффективных давлений $\Delta\sigma_{эф}$ определяется зависимостью

$$\Delta\sigma_{эф} = \Delta h \cdot \gamma \cdot [(1-P)+\omega_0], \qquad (3.13)$$

где Δh – снижение уровня воды безнапорного горизонта; γ - плотность воды; P - пористость породы; ω_0 – объемная влажность породы.

В зависимости от физико-механических и деформационных свойств пород дополнительные давления на их скелет вызывают упругие и пластические деформации.

Основная часть оседания земной поверхности связана с пластическим уплотнением слабопроницаемых, несцементированных или слабосцементированных глинистых отложений с податливым скелетом.

Породы с жестким скелетом, к которым относятся галечники и гравелистые отложения, сжимаются мало. Скальные же породы практически не сжимаемы. Наибольшие оседания наблюдаются в тех случаях, когда аллювиальные, песчано-гравелистые отложения, имеющие большую пористость, с хорошей водопроницаемостью и небольшой сжимаемостью переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями.

Величина оседаний пород с податливым скелетом $\eta_п$ определится из выражения

$$\eta_п = \frac{\Delta\sigma_{эф} \cdot m \cdot a_c}{(1+\varepsilon_{ср})}, \qquad (3.14)$$

где a_c - коэффициент сжимаемости породы в пределах естественных нагрузок (определяется по натурным или лабораторным испытаниям); m – мощность слоя; $\varepsilon_{ср}$ – средняя величина коэффициента пористости в пределах тех же нагрузок:

$$\varepsilon_{ср} = \frac{P}{(1-P)}, \qquad (3.15)$$

где P - пористость породы.

Оседания земной поверхности от сжатия слоя пород с жестким скелетом $\eta_ж$ определяются по формуле

$$\eta_ж = \frac{\Delta\sigma_{эф} \cdot m}{E}(1-2\nu), \qquad (3.16)$$

где E – модуль Юнга; ν - коэффициент Пуассона.

Величина консолидации достигает больших величин, когда толща горных пород сложена слабыми рыхлыми породами с высокой пористостью. В этих случаях наблюдаются деформации в жесткой крепи вертикальных шахтных стволов, если в ней предусмотрена недостаточная податливость, и в сооружениях. Примеров тому можно привести достаточное количество как на угольных и рудных месторождениях, так и при строительстве метрополитенов, в том числе в г. Екатеринбурге.

Поскольку упругие деформации на два с лишним порядка по величине меньше, чем пластические деформации, то при восстановлении уровня грунтовых вод оседания земной поверхности практически не уменьшаются, а только прекращается их дальнейшее нарастание.

При мокрой консервации горных выработок, к которой иногда по различным причинам приходится прибегать, понижение уровня подземных вод и его поднятие при прекращении откачки происходит несколько раз. Так, например, при строительстве метрополитена в г. Екатеринбурге в районе станции Чкаловская уровень подземных вод понижался на 26 – 30 м первый раз в период 1989 – 1992 гг., второй – в 1996-м и третий – в 1998-м.

В данном случае горные породы подвергались многократным нагружениям. В результате суммарное оседание земной поверхности с каждым последующим нагружением возрастало. На рис. 3.5 приведена схема накопления оседаний земной поверхности η при многократном нагружении породы одной и той же величиной $\Delta\sigma_{эф}$.

Рис. 3.5. Схема накопления оседаний
при цикличном нагружении грунта:
1, 2, 3 – последовательные циклы нагружения – разгрузки

При многократном нагружении породы одной и той же нагрузкой остаточные пластические деформации возрастают, но их приращение с каждым циклом нагружения становится все меньше, и, в конце концов грунт будет испытывать чисто упругие деформации. В песчаных грунтах пластические деформации реализуются полностью при 8 –10 нагружениях, в глинистых – при 15 – 20 и более.

Следовательно, для уменьшения вредного влияния оседаний земной поверхности на расположенные на ней здания и сооружения необходимо избегать многократного восстановления уровня грунтовых вод, которое обычно бывает при мокрой временной консервации горных выработок.

4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД, ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

4.1. Общие сведения

Верхняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и часть верхней мантии, состоит из литосферных плит, разбитых на мегаблоки и блоки более мелких рангов.

В силу блочности строения массива горных пород под действием геодинамических процессов происходят смещения блоков земной коры относительно друг друга. В результате на границах блоков возникают напряжения в массиве горных пород, которые реализуются в сдвижениях и деформациях на земной поверхности или, накапливаясь до критических значений, – в землетрясениях. Границами блоков, по которым происходят сдвижения, являются тектонические разломы в земной коре, дизъюнктивные нарушения и другие плоскости ослабления в массиве горных пород, такие, например, как контакты слоистости.

В районах границ движущихся блоков возникают участки с растяжениями и сжатиями земной поверхности, приводящими к деформациям и разрушениям размещенных там сооружений. Поэтому для решения вопросов о размещении крупных и ответственных сооружений, таких, как АЭС, гидроэлектростанций, трасс магистральных газо–, нефте- и других трубопроводов, требуются тщательные инженерно-строительные изыскания.

Для выявления границ блоков различных рангов и количественной оценки величин сдвижений блоков ведутся инструментальные наблюдения на специальных наблюдательных станциях различных уровней: глобальные, региональные и локальные.

Глобальные наблюдательные станции представляют собой Фундаментальные Астрономо-Геодезические Сети (ФАГС). Систематические высокоточные наблюдения на них проводятся Институтом прикладной астрономии РАН, Институтом физики Земли, МИИГАиК и другими специализированным организациями.

Региональные наблюдательные станции организуются в пределах отдельных месторождений (угольных, рудных, нефтяных и газовых). Они представляют собой геодинамические полигоны, на которых исследуются процессы техногенной геодинамики. Наблюдения на таких полигонах также ведутся специализированными организациями.

Локальные наблюдательные станции организуются в пределах отдельных участков шахтных полей и подрабатываемых объектов. В организации и проведении инструментальных наблюдений на локальных наблюдательных станциях участвуют маркшейдерские службы горных предприятий.

Некоторые вопросы, касающиеся проведения наблюдений регионального (геодинамические полигоны) и, главным образом, локального уровней рассмотрены ниже.

4.2. Наблюдения за сдвижением земной поверхности на геодинамических полигонах

Геодинамический полигон представляет собой систему опорных и рабочих пунктов (реперов), смещения которых получают на основании сравнения периодически повторяемых определений координат реперов (мониторинг). Под термином мониторинг следует понимать систему повторяющихся наблюдений за развитием каких-либо процессов. В нашем случае имеется в виду процесс сдвижения горных пород и земной поверхности.

Опорные реперы геодинамического полигона должны располагаться за пределами влияния проводившихся и предполагаемых к ведению в последующем горных работ и по возможности вдали от границ тектонических разломов. Опорных реперов, как правило, должно быть не менее четырех, расположенных вокруг месторождения в разных его частях. Рабочие реперы в геодинамическом полигоне располагаются равномерно.

Рабочие и опорные реперы должны представлять собой сеть связанных треугольников, в которой все участки шахтных полей находятся внутри внешних векторов сети.

Геометрия сети должна обеспечивать при необходимости возможность ее дальнейшего сгущения.

Для определения координат пунктов геодинамического полигона используются спутниковые навигационные технологии (GPS-технологии) и GPS-аппаратура.

В настоящее время разработано несколько спутниковых радиодальномерных навигационных систем (GPS).

GPS – аппаратура, бывает одно- или двухчастотной использующая сигналы различных спутниковых группировок – российской (ГЛОНАСС), американской (GPS), или их комбинацию.

Для производства измерений на геодинамических полигонах целесообразно использование двухчастотной спутниковой аппаратуры, работающей на сигналах американской спутниковой группировки (GPS). При этом используется поверхность эллипсоида WGS 84, а при обработке результатов – стандартный пакет программ SKI.

Основными принципами и условиями рационального применения GPS-аппаратуры для локальной геодинамики являются:

1) конструкция пунктов должна соответствовать нормам и требованиям ГУГК в части обеспечения их длительной сохранности и предусматривать принудительное центрирование всех измерительных средств, в том числе и GPS-приемников с точностью 0,5-1,0 мм;

2) условия приема радиосигналов на опорных и рабочих реперах должны быть такими, чтобы в поле зрения антенны приемника от 15^0 над горизонтом и выше не было посторонних предметов во время проведения сеанса наблюдений во избежание многолучевости, являющейся результатом отражения спутниковых сигналов от внешних контуров земной поверхности и предметов;

3) для измерений должна применяться двухчастотная спутниковая аппаратура, а при совместных измерениях должно использоваться не менее четырех GPS-приемников;

4) измерения должны обрабатываться с использованием точных эфемерид спутников и вычислением ионосферной модели;

5) каждая из измерительных серий должна включать шесть сеансов GPS-измерений длительностью:

- 1 час для реперов, расстояние между которыми менее 5 км;
- 2 часа для реперов, отстоящих друг от друга на расстояние от 5 до 10 км;
- 4 часа для реперов, расстояние между которыми от 10 до 20 км;

6) сеансы должны быть проведены в различное время суток и при различных созвездиях искусственных спутников Земли (ИСЗ), учитывая, что при ночных измерениях влияние ионосферы в 3-4 раза меньше, чем днем.

Существуют и другие условия, позволяющие уменьшить погрешность GPS-измерений на региональных наблюдательных станциях.

Результаты мониторинговых измерений на пунктах геодинамического полигона должны взаимоувязываться с результатами наблюдений на локальных наблюдательных станциях.

4.3. Наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности на локальных наблюдательных станциях

Сдвижение горных пород и земной поверхности представляет собой сложный процесс, характер проявления которого зависит от сочетания геологических, гидрогеологических, эксплуатационных и других факторов.

Изучение процесса сдвижения производится путем ряда методов, среди которых наибольшее распространение получили натурные наблюдения. Инструментальные измерения в натурных условиях имеют перед другими методами исследований преимущество в том, что позволяют определить непосредственно количественные показатели, характеризующие процесс сдвижения и деформации в конкретных горно-геологических условиях.

Наиболее полную и ценную информацию о процессе сдвижения получают на комплексных локальных наблюдательных станциях включающих наблюдения как в толще горных пород, так и на земной поверхности.

В зависимости от поставленных задач, наблюдения могут проводиться не комплексно, а отдельно: за сдвижением земной поверхности, за деформациями подрабатываемых сооружений или толщи горных пород.

Наземные наблюдательные станции подразделяются на типовые и специальные.

Типовые наблюдательные станции закладывают для определения параметров процесса сдвижения, установления характера рас-

пределения сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде сдвижения, а также характера их накопления при выемке полезного ископаемого на одном или нескольких горизонтах. Срок существования станции – от одного года до нескольких десятилетий.

Типовая наблюдательная станция включает систему реперов, сгруппированных в профильные линии. Обычно закладывают две профильные линии вкрест простирания и одну по простиранию, проходящие через главные сечения мульды сдвижения.

Выбор места закладки станций производят с учетом сохранности реперов, удобства измерений, возможности продления профильных линий по мере развития горных работ. Каждая профильная линия должна состоять **из рабочей и опорной частей**. На рис. 4.1 показана

Рис. 4.1. Расположение профильных линий на угольных месторождениях:
а – на плане; б – на разрезе по простиранию; в и г – на разрезах вкрест простирания;
1 – выход пласта под наносы; 2 – наносы; 3 – коренные породы; 4,5,6 – профильные линии;

7,8,9,10,11 – дополнительные линии

схема определения длин рабочих частей профильных линий на угольных месторождениях.

Кроме основных профильных линий на угольных месторождениях при углах падения пластов свыше 25^0 рекомендуется закладывать короткие дополнительные профильные линии над выходами пластов под наносы для изучения проявлений сдвижений по напластованию.

Схема определения длин рабочих частей профильных линий на рудных месторождениях показана на рис. 4.2.

Рис. 4.2. Определение длин рабочих частей профильных линий на рудных месторождениях:
а и б – на разрезе вкрест простирания; в – на разрезе по простиранию; 1 – наносы; 2 – коренные породы; 3 – отработано; 4 – намечено к отработке на период наблюдений

За пределами рабочих частей линий располагают не менее 2-3 опорных реперов с интервалами между ними 30-50 м. Расстояния между реперами в рабочей части профильных линий не должны превышать 15-20 м.

Конструкция и способ закладки реперов должны обеспечивать устойчивость их в грунте, надежную сохранность на весь срок службы наблюдательной станции, удобство проведения измерений. Обычно реперы изготовляются из металлических стержней диаметром не менее 20 мм длиной, превышающей на 0,5 м глубину промерзания грунта. Они могут быть забивными или закладываемыми в скважины с устройством бетонного якоря в нижней части (ниже глубины промерзания).

Наблюдения на типовых станциях состоят из периодического нивелирования реперов, измерения горизонтальных расстояний между ними и съемки трещин на земной поверхности с указанием времени их появления.

Специальные наблюдательные станции предназначены для детального изучения вопросов, связанных со сдвижением горных пород и земной поверхности, охраной конкретных сооружений и природных объектов.

Такие станции закладывают, в частности, для определения условий и мест образования сосредоточенных деформаций, установления взаимосвязи грунта и сооружений при подработке и др.

При подработке охраняемых объектов (зданий, сооружений, железных дорог, трубопроводов, водоемов и др.) проведение инструментальных наблюдений за их сдвижением и деформированием является обязательным. Для этого закладывают специальные наблюдательные станции.

При этом закладывают стенные реперы, которые размещают в фундаментах (цоколях) по всему периметру здания с учетом его конфигурации в плане и по высоте. Место закладки каждого стенного репера выбирается таким образом, чтобы всякого рода выступы, трубы, архитектурная отделка и прочее не мешали производству измерений.

Для изучения развития деформаций зданий на трещинах в стенах и деформационных швах устанавливают маяки различных конструкций.

Конструкции стенных реперов также могут быть различными. Однако все они должны удовлетворять следующим основным требованиям: надежная сохранность на весь период существования станции; прочная связь со стенами; однозначность установки рейки на них; удобство проведения наблюдений.

Кроме стенных реперов в необходимых случаях могут закладываться грунтовые реперы. Для исключения влияния на устойчивость грунтовых реперов пригрузок, вызванных весом здания, реперы должны быть удалены от стен здания на расстояние не менее 1,5-2,0 м.

При подработке железных дорог, трубопроводов, дамб, водотоков грунтовые реперы размещают по профильным линиям, расположенным вдоль сооружений в пределах зоны влияния горных работ.

При решении вопросов подработки водных и некоторых других объектов организуют наблюдения на комплексных наблюдательных станциях, включающих, кроме наблюдений на земной поверхности, наблюдения за сдвижением толщи горных пород.

Наблюдения за сдвижениями толщи горных пород проводят с целью изучения характера и определения величины сдвижения толщи пород. Для этого в подземных горных выработках (шахтных стволах, штреках, квершлагах и др), а также в скважинах, пробуренных с земной поверхности или из горных выработок, закладывают реперы.

В зависимости от вида выработки, конструкция реперов и методика измерений различны.

В горизонтальных горных выработках (квершлагах и штреках) методика закладки реперов и измерений аналогичны применяемым на земной поверхности.

В шахтном стволе реперы закладываются в его крепь или в качестве реперов используются элементы армировки. Измерение положения реперов в горизонтальной плоскости производится, как правило, от отвесов.

Для изучения сдвижения толщи горных пород большое распространение получило применение скважин, в которых в нужных точ-

ках горного массива закладываются глубинные реперы. Предложено значительное количество конструкций реперов и способов их закладки для применения в различных горно-геологических условиях [3, 4]. Наиболее простой и широко применяемый на угольных и рудных месторождениях **глубинный репер** представляет собой пробку, опускаемую в скважину и прочно расклиниваемую в ней. От репера по скважине на земную поверхность или в горную выработку выводится штанга или проволока, на которой укрепляется метка. Перемещение метки относительно устья скважины в процессе сдвижения пород периодически фиксируется. Таким образом, определяется сдвижение глубинного репера и, следовательно, того слоя породы, в котором он закреплен. Одновременно с измерениями смещений глубинных реперов относительно устья скважины определяют сдвижение устья относительно опорного репера, расположенного вне зоны сдвижения. В необходимых случаях для непрерывной во времени записи смещений реперов относительно устья скважины используют самописцы.

Применение в качестве реперов расклиниваемых пробок требует необсаженных скважин, что при слабых породах из-за деформирования стенок скважины часто приводит к зажатию проволочных или штанговых связей. Кроме того, в одну скважину практически удается заложить не более 5 – 10 таких реперов. В слабых породах скважины обычно обсаживаются. В этом случае для изучения деформационных процессов применяются глубинные реперы без механических связей. В качестве реперов применяют источники радиоактивных излучений, помещаемые в стальные пули, которые на нужной глубине застреливают в горную породу. Положение репера определяют с помощью геофизической аппаратуры путем периодического проведения гамма-каротажа по скважине. В одной скважине по этому способу можно установить большое количество реперов.

Основные трудности при применении радиоактивных реперов связаны с трудоемкостью, вызванной необходимостью отыскания максимума интенсивности излучения в радиоактивном поле, а также с изготовлением радиоактивных реперов и безопасным обращением с ними.

Эти недостатки устраняются при применении для определения положения реперов магнитогерконового датчика [3], который опускается на мерной ленте в обсаженную ставом трубу из немагнитных ма-

териалов (винипласта, полихлорвинила и т.п.). В данном способе репер представляет собой металлический цилиндр (отрезок трубы) длиной 150-200 мм, к наружным стенкам которого прикрепляются 4-6 фигурных пластинчатых пружин, удерживающих репер в скважине. Для этого диаметр репера по концам пружин должен превышать диаметр скважины. Такой репер, являясь магнитоактивной массой, ослабляет напряженность магнитоактивного датчика при прохождении последнего внутри репера. В результате контакты геркона в датчике размыкаются, что фиксируется регистрирующим прибором. При выходе датчика из репера напряженность магнитного поля датчика восстанавливается и контакты геркона снова замыкаются. Точность измерения смещений данным методом, как показали экспериментальные работы, составляет ±0,5 мм.

Кроме инструментальных, проводятся **визуальные наблюдения**, которые являются важной частью натурных наблюдений на локальных станциях. Они дополняют необходимыми сведениями инструментальные наблюдения, создавая общее представление о развитии процесса сдвижения на месторождении или отдельных его участках. Визуальные наблюдения позволяют определить: границы зон обрушения (провалов) и трещин на земной поверхности; характер и степень повреждения подрабатываемых зданий и сооружений; границы и характер отслоения пород кровли, степень разрушения целиков и крепи; изменения формы и размеров поперечного сечения выработок.

При визуальных наблюдениях используют простейшие измерительные приборы: линейку, рулетку и горный компас. Результаты наблюдений записывают в полевой журнал, в котором отмечают дату наблюдения, объект наблюдения, характер нарушений и их размеры, привязку места осмотра. Визуальные наблюдения должны сопровождаться зарисовками или фотоснимками характерных явлений. Частота проведения визуальных наблюдений зависит от интенсивности развития процесса сдвижения на месторождении и объектов наблюдения.

Специальные локальные станции закладывают также для проведения наблюдений при **геотехнологических способах добычи** полезных ископаемых. Такие методы добычи основаны на переводе полезного ископаемого с помощью рабочих реагентов (растворителей, теплоносителей, воздушного дутья и др.) в подвижное состояние (жидкое, газообразное, взвешенное). Подача реагентов к залежи и от-

вод полезного ископаемого на поверхность осуществляются, как правило, с использованием специальных скважин.

Наиболее развитыми геотехнологическими методами, применяемыми на практике, являются подземное растворение солей, подземная газификация углей, подземная выплавка серы, выщелачивание металлов растворами кислот и некоторые другие. Инструментальные наблюдения при геотехнологических методах добычи играют важную роль. Результаты оперативных инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности служат основой для управления технологией добычи. С помощью наблюдений осуществляется контроль за ходом процесса. Отдельные данные по проведению наблюдений при геотехнологических способах добычи полезных ископаемых приведены в литературе [9], однако, в целом процесс сдвижения при применении этих способов изучен весьма слабо.

Поскольку при геотехнологических методах добычи контуры выработанного пространства имеют геометрически неправильную и постоянно изменяющуюся форму, то реперы наблюдательной станции на земной поверхности располагают обычно в вершинах сетки квадратов (прямоугольников), занимающей всю площадь предполагаемой зоны сдвижения.

Аналогичные станции и инструментальные наблюдения на них организуют при проведении предварительного водопонижения при строительстве подземных сооружений в обводненных горных породах, при добыче газа и нефти и др.

Такие наблюдательные станции на земной поверхности также относятся к специальным.

Примером локальной наблюдательной станции может служить **специальная станция в районе церкви в г.Березовский**. Инструментальные наблюдения на станции организованы с целью решения вопроса о возможности строительства на прежнем фундаменте новой колокольни, взамен ранее разрушенной, оценки эффективности выполненных мероприятий по усилению конструкции деформированного пристроя к зданию, а также для выяснения степени влияния горных выработок на проезжую часть улицы, по которой осуществляется интенсивное движение транспорта, в том числе автобусное.

Необходимость закладки станции и проведения на ней наблюдений вызвана тем, что в период с 1965 по 1970 гг. территория была

подработана горными выработками, пройденными по дайке "Цветная" на горизонтах 60, 80, 100 и 130 м (рис. 4.3).

Рис. 4.3. Разрез вкрест простирания дайки "Цветная"
по линии 1-1 (рис. 4.4)

Падение дайки юго-восточное, переменное от крутого до пологого. Мощность ее колеблется от 7 до 12 м. Породы дайки и вмещающих пород до глубины 50 м от земной поверхности выветрены, причем до глубины 25 м сильно. Работы по извлечению полезного ископаемого велись горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства. Закладочным материалом служили отсортиро-

ванные и оставленные в выработанном пространстве породы дайки. Руда же транспортировалась на откаточные штреки горизонтов по рудоспускам самотеком. Ходки в очистное пространство и рудоспуски пройдены под углом наклона 60^0 и закреплены деревянной срубовой крепью.

При этой системе разработки откаточные штреки горизонтов, ходки и рудоспуски, а также верхние слои очистных выработок высотой 5-6 м остаются незаложенными. Наибольшую опасность внезапного образования провалов на земной поверхности представляют незаложенные верхние слои ортов №№ 62, 70, 76 и 86 горизонта 60 м. В ортах №№ 62 и 70 горные работы остановлены на глубине 25 м, в орте № 76 - на глубине 36 м, а в орте № 86 - на глубине 38 м, т.е. на глубинах, где породы сильно выветрены и обладают низкой прочностью и устойчивостью.

Над незаложенным выработанным пространством верхнего слоя орта № 70 10 июня 1998 г. на земной поверхности вблизи северо-западного угла пристроя к зданию церкви внезапно образовался крупный провал глубиной около 4-5 м. Диаметр отверстия на земной поверхности составил 3,3 м, а на глубине 4 м визуально оценивался в 4,5-5,0 м.

Вокруг провала образовались трещины с раскрытием до 30 мм и более. Многочисленные трещины появились в стенах пристроя, северо-западный угол которого попал в зону сдвижения. Первоочередной мерой по устранению последствий, вызванных сдвижением земной поверхности, была засыпка провала щебнем. Затем стены пристроя на уровне второго этажа и над цоколем первого этажа укреплены швеллерами, а наиболее пострадавший от оседаний земной поверхности северо-западный угол здания пристроя дополнительно заключен в "корсет" из металлических швеллеров, уголка и полос. Имевшиеся в стенах трещины были затерты цементным раствором. На поврежденной провалом и трещинами асфальтированной земной поверхности северной и западной частей территории, прилегающей к зданию церкви, асфальт уложен заново.

Наблюдательная станция состоит из 23 стенных реперов, расположенных по периметру здания, 53 грунтовых и 33 репера в ограде кладбища (см. рис. 4.4).

Рис. 4.4. Схема размещения реперов в районе церкви

Грунтовые реперы располагались на территории, исходя из условий местности, таким образом, чтобы часть из них находились над незаложенным выработанным пространством ортов. Над ортом № 62 размещены реперы №№ 20, 21, 24, 25 и 33, над ортом № 70 - реперы №№ 34, 35, 36 и 42, над ортом № 76 - реперы №№ 32 и 38, а над ортом № 86 - реперы 44, 45 и 53. Непосредственно над засыпанном щебнем провалом находится репер № 26.

За период с 16.06.99 г. по 20.10.00 г. на станции выполнено 6 серий инструментальных наблюдений. Результаты показали отсутствие оседаний всех стенных реперов, расположенных по периметру здания, что позволило положительно решить вопрос о возможности строительства новой колокольни на прежнем фундаменте и положи-

тельно оценить эффективность выполненных мероприятий по конструктивному усилению пристроенной и деформированной части здания. Реперы в ограде кладбища также показали отсутствие оседаний. Грунтовые же реперы, расположенные над ортами №№ 62 и 70 в районе провала, осели на 9-14 мм. На такую же величину осели реперы, размещенные в проезжей части улицы над ортами №№ 70 и 86. На основании полученных результатов наблюдений рекомендовано спрямить дорогу, идущую параллельно ограде кладбища, и не использовать участок земной поверхности над ортами №№ 70, 76 и 86 в качестве проезжей части улицы.

4.4. Обработка и использование результатов наблюдений на локальных наблюдательных станциях

Камеральную обработку результатов наблюдений выполняют по окончании каждой серии измерений. Она включает такие операции, как:

1) проверка полевых журналов, уточнение и приведение в порядок записей визуальных наблюдений и других заметок;

2) вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции;

3) вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий (с введением всех поправок);

4) вычисление ординат (если они измерялись);

5) вычисление в специальных ведомостях по каждой профильной линии:

- вертикальных сдвижений (оседаний реперов);

- горизонтальных сдвижений реперов вдоль профильных линий и перпендикулярно к ним (если измерялись ординаты);

- вертикальных деформаций (наклонов и кривизны) мульды сдвижения;

- горизонтальных деформаций (растяжений, сжатий) интервалов между реперами;

6) составление и пополнение графических материалов (по данным камеральной обработки наблюдений и геолого-маркшейдерской документации):

- совмещенных планов наблюдательных станций и горных выработок;

- вертикальных геологических разрезов по каждой профильной линии с нанесением литологии пород, очистных и других горных выработок, скважин и структурных особенностей массива (тектонических нарушений, контактов слоев, диаграмм трещиноватости);

- графиков вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций по каждой профильной линии.

7) составление (в случае необходимости) ведомостей и графиков скоростей вертикальных и горизонтальных сдвижений, планов земной поверхности (горизонтов) с изолиниями сдвижений и деформаций, векторов сдвижений земной поверхности и др.

Величины сдвижений и деформаций в различных точках мульды сдвижений могут быть положительными или отрицательными.

Величину оседания репера определяют по формуле

$$\eta = H_{n-1} - H_n, \qquad (4.1)$$

где H_{n-1} – отметка репера из предыдущего или начального наблюдения; H_n – отметка репера из последующего наблюдения.

Наклоны определяют по формуле

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{d}, \qquad (4.2)$$

где η_n – вертикальное сдвижение переднего репера; η_{n-1} – вертикальное сдвижение заднего репера; d – горизонтальная длина интервала между реперами (из начального наблюдения).

Наклоны – величины безразмерные. При построении графиков вертикальных деформаций (наклонов) величины их относят к середине интервала.

Кривизну определяют по формуле

$$k = (i_n - i_{n-1}) / d_{cp}, \qquad (4.3)$$

где i_n - наклон последующего интервала; i_{n-1} - наклон предыдущего интервала;

$d_{cp} = (d_n + d_{n-1}) / 2$ - полусумма горизонтальных длин последующего и предыдущего интервалов (из начального наблюдения).

При построении графиков полученную кривизну относят к общей точке смежных интервалов. Радиус кривизны (величину, обратную кривизне) определяют по формуле $R = 1/k$ и выражают в километрах.

Вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий проводят с учетом поправок за температуру, наклон, разность отклонений от створа, за компарирование, за провес рулетки и др.

Горизонтальные расстояния между реперами, определенные после внесения необходимых поправок, выписывают в ведомость горизонтальных деформаций. **Горизонтальные деформации** интервала между реперами за период между двумя наблюдениями определяют по формуле

$$\varepsilon = (d_n - d_{n-1})/d, \qquad (4.4)$$

а за весь период наблюдений – от начального до данного – по формуле

$$\varepsilon = (d_n - d)/d, \qquad (4.5)$$

где d, d_{n-1}, d_n – горизонтальные длины интервалов соответственно из начального, предыдущего и последующего (данного) наблюдений.

Горизонтальные деформации, соответствующие увеличению интервала, называют растяжениями, а деформации, отвечающие уменьшению интервала, - сжатиями. При построении графиков горизонтальные деформации относят к середине интервала.

По вычисленным горизонтальным расстояниям между реперами их суммированием определяют расстояния от опорного репера до каждого из реперов профильной линии. **Горизонтальные сдвижения** реперов на профильной линии определяют по формуле

$$\xi = D_{n-1} - D_n, \qquad (4.6)$$

где D_{n-1}, D_n – расстояния от опорного репера соответственно из начального (или предыдущего) и последующего наблюдений.

Полученные после обработки материалов наблюдений ведомости и графики сдвижений и деформаций земной поверхности используют для определения угловых, линейных и других параметров процесса сдвижения, выяснения фактических границ различных зон сдвижения, скоростей и продолжительности процесса сдвижения земной поверхности и в конечном итоге обоснованного решения конкретных вопросов сдвижения горных пород и охраны различных объектов на месторождении.

Границы различных зон сдвижения земной поверхности в мульде сдвижения и угловые параметры процесса сдвижения определяют по следующим значениям деформаций земной поверхности (при среднем интервале между реперами 15-20 м):

для общей зоны влияния подземных разработок (мульды сдвижения) и граничных углов наклон $i=0{,}5\cdot10^{-3}$, растяжение $\varepsilon = 0{,}5\cdot10^{-3}$, оседание $\eta=15$ мм;

зоны опасного влияния и углов сдвижения наклон $i=4\cdot10^{-3}$, кривизна $k=0{,}2\cdot10^{-3}$ (1/м), растяжение $\varepsilon=2\cdot10^{-3}$;

зоны трещин и углов разрывов – по ближайшей к границе мульды сдвижения видимой трещине на земной поверхности;

зоны обрушения и углов обрушения – по ближайшей к границе мульды сдвижения трещине с раскрытием или смещением краев (уступом) 25 см и более;

зоны воронкообразования и углов воронкообразования – по краю воронки обрушения (провала).

Углы сдвижения определяют на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды. Для этого от найденных на земной поверхности точек с критическими деформациями в наносах проводят прямые линии под принятым для наносов углом сдвижения φ до пересечения их с контактом наносов и коренных пород. Полученные на контакте точки соединяют линиями с границами выработанного пространства.

Из углов, полученных по трем видам деформаций (i, ε, к), окончательно принимают угол сдвижения, имеющий наименьшее значение.

Окончание процесса сдвижения земной поверхности устанавливают по данным нивелировки реперов последних серий.

Результаты исследований сдвижения земной поверхности используют для определения характера и параметров процесса сдвижения пород на месторождении, уточнения размеров предохранительных целиков и условий безопасной выемки полезного ископаемого под охраняемыми объектами, выбора новых участков застройки и определения необходимости и оптимальных сроков сноса или переноса различных объектов на территории горного отвода, для решения вопросов рекультивации подработанных участков земной поверхности и др.

Для прогноза развития процесса сдвижения и определения величин сдвижений и деформаций земной поверхности и подрабатываемых объектов используют скорости сдвижения грунтовых и стенных реперов, а также скорости деформаций интервалов между ними.

Контроль за состоянием подрабатываемых объектов осуществляют путем сравнения фактических величин сдвижения и деформаций этих объектов, полученных из наблюдений, с допустимыми и предельными деформациями для данного типа охраняемых объектов, приведенными в нормативно-методических документах по охране сооружений. Результаты сравнения деформаций с учетом прогноза дальнейшего развития процесса сдвижения и величин сдвижений и деформаций используют для разработки мер по предотвращению возникновения опасных деформаций в подрабатываемых объектах.

5. УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ПОДРАБОТКИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

5.1. Здания и сооружения

Определение условий безопасной подработки зданий, инженерных сооружений и выбор мер их охраны основываются на сравнении расчетных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными для подрабатываемых объектов.

Все здания, в зависимости от их конструктивных особенностей, назначения, восприимчивости к деформациям земной поверхности, особенностей эксплуатации и др. подразделяются на разряды (для гражданских зданий – 4 разряда, для промышленных – 5), которые регламентируют допустимые и предельные деформации [11].

Допустимыми деформациями земной поверхности (основания сооружений) считают деформации, которые могут вызвать повреждения в сооружениях, устранимые текущим ремонтом и наладочными работами с последующей их эксплуатацией по прямому назначению.

Предельными деформациями земной поверхности считают деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений, повлечь угрозу опасности для жизни людей, находящихся в них.

Условия безопасной подработки объектов определяются безопасной глубиной разработки H_{δ}, устанавливаемой по допустимым деформациям.

Различают ожидаемые, вероятные и расчетные сдвижения и деформации.

Ожидаемые сдвижения и деформации определяются в условиях, когда имеются календарные планы развития горных работ и известны необходимые для расчетов исходные данные. Сдвижения и деформации, определяемые при отсутствии календарных планов развития горных работ, называют **вероятными**.

Расчетные сдвижения и деформации получаются умножением ожидаемых или вероятных сдвижений и деформаций на коэффициенты перегрузки, значения которых приведены в работе [11].

Безопасной глубиной разработки называют такую глубину, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформации более допустимых. Ниже безопасной глубины горные работы могут производиться без применения мер защиты зданий и сооружений.

Безопасная глубина определяется по условиям допустимых горизонтальных деформаций ($\varepsilon_д$) и допустимых наклонов ($i_д$):

$$H_\delta = K_\varepsilon \frac{m}{[\varepsilon_д]}, \qquad H_\delta = K_i \frac{m}{[i_д]}, \tag{5.1}$$

где m – вынимаемая мощность пласта, м; $[\varepsilon_д]$ и $[i_д]$ - допустимые горизонтальные деформации и наклоны, определяемые для зданий и сооружений расчетным путем; K_ε и K_i – коэффициенты, определяемые для каждого месторождения (бассейна) из натурных наблюдений [11].

Для транспортных сооружений (железные дороги, автодороги, мосты, путепроводы, трамвайные линии и др.), водных объектов и наклонных шахтных стволов, для которых установлены коэффициенты безопасности K_δ , безопасная глубина H_δ определяется по формуле

$$H_\delta = K_\delta \cdot m \, . \tag{5.2}$$

При разработке свиты пластов безопасная глубина подсчитывается отдельно для каждого пласта свиты (как для одиночного) по его мощности:

если разрыв во времени между отработкой пластов превышает общую продолжительность процесса сдвижения;

деформации от разработки каждого пласта меньше допустимых, а повреждения от предыдущих подработок полностью ликвидированы;

принятые схема и порядок отработки пластов не дают однозначного накопления деформаций.

В случае, если перечисленные выше условия не соблюдаются, то безопасная глубина при отработке свит пластов определяется по формуле

$$\frac{m_1}{H_\delta}+\frac{m_2}{H_\delta+\Delta h_1}+\frac{m_3}{H_\delta+\Delta h_2}\le\frac{[Д_Д]}{k_Д}, \qquad (5.3)$$

где m_1, m_2, m_3 - вынимаемые мощности, трех, наиболее влияющих пластов, имеющих максимальные отношения: m_1/H_1, m_2/H_2, m_3/H_3; H_1, H_2, H_3 – средние глубины разработки пластов, расположенных в зоне влияния на охраняемый объект; Δh_1 – мощность междупластья между первым и вторым наиболее влияющими пластами; Δh_2 – мощность междупластья между первым и третьим наиболее влияющими пластами; $[Д_Д]$ - допустимые значения горизонтальных деформаций $[\varepsilon_Д]$ или наклонов $[i_Д]$.

Для оценки условий предельной подработки используется **предельная глубина разработки** – глубина, выше которой горные работы могут вызвать появление предельных деформаций в зданиях и сооружениях.

Предельная глубина определяется по формулам, если для охраняемого объекта в качестве предельных приняты:

горизонтальные деформации – $H_п=к_\varepsilon\frac{m}{[\varepsilon_П]}$,

наклоны - $H_п=к_i\frac{m}{[i_П]}$, (5.4)

где $[\varepsilon_п]$ - предельно допустимые горизонтальные деформации; $[i_п]$ - предельно допустимые наклоны.

Допустимым и предельным деформациям земной поверхности для жилых и общественных зданий соответствуют допустимые и предельные величины показателя суммарных деформаций, который учитывает назначение здания, его размеры, форму и этажность, материал и толщину стен и др., определяемые по формулам:

$$[\Delta l_д]=[\Delta l_д]_н\, n_1n_2n_3n_4n_5; \qquad (5.5)$$

$$[\Delta l_п] = [\Delta l_п]_н \, n_1 n_2 n_3 n_4 n_5, \qquad (5.6)$$

где $[\Delta l_д]_н$, $[\Delta l_п]_н$ – нормативные допустимый и предельный показатели суммарных деформаций, определяемые в зависимости от назначения гражданских зданий и их этажности; n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 - коэффициенты, учитывающие соответственно: грунтовые условия, материал и толщину стен, износ кирпичных и шлакоблочных стен, наличие жестких перекрытий; форму здания в плане (Г-образную, Т-образную, П-образную, Н-образную).

Расчетный показатель суммарных деформаций Δl (мм) определяется по формуле

$$\Delta l = l\sqrt{m_\varepsilon^2 \varepsilon^2 + m_k^2 \frac{H_з^2}{R^2}}, \qquad (5.7)$$

где l – длина здания (отсека), м; m_ε, $m_к$ – коэффициенты условий работы, осредняющие соответственно горизонтальные деформации и кривизну по длине здания; ε и R – расчетные величины горизонтальной деформации (безразмерные) и радиуса кривизны, м; $H_з$ – высота здания от подошвы фундамента до верха карниза, м.

5.2. Водные объекты

Водные объекты, к которым относятся наземные водотоки и водоемы, обводненные породы и затопленные выработки, в отличие от зданий и сооружений, за редким исключением, сами не являются объектами, подлежащими охране от вредного влияния подземных разработок. Охране подлежат горные выработки от проникновения воды в количествах, представляющих угрозу безопасности работ и нормальной эксплуатации выработок.

Проникновение воды в горные выработки происходит через **зону водопроводящих трещин** (ЗВТ), образующуюся над выработанным пространством.

Под ЗВТ понимается область, в которой наблюдается совокупность трещин отслоения и нормальносекущих трещин, которые пере-

секают относительные водоупоры и активно связывают водоносные слои (водные объекты) с выработанным пространством. За верхнюю границу ЗВТ принимают плоскость, параллельную напластованию и расположенную над выработанным пространством на расстоянии, равном высоте распространения водопроводящих трещин. Высота ЗВТ зависит от мощности вынимаемого пласта, литологического состава и структуры подрабатываемой толщи, физико-механических свойств, слагающих ее горных пород. Боковые границы ЗВТ определяют положением плоскостей, проведенных под углами разрывов через границы выработанного пространства.

По условиям безопасного ведения горных работ водные объекты разделяются на три основные группы.

К I группе относятся водные объекты (водоемы, водотоки и обводненные породы), подстилаемые глинами (суглинками), мощность которых $\Gamma_к$ не менее $2m_1$ – при разработке одиночных пластов - и не менее 1,5 $\sum_1^3 m_i$ - при разработке свит пластов, где m_1, m_2, m_3 – вынимаемые мощности первого, второго и третьего наиболее влияющих пластов.

Безопасная глубина разработки одиночного пласта для водных объектов I группы при мощности глин (суглинков) $15\ m > \Gamma_к > 2m$ и мощности пластов $m \le 2$ м определяется по формуле

$$H_\delta = 0{,}7\frac{m}{\varepsilon_{k1}}, \qquad (5.8)$$

где $\varepsilon_{к1}$ – показатель деформаций горных пород в основании водного объекта;

$$\varepsilon_{к1} = 1{,}45 \cdot 10^{-3}\ (\Gamma_к/1м) + 13 \cdot 10^{-3}\ . \qquad (5.9)$$

При вынимаемой мощности пластов $m > 2$ м и мощности глин (суглинков) $\Gamma_к > 10$ м, но не менее $2m$, безопасная глубина горных работ принимается

$$H_\delta = 20\ m\ . \qquad (5.10)$$

Ко II группе относятся водные объекты, не удовлетворяющие условиям отнесения их к I группе. Безопасная глубина для водных объектов II группы при мощности глин (суглинков) $\Gamma_к < 2m$ и $m < 2$ м принимается

$$H_\delta = 0{,}7\frac{m}{\varepsilon_{k2}}, \qquad (5.11)$$

где $\varepsilon_{к2}$ – показатель деформаций горных пород в основании водного объекта II группы;

$$\varepsilon_{к2} = 6{,}4\cdot10^{-3}\, К_г + 11{,}1\cdot10^{-3}, \qquad (5.12)$$

где $К_г = M_a/M$ – отношение суммарной мощности залегающих под водными объектами аргиллитов, алевролитов, глинистых сланцев M_a к мощности M подрабатываемой толщи пород.

При вынимаемой мощности пластов $2м < m \le 4$ м и $\Gamma_к < 2m$ безопасная глубина принимается

$$H_\delta = 50\, m \text{ при } \frac{M_a}{M} \le 0{,}4; \qquad (5.13)$$

$$H_\delta = 40\, m \text{ при } \frac{M_a}{M} > 0{,}4. \qquad (5.14)$$

К III группе относятся водные объекты, которые пересекаются на подрабатываемых участках геологическими нарушениями, или нарушения проходят от водного объекта на расстояниях, меньших безопасной глубины. Ведение горных работ под водными объектами III группы допускается производить при технико-экономическом обосновании по заключению специализированной организации.

5.3. Лесонасаждения и сельскохозяйственные угодья

Лесонасаждения (леса, парки, скверы и т.д.) и сельскохозяйственные угодья (пахотные земли, земли, используемые под сенокосы, и т.д.) при подработке подземными горными выработками охраняются:

- от образования провалов и крупных трещин на поверхности;
- появления недопустимых наклонов участков на краях мульд сдвижения;
- временного или постоянного затопления (подтопления) или заболачивания подработанных равнинных и пониженных участков поверхности как в результате скопления паводковых, атмосферных и других вод в мульдах сдвижения, так и в результате повышения уровня грунтовых вод или уровней воды ближайших водоемов относительно осевшей земной поверхности вследствие изменения рельефа поверхности и режима поверхностных стоков, а также из-за прекращения откачки воды из горных выработок в связи с прекращением горных работ;
- обезвоживания растительного слоя вследствие ухода воды по водопроводящим трещинам, сообщающимся с горными выработками при отсутствии в толще надежных водоупоров.

6. МЕРЫ ОХРАНЫ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ПОРЯДОК ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Меры охраны объектов подразделяются на горные и конструктивные.

6.1. Горные меры охраны

Под горными мерами охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов понимаются специальные способы и последовательность ведения горных работ, управления горным давлением, которые обеспечивают уменьшение деформаций земной поверхности в основании подрабатываемых объектов.

Применяются следующие горные меры.

Закладка выработанного пространства породой, доставленной извне зоны влияния горных работ, или специально приготовленным закладочным материалом, иногда с добавлением твердеющих материалов (твердеющая закладка). Последний вид закладки чаще всего применяется при добыче наиболее ценных видов руд.

Размеры планируемого к отработке с закладкой участка определяют по граничным углам, построенным от границ охраняемой площади.

Выбор закладочного материала и технологии закладочных работ осуществляют с учетом необходимого коэффициента уменьшения деформаций земной поверхности (λ)

$$\lambda = \frac{[\varepsilon_д]}{\varepsilon_m} = \frac{\sum_1^3 m}{\sum_1^3 m_э}, \qquad (6.1)$$

где $[\varepsilon_Д]$ - допустимые горизонтальные деформации (показатели деформаций) земной поверхности для наиболее ответственных объектов; ε_m – максимальные вероятные деформации земной поверхности; $\sum_1^3 m$ - суммарная вынимаемая мощность трех наиболее влияю-

щих пластов (пластов с максимальным отношением вынимаемой мощности к средней глубине разработки); $\sum_{1}^{3} m_э$ - эффективная мощность наиболее влияющих пластов, которая определяется в зависимости от типа закладки и технологии закладочных работ.

Эффективная мощность пласта $m_э$, при известных значениях неполноты закладки и конвергенции пород до возведения закладочного массива определяется по формуле

$$m_э=(m-h_к-h_н)B_1+h_н+h_к, \qquad (6.2)$$

где $h_н$ – неполнота закладки – среднее расстояние от верха закладочного массива до кровли выработки; $h_к$ – сближение кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива, зависящее от расстояния между закладочным массивом и забоем выработки; B_1 – коэффициент усадки (уплотнения) закладки под природной нагрузкой.

Значения $h_н$, $h_к$ и B_1 определяются на основании опытных данных.

При отсутствии данных наблюдений, значения коэффициента уплотнения закладки B_1 для различных ее видов принимаются:

Гидравлическая закладка:
- из песка……0,05 – 0,15
- из дробленой породы……0,15 – 0,30

Пневматическая……..……..0,25 – 0,40

Самотечная:
- из дробленой породы……..……..0,25 – 0,45
- из рядовой породы……..……..0,35 – 0,50

Ограничение размеров выработанного пространства по мощности (выемка угля на неполную мощность) **и по площади** (короткие очистные забои с оставлением постоянных межлавных целиков, камерная система разработки и др.).

При проектировании частичной выемки запасов по площади короткими очистными забоями с оставлением постоянных междукамерных целиков может осуществляться при разработке пластов мощностью до 2,5 м с углами падения до 30^0. При использовании длин лав размером 0,1÷0,2 $H_{ср}$ и размеров междулавных целиков l=0,15 $H_{ср}$

($H_{ср}$ – средняя глубина разработки) деформации земной поверхности уменьшаются в 2-5 раз, если участок с частичной выемкой запасов отделен от участка выемки пласта с обрушением кровли целиками размерами не менее 0,3 $H_{ср}$.

В тех случаях, когда участок с частичной выемкой отделен от участка с обрушением кровли целиками меньших размеров, коэффициент уменьшения деформаций может определяться по формуле

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_a , \qquad (6.3)$$

где λ_1 – коэффициент уменьшения деформаций λ_1=0,2…0,35;
λ_a – коэффициент, учитывающий активизацию процесса сдвижения, λ_a=0,1…0,2.

При разработке рудных месторождений иногда применяется камерная система разработки с закладкой выработанного пространства с последующей выемкой запасов из междукамерных целиков.

На стадии перспективного планирования горных работ и генеральных схем раскройки шахтных полей, наряду с закладкой выработанного пространства или частичной выемкой пластов, может предусматриваться **специальный порядок отработки** пластов, при котором возникающие деформации одного знака на участке охраняемого объекта компенсируются деформациями другого знака при определенном опережении очистных забоев нескольких очистных выработок.

Для свит пластов могут применяться следующие меры охраны объектов:

а) ведение горных работ в группах пластов с заданным опережением фронта очистных работ между группами;

б) ограничение суммарной вынимаемой мощности одновременно разрабатываемых наклонных и крутых пластов при ведении горных работ по горизонтам;

в) ограничение скорости подвигания очистных забоев в группе пластов.

Специальный порядок отработки пластов может применяться при выемке и одиночных пластов (рис. 6.1)

Отработку пластов в несколько этапов (см. рис. 6.1, а) целесообразно применять при подработке обособленных зданий и сооруже-

ний ограниченных размеров с четко выраженной продольной осью, ориентированной по линии падения пласта. При глубине разработки менее 250 м и угле падения пласта менее 30^0 горизонтальные деформации снижаются в 1,5 раза. В этих же условиях возможно использование меры охраны двумя расходящимися забоями (см. рис. 6.1, б). Применение ее при подработке электроподстанции на шахте "Буланаш – 2/5" в 1958 году прошло успешно.

Способ отработки пластов "парными штреками" (см. рис. 6.1, в) применим при $H \le 350$ м, $\alpha \le 30^0$ и $Д_l=(1,5\div2,0)d_l$.

При этом коэффициент уменьшения деформаций составит 0,3.

На рис. 6.1, г показана схема выемки запасов забоями, движущимися с заданным опережением. При диагональном к линии простирания расположении продольной оси объекта величина коэффициента уменьшения деформаций земной поверхности по диагональному направлению достигает 0,5.

При подработке железных дорог, трубопроводов и других объектов, ориентированных по направлению движения забоя по простиранию, целесообразно использовать способ отработки пластов короткими забоями, движущимися с опережением не менее 0,5 $H_{ср}$ (см. рис. 6.1, д).

Частичная выемка крутых пластов ($\alpha>\alpha_n$) при расположении объектов в лежачем боку (см. рис. 6.1, ж) может осуществляться при вынимаемой мощности пластов до 3,0 м очистными забоями длиной $Д_l$ = 30-70 м с оставлением междулавных целиков шириной l = 0,1 $H_ц$ ($H_ц$ – глубина расположения целика).

Изложенные горные меры обеспечивают уменьшение максимальных деформаций поверхности в основании объектов не менее чем в 1,5-2,0 раза.

Объекты, для которых последствия от первой подработки могут быть полностью ликвидированы (железные дороги, трубопроводы и др.), должны подрабатываться с разрывом во времени более продолжительности процесса сдвижения от одного пласта. В этом случае деформации не превосходят максимальных деформаций от наиболее мощного пласта свиты.

Рис. 6.1. Схема выемки запасов угля под объектом:
а – в несколько этапов; б – двумя расходящимися забоями; в – "парными штреками";
г – забоями, движущимися с заданным опережением; д – короткими забоями, движущимися с заданным опережением не менее 0,5 $H_{ср}$; е – частичная выемка запасов в пологих пластах;
ж – частичная выемка запасов в крутых пластах

Снижение скоростей подвигания очистных забоев и ведение горных работ в разных пластах с разрывом во времени более общей продолжительности процесса сдвижения рекомендуется применять при подработке железных дорог и трубопроводов.

Водные объекты, расположенные над мощными пластами, целесообразно подрабатывать с разделением пласта на слои. Каждый очередной слой можно отрабатывать по окончании периода опасных деформаций после отработки предыдущего слоя.

При ведении горных работ в зонах влияния на вертикальные шахтные стволы используются следующие горные меры охраны:

1) рассредоточение во времени проведения очистных выработок;

2) изменение направления подвигания очистного забоя;

3) изменение скорости подвигания очистного забоя;

4) уменьшение длины лавы.

Рассредоточение во времени проведения очистных выработок заключается в том, что они проводятся последовательно с интервалом во времени, равным или более продолжительности процесса сдвижения.

При планировании горных работ следует предусматривать подвигание забоев очистных выработок в сторону от ствола или проведение очистных выработок по восстанию или падению.

При ведении горных работ в зонах влияния на вертикальные шахтные стволы скорость подвигания очистного забоя следует ограничивать 60 м/мес.

Уменьшение длины лавы заключается в применении частичной выемки по площади, при которой длины лав принимаются в среднем $d = (0{,}1 - 0{,}15)H$. Эти горные меры охраны позволяют уменьшить ожидаемые деформации околоствольного массива в 1,5 – 2 раза.

Оставление предохранительных целиков следует применять, если другие меры охраны не могут гарантировать нормальную эксплуатацию охраняемого объекта или являются экономически нецелесообразными.

6.2. Конструктивные меры охраны

Конструктивные меры охраны предусматривают усиление конструкций и узлов для восприятия дополнительных усилий в сооружении при подработке, а также снижение жесткости конструкций для уменьшения дополнительных усилий в сооружении, снижение дополнительных силовых воздействий на сооружения со стороны основания, уменьшение деформаций сооружения путем подъема и выправления сооружения или его части.

Конструктивные меры охраны осуществляются путем проведения строительно-монтажных работ до, во время и после подработки

непосредственно на объекте охраны (сооружении) или его грунтовом основании.

Принципиальных отличий в конструктивных мерах охраны, применяемых при подземной разработке угольных и рудных месторождений, нет.

Конструктивные мероприятия классифицируются следующим образом:

1. Меры по снижению деформаций основания объекта.

Горизонтальные деформации снижаются путем устройства компенсационных траншей и глубоких щелей, вертикальные - путем отделения сдвигающихся масс грунта от массива и закрепление части массива.

2. Меры по регулированию деформационных воздействий опусканием или поднятием отдельных участков объекта на контакте сооружения с основанием механическим способом, путем введения расширяющихся смесей, подбивкой клиньев между фундаментом и грунтом.

3. Меры по регулированию деформационных воздействий в конструкциях зданий и сооружений.

В фундаментах сооружений производится подклинка или вдавливание в грунт фундаментных подушек, регулирование толщины швов между подушками и телом фундаментов, разборка части фундаментов с последующим восстановлением, разрезка фундаментов вертикальными швами. В надземной части применяется подклинка между фундаментами и наземными конструкциями, поддомкрачивание надземной части, частичное удаление материала стен, швов, расклинка горизонтальных швов, отделение горизонтальных швов для возможности горизонтальных подвижек, разрезка стен вертикальными швами, перекладка участков стен и перекрытий.

4. Меры по усилению конструкций.

В фундаментной части конструкций могут устанавливаться поперечные и продольные связи-распороки, железобетонные пояса ленточных фундаментов, армированные отмостки, железобетонные плиты между фундаментами, железобетонные обоймы фундаментов, стальные связи между фундаментами, осуществляется уширение опоры фундаментов. В надземной части применяют металлические и железобетонные обоймы для стен; инъецирование в стены цементного

раствора и клеящих составов, усиление примыкания стен, усиление перемычек, увеличение площади опирания перемычек, балочных конструкций перекрытий; горизонтальные пояса на разных уровнях в стенах; тяжи вертикальные, горизонтальные, наклонные, продольные, поперечные; стальные и железобетонные балки в стенах; раскосы, стойки, накладки плоские и угловые и др.

Для защиты технологического оборудования проводятся такие мероприятия, как: вскрытие подземных трубопроводов или установка в них компенсаторов, восстановление профиля железнодорожных путей, перепуск проводов на подработанных опорах ЛЭП и др.

Мерой охраны может являться временное изменение характера эксплуатации подрабатываемого объекта.

6.3. Условия и порядок применения мер охраны

Подработка приводит к повреждению конструкций и снижению потребительской стоимости здания. После окончания подработки проводится послеосадочный ремонт, который в зависимости от качества, может быть косметическим, обеспечивающим восстановление сплошности несущих конструкций методом инъецирования растворов в трещины. Послеосадочный ремонт устраняет только часть повреждений. Часть износа конструкций после подработки имеет невосполнимый характер и приводит к сокращению срока службы здания.

С целью снижения вредного влияния подработки и повышения способности здания переносить подработку, как уже говорилось, осуществляют конструктивные и горные меры защиты. Горные меры защиты снижают деформации земной поверхности, что отражается в принятой величине исходного расчетного показателя деформаций Δl. Конструктивные меры защиты повышают предельные и допустимые показатели деформаций:

$$\left[\Delta l_{\text{д}}\right]_{M3} = \left[\Delta l_{\text{д}}\right] \cdot \text{К}_{\text{тэ}} \cdot \text{К}_{\text{об}}; \qquad (6.4)$$

$$\left[\Delta l_{\text{д}}\right]_{M3} = \left[\Delta l_{\text{п}}\right] \cdot \text{К}_{\text{тэ}} \cdot \text{К}_{\text{об}}; \qquad (6.5)$$

где $К_{ТЭ}$ – коэффициент технической эффективности конкретной конструктивной меры защиты; $К_{об}$ – коэффициент объема применения конкретной меры защиты.

Значения коэффициентов эффективности, объема и стоимости некоторых мер защиты приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Коэффициенты $К_{тэ}$, $К_{об}$ и стоимости мер защиты

Конструктивные меры защиты	Коэффициент технической эффективности $К_{тэ}$	Коэффициент объема применения $К_{об}$	Стоимость мер защиты $С_{МЗ}$ в % от восстановительной стоимости
Металлические пояса	1,25* 1,1**	в/(а+1)	1в
Металлические пояса омоноличенные поэтажные	1,5* 1,25**	в/(а+1)	3в
Железобетонный пояс поэтажный в штрабе	2,0* 1,4**	в/(а+1)	4в
Железобетонный пояс - отмостка	1,6	0,8	4,5
Железобетонная плита подвала	1,5	0,8	5
Компенсационные траншеи	1,2	0,8	1
Поддомкрачивание первичное	1,7	1	12
Поддомкрачивание повторное	1,7	1	2,5 (каждый цикл)
Разрезка здания на два отсека с их усилением ж/б поясами	2,5	(в/а+1)+0,5	а+4,5в

Примечания: а – количество этажей в здании; в – количество поставленных поэтажных поясов (тяжей); * - коэффициент соответствует в=а+1; ** - коэффициент соответствует в=2.

Конструктивные меры защиты снижают ущерб, наносимый зданию, в меньшей степени сокращают срок его службы, требуют

меньшего объема послеосадочного ремонта, но являются достаточно затратными и сложными.

Варьируя качеством послеосадочного ремонта, т.е. величиной остаточного срока службы здания и уровнем эксплуатационных расходов, применяя горные или альтернативные конструктивные меры защиты, возможно выбрать наиболее приемлемый вариант.

В области влияния на охраняемые объекты очистные работы могут вестись без применения горных и конструктивных мер, если работы планируются ниже горизонта безопасной глубины.

При ведении горных работ на участках между безопасной и предельной глубинами необходимо предусматривать применение раздельно или совместно горных и конструктивных мер охраны объектов.

При проектировании горных работ на участках выше предельной глубины или участках, разработка которых может вызвать образование провалов, необходимо совместное применение как горных мер защиты объектов, уменьшающих деформации как минимум до предельных величин, так и конструктивных мер, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов.

Оставление предохранительных целиков допускается для охраны наиболее ответственных сооружений, когда другие меры неприменимы или экономически нецелесообразны. По окончании горных работ на шахте (руднике) запасы в предохранительном целике должны быть частично или полностью отработаны.

7. СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

Охрана объектов с помощью предохранительных целиков осуществляется в тех случаях, когда расчетные деформации больше допустимых, а применение горных и конструктивных мер защиты по технико-экономическим соображениям нецелесообразно.

Предохранительным целиком называют часть полезного ископаемого, оставляемую под объектом (здание, сооружение, водоем и др.), чтобы не допустить его подработки.

Предохранительные целики строятся под охраняемую площадь, которая включает контур охраняемого сооружения и берму для создания запаса надежности. Ширина бермы для зданий и сооружений зависит от величины допустимых деформаций, а для транспортных сооружений от категорий и колеблется от 5 до 20 м (табл. 7.1).

Таблица 7.1.

Ширина бермы

Допустимые деформации		Категория охраны транспортного сооружения	Ширина бермы, м
$[\varepsilon_д]$, $1\cdot10^{-3}$	$[i_д]$, $1\cdot10^{-3}$		
2 и менее	4 и менее	I	20
2,1 – 4,0	4,1 – 6,0	II	15
4,1 – 6,0	6,1 – 8,0	III	10
Более 6	Более 8	IV	5

Для шахтных стволов ширина бермы принимается 20 м, для технических скважин – 15 м, для шурфов и сооружений, для которых установлены только предельные деформации (шахтные вентиляторы, телевизионные и радиорелейные башни, электроподстанции и др.), - 10 м.

Границы охраняемой площади для отдельных зданий и сооружений, у которых отношение длинной стороны к короткой менее 5, определяются на плане следующим образом. Вокруг охраняемого объекта через его угловые точки строят прямоугольник, стороны которого ориентируют по простиранию и вкрест простирания пласта. Параллельно этим сторонам на расстоянии от них, равном ширине

бермы, проводят прямые до их взаимного пересечения. Отрезки прямых между точками пересечения являются границами охраняемой площади.

Для группы зданий и сооружений (например, промплощадка шахты) границы охраняемой площади определяются на плане многоугольником со сторонами, параллельными охраняемым объектам и отстоящими от них на расстоянии ширины бермы.

Для вытянутых объектов, ориентированных диагонально к линии простирания пласта, границы охраняемой площади строят параллельно сторонам охраняемых объектов на расстоянии от них, равном ширине бермы.

К вытянутым объектам относятся: железные дороги, трубопроводы, каналы и другие, а также отдельные здания и сооружения, у которых отношение длинной стороны к короткой равно или более 5.

При построении предохранительного целика под железную дорогу охраняемым контуром является основание насыпи, под наземные подвесные сооружения (трубопроводы, канатные дороги и др.) – линии, соединяющие внешние точки опор. За границы наземных водных объектов (водоемы, водотоки) в плане принимается граница максимального разлива воды, по данным гидрологической службы, с обеспеченностью 3 % (т.е. имевшая место не более трех раз за 100 лет).

Построение предохранительных целиков может производиться тремя способами: вертикальных разрезов, перпендикуляров и проекций с числовыми отметками.

Для зданий и сооружений наибольшее распространение получил **способ вертикальных разрезов**. Вертикальные разрезы строятся в направлениях вкрест простирания и по простиранию пластов. На разрезах границы целиков определяются пересечением почвы пластов линиями, проведенными в наносах через границы охраняемой площади, продолженными в коренных породах под соответствующими углами сдвижения. Значения углов принимаются рекомендованными нормативными документами для различных месторождений полезных ископаемых (например, [11, 12 , 13] и др.).

Разрешается спрямление границ предохранительных целиков, построение целиков оптимальной криволинейной или многоугольной формы, как это показано в приведенных ниже примерах.

Способ перпендикуляров применяется обычно при построении предохранительных целиков под сооружения и объекты вытянутой формы, реже – объектов ограниченных размеров.

При построении границ предохранительных целиков по способу перпендикуляров для вытянутого объекта, длинная ось которого расположена под углом к линии простирания пласта с выдержанным углом падения (простирания), длина перпендикуляров в сторону восстания q и в сторону падения l вычисляется по формулам:

$$q = h\ ctg\ \varphi + \frac{(H - h)ctg\beta'}{1 + ctg\beta' cos\Theta os\Theta}; \qquad (7.1)$$

$$l = h\ ctg\ \varphi + \frac{(H - h)ctg\gamma'}{1 - ctg\gamma' cos\Theta os\Theta}, \qquad (7.2)$$

где h – мощность наносов; H – расстояние от земной поверхности до пласта по вертикали, проходящей через точку пересечения линии, проведенной в наносах от границы охраняемой площади под углом φ, с линией контакта наносов с коренными породами; α - угол падения пласта; углы β' и γ' вычисляются по формулам:

$$ctg\beta' = \sqrt{ctg^2\beta\cos^2\Theta + ctg^2\delta\sin^2\Theta}; \qquad (7.3)$$

$$ctg\gamma' = \sqrt{ctg^2\gamma\cos^2\Theta + ctg^2\delta\sin^2\Theta}, \qquad (7.4)$$

где β, δ и γ - углы сдвижения в коренных породах; Θ - острый угол между линией простирания пласта и соответствующей границей бермы.

Построение предохранительных целиков для охраны объектов ограниченных размеров, оси которых расположены под углом к линии простирания пласта, производится следующим способом. Для объекта строится охраняемый контур со сторонами, параллельными

линиям падения и простирания пласта, и от этого контура строятся границы целика по углам β, γ и δ. Затем для этого же объекта строится охраняемый контур со сторонами, параллельными осям объекта, для которого строятся границы целика по углам β' и γ'. Точки пересечения границ целиков, построенных двумя способами, будут угловыми точками контура целика минимальных размеров.

Построение целиков способом проекций с числовыми отметками (изолиний) применяется редко из-за относительной сложности графических построений.

При построении предохранительных целиков под водными объектами вместо углов сдвижения φ, δ, β и γ при отсутствии сдвижений лежачего бока и β_1 при сдвижении лежачего бока используются углы разрыва δ'', β'', γ'' и β''_1.

В сложных случаях (при синклинальном, антиклинальном залеганиях, наличии тектонических нарушений и др.) построение целиков производится по методикам, изложенным в Правилах охраны сооружений [11].

При всех способах построения целиков, если безопасная глубина разработки располагается выше точки пересечения пласта с плоскостью, проведенной под углом γ (для водных объектов γ''), за нижнюю границу целика принимается безопасная глубина разработки.

На угольных месторождениях, как правило, разрабатывается свита пластов. В этом случае для определения значений углов сдвижения, которые используются при построении предохранительных целиков, свита пластов разделяется на группы следующим образом (рис. 7.1):

а) при оконтуривании предохранительных целиков горными выработками и при разработках свит пластов с углами падения до 25^0 (см. рис. 7.1, а,б) в группы объединяются пласты свиты, у которых расстояние по нормали к напластованию между верхними и нижними пластами Δh меньше расстояния от земной поверхности до границы целика (выработки) в верхнем пласте группы ($\Delta h < H_B$ – у верхних границ выработок, $\Delta h < H_н$ – у нижних, см. рис. 7.1, а,б);

Рис. 7.1. Схема к разделению свиты пластов на группы
и определению значений углов сдвижения

а – вкрест простирания при оконтуривании предохранительных целиков; б – вкрест простирания при разработке пологих пластов; в – вкрест простирания при нисходящем порядке разработки пластов; г – то же, при восходящем; 1-1 – от первого пласта; 2-2 – от второго; 3-3 – от третьего пласта

б) при разработке свит пластов с углами падения $\alpha > 25^0$ в группу пластов объединяются такие, у которых расстояние по горизонтали между верхним и нижним пластами у нижних границ выработок меньше глубины горизонта ($\Delta h_н < H_{нг}$, см. рис. 7.1,в). Со стороны верхних границ выработок в группу объединяются пласты, у которых расстояние между верхним и нижним пластами меньше глубины верхних границ выработок ($\Delta h_в < H_{вг}$,см. рис. 7.1,в).

При оконтуривании предохранительного целика горными выработками углы сдвижения в коренных породах от второго, третьего и последующих разрабатываемых пластов первой группы определяются по углам $\delta \pm \Delta\delta$ (по простиранию), $\beta \pm \Delta\beta$; $\gamma \pm \Delta\gamma$ (на разрезах вкрест простирания). Знаки у величин $\Delta\delta$, $\Delta\beta$ и $\Delta\gamma$ принимаются в соответствии со схемами ведения горных работ (рис. 7.2); знаки "+" принимаются в тех случаях, когда зона опасного влияния, построен-

Рис. 7.2. Определение границ предохранительного целика
по первому (а,б) и второму (в,г) вариантам:
а, в и б, г – вертикальные разрезы соответственно вкрест простирания и по простиранию пластов;
1 – наносы; 2 – коренные породы

ная по углам δ, β и γ от второго и последующих пластов рассматриваемой группы, распространяется на поверхности за границы зоны опасного влияния от первого пласта, в остальных случаях указанные поправки принимаются со знаком " - ".

При построении предохранительных целиков в свитах пластов (два и более) значения углов сдвижения от влияния выработок в группах пластов определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \delta_ц &= \delta \pm \Delta\delta_ц; \\ \beta_ц &= \beta \pm \Delta\beta_ц; \\ \gamma_ц &= \gamma \pm \Delta\gamma_ц, \end{aligned} \qquad (7.5)$$

где значения поправок $\Delta\delta_ц$; $\Delta\beta_ц$; $\Delta\gamma_ц$ к углам сдвижения составляют, град:

Второй пласт 3
Третий пласт 5
Последующие в группе 7

При разработке свит пластов для построения предохранительных целиков рекомендуется два варианта определения углов сдвижения и построения предохранительных целиков.

Первый вариант используется в случаях, когда в пределах предохранительных целиков имеются ранее пройденные очистные выработки. В этом случае углы сдвижения для второго и последующих пластов уменьшаются по сравнению с углами сдвижения от первого пласта, для которого углы сдвижения принимаются, как при разработке одного пласта. Поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов имеют отрицательные значения.

Второй вариант построения целиков используется в случаях, когда ранее пройденные очистные выработки в пределах предохранительных целиков отсутствуют. В этом случае углы сдвижения для второго и последующих пластов увеличиваются по сравнению с углами сдвижения от первого пласта, для которого углы сдвижения принимаются как для нижнего пласта при разработке свиты пластов (как для первого варианта построения целиков). Поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов имеют положительные значения.

В тех случаях, когда при построении предохранительных целиков производится разделение свиты пластов на группы, под словами

"первый, второй и последующие пласты" следует понимать "первую, вторую и последующие группы пластов".

При построении предохранительных целиков толща пород со стороны восстания, падения и по простиранию у соответствующей границы целика считается подработанной, если линия, проведенная от границ охраняемой площади под углом сдвижения для неподработанной толщи, пересекает хотя бы часть зоны опасного влияния очистных выработок, пройденных в вышележащих и нижележащих пластах (рис. 7.3).

Рис. 7.3. Схема к определению подработанной толщи у границ предохранительного целика:
а – вертикальный разрез вкрест простирания (толща подработана со стороны восстания и со стороны падения); б – вертикальный разрез по простиранию (с правой стороны толща подработана, с левой не подработана); 1 – наносы; 2 – коренные породы

В сложных случаях построение предохранительных целиков производится в соответствии с Правилами охраны сооружений [11] или с привлечением специализированных организаций.

Пример 1. Построение предохранительного целика для отдельно стоящего здания (рис. 7.4)

На шахте "Центральная" Челябинского бассейна четырехэтажное здание школы расположено на участке, ранее подработанном пластом I. Ко времени начала строительства школы процесс сдвижения земной поверхности на этом участке закончился.

Рис. 7.4. Построение предохранительного целика
для отдельно стоящего здания

Под зданием школы залегают пласты Ф и $Ж_{вп}$ мощностью соответственно 2,0 и 2,25 м. Угол падения пластов 10^0. Мощность наносов 10 м.

Основные характеристики здания следующие: стены кирпичные толщиной 510 мм, перекрытия железобетонные; длина здания 36 м, форма его в плане П-образная; грунты в основании – сухие суг-

линки. При визуальном осмотре наружных стен установлено наличие трещин с раскрытием до 1 мм. Большинство трещин – волосные. Износ здания принимаем равным 10 %.

Выбор мер охраны здания.

Для здания школы необходимо определить показатель деформаций $[\Delta l_д]$ и безопасную глубину разработки $H_δ$ для свиты, включающую пласты Ф и $Ж_{вп}$.

Допустимый показатель деформаций определяется по формуле (5.5): $[\Delta l_д] = [\Delta l_д]_н\, n_1 n_2 n_3 n_4 n_5$.

Четырехэтажное здание школы относится к зданиям второго разряда, для которых $[\Delta l_д]_н$ принимается равным 120 мм.

Значения коэффициентов n в соответствии с [11] приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2.

Принимаемые значения коэффициентов

Коэффициент	Учитываемые факторы	Значение коэффициента
n_1	Грунтовые условия	1,0
n_2	Материал и толщина стен	1,2
n_3	Износ	1,0
n_4	Жесткость перекрытия	1,2
n_5	Форма здания	0,8

Подставив полученные значения в формулу (5.5), получим
$[\Delta l_д] = 120 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}8 = 138$ мм.

Для определения $H_δ$ рассчитаем допустимый показатель горизонтальных деформаций для здания школы по формуле

$$[\varepsilon_д] = \frac{[\Delta l_д]}{1{,}2 m_\varepsilon l} = \frac{138}{1{,}2 \cdot 0{,}7 \cdot 36} = \frac{138}{30{,}4} = 4{,}6 \cdot 10^{-3};$$

$m_ε = 0{,}7$ [11].

В тех случаях, когда проектируется одновременная совместная разработка пластов Ф и $Ж_{вп}$, безопасная глубина определяется в соответствии с главой 5 по формуле (5.3)

$$\frac{m_1}{H_\delta} + \frac{m_2}{H_\delta + \Delta h_1} \le \frac{[Д_д]}{К_д};$$

$$\frac{2{,}0\text{м}}{H_\delta} + \frac{2{,}25\text{м}}{H_\delta + 60\text{м}} \le \frac{4{,}6 \cdot 10^{-3}}{0{,}9},$$

где $m_1 = 2{,}0$ м; $m_2 = 2{,}25$ м – мощность пластов Ф и $Ж_{вп}$;

$к_д = к_\varepsilon = 0{,}9$ находим по [11]; $\Delta h_1 = 60$ м – мощность междупластья.

Решая уравнение, получаем H_δ=770 м.

Построение границ предохранительных целиков производим от границ охраняемой площади. Для этого вокруг здания через его угловые точки строим прямоугольник, стороны которого ориентируем по простиранию и вкрест простирания пласта. Параллельно этим сторонам на расстоянии от них, равном ширине бермы, проводим прямые до их взаимного пересечения.

Ширину бермы определяем в зависимости от допустимого показателя деформаций $[\varepsilon_д]=4{,}6 \cdot 10^{-3}$, Б=10 м. Получаем контур охраняемой площади АБВГ.

Проектируем границы охраняемой площади на вертикальный разрез вкрест простирания и получаем точки А(Б) и Г(В).

Определяем углы сдвижения β,γ,δ и φ по [11]

для пласта Ф $\gamma = \delta = 65-3 = 62°$; $\beta = (65-0{,}6\alpha) - 3° = 56°$;

для пласта $Ж_{вп}$ $\gamma = \delta = 65-5 = 60°$; $\beta = 58-5 = 53°$; угол $\varphi = 45°$.

На разрезе вкрест простирания от точек А(Б), Г(В) проводим линии в наносах под углом сдвижения φ=45° и продолжаем их в коренных породах под углами сдвижения β и γ до пересечения с соответствующим пластом. Получаем точки а(б), г(в), д(е), з(ж). Глубины, на которых расположены границы целиков, составят в точках а(б) - 166 м, г(в) - 196 м, д(е) - 220 м, з(ж) - 260 м.

Полученные глубины значительно меньше вычисленной безопасной глубины H_{δ}=770 м. Поэтому выемка угля под зданием школы может производиться только при применении горных и конструктивных мер защиты здания. Применение конструктивных мер повлекло бы за собой временное прекращение эксплуатации здания, что в период занятий для школы неприемлемо, а горные меры охраны одиночного здания экономически не выгодны. При раздельной разработке пластов Ф и $Ж_{вп}$ с разрывом во времени, превышающим 5 лет, и при ликвидации повреждений школы от предыдущих подработок безопасная глубина может рассчитываться отдельно от каждого пласта свиты как одиночного по формуле (5.1)

для пласта Ф $H_{\delta}=\frac{0,9 \cdot 2,0}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 545$ м;

для пласта $Ж_{вп}$ $H_{\delta}=\frac{0,9 \cdot 2,25}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 614$ м.

Указанные значения безопасных глубин превышают глубины расположения нижних границ целиков, поэтому в этих пластах необходимо оставить предохранительные целики, границы которых определяются пересечением плоскостей с пластом, проведенных под углами сдвижения.

Для определения границ предохранительного целика по простиранию строим вертикальный разрез по простиранию и наносим на него с плана границы охраняемой площади точки Б(в) и А(г). Из этих точек проводим линии в наносах под углом φ=45° и в коренных породах под углами δ=62° и δ=60° до пересечения с горизонтальными линиями, проходящими через точки а(б), г(в), д(е) и з(ж) на разрезе вкрест простирания и получим верхние и нижние границы целиков по простиранию в пластах Ф и $Ж_{вп}$.

Границы предохранительных целиков, полученные на вертикальных разрезах вкрест простирания и по простиранию, переносим на план и получаем контур предохранительного целика по пласту Ф - абвг, а по пласту $Ж_{вп}$ - дежз.

Предельно минимальные размеры предохранительных целиков, до которых допускается отработка пластов, определяются следующим образом.

На плане из угловых точек целиков абвг (дежз) проводятся линии, делящие углы, образованные границами целика, пополам, до пересечения с границами контура охраняемой площади (линии а-0_1, б-0_2, в-0_3, г-0_4).

Из точек пересечения этих линий (0_1, 0_2, 0_3, 0_4) с контуром охраняемой площади проводят окружности радиусом, равным минимальному расстоянию от указанных точек до линий границ целика (R_1, R_2, R_3, R_4). Длина радиусов равна длине перпендикуляров, опущенных на линии границ целика из точек 0_1, 0_2, 0_3, 0_4. Указанные окружности определяют предельную границу целика (см. рис. 7.4). Если линии а-0_1, б-0_2, в-0_3, г-0_4 не пересекают контур охраняемой площади, то предельная граница целика определяется радиусом окружности, проведенным из точек пересечения прямых: а-0_1-б-0_2 и в-0_1-г-0_4. Производим подсчет запасов в предохранительных целиках.

Пример 2. Построение предохранительных целиков для охраны двух глубоких вертикальных шахтных стволов с копрами и зданиями подъемных машин (рис. 7.5)

Вертикальные стволы одной из шахт в Кизеловском бассейне закреплены жесткой крепью из монолитного бетона и оборудованы постоянным подъемом. Глубина стволов с зумпфами H_c=1000 м. Стволы расположены один относительно другого по направлению простирания пластов.

Под стволами залегают пласты 13 и 11 мощностью m соответственно 3,0 и 2,2 м. Угол падения пластов $\alpha = 40°$.

Наносы представлены суглинками нормальной влажности мощностью 20 м.

Согласно [11] вертикальные шахтные стволы вместе с копрами и зданиями подъемных машин охраняются предохранительными целиками без учета безопасных глубин. Для построения границ охраняемой площади на плане от охраняемых объектов откладываем отрезки, равные ширине бермы, которая составляет 20 м. Через концы этих отрезков проводим линии, параллельные сторонам охраняемых объектов. Получим общий контур охраняемой площади АБВГ.

Для построения предохранительных целиков используем второй вариант определения углов сдвижения и построения.

Рис. 7.5. Построение предохранительных целиков для охраны двух глубоких вертикальных шахтных стволов с копрами и зданиями подъемных машин

Определяем углы сдвижения от влияния выработок в пластах по формулам, в которых значения углов сдвижения δ, γ и β и поправок $\Delta\delta_ц$, $\Delta\gamma_ц$, и $\Delta\beta_ц$ принимаем со знаком плюс [11].

Углы сдвижения составят:

для пласта 13 $\delta=75-3-5=67^0$; $\gamma=70-5=65^0$; $\beta=50-3-5=42^0$;

для пласта 11 $\delta=67+3=70^0$; $\gamma=65^0$; $\beta=42+3=45^0$.

Граничные углы составят:

для пласта 13 $\delta_0=70^0$; $\gamma_0=65^0$; $\beta_0=45^0$;

для пласта 11 $\delta_0=70+3^0=73^0$; $\gamma_0=65^0$; $\beta_0=45+3=48^0$.

Для определения нижней границы предохранительного целика в пласте 13 на разрезе вкрест простирания от поверхности проводим линию под углом $\varphi_0=50^0$ до границы наносов с коренными породами.

Далее в сторону падения пластов продолжаем линию под граничным углом $\gamma_0=\gamma=65^0$ до пересечения с пластами 11 и 13, а так как эти точки пересечения $а_1(б_1)$ и $а_2(б_2)$ расположены на глубине более $H_в=300(m_1+m_2)\sin^2\alpha=640$ м, они будут являться нижними границами целика по пластам 11 и 13.

Со стороны восстания пластов линии, проведенные под граничными углами $\beta_0=45^0$ и $\beta_0=48^0$ от границы наносов с коренными породами, будут пересекать оба пласта выше горизонта $H_0=600$ м, поэтому границей предохранительных целиков со стороны падения пластов будут являться точки пересечения $е_1(ж_1)$, $е_2(ж_2)$.

На разрез по простиранию наносим с плана границы охраняемой площади точки Б(В) и А(Г) и с разреза вкрест простирания – верхние и нижние границы целиков по пластам. Из точек Б(В) и А(Г) проводим линии под углами $\varphi_0=50^0$ и далее под граничными углами $\delta_0=70^0$ и $\delta_0=73^0$ до глубины $H_0=600$ м.

Из тех же точек Б(В) и А(Г) проводим линии под углами сдвижения $\delta=67^0$ и $\delta=70^0$ до пересечения с нижними границами целика на разрезе вкрест простирания. Соединяя точки пересечения на горизонте H_0 с нижними границами целиков по пластам, получаем контуры предохранительного целика на разрезе по простиранию (с учетом изломов на горизонте 600 м) по пласту 13 – $ж_1е_1г_1а_1б_1д_1$, по пласту 11 – $ж_2е_2г_2а_2б_2д_2$.

Переносим соответствующие точки с разрезов вкрест простирания и по простиранию на план и получаем контуры предохранительных целиков в плане $а_1б_1д_1ж_1е_1г_1$; $а_2б_2д_2ж_2е_2г_2$.

В соответствии с рекомендациями примера 1 (см. рис. 7.4) определяем минимальные допустимые размеры целиков и подсчитываем запасы угля в предохранительных целиках.

Пример 3. Построение предохранительного целика для охраны железной дороги способом перпендикуляров (рис. 7.6)

На шахтном поле в Кизеловском угольном бассейне проходит двухколейная железная дорога общего пользования со стыковыми путями. Скорость движения поездов 80 км/ч. Грузонапряженность дороги 10 млн ткм/км. Под железной дорогой залегает пласт 13 мощностью 2,2 м. Угол падения пласта $\alpha = 20^{\circ}$. Мощность наносов h = 10 м.

Согласно табл. 4.16 [11] железная дорога относится к III категории, допустимые показатели деформаций поверхности составляют: наклон - $[i_д] = 8 \cdot 10^{-3}$; горизонтальные деформации - $[\varepsilon_д] = 6 \cdot 10^{-3}$.

Безопасная глубина разработки пласта (формула 5.1) для Кизеловского бассейна при $\alpha = 20^{\circ}$, $К_i = 1,2$, $К_\varepsilon = 0,5$, исходя из допустимого показателя наклонов, составит

$$H_\delta = К_i \frac{m}{[i_д]} = 1,2 \cdot \frac{2,2}{8 \cdot 10^{-3}} = 330 \ м,$$

а, исходя из допустимого показателя горизонтальных деформаций

$$H_\delta = К_\varepsilon \frac{m}{[\varepsilon_д]} = 0,5 \cdot \frac{2,2}{6 \cdot 10^{-3}} = 183 \ м.$$

Из двух значений безопасной глубины разработки, вычисленных по допустимым наклонам и горизонтальным деформациям, принимаем наибольшее, т.е. 330 м.

Для охраны железной дороги по ряду технико-экономических соображений целесообразно оставить предохранительный целик.

Рис. 7.6. Построение предохранительного целика для охраны железной дороги

При построении целика соблюдается следующая последовательность:

1. На плане, где нанесены железная дорога и изолинии пласта, от границы выемки или основания насыпи откладывается предохранительная берма, равная 10 м. Получается граница охраняемой площади на земной поверхности.

2. Определяются углы сдвижения. Для Кизеловского бассейна [11] при $\alpha = 20°$, $\beta = 64°$, $\gamma = 75°$, $\delta = 75°$, $\varphi = 55°$.

3. Криволинейные границы охраняемой площади разбиваются на несколько прямолинейных отрезков. Получаем характерные точки на контуре охраняемой площади АВДЖИЛБГЕЗКМ.

4. Определяются углы Θ (острые углы между линией простирания пласта и соответствующей границей охраняемой площади) на плане. Найденные значения Θ приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3.

Значения Θ, ctg β', ctg γ', H-h, q, l

Точка	Θ, град	ctg β′	ctg γ′	H-h, м	q, м	l, м
А	25		0,268	0		10,0
В	25		0,268	60		27,6
В	30		0,268	60		27,6
Д	30		0,268	135		49,5
Д	45		0,268	135		48,9
Ж	45		0,268	210		70,5
Ж	60		0,268	210		69,2
И	60		0,268	315		98,7
И	74		0,268	315		96,7
Б	25	0,456		0	10,0	
Г	25	0,456		36	24,2	
Г	30	0,445		36	24,1	
Е	30	0,445		115	55,1	
Е	45	0,394		115	51,2	
З	45	0,394		200	81,8	
З	60	0,335		200	73,1	
К	60	0,335		305	106,1	
К	74	0.287		305	95,0	

5. Определяются значения котангенса β' и γ' при диагональном расположении охраняемого объекта относительно направления простирания пласта по формулам (7.3) и (7.4).

Вычисленные значения ctg β' и ctg γ' для соответствующих характерных точек приведены в табл. 7.3.

6. Вычисляются значения H в характерных точках по разности абсолютных отметок земной поверхности и изогипс пласта. Из полученных значений H вычитается мощность наносов h и полученные разности вносятся в табл. 7.3.

7. Вычисляются длины перпендикуляров q и l по формулам (7.1), (7.2).

Полученные значения вносятся в табл. 7.3.

8. В характерных точках охраняемой площади проводятся перпендикуляры таким образом, чтобы каждому прямолинейному отрезку соответствовали два перпендикуляра по падению и два по восстанию. На них откладываются вычисленные отрезки q и l. Соединяя последовательно полученные точки линиями и продолжив их до пересечения с соседними, получаем границы предохранительного целика в плане Б: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, А.

9. Подсчитываются запасы угля в предохранительном целике.

Пример 4. Построение предохранительного целика под ручей (рис. 7.7)

Через шахтное поле одной из шахт Воркутинского месторождения протекает ручей. Под руслом ручья (включая участки его максимального разлива в период паводка) залегают глинистые наносы (глины, суглинки) минимальной мощностью $\Gamma_к = 15$ м.

Под ручьем залегает свита из двух совместно отрабатываемых пластов с углом падения $\alpha = 12^o$, вынимаемой мощностью соответственно $m_1 = 2{,}86$ м; $m_2 = 1{,}54$ м. Мощность междупластья 23 м.

На плане показаны изогипсы почвы пластов через 10 м. Ручей относится к I группе водных объектов, поскольку в данном случае отсутствуют геологические нарушения, а мощность подстилающих водный объект глинистых отложений $\Gamma_к$ превышает глубину водотока и удовлетворяет следующему условию:

$\Gamma_к > 1{,}5\ (m_1 + m_2) = 1{,}5\ (2{,}86 + 1{,}54) = 6{,}0$ м.

Следовательно, безопасная глубина разработки под ручей для двух пластов определяется по формуле [11]

$$H_{\delta(1+2)} = \frac{m_1}{\frac{m_1}{H_{\delta 1}} - \frac{m_2}{H_{\delta(1+2)} + h_{1-2}}},$$

где $H_{\delta(1+2)}$ – безопасная глубина разработки свиты из двух пластов; $m_1/H_{\delta 1} = \frac{1}{20} = 0{,}05$ согласно работе [11]; $h_{1\text{-}2}$ – мощность междупластия.

Безопасную глубину совместной разработки двух пластов под ручьем определяем из указанного выше выражения методом итераций.

За первое приближение принимается

$H_{\delta(1+2)} = 20(m_1 + m_2) = 20\ (2{,}86 + 1{,}54) = 88{,}0$ м.

$$H_{\delta(1+2)} = \frac{2{,}86}{0{,}05 - \frac{1{,}54}{88{,}0 + 23{,}0}} = \frac{2{,}86}{0{,}036} = 79{,}4\,\text{м}.$$

За второе приближение принимается полусумма предыдущих значений

$$H_{\delta(1+2)} = \frac{88{,}0 + 79{,}4}{2} = 83{,}7\,\text{м},$$

откуда

$$H_{\delta(1+2)} = \frac{2{,}86}{0{,}05 - \frac{1{,}54}{83{,}7 + 23{,}0}} = \frac{2{,}86}{0{,}0356} = 80{,}3\,\text{м}.$$

Рис. 7.7. Построение предохранительного целика под ручей

В качестве следующего значения $H_{\delta(1+2)}$ используется

$$H_{\delta(1+2)} = \frac{83,7 + 80,3}{2} = 82,0\,\text{м},$$

откуда получим

$$H_{\delta(1+2)} = \frac{2,86}{0,05 - \dfrac{1,54}{82,0 + 23,0}} = \frac{2,86}{0,0353} = 81,0\,\text{м}.$$

Поскольку предыдущее значение $H_{\delta(1+2)}$ = 80,3 м отличается от вычисленного значения $H_{\delta(1+2)}$ = 81,0 м менее чем на 1 м, то в качестве безопасной глубины может быть принято $H_{\delta(1+2)}$ = 81 м.

При минимальной отметке русла ручья + 181 м горизонту безопасной глубины соответствует изогипса почвы пласта с отметкой 181 – 81 = + 100 м.

Отвод ручья, а также применение других мероприятий, позволяющих извлечь уголь под ручьем выше горизонта безопасной глубины, признаны нецелесообразными. В этом случае под ручей необходимо оставить предохранительные целики.

За границы предохранительных целиков принимаем границы зоны опасного влияния водного объекта, которые строятся от линии максимального разлива ручья по углам разрыва.

Для Воркутинского месторождения углы разрывов принимаются на 10° больше соответствующих углов сдвижения, которые определяются согласно Правилам охраны сооружений… [11], т.е. $\delta''=\delta+10°=75°+10°=85°$; $\gamma''=\gamma+10°=85°$; $\beta''=(75°- 0,8\alpha) + 10°=(75°- 0,8\cdot12)+10° = 75°$.

В связи с тем, что в пределах предохранительных целиков отсутствуют ранее пройденные очистные выработки, целики строим по второму варианту. При этом с учетом поправок при построении целиков углы разрыва составят:

для первого пласта $\delta_1''= 85 – 3 = 82°$; $\gamma_1''= 85 – 3 = 82°$; $\beta_1''= 75 – 3 = 72°$;

для второго пласта $\delta_2''= 82 + 3 = 85°$; $\gamma_2''= 82 + 3 = 85°$; $\beta_2''= 72 + 3 = 75°$.

Для построения границ зоны опасного влияния под вытянутый объект, расположенный диагонально к простиранию пласта, используется способ перпендикуляров. На линии максимального разлива воды намечаем характерные точки АБВГДЖЗИКЛ, в каждой из которых определяем значение острого угла Θ между касательной к линии максимального разлива и направлением простирания пласта.

Находим значение углов разрывов в диагональном направлении β″ и γ″, для чего используем формулы (7.3),(7.4), в которых вместо углов сдвижения подставляем углы разрывов.

Далее по формулам (7.1) и (7.2) определяем длины перпендикуляров q и l.

Значения величин Θ, ctg β″, ctg γ″, H-h, а также вычисленные значения q и l приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4.

Исходные данные и величины q и l

Точка	Θ, град	Пласт 1					Пласт 2				
		H-h, м	ctg β″	ctg γ″	q, м	l, м	H-h, м	ctg β″	ctg γ″	q, м	l, м
А	87	80,0		0,142		24,8					
Б	83	80,0	0,145		22,1						
В	68	57,0		0,147		19,0	80,0		0,092		17,9
Г	75	57,0	0,160		19,5		80,0	0,110		19,2	
Д	58	30,0		0,140		14,8	53,0		0,087		15,5
Ж	66	30,0	0,184		15,9		53,0	0,132		17,4	
З	52	7,0		0,141		11,5	30,0		0,087		13,1
И	56	7,0	0,215		12,0		30,0	0,161		15,2	
К	32	0		0,140		10,5	23,0		0,087		12,5
Л	45	0	0,251		10,5		23,0	0,193		14,8	

В характерных точках на линиях максимального разлива воды откладываем по нормали к этим линиям длины соответствующих отрезков q (в сторону восстания пласта) и l (в сторону падения пластов). Получаем точки, лежащие на границах зоны опасного влияния водного объекта. Границей зоны опасного влияния со стороны падения

пласта является горизонт безопасной глубины (изогипса с отметкой + 100).

Со стороны восстания она ограничивается технической границей шахты. Производим подсчет запасов в предохранительных целиках.

8. МЕТОДЫ РАСЧЕТА СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности производится с целью определения ожидаемой степени повреждения зданий, сооружений и других объектов, расположенных в зоне влияния подземных выработок. На основе расчетных данных устанавливается возможность подработки, разрабатываются защитные мероприятия, оцениваются затраты на их проведение и проведение ремонтно-восстановительных работ и др.

Существует достаточно большое количество предложений по методам расчета, которые можно подразделить на теоретические, полуэмпирические и эмпирические. Теоретические методы базируются на уравнениях, используемых в механике сплошной среды. При этом массив горных пород принимается как упругая, пластичная или другая идеализированная среда. В полуэмпирических методах используются уравнения, основанные на теоретических соображениях и математических аналогиях, численные значения коэффициентов в которых определяются по данным натурных наблюдений. Методы расчета, применяемые в европейских странах, изложены в переведенной на русский язык работе Г.Кратча [6]. Наиболее широкое распространение там получил метод интеграционных сеток (палеток), разработанный в Германии.

Для расчета оседаний по этому методу вначале на листе кальки строится интеграционная сетка в виде пяти концентрических окружностей (рис. 8.1). Диаметр внешней окружности определяется из выражения

$$2R = 2h \cdot \operatorname{ctg} \gamma_0,$$

где h – расстояние по вертикали от пласта до горизонта в толще горных пород, для которого производится расчет, γ_0 – граничный угол.

Диаметр остальных окружностей подбирается с таким расчетом, чтобы каждая зона, расположенная между этими окружностями, была равноценна по своему влиянию на заданную точку, т.е. отработ-

ка пласта (или залежи) с площадью, равной площади любой из пяти концентрических кольцевых зон сетки, центр которой совмещен с точкой на плане, для которой производится расчет, должна вызывать опускание этой точки на 1/5 полного оседания. Определение размеров указанных зон производится по методу Р.Бальса, который принимает действие элемента пустоты на точку земной поверхности аналогично действию двух притягивающихся тел. Степень воздействия элемента выработки в пределах конуса на данную точку массива горных пород или земной поверхности принимается равной V/r^2, где V-элементарный объем выработки, r - расстояние от данной точки до элементарного объема.

Построенная таким образом палетка (в виде круга) разбивается прямыми линиями на 40 равноценных частей (ячеек), каждая из которых оценивается в 2,5 % полного оседания.

Для определения оседания точки Р интеграционная сетка накладывается на план горных выработок по разрабатываемому пласту таким образом, чтобы ее центр совмещался с вертикальной проекцией точки Р на поверхность пласта, т.е. с точкой P^I (рис. 8.1). Искомая величина оседания точки Р определяется путем умножения количества (n) ячеек сетки, оказавшихся в пределах контура отработанной части пласта, на цену каждой ячейки (0,025) и величину оседания при полной подработке η_0, т.е. $\eta_m=0{,}025\cdot n\cdot \eta_0$. Величина η_0 принимается обычно равной 0,6-0,8 вынимаемой мощности пласта.

Аналогичные модификации методов, применяемых в европейских странах, разработаны для угольных и рудных месторождений в нашей стране.

Для угольных месторождений наибольшее распространение получила методика расчета сдвижений и деформаций, рекомендованная Правилами охраны сооружений [11]. Она позволяет определять сдвижения и деформации земной поверхности при кратности подработки $\left(\frac{H}{m}\right)$ более 20 за пределами зоны провалов и крупных трещин, при угле падения пласта от 0 до 70^0 (в Кузбассе от 0 до 90^0) и при управлении кровлей полным обрушением или закладкой выработанного пространства. В сложных горно-геологических условиях (подра-

Рис. 8.1. Схема к расчету сдвижения горных пород при помощи интеграционной сетки

ботка разрывных тектонических нарушений, камерные системы разработки, залегание пород в складках) данная методика, за некоторым исключением, к применению не рекомендуется.

8.1 Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности от отдельной очистной выработки

При расчете ожидаемых сдвижений и деформаций исходными параметрами являются: граничные углы β_0, γ_0, δ_0, φ_0; угол максимального оседания (при неполной подработке) θ; углы полных сдвижений (при полной подработке) ψ_1, ψ_2, ψ_3; относительная величина максимального оседания q_0; относительная величина максимального горизонтального сдвижения a_0; функции распределения сдвижений и деформаций S, S', S''.

Исходные параметры определяются на основании результатов инструментальных наблюдений в натурных условиях и рекоменду-

ются для каждого месторождения соответствующими Правилами охраны сооружений.

В главных сечениях мульды сдвижения (рис. 8.2) максимальное оседание земной поверхности определяется по формуле

Рис. 8.2. Параметры процесса сдвижения:
а – при наклонном залегании пласта; б – при горизонтальном залегании пласта (по простиранию); в – при крутом залегании пласта ($\alpha \geq \alpha_п$)

$$\eta_m = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \; N_1 N_2 , \qquad (8.1)$$

где q_0 – отношение величины максимального оседания η_0 земной поверхности к вынимаемой (считая по нормали) или эффектив-

ной (при работе с закладкой) мощности m пласта при полной подработке, горизонтальном залегании пласта и закончившемся процессе сдвижения; α - угол падения пласта;

$$N_1=\sqrt{n_1} \text{ и } N_2=\sqrt{n_2},$$

где n_1 и n_2 – коэффициенты подработанности земной поверхности соответственно в направлениях вкрест простирания и по простиранию пласта.

$$n_1 = \operatorname{ctg} \psi_3 \frac{Д_1}{H};\ n_2 = \operatorname{ctg} \psi_3 \frac{Д_2}{H},$$

где $Д_1$ – размер очистной выработки вкрест простирания; $Д_2$ – размер выработки по простиранию; H – средняя глубина до выработки.

Оседание земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения определяется по формуле

$$\eta_{xy} = \eta_m S_{(z)}, \qquad (8.2)$$

где $S_{(z)}$ – функция типовой кривой оседания для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициентов N_1 - для точек главного сечения вкрест простирания пластов и N_2 - для точек главного сечения по простиранию.

Наклоны в главных сечениях мульды:

по простиранию

$$i_x=\left(\frac{\eta_m}{L_3}\right)S'_{(zx)}; \qquad (8.3)$$

в сторону, обратную простиранию,

$$i_x= -\left(\frac{\eta_m}{L_3}\right)S'_{(zx)}; \qquad (8.4)$$

в полумульде по падению

$$i_{y1}=\left(\frac{\eta_m}{L_1}\right)S'_{(zy1)}; \qquad (8.5)$$

в полумульде по восстанию

$$i_{y2} = -\left(\frac{\eta_m}{L_2}\right) S'_{(zy2)}, \qquad (8.6)$$

где $S'_{(z)}$ – функция типовой кривой наклонов, определяемая для соответствующих бассейнов (месторождений); L_1, L_2, L_3 – соответственно размеры полумульд по падению, восстанию и простиранию.

Кривизна в главных сечениях мульды при $\alpha \le 45^0$ определяется по формулам:

по простиранию

$$K_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3^2}\right) S''_{(zx)}; \qquad (8.7)$$

в полумульде по падению

$$K_{y1} = \left(\frac{\eta_m}{L_1^2}\right) S''_{(zy1)}; \qquad (8.8)$$

в полумульде по восстанию

$$K_{y2} = \left(\frac{\eta_m}{L_2^2}\right) S''_{(zy2)}, \qquad (8.9)$$

где $S''_{(z)}$ – функция типовой кривой кривизны, определяемая для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2.

При неполной подработке ($N_{1,2}<1$) кривизна в точке максимального оседания определяется по средней длине полумульды $L_{ср}=0{,}5(L_1+L_2)$.

Горизонтальные сдвижения в точках главных сечений мульды:

по простиранию

$$\xi_x = 0{,}5 a_0 \eta_m S'_{(z)}; \qquad (8.10)$$

в сторону, обратную простиранию,

$$\xi_x = -0{,}5 a_0 \eta_m S'_{(zx)}; \qquad (8.11)$$

в полумульде по падению

$$\xi_{y1}=0,5a_0\eta_m[S'_{(zy1)} + 2BS_{(zy1)}]; \quad (8.12)$$

в полумульде по восстанию

$$\xi_{y2}= - 0,5a_0\eta_m[S'_{(zy2)} - 2BS_{(zy2)}]. \quad (8.13)$$

Значение В определяется по формуле

$$B = \frac{1}{a_0}\left(\text{tg}\alpha - \frac{h}{H_{cp}}\right) \geq 0, \quad (8.14)$$

где a_0 - относительное максимальное горизонтальное сдвижение; α - угол падения пласта; H_{cp} – средняя глубина разработки; h – мощность пластов.

Горизонтальные деформации в точках главных сечений мульды:

по простиранию

$$\varepsilon_x = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_3} S''_{(zx)}; \quad (8.15)$$

в полумульде по падению

$$\varepsilon_{y1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1}\left[S''_{(zy1)} + 2BS'_{(zy1)}\right]; \quad (8.16)$$

в полумульде по восстанию

$$\varepsilon_{y2} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_2}\left[S''_{(zy2)} - 2BS'_{(zy2)}\right]. \quad (8.17)$$

При неполной подработке ($N_1 < 1$) горизонтальные деформации в точке максимального оседания определяются по средней длине полумульды

$$L_{ср} = 0{,}5\ (L_1 + L_2). \qquad (8.18)$$

8.2. Расчет сдвижений и деформаций от нескольких выработок

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций от нескольких выработок выполняется путем алгебраического сложения сдвижений и деформаций от каждой выработки. Последовательность суммирования сдвижений и деформаций от выработок в одном пласте и выработок в свите пластов должна соответствовать последовательности ведения очистных работ. За окончательные значения сдвижений и деформаций земной поверхности принимаются наибольшие из полученных при суммировании соответствующих сдвижений и деформаций от отдельных выработок.

8.3. Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций на рудных месторождениях

Методика расчета сдвижений и деформаций для угольных месторождений в принципе может использоваться и для некоторых рудных месторождений, когда рудные тела представлены пластообразными залежами, а вмещающие породы имеют слоистое строение и согласное с рудной залежью залегание.

Известны предложения по методикам расчета для конкретных горно-геологических условий отдельных рудных месторождений, которые используются при решении практических задач [14, 15].

В графоаналитическом способе расчета сдвижений и деформаций за пределами зоны провалов и террас Шадрин АГ., например, предлагает [15] определять величину максимального сдвижения земной поверхности по формуле

$$\overline{U_m} = \frac{m}{1 + (H/L)^n}, \qquad (8.19)$$

где m – вынимаемая мощность залежи; H - расстояние от центра выработанного пространства под углом Θ_m; L – пролет очистной выработки; n – параметр, характеризующий структуру пород висячего бока по линии угла Θ_m, определяется по формуле $n=0,5\ f_{ср}$.

Средневзвешенное значение коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М.Протодьяконова ($f_{ср}$) определяется для каждого расчетного луча H на заданную точку по формуле

$$f_{ср}=\frac{f_1 \cdot m_1 + f_2 m_2 + \cdots + f_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \cdots + m_n}, \qquad (8.20)$$

где f_i, m_i – соответственно коэффициент крепости и мощность структурного слоя пород по линии расчетного луча H.

Значения угла максимального сдвижения земной поверхности (Θ_m) определяются для каждого месторождения из результатов инструментальных наблюдений.

Величина вектора сдвижения в любой заданной точке земной поверхности (рис. 8.3) определяется по формуле

$$\overline{U_i}=\frac{m \cdot \sin^2\left(90^0 - \Theta_i\right)}{1+\left(H_i / L\right)^n}, \qquad (8.21)$$

где Θ_i – угол отклонения расчетного луча H_i от линии максимального сдвижения, проведенной под углом Θ_m (снимается с графика); H_i – расстояние от центра выработки до данной точки; n – параметр, характеризующий крепость и структуру массива по лучу H_i.

При разработке залежи изолированными участками или при погоризонтной отработке ведется последовательный расчет векторов от каждой выработки. В этом случае для точек, расположенных в подработанной предыдущими выработками зоне, параметр n принимается равным $0,33\ f_{ср}$.

Значения оседаний и горизонтальных сдвижений в расчетных точках земной поверхности получаются путем разложения вектора на вертикальную (η) и горизонтальную (ξ) составляющие.

Горизонтальные деформации интервалов между расчетными точками определяются по формуле

$$\varepsilon = \frac{\xi_3 - \xi_2}{l_{2-3}}, \qquad (8.22)$$

где $l_{2\text{-}3}$ – расстояние между точками 2 и 3 (см. рис. 8.3).

Рис. 8.3. Схема расчета сдвижений по способу Шадрина А.Г.

Вертикальные деформации интервалов

$$i_{2\text{-}3} = \frac{\eta_3 - \eta_2}{l_{2-3}}. \qquad (8.23)$$

Кривизна в точке 2

$$K_2 = \frac{i_{2-3} - i_{1-2}}{l_{ср}}. \qquad (8.24)$$

Радиус кривизны в точке 2

$$R_2 = 1/K_2. \qquad (8.25)$$

При расчете горизонтальных и вертикальных деформаций по формулам (8.22-8.25) величина интервала l между расчетными точками должна быть порядка 15-20 м.

9. СДВИЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ И КОЛЛЕКТОРОВ

Проходка выработок при строительстве метрополитенов и подземных коллекторов приводит к сдвижению горных пород и земной поверхности, вызывая повреждения в расположенных на ней зданиях и сооружениях.

Величина сдвижений и деформаций земной поверхности зависит от конкретных горно-геологических условий, прочностных и деформационных свойств пород, в которых ведется строительство, от технологии проходки и крепления выработки. Обычно пространство между контуром пройденной выработки вчерне и внешним контуром установленной в ней крепи (обделки) заполняется под давлением цементным раствором. Однако до момента заполнения и затвердевания раствора зазор частично или полностью заполняется вмещающими породами. Степень заполнения ими зависит главным образом от величины зазора, устойчивости вмещающих пород и времени до момента затвердевания цементного раствора в закрепном пространстве.

Горно-геологические условия сооружения метрополитена в г.Екатеринбурге сильно отличаются от условий в других городах (Москве, Петербурге и др.) большой изменчивостью пород по составу и физико-механическим характеристикам. Местами тоннели метрополитена пересекают скальные (изверженные) различной степени выветрелости и метаморфизма породы, чередующиеся с рыхлыми осадочными отложениями, заполняющими понижения в рельефе скальных пород и часто приуроченные к руслам и долинам погребенных ручьев и речек.

Учитывая многообразие горно-геологических условий и сложность учета показателей, характеризующих прочностные и деформационные свойства пород, в качестве обобщенного показателя принят номер инженерно-геологического элемента (ИГЭ). Номер ИГЭ устанавливается в соответствии с ГОСТ 20522-75 с учетом возраста пород, происхождения, текстурно-структурных особенностей и номенклатурного вида.

Для условий г.Екатеринбурга присвоенные номера ИГЭ для грунтов, при проходке выработок в которых проявляются сдвижения на земной поверхности, приведены ниже:

ИГЭ	Номенклатурный вид грунта
4	. . . . . Глина элювиальная, мягкопластичная
5	. . . . . Суглинок озерно-болотный, тугопластичный
6	. . . . . Суглинок запесоченный от мягкопластичного до тугопластичного
7	. . . . . Суглинок дресвянистый, твердый
8	. . . . . .Супесь глинистая, тугопластичная
9	. . . . . Супесь дресвянистая, элювиальная, твердая
10	. . . . . Песок мелкозернистый, плотный, влажный
11	. . . . . Песок средне и крупнозернистый, влажный
12	. . . . . Дресвянистый грунт с суглинистым и супесчаным твердым заполнителем
13	. . . . . . Щебенистый грунт с суглинистым заполнителем
14	. . . . . Сильновыветрелый грунт метаморфических сланцев, габбро, серпентинитов, гранитов (рухляк), малопрочный
15	. . . . . .Скальный грунт выветрелых метаморфических сланцев средней прочности
16	. . . . . .Скальный грунт слабовыветрелых метаморфических сланцев, прочный
17	. . . . . Скальный грунт сильновыветренных порфиритов средней прочности
18	. . . . . .Скальный грунт выветрелых порфиритов и метаморфических пород, средней прочности

Исследованиями, проведенными Уральским филиалом ВНИМИ, установлено, что на разрезе вдоль оси проходимой тоннельной выработки влияние на земную поверхность начинает проявляться под углом $\delta_0=35^0$ впереди и заканчиваться под углом $\psi=50^0$ позади движущегося забоя выработки (рис. 9.1). На разрезе, перпендикулярном оси тоннеля, влияние на земную поверхность распространяется также под углом $\delta_0=35^0$.

Рис. 9.1. Разрезы и графики распределения оседаний $\eta_{(z)}$ и наклонов $i_{(z)}$ перпендикулярно (а) и вдоль (б) оси тоннеля

Величина максимального оседания в мульде сдвижения η_c, вызванной проходкой перегонного тоннеля стандартного диаметра (5,5 м в свету), определяется по следующей эмпирической зависимости:

$$\eta_c = 180\text{-}10(\text{N ИГЭ}),\ \text{мм} \qquad (9.1)$$

В формуле (9.1) используется номер ИГЭ той породы, в которой пройдена выработка. Формула действительна в пределах изменения номера ИГЭ от 4 до 17. При проходке выработок в прочных устойчивых скальных породах, имеющих номер ИГЭ 18 и более, сдвижения на земной поверхности не проявляются.

В случаях, если диаметр горной выработки метрополитена или коллектора отличается от стандартного диаметра перегонного тоннеля, то величина максимального оседания земной поверхности η_m определяется по формуле

$$\eta_m = \eta_c \cdot \frac{Д}{Д_c}, \qquad (9.2)$$

где Д – диаметр выработки в свету, м; $Д_c$ = 5,5 м.

Значения сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде вычисляются по формулам:

оседание $\eta_{(z)}=\eta_m \cdot S_{(z)};$ (9.3)

наклон $i_{(z)}=S'_{(z)}\frac{\eta_m}{L};$ (9.4)

кривизна $K_{(z)}=S_{(z)}''\frac{\eta_m}{L^2};$ (9.5)

горизонтальные сдвижения $\xi_{(z)}=\eta_m \cdot F_{(z)};$ (9.6)

горизонтальные деформации $\varepsilon_{(z)}=\pm F'_{(z)}\frac{\eta_m}{L}$. (9.7)

В формулах (9.3)÷(9.7) $S_{(z)}$, $S_{(z)}'$, $S_{(z)}''$, $F_{(z)}$ и $F_{(z)}'$ – функции распределения сдвижений и деформаций в мульде сдвижения (табл. 9.1); L – размеры полумульды, м.

Размеры полумульды сдвижения в направлении вдоль выработки

$$L_1=2{,}3(H+R); \quad (9.8)$$

перпендикулярно оси тоннеля

$$L=1{,}5(H+R), \quad (9.9)$$

где H – глубина заложения свода тоннеля, м; R – внешний радиус обделки, м.

Таблица 9.1

Значения функций $S_{(z)}$, $S'_{(z)}$, $S''_{(z)}$, $F_{(z)}$ и $F'_{(z)}$

$Z=\frac{X}{L}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$		$F_{(z)}$	$F'_{(z)}$	
			поперек выработки	вдоль выработки		поперек выработки	вдоль выработки
0	1,00	0	-2,00	0	0	-1,70	0
0,1	0,98	0,30	-4,30	-3,20	0,18	-1,50	-0,80
0,2	0,92	0,85	-5,85	-5,60	0,34	-1,00	-1,20
0,3	0,81	1,35	-5,75	-5,85	0,37	0,02	-0,80
0,4	0,66	1,90	-3,00	-3,30	0,27	1,20	0,02
0,5	0,44	2,00	1,70	1,50	0,20	0,85	0,85
0,6	0,26	1,60	5,45	5,45	0,14	0,45	1,15
0,7	0,12	1,00	5,75	5,75	0,09	0,30	0,70
0,8	0,06	0,45	3,20	3,20	0,05	0,25	0,35
0,9	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,15	0,20
1,0	0	0	0	0	0	0	0

Суммарные значения сдвижений и деформаций земной поверхности от влияния нескольких выработок определяют путем алгебраического сложения значений сдвижений и деформаций в точках мульд, полученных от каждой из влияющих выработок.

10. СДВИЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПОСЛЕ ЛИКВИДАЦИИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА

10.1. Общие положения

Разработка месторождений полезных ископаемых оказывает негативное экологическое воздействие на окружающую среду, как любое промышленное производство. Однако если негативное экологическое воздействие в какой-то степени оправдано для действующего предприятия, то на закрывающемся предприятии оно должно быть исключено или сведено к минимуму.

Истощение запасов полезных ископаемых на месторождениях приводит к необходимости закрытия шахт и рудников. В массиве горных пород после выемки полезного ископаемого остаются пустоты, которые длительное время могут оставаться не заполненными. На угольных месторождениях даже при системах разработки с управлением горным давлением полным обрушением, как было показано в главе 2, остаются полости отслоений над выработанным пространством, пустоты в краевых частях очистных выработок у границ с целиками, в закрепленных постоянной крепью капитальных и подготовительных горных выработках (штреках, квершлагах и др.) и даже очистных, когда выработки расположены в крепких вмещающих породах, особенно на большой глубине.

Еще больше незаполненных пустот остается на рудных месторождениях, где системы разработки по горно-геологическим условиям более разнообразны. Пустоты отрицательно влияют на технологию ведения горных работ, т.к. нарушают систему вентиляции действующих выработок, создают угрозу внезапного самообрушения больших масс пород в очистных выработках, вызывающих мощную ударную воздушную волну в сообщающихся с ними других выработках и т.п.

На месторождениях с крепкими вмещающими породами, особенно при разработке слепых рудных тел несплошными системами, пустоты сохраняются очень долго. Так, например, на Березовском золоторудном месторождении, разработка которого ведется с 1747 г.,

только за послереволюционный период образовано свыше 4,3 млн $м^3$ пустот, из которых числится погашенными около 2,3 млн $м^3$. Заполнение имеющихся пустот в настоящее время осуществляется путем их закладки. Закладочным материалом при этом служат в основном эфелевые пески "хвостов" обогатительной фабрики. Однако годовые объемы закладки составляют только около 10 % от образованных за этот период пустот. Следовательно, остальные 90 %, идут в накопление к уже имеющимся объемам.

Естественно, ликвидировать все образованные пустоты по техническим и экономическим причинам не представляется возможным. Большое количество их остается после закрытия как отдельных шахт и рудников, так и групп горнодобывающих предприятий.

Такие ситуации имеют место, например, на Хальмерьюском, Егоршинском угольных месторождениях, в Кизеловском бассейне, где все шахты ликвидированы. То же самое существует и на рудных месторождениях, например Пышминском и др.

Оставшиеся после ликвидации горных предприятий в массиве горных пород пустоты являются потенциальными источниками сдвижений подработанной земной поверхности, в том числе и на застроенных территориях, на многие десятки и сотни лет.

Наиболее опасной из форм сдвижения является образование провалов, когда на земной поверхности внезапно появляются разрушительные для зданий и сооружений деформации. В провалы попадают люди, животные, транспортные средства и др. Примеров тому можно привести достаточное количество.

Провалы образуются над горными выработками, в которых сохраняются пустоты. К таким выработкам прежде всего относятся подготовительные и очистные выработки, пройденные на малой глубине, а также выработки, выходящие на земную поверхность: стволы, шурфы, скважины большого диаметра и даже заброшенные колодцы и овощные ямы при ненадлежащей их ликвидации. Такие выработки должны полностью засыпаться негорючими материалами.

В зависимости от глубины разработки, размеров выработанного пространства, геологического строения, физико-механических свойств пород, их обводненности, наличия крепи в выработках и других факторов, скорость развития процессов, приводящих к появлению провалов, колеблется в широких пределах. Большинство же про-

валов образуется в течение первых 5 – 10 лет после окончания горных разработок, но иногда они появляются спустя несколько десятков и даже сотен лет по мере нарушения устойчивости незаложенных горных выработок, разрушения их крепи, нарушения перекрытий шурфов и шахтных стволов и т.д.

Кроме провалов, на подработанных территориях долгое время могут проявляться менее заметные деформации, которые, накапливаясь со временем, могут представлять серьезную опасность для сооружений.

Негативное влияние на охраняемые объекты после ликвидации горных предприятий оказывает прекращение откачки воды из горных выработок. В результате подъема уровня подземных вод до отметок, существовавших до начала откачки воды из шахт и рудников, многие участки территорий, примыкающих к шахтным полям, в зависимости от условий рельефа, оказываются заболоченными, а непосредственно подработанные - подтопленными. Как показывают инструментальные наблюдения, величина оседания земной поверхности вследствие многолетней разработки свит пластов достигает больших величин. На Буланашском угольном месторождении, например, отдельные участки подработанных территорий осели на 15 – 20 м, а в Челябинском буроугольном бассейне - на 20 – 30 м. Часть подработанных территорий за период существования горных предприятий хозяйственно освоены: по ним проложены коммуникации, произведена застройка, разбиты садовые участки и сельскохозяйственные угодья и т.п.

Подтопление и заболачивание территорий приводит к увлажнению и переувлажнению грунтов, вызывает снижение несущей способности последних и, как следствие, разрушение фундаментов и самих строений.

Затопление горных выработок в связи с прекращением откачки воды после ликвидации горных предприятий приводит к разупрочнению пород, вмещающих выработки, и снижению их устойчивости, а также к разжижению закладочного материала в выработках, приводя его в подвижное состояние. В результате материал закладки под собственным весом перемещается по выработкам из верхних горизонтов в нижние. Ранее засыпанные шахтные стволы, шурфы и другие выработки, выходящие на земную поверхность, которые представляют наибольшую опасность внезапного образования провалов, вновь ока-

зываются незаложенными. Особенно неэффективной с этой точки зрения может оказаться закладка выработок эфелевыми песками, которая практикуется на Березовском золоторудном месторождении.

Таким образом, основные отрицательные последствия закрытия горнодобывающих предприятий связаны с продолжением процесса сдвижения подработанных территорий и деформированием расположенных на ней зданий и сооружений, продолжением провальных явлений, подтоплением территорий вследствие прекращения откачки воды из горных выработок, с загрязнением подземных и поверхностных вод, источников питьевого водоснабжения и т.д.

Учитывая важность исключения негативных последствий, которые приводят в ряде случаев к большим экологическим и экономическим издержкам, в последнее время стали уделять больше внимания опережающему изучению возможных изменений экологической обстановки и разработке природоохранных мероприятий.

10.2. Горно-экологический мониторинг сдвижения земной поверхности

Изучение сдвижения горных пород и земной поверхности является одним из приоритетных направлений горно-экологического мониторинга. Он проводится на региональных (геодинамических полигонах) и локальных наблюдательных станциях.

Мониторинг сдвижения земной поверхности определяет проседание земной поверхности на подработанной территории, построение границ областей наибольшего проседания и прогноз опасного проседания для жилого массива, установление провальных и оползневых явлений от процессов затопления горных выработок, определяет зоны заболачивания и подтопления участков территорий.

С этой целью создаются региональные центры производственной и экологической безопасности, в том числе региональные Центры горно-экологического мониторинга (ГЭМ), в состав которых входят локальные группы.

Система горно-экологического мониторинга является составной частью системы государственного мониторинга геологической среды, которая входит в Единую государственную систему экологического мониторинга.

Экологический мониторинг – это комплекс выполняемых по научно обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе рекомендаций и вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием окружающей среды и экологической безопасности.

Основными функциями мониторинга являются информационная, прогнозная и управленческая.

Горно-экологический мониторинг на ликвидируемых горных предприятиях осуществляется в целях повышения производственной и экологической безопасности в период выполнения технических работ при ликвидации предприятий, а также в целях набора информации о процессах заболачивания, подтопления территории, провалообразования, деформирования зданий и сооружений на земной поверхности и других изменениях, которые могут возникнуть в окружающей среде в ходе ликвидации горных предприятий и в послеликвидационный период.

Следует иметь в виду важность получения достоверной абсолютно правильной информации на стадии наблюдений, так как этот материал ляжет в основу методик прогноза. Пропущенные наблюдения ведут к безвозвратной потере информации. Повторить или смоделировать процесс затопления и другие процессы практически невозможно, так как они строго специфичны для каждого горнодобывающего предприятия, так же как и прогноз для месторождения будет индивидуальным, зависящим от полноты и качества материалов наблюдений.

Центр горно-геологического мониторинга взаимодействует с органами государственной власти, местного самоуправления, контролирующими органами в системе охраны окружающей среды, службой ГО и ЧС по вопросам их юрисдикции.

Основными задачами Центра ГЭМ являются:

1. Организация наблюдений силами групп мониторинга на горных предприятиях.
2. Оценка и прогноз изменений состояния объектов наблюдения с целью предупреждения производственной и экологической опасности в ходе ликвидации шахт и рудников.

3. Информационная поддержка реализации программ и управленческих решений в части экологической и производственной безопасности в процессе ликвидации и послеликвидационный период.
4. Обеспечение населения и заинтересованных организаций текущей и экспертной информацией об экологической обстановке в районах ликвидируемых шахт и рудников.
5. Осуществление координации и методического руководства группами мониторинга по выполнению наблюдений.
6. Сбор, обработка, хранение и распространение информации о состоянии объектов горно-экологического мониторинга.
7. Центр мониторинга составляет банк данных, а также ведет централизованный учет информации.
8. Обеспечение проведения НИР и ОКР по вопросам горно-экологического мониторинга.
9. Подготовка материалов о состоянии объектов горно-геологического мониторинга в отчетах с представлением информации об опасных явлениях, возникающих в процессе ликвидации и послеликвидационный период в адрес администрации, ГО, ЧС, и др. заинтересованные службы по их запросу.

Объектами горно-экологического мониторинга являются подработанная земная поверхность, здания, сооружения и природные объекты, расположенные на ней.

Основными функциями ГЭМ на ликвидируемых горных предприятиях являются:

1. Наблюдения за подработанными зданиями, сооружениями и природными объектами.
2. Наблюдения за уровнем подземных вод затапливаемых шахт и информация о необходимости принятия мер, не допускающих вредных последствий.
3. Наблюдения за рекультивацией нарушенных земель.
4. Оценка состояния окружающей среды на момент технических разработок по ликвидируемым горным предприятиям при выборе способа ликвидации.

5. Составление программы наблюдений за объектами мониторинга в предликвидационный период, в процессе ликвидации и послеликвидационный период.
6. Обработка массива наблюдений по специальным программам, подготовка информации графической, картографической, табличной, составление отчетов.
7. Сотрудничество с исследовательскими институтами в части совершенствования программы наблюдений, обработки информации, составления прогнозов и подготовки предложений по корректировке технических решений в проектах в части мониторинга и ликвидации негативных последствий

Перед составлением мониторинга наблюдений за сдвижением земной поверхности после ликвидации горных предприятий должны быть выполнены следующие работы:

установлена зона сдвижения земной поверхности на момент ликвидации и прогноз ее развития;

выполнен анализ применявшихся систем разработки и их влияние на характер сдвижения толщи горных пород и земной поверхности;

установлено количество подземных пустот, их закладка и закладочный материал;

установлен характер ликвидации подземных горных выработок, особенно выходящих на земную поверхность;

определены схемы сдвижения подработанной толщи и их проявление на земной поверхности;

проведен анализ деформаций зданий и сооружений, попавших в зону опасного влияния;

определены уровни грунтовых вод на подработанном участке и прогноз их изменений после ликвидации;

определены угловые параметры зоны сдвижения и их достоверность;

уточнено состояние региональных и локальных наблюдательных станций за подрабатываемыми объектами;

проанализированы проекты наблюдательных станций за проявлением общего характера сдвижения земной поверхности и отдельных объектов;

установлена остаточная стоимость подработанных зданий, сооружений и других объектов;

определена необходимость пополнения наблюдательных станций;

откорректированы методики наблюдений (точность, приборы).

Различают три этапа мониторинга сдвижений земной поверхности в ликвидационный и послеликвидационный периоды.

Во время **первого этапа** согласно Правилам охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок для соответствующих месторождений определяются зоны опасные по возможному выходу провалов и трещин с выносом в натуру опасных зон на горном отводе. Устанавливаются специальные предупредительные знаки и надписи. Производится ознакомление жильцов, проживающих вблизи этих зон с Инструкцией по безопасности.

Визуальные наблюдения за изменениями земной поверхности проводятся специалистами групп мониторинга на горнодобывающих предприятиях.

Частота обследований территории горных отводов зависит от конкретной ситуации на ликвидируемой шахте или руднике, но не должна быть реже 2-3 раз в год. При выявлении признаков сдвижения или провала детально оценивается характер развития деформаций земной поверхности, их активизация, измеряются основные параметры деформаций, производится их описание, зарисовка и привязка на плане.

Обследование сдвижений и провалов проводится комиссионно, с указанием сроков ликвидации, ответственных лиц за организацию экологической безопасности на период ликвидации опасного очага, указываются меры безопасности, которые необходимо применить в этот период. Акты обследования высылаются в адрес Центра мониторинга. Оградительно-информационные знаки должны сохраняться до приведения опасных зон в безопасное состояние.

Производится геодинамическое районирование и выделение блочной структуры горного массива, выделение геодинамически опасных зон и разломов. Определяются объекты визуальных и инструментальных наблюдений.

На **втором этапе** мониторинга производится проверка выполнения состава и объемов технических работ, предусмотренных проектами ликвидации горнодобывающих предприятий и выполнения мероприятий, предлагаемых комиссиями, обследовавшими поверхность. Проводятся регулярные визуальные и инструментальные (при необходимости) обследования опасных зон (участки ликвидированных выработок, стволов, шурфов, выходящих на поверхность, провалов и т.д.) с частотой не реже 2 раз в год (весной и осенью). Выполняются инструментальные наблюдения на локальных наблюдательных станциях за состоянием подработанных объектов. При обнаружении признаков деформирования других подработанных объектов организуются новые локальные наблюдательные станции.

На **третьем этапе** мониторинга по результатам анализа измерений устанавливаются параметры вредных проявлений земной поверхности, анализируются условия и причины образования провалов, разрабатываются предложения по внесению изменений в рабочие проекты по превентивным мероприятиям и мероприятиям по ликвидации последствий деформирования объектов.

Мониторинг сдвижения земной поверхности может быть прекращен после официального разрешения, согласованного с Госгортехнадзором РФ, комитетами по земельным ресурсам и землеустройству, Минприродных ресурсов РФ и Госкомэкологией РФ.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Туринцев Ю.И., Самарин В.П.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие к практическим работам

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОДРАБАТЫВАЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ 5
   - 1.1. Общие положения 5
   - 1.2. Составление проекта наблюдательной станции 5
   - 1.3. Конструкция реперов 11
   - 1.4. Методика наблюдений и требования к инструментам 12
   - 1.5. Аналитическая и графическая обработка результатов наблюдений 14
   - 1.6. Содержание отчета по наблюдениям 22

2. ПАРАМЕТРЫ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ 23

3. РАЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ 29
   - 3.1. Исходные данные для расчетов 29
   - 3.2 . Расчет ожидаемых сдвижений от отдельной очистной выработки 31
   - 3.3. Расчет скорости оседания 34
   - 3.4. Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций от нескольких выработкок 35
   - 3.5. Пример расчета сдвижений и деформаций 35

4. ДОПУСТИМЫЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ 40
   - 4.1. Показатели деформаций для гражданских зданий 40
   - 4.2. Показатели деформации для промышленных зданий 43
   - 4.3. Показатели деформации для инженерных сооружений 48
   - 4.4. Показатели деформации для железных дорог 49

5. УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ПОДРАБОТКИ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ 51
   - 5.1. Условия подработки зданий и сооружений 51
   - 5.2. Условия подработки ЛЭП и шахтных стволов 55
   - 5.3. Условия подработки водных объектов 56

6. МЕРЫ ОХРАНЫ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ 60

7. ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ 61
   - 7.1. Общие правила и способы построения целиков 61
   - 7.2. Примеры построения целиков 66

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 75

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность маркшейдерской службы горных предприятий направлена на обеспечение безопасности подземных и открытых разработок МПИ.

Подземная разработка полезных ископаемых приводит к нарушению состояния равновесия пород и их сдвижению. В результате в объектах, расположенных в зоне влияния подземных разработок, могут возникнуть различной степени повреждения.

При составлении учебно-методического пособия использованы действующие в настоящее время нормативные и методические документы, касающиеся вопросов охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок. В большей степени использован опыт решения этих вопросов на угольных месторождениях, где процесс сдвижения горных пород и земной поверхности изучен более полно, чем на рудных.

Изложена методика закладки наблюдательной станции на земной поверхности, проведения инструментальных наблюдений на ней, обработки и использования результатов наблюдений для получения параметров процесса сдвижения. Даны значения основных параметров процесса сдвижения земной поверхности для уральских угольных и рудных месторождений. Также изложена методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций, даны значения допустимых и предельных показателей деформации для широкого круга гражданских и промышленных объектов, приведены условия безопасной подработки охраняемых объектов, изложены способы построения предохранительных целиков.

Основные термины и определения элементов сдвижения горных пород и земной поверхности, используемые в учебно-методическом пособии, можно найти в учебном пособии [8].

Вопросы маркшейдерского обеспечения горных работ при открытых разработках касающихся: определения оптимальных углов погашения откосов уступов и бортов карьера; мониторинга устойчивости карьерных откосов; способов предупреждения и мер борьбы с деформациями рассмотрены в учебно-методическом пособии по дисциплине «Геомеханика».

1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ И ПОДРАБАТЫВАЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ

1.1. Общие положения

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности под влиянием горных разработок производят с целью определения и уточнения параметров процесса сдвижения; установления взаимосвязи между деформациями земной поверхности и возникающими деформациями в подрабатываемых объектах; определения эффективности применяемых конструктивных и горных мер охраны объектов от вредного влияния подземных разработок.

Наблюдения обязательны при выемке полезных ископаемых под охраняемыми объектами.

Результаты инструментальных наблюдений используют при установлении, выборе и уточнении мер охраны зданий, сооружений и природных объектов.

Инструментальные наблюдения проводят на наблюдательных станциях, состоящих из системы реперов, закладываемых по профильным линиям. Закладка реперов и начальные наблюдения на них должны быть проведены до появления влияния очистных выработок.

Различают типовые и специальные наблюдательные станции.

Типовые наблюдательные станции закладывают для определения параметров процесса сдвижения, установления характера распределения сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде сдвижения, а также характера их накопления от нескольких очистных выработок. Срок существования станции – от одного года до нескольких десятилетий.

Специальные наблюдательные станции закладывают для изучения сдвижения земной поверхности, в частности, контроля соответствия фактических деформаций расчетным, исследования характера накопления деформаций при оконтуривании предохранительных целиков (под промплощадку, шахтные стволы и т.д.).

1.2. Составление проекта наблюдательной станции

Закладку наблюдательной станции и наблюдения на ней производят по специальному проекту, который должен включать графическую часть и пояснительную записку. Графическая часть должна состоять из плана наблюдательной станции, геологических разрезов по профильным линиям (в том же масштабе, что и план станции) и чертежей конструкции реперов.

На план наносят: рельеф земной поверхности, пройденные и проектируемые горные выработки, выходы под наносы пластов угля или рудных тел, тектонических нарушений, наличие плывунов, карстов, естественных полостей, сооружения и объекты, расположенные на земной поверхности, подземные коммуникации, границы предохранительных целиков, профильные линии и все реперы, как грунтовые, так и закладываемые в сооружения.

Геологические разрезы следует составлять, используя все данные по ближайшим геологическим скважинам и горным выработкам. Особое внимание следует уделять уточнению мощности наносов, положению мощных крепких слоев пород, расположению горных выработок, в том числе старых, тектонических нарушений и других плоскостей ослабления массива (нерабочие угольные пласты, слабые глинистые прослойки). На разрез наносят все рабочие и опорные реперы профильной линии.

В пояснительной записке указывают цель наблюдений, приводят краткую геологическую и горно-техническую характеристики участка, обосновывают конструкцию наблюдательной станции, ее местоположение, число и направление профильных линий, их длины, интервалы между реперами, число реперов и количество необходимых для их закладки материалов (металл, цемент, песок). Приводят методику и периодичность наблюдений с соответствующим обоснованием, способ привязки станции к маркшейдерской опорной геодезической сети, указывают требуемую точность измерений, необходимые приборы и инструменты.

Типовая наблюдательная станция должна состоять не менее, чем из двух профильных линий вкрест простирания и одной по простиранию пласта (рис. 1.1, а).

Если станция рассчитана на длительный срок наблюдений (более 5 лет) и имеет большую протяженность (более 1 км), то допускается закладка одной профильной линии вкрест простирания.

Длины профильных линий вкрест простирания на типовых станциях в зависимости от угла падения пласта α и наличия старых выработок определяют следующим образом:

1) при $\alpha \le 25^0$ и отсутствии по восстанию старых горных выработок (рис. 1.1, в) проводят линии под углами $(\beta - \Delta\beta)$ у нижней границы и $(\gamma - \Delta\gamma)$ у верхней до контакта коренных пород с наносами и далее под углом φ_0 до пересечения с линией земной поверхности. Точками А и В определяются границы рабочей части профильной линии. Значения $\Delta\beta$ и $\Delta\gamma$ приведены ниже.

С обоих концов профильной линии закладывают по два или три опорных репера на расстояниях соответственно 50 и 100 м или 30, 60 и 90 м от крайних рабочих реперов (от точек А и В). Длина профильной линии определяется отрезком I – IV. Если невозможно заложить опорные реперы на обоих концах линии, то следует ограничиться закладкой их на одном конце;

2) при $\alpha \le 25^0$ и наличии со стороны восстания старых горных выработок границу рабочей части профильной линии определяют от верхней границы ранее отработанной лавы по углу $(\gamma - \Delta\gamma)$ в коренных породах и углу φ_0 в наносах (точка В, см. рис. 1.1, г).

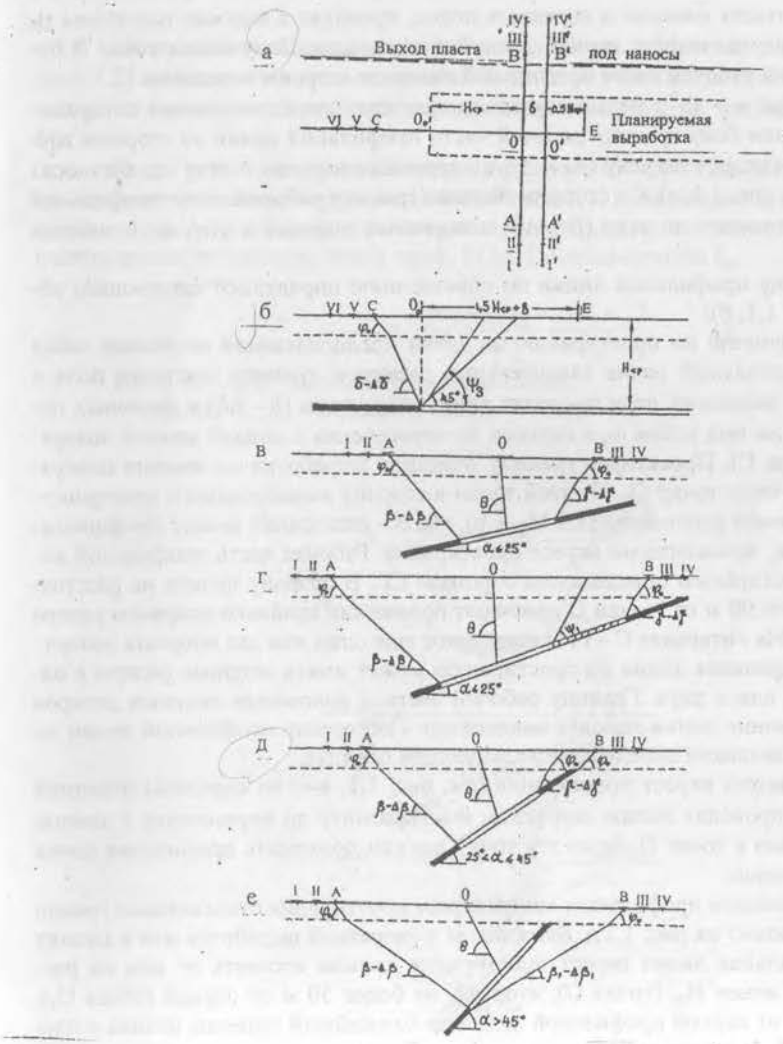


Рис. 1.1. Схема определения длин профильных линий на угольных месторождениях:
а – на плане; б – на разрезе по простиранию; в – на разрезе вкрест простирания при $\alpha \le 25^0$; г – на разрезе вкрест простирания при $\alpha \le 25^0$ и наличии старых выработок со стороны восстания; д – вкрест простирания при $25^0 < \alpha \le 45^0$; е – на разрезе вкрест простирания при $\alpha > 45^0$

3) при $25^0 < \alpha \le 45^0$ (рис. 1.1, д) границу рабочей части профильной линии со стороны восстания пласта устанавливают следующим образом: от точки, расположенной на пересечении линии почвы пласта (или ее продолжении) с линией контакта наносов и коренных пород, проводят в наносах под углом φ_0 линию до пересечения с линией земной поверхности. Полученная точка В будет границей рабочей части профильной линии со стороны восстания.

4) при $\alpha > 45^0$ с целью изучения характера сдвижения земной поверхности в лежачем боку границу рабочей части профильной линии со стороны восстания определяют по углу ($\beta_1 - \Delta\beta_1$) в коренных породах и углу φ_0 в наносах (точка В на рис. 1.1, е). Со стороны падения границу рабочей части профильной линии определяют по углу ($\beta - \Delta\beta$) в коренных породах и углу φ_0 в наносах (точка А).

Длину профильной линии по простиранию определяют следующим образом (рис. 1.1, б).

На разрезе по простиранию из точки предполагаемой остановки забоя (предохранительный целик значительных размеров, граница шахтного поля и др.) или от разрезной печи проводят линию под углом ($\delta - \Delta\delta$) в коренных породах и далее под углом φ_0 в наносах до пересечения с линией земной поверхности (точка С). Проектируя границу очистной выработки на земную поверхность, получают точку O_o. От этой точки в сторону выработанного пространства откладывают расстояние ($1{,}5\ H_{ср} + b$), где b – расстояние между профильными линиями, заложенными вкрест простирания. Рабочая часть профильной линии по простиранию определяется отрезком СЕ. В сторону целика на расстоянии не менее 90 м от точки С намечают положение крайнего опорного репера (точка VI). На интервале С –VI закладывают еще один или два опорных репера.

Профильная линия по простиранию может иметь опорные реперы с одного конца или с двух. Границу рабочей части и положение опорных реперов на другом конце линии находят аналогично. Положение профильной линии по простиранию пласта определяют в следующем порядке.

На разрез вкрест простирания (см. рис. 1.1, в-е) из середины очистной выработки проводят линию под углом θ к горизонту до пересечения с земной поверхностью в точке О, через эту точку должна проходить профильная линия по простиранию.

Положение профильных линий вкрест простирания относительно границ целика показано на рис. 1.1,а. Ближайшая к разрезной выработке или к целику одна профильная линия вкрест простирания должна отстоять от них на расстоянии не менее $H_{ср}$ (точка О), вторая – не более 50 м от первой (точка O_1). Расстояние от первой профильной линии до ближайшей границы целика в плане должно быть не менее $H_{ср}$.

Используемые при определении длин профильных линий и их положений относительно границ очистных выработок значения углов сдвижения δ, β, γ, β_1 и углов φ_0, ψ_1, ψ_2, ψ_3, θ принимают в соответствии с табл. 2.1; 2.2 и 2.4.

Углы $\Delta\delta$ и $\Delta\gamma$ принимают равными 20^0, а углы $\Delta\beta$ и $\Delta\beta_1$ в зависимости от угла падения пласта α определяют из выражений

$$\Delta\beta = 18° - 0{,}15\alpha; \qquad (1.1)$$

$$\Delta\beta_1 = 20° - 0{,}15\alpha. \qquad (1.2)$$

На рудных месторождениях при определении длин профильных линий (рис. 1.2) используются углы сдвижения δ, β, γ и β_1 уменьшенные на 10^0. Значения углов сдвижения берутся из действующих нормативных документов [4, 5, 6].

Когда углы сдвижения для данного рудного месторождения неизвестны, их величину рекомендуется определять по табл. 1.1 в зависимости от строения толщи пород, угла падения рудных тел и средневзвешенного значения коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова $f_{ср}$.

$$f_{ср} = \frac{(f_1 m_1 + f_2 m_2 + ... + f_n m_n)}{(m_1 + m_2 + ... + m_n)}, \qquad (1.3)$$

где $f_1, f_2, \ldots, f_n$ – крепость породных слоев,

$m_1, m_2, \ldots, m_n$ – мощность слоев.

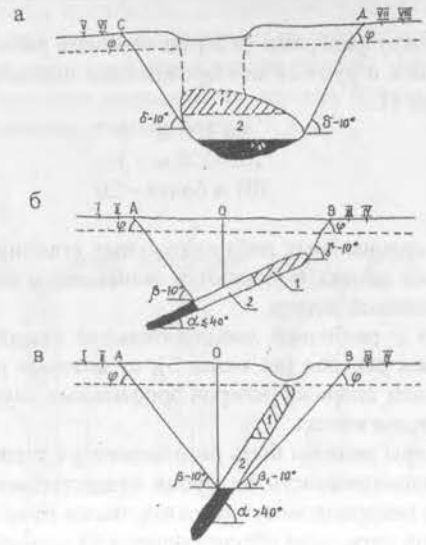


Рис. 1.2. Схема определения длин профильных линий на рудных месторождениях
а – по простиранию; б – вкрест простирания при $\alpha \le 40^0$; в – вкрест простирания при $\alpha > 40^0$;
1 – отработано; 2 – намечено к отработке на период наблюдений.

Таблица 1.1

Значения углов сдвижения на рудных месторождениях.

Тип и строение породы	Группа пород (коэффициент крепости пород $f_{ср}$)	Под группа	Угол падения рудных тел α, градус	Угол сдвижения, градус			
				δ	β	γ	β_1
I. Слоистое	1 (<5)	1	0 - 45	55	45	55	-
		2	46 - 75	55	40	-	40
		3	76 - 90	55	45	-	40
	2(5÷8)	1	0 - 45	60	50	60	-
		2	46 - 60	60	40	60	-
		3	61 - 75	60	40	-	50
		4	76 - 90	60	45	-	50
	3(>8)	1	0 - 45	65	50	65	-
		2	46 - 60	65	45	65	-
		3	61 - 75	65	45	-	50
		4	76 - 90	65	50	-	50
II. Неслоистое	4(≥8)	1	0 - 30	70	70	70	-
		2	31 - 50	70	65	65	-
		3	51 - 75	70	65	-	α
		4	76 - 90	70	65	-	65

Расстояния между реперами (в м) на отрезках рабочей части профильных линий на угольных и рудных месторождениях определяют в зависимости от глубины разработки Н:

до 100 м – 5;
101–300 м – 10;
301 и более – 20.

Конструкции специальных наблюдательных станций и расстояния между рабочими реперами на них выбирают в зависимости от характера объекта наблюдения и поставленной задачи.

Одновременно с разбивкой наблюдательной станции намечают места для закладки исходных реперов (не менее 3), от которых в дальнейшем будут определяться положения опорных реперов профильных линий по высоте и контролироваться их неподвижность.

Исходные реперы должны быть расположены в таких местах, в которых обеспечивается их неподвижность на время существования наблюдательной станции. Исходными реперами могут служить также пункты маркшейдерской опорной геодезической сети, если обеспечивается их неподвижность и они расположены на небольшом удалении от станции.

Разбивка наблюдательной станции (перенесение проекта в натуру) производится инструментально с помощью теодолита и рулетки. Отклонения реперов от створа не должны превышать 5 см.

После разбивки наблюдательной станции закладывают реперы.

1.3. Конструкция реперов

Конструкция реперов и способ закладки их в грунт должны обеспечивать: а) их надежную сохранность на весь срок службы наблюдательной станции, защиту от влияния промерзания и от внешних повреждений; б) прочную связь с грунтом, при которой сдвижение грунта вызвало бы такое же сдвижение реперов; в) удобство наблюдений за их сдвижением в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Кроме того, реперы должны иметь простую конструкцию, допускающую возможность изготовления их в местных мастерских, на шахтах и рудниках.

Грунтовые реперы могут быть изготовлены из металлических стержней диаметром не менее 20 мм, металлических трубок диаметром не менее 30 мм или обрезков рельсов.

Верхние концы обрезков рельсов или металлических стержней обтачивают до полусферы, а в центре высверливают углубления диаметром 1-2 и глубиной 5-7 мм. К верхнему концу металлической трубки, используемой в качестве репера, приваривают металлическую головку, обточенную до полусферы, с высверленным отверстием указанных размеров.

Реперы закладывают в скважины диаметром 150-170 мм или в специально подготовленные котлованы. Глубина закладки реперов должна быть такой, чтобы их нижний конец располагался на расстоянии не менее 0,5 м от границы промерзания грунта в данной климатической зоне. Часть репера, расположенная ниже горизонта промерзания, должна бетонироваться, а выше – засыпаться сухим плотным грунтом (рис. 1.3, а, б).

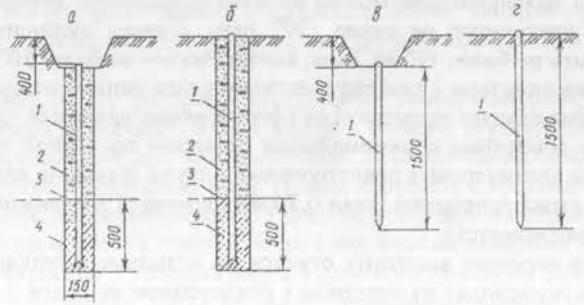


Рис. 1.3. Конструкции реперов наблюдательных станций.
Бетонированные: а – заглубленные, б – незаглубленные;
забивные: в – заглубленные, г- незаглубленные.
1 – металлический стержень; 2 – сухая плотная засыпка;
3 – граница сезонного промерзания; 4 – бетон

На участках, где при движении транспорта или сельскохозяйственных работах реперы могут быть повреждены, верхнюю часть их целесообразно заглубить на 30-40 см ниже поверхности земли. В местах, где повреждение реперов исключается, их можно закладывать выступающими на 2-3 см над земной поверхностью. В качестве рабочих реперов допускается использовать забивные металлические стержни длиной не менее 1500 мм (см. рис. 1.3., в, г). В этом случае центры наносят с помощью ручного сверла или керна после забивки репера в грунт.

1.4. Методика наблюдений и требования к инструментам

Наблюдения за сдвижением земной поверхности, а также за деформациями различных сооружений, вызванными подработкой, заключаются в инструментальном определении на разные даты положения реперов наблюдательных станций с одновременным фиксированием видимых нарушений, а также всех факторов, влияющих на величины и характер сдвижений и деформаций.

Сдвижения реперов в вертикальной плоскости (оседания) определяют из периодически проводимых нивелировок, а в горизонтальной – измерением расстояний между реперами.

Перед началом наблюдений производят привязку (определение координат X, Y, Z) опорных реперов наблюдательной станции к ближайшим пунктам маркшейдерской опорной геодезической сети.

Высотную привязку исходных и опорных реперов наблюдательных станций производят от реперов или пунктов нивелирной сети. Высотные отметки передают сначала на исходные реперы, а от них – на опорные реперы профильных линий.

Для нивелирования можно применять нивелиры любого типа с трубой, имеющей увеличение не менее 30^{x}; цена деления цилиндрического уровня должна быть не более 15" на 2 мм, контактного – не более 30" на 2 мм, применимы также нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования.

Рейки следует применять со сферическими уровнями трехметровые двусторонние шашечные с минимальным делением по черной стороне 1 см или штриховые трехметровые односторонние с двумя шкалами, или двусторонние с минимальными делениями шкал 0,5 см (применять раздвижные или складные рейки не разрешается).

При передаче высотных отметок на исходные и опорные реперы нивелирование производят из середины с отклонением не более 2 м; расстояния от инструмента до реек – не более 75 м. Отсчеты берут по черным (основным шкалам) и красным (дополнительным) сторонам реек. Расхождение в суммах превышений между прямым и обратным ходами (в мм) не должно превышать

$$\Delta h = \pm 15\sqrt{L}, \qquad (1.4)$$

где L – длина хода в одном направлении, км.

Полная серия инструментальных наблюдений на станции должна состоять из следующих работ: нивелирования всех реперов наблюдательной станции; измерения расстояний между реперами по профильным линиям; съемки трещин, образовавшихся на земной поверхности под влиянием подземных разработок, с указанием времени их появления и величины раскрытия.

Съемка трещин производится их привязкой к реперам профильных линий. Ширина раскрытия трещин измеряется рулеткой или линейкой с точностью 2 мм.

Для нивелирования реперов по профильным линиям применяют те же типы нивелиров и реек, что и для привязки станций. Нивелировать можно в одном направлении замкнутыми полигонами или замкнутыми ходами (когда с обеих сторон профильных линий имеются опорные реперы), либо висячими ходами в прямом и обратном направлениях.

Нивелирование реперов типовой наблюдательной станции производится из середины между связующими реперами, по возможности в часы спокойных изображений; расстояние от инструмента до связующих реперов не должно превышать 75 м. Неравенство расстояний от нивелира до обеих реек, установленных на связующих реперах, не должно превышать 2 м. Рейки устанавливают непосредственно на реперы.

Отсчеты на промежуточные реперы берут так же, как и на связующие – по двум сторонам рейки или двум шкалам, средней нити.

Расхождение в превышениях реперов, полученных по черным и красным сторонам реек (по основным и дополнительным шкалам), не должно превышать 3 мм.

Невязка в превышениях полигонов или ходов не должна быть больше величины, определяемой по формуле (1.4).

Перед началом работ должны быть выполнены все поверки нивелира. Нивелировку всех реперов станции, попадающих в зону влияния горных выработок на момент повторного наблюдения, необходимо выполнять в течение 1-2 дней.

Расстояния между реперами профильных линий измеряют стальными компарированными рулетками. Вынос центров реперов осуществляют с помощью жестких отвесов или другими способами, позволяющими обеспечить проектирование центра с точностью 1 мм. Длины измеряют с постоянным натяжением 98 Н с помощью динамометра. На каждом интервале по обоим концам рулетки берут по три отсчета с точностью до 1 мм, а также измеряют температуру воздуха с точностью до 1^{0}. Расхождения в длине интервала не должны превышать 2 мм. За измеренную длину интервала принимают среднее из трех измерений.

Расстояния между реперами измеряют в прямом и обратном направлениях. Расхождение горизонтальных расстояний между крайними реперами прямого и обратного ходов не должно превышать 1/10000 длины профильной линии.

Длины можно измерять светодальномерами, оптическими дальномерами и другими приборами, обеспечивающими требуемую точность.

Начальное положение реперов определяют как среднее арифметическое из двух серий наблюдений, проводимых до подработки наблюдательной станции. Разница во времени между сериями не должна превышать 5 дней.

Сроки последующих наблюдений на типовых станциях устанавливают в зависимости от решаемых задач. Если необходимо получить только конечные величины параметров сдвижения и характер распределения в мульде сдвижения, достаточно провести, кроме начального, еще два наблюдения.

Если необходимо получить данные о развитии процесса сдвижения, то кроме начальной и конечной серий наблюдений дополнительно проводят не менее четырех наблюдений.

Интервалы времени между указанными четырьмя сериями наблюдений (в сут.) можно ориентировочно принимать равными

$$t = \frac{H_н}{3C}, \qquad (1.5)$$

где $H_н$ – глубина разработки у нижней границы очистной выработки,м; С – скорость подвигания забоя, м/сут.

Одновременно с инструментальными наблюдениями на станциях необходимо пополнять на дату каждого наблюдения планы горных выработок. На план наносят все выработки, которые могут оказать влияние на реперы наблюдательной станции, показывают угол падения пласта или рудного тела и вынимаемую мощность по месяцам, оставляемые целики, расположение старых выработок, приводят данные о закладке (если последнюю применяют).

При многолетних наблюдениях на план поверхности наносят новые объекты, появившиеся на участке наблюдательной станции.

Кроме этого, должны быть собраны следующие сведения: о детальном геологическом строении вышележащей толщи, включая тектонику, литологическом составе пород и мощности наносов; о гидрогеологических условиях разработки в районе наблюдательной станции; о системе разработки и способе управления кровлей.

Материалы полевых наблюдений после окончания каждой серии должны быть аналитически и графически обработаны.

1.5 Аналитическая и графическая обработка результатов наблюдений

Последовательность аналитической обработки материалов полевых наблюдений: проверка полевых журналов; вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции; определение горизонтальных расстояний (с введением всех поправок) между реперами профильных линий; нахождение координат X и Y опорных реперов (в начальной серии наблюдений); составление по каждой профильной линии ведомостей: оседаний реперов, горизонтальных сдвижений реперов, горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий) интервалов, вертикальных деформаций (наклонов и кривизны мульды).

По материалам вычислений и геолого-маркшейдерской документации составляют и пополняют совмещенный план поверхности, наблюдательной станции и горных выработок; вертикальные геологические разрезы по каждой профильной линии; графики сдвижений и деформаций по каждой профильной линии: оседания реперов, горизонтальных сдвижений реперов, горизонтальных деформаций интервалов (растяжений и сжатий), вертикальных деформаций интервалов (наклонов и кривизны).

Вычисления превышений между реперами и отметок реперов ведут в журнале нивелирования. Уравнивание нивелирных ходов производят в специальном журнале методом приближений или методом полигонов. Высотные отметки реперов после обработки каждой серии наблюдений выписывают в ведомость оседания реперов.

Горизонтальные расстояния между реперами профильной линии вычисляют в специальном журнале с учетом следующих поправок:

Δl_1 – поправка за температуру; Δl_2 – поправка за компарирование; Δl_3 - поправка за провес; Δl_4 – поправка за наклон.

Вычисленные горизонтальные расстояния между реперами каждой серии наблюдений записывают в ведомость горизонтальных деформаций. Кроме того, по вычисленным горизонтальным расстояниям между реперами суммированием определяют расстояние от опорного репера до каждого репера профильной линии. Полученные расстояния по каждой серии наблюдений записывают в ведомость горизонтальных сдвижений.

Расхождение в суммарной длине профильной линии из прямого и обратного измерений не должно превышать величины

$$m_p = \pm\frac{1}{10000}L \quad , \qquad (1.6)$$

где L – длина линии в одном направлении.

При выполнении инструментальных наблюдений на станциях по рекомендуемой методике и соблюдении приведенных допусков в измерениях длин и превышений между реперами средняя квадратическая погрешность (в мм) определения положения репера не будет превышать величин:

оседаний на типовых и других станциях

$$m_\eta = \pm 7{,}5\sqrt{L'}\ ; \qquad (1.7)$$

горизонтального сдвижения реперов на всех наблюдательных станциях

$$m_\xi = \pm\frac{1}{10000}L' \qquad (1.8)$$

В формуле (1.7), величина L' – расстояние от рассматриваемого до ближайшего опорного репера в км, в формуле (1.8) – в мм.

По полученным отметкам реперов и горизонтальным длинам интервалов составляют ведомости и пополняют их после обработки каждой серии наблюдений.

Сдвижения и деформации в точках мульды сдвижения могут иметь положительные и отрицательные знаки.

При расчете сдвижений и деформаций в главных или параллельных им сечениях мульды необходимо определять их знаки. Положительный знак имеют оседание, горизонтальные сдвижения и наклоны в сторону восстания и простирания пласта или рудного тела, кривизна и радиус кривизны выпуклости кривой оседания, растяжение. Отрицательный – поднятие, горизонтальные сдвижения и наклоны в сторону падения и сторону, обратную простиранию, кривизна и радиус кривизны вогнутости кривой оседания, сжатие.

При построении графиков все величины сдвижений и деформаций со знаком плюс, кроме оседания, откладывают вверх от исходной горизонтальной линии. Оседания, а также все величины со знаком минус откладывают вниз.

Величины сдвижений и деформаций при обработке материалов наблюдений по профильной линии в направлении восстания или простирания определяют по следующим формулам:

а) оседания (в м)

$$\eta = H_{m-1} - H_{m'} \qquad (1.9)$$

где H_{m-1}, H_m – высотные отметки репера соответственно из предыдущего и данного наблюдений, м;

б) наклоны

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l}, \qquad (1.10)$$

где $\eta_{n'}$, η_{n-1} – величины оседания соответственно переднего и заднего концов интервала, мм; l – длина интервала из начального наблюдения, мм;

в) кривизна (1/м)

$$K = \frac{i_n - i_{n-1}}{l_{cp}}, \qquad (1.11)$$

где i_n, i_{n-1} – величины наклонов соответственно последующего и предыдущего интервалов; $l_{cp} = \frac{l_n + l_{n-1}}{2}$ - полусумма длин последующего и предыдущего интервалов, м;

г) радиус кривизны (в м)

$$R = \frac{1}{K}, \qquad (1.12)$$

где К – кривизна, 1/м;

д) горизонтальные сдвижения, м

$$\xi = D_2 - D_1, \qquad (1.13)$$

где D_1, D_2 – горизонтальные расстояния от опорного репера до данного соответственно из первого (предыдущего) и повторного (последующего) наблюдений, м;

е) горизонтальные деформации

$$\varepsilon = \frac{d_2 - d_1}{l}, \qquad (1.14)$$

где d_1, d_2 – приведенные длины интервалов соответственно из первого (предыдущего) и повторного (последующего) наблюдений, мм.

При обработке материалов наблюдений по профильной линии в направлении падения или направлении, обратном простиранию пласта или рудного тела, в формулах (1.10), (1.11), (1.13) знаки изменяют на обратные.

Полученные из формулы (1.10) величины наклонов на графиках относят к середине интервала, величины кривизны и радиуса кривизны соответственно из формулы (1.11) и (1.12) – к общей точке двух смежных интервалов; величины горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий) из формулы (1.14) – к середине интервала.

При обработке результатов измерений на наблюдательных станциях рекомендуется использовать персональные компьютеры.

В качестве примера в табл. 1.2 приведены высотные отметки реперов и горизонтальные расстояния между реперами (с учетом поправок за температуру, компарирование, провес и наклон), полученные на профильной линии VI шахты "Буланаш-4". Здесь же приведены значения вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций, вычисленные по формулам (1.9)-(1.14).

На основании табл.1.2 построены графики сдвижений и деформаций, приведенные на рис. 1.4.

Совмещенный план наблюдательной станции и горных выработок в зависимости от размера участка составляют в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000. На плане должны быть нанесены профильные линии с расположенными на них реперами; рельеф местности, все объекты поверхности, за которыми проводятся наблюдения; разведочные скважины с отметками их устьев, кровли и почвы пласта или рудного тела; горные выработки с указанием контуров оставленных целиков, углов падения и мощности пласта или рудного тела, подвигания забоя по месяцам и положения его на даты проведения инструментальных наблюдений; отметки почвы штреков. По материалам наблюдений на план

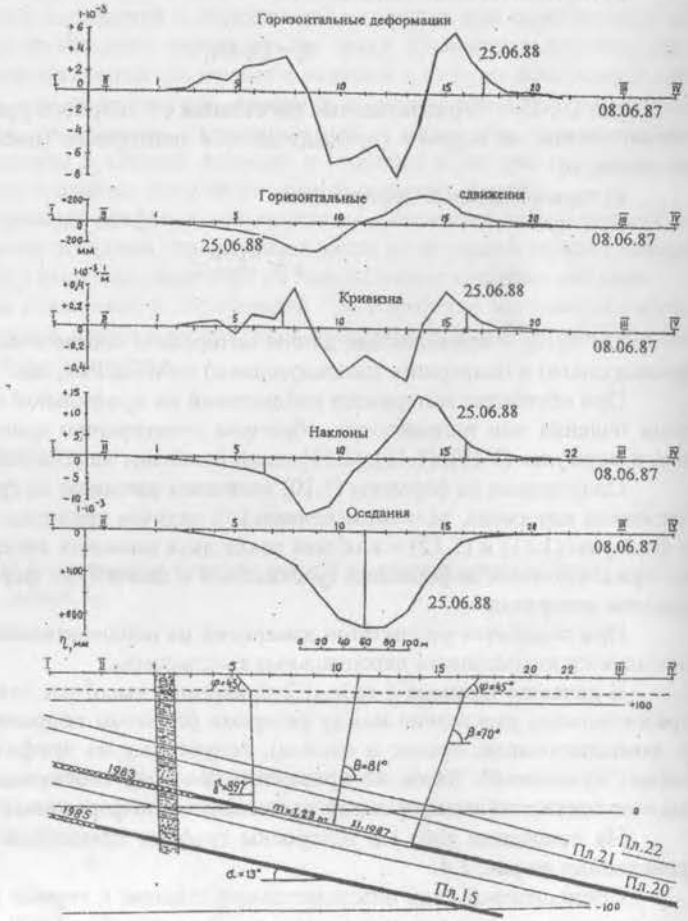


Рис. 1.4. Разрез и графики сдвижений и деформаций по профильной линии VI шахты "Буланаш-4"

наносят образовавшиеся на земной поверхности трещины и провалы под влиянием подземных разработок, с указанием дат их появления.

Вертикальные геологические разрезы по профильным линиям составляют по ближайшим разведочным скважинам в масштабе, принятом для плана. Вертикальный и горизонтальный масштабы разреза должны быть одинаковыми. На них необходимо показать: профиль земной поверхности, все реперы профильной линии, линию контакта наносов с коренными породами, все угольные пласты или рудные тела, геологическое строение толщи пород (может быть показано в виде колонки), границы очистной выработки, время прохождения забоя под профильной линией, мощность извлеченного пласта или рудного тела, угол падения, тектонические нарушения, карсты, естественные полости.

Графики вертикальных и горизонтальных сдвижений, растяжений и сжатий, наклонов и кривизны строят в масштабах, удобных для изображения на одном листе с вертикальным геологическим разрезом, чтобы реперы на вертикальном разрезе и графиках располагались в одной вертикальной плоскости (см. рис. 1.4).

По построенным графикам определяют положение характерных точек мульды сдвижения относительно границ выработанного пространства или движущегося забоя; границы зоны опасного влияния и просто влияния подземных разработок, плоского дна мульды сдвижения при полной подработке; точки максимального оседания при неполной подработке, горизонтального сдвижения, растяжений и сжатия, наклонов и кривизны; мест сосредоточенных деформаций.

Положение характерных точек определяется в момент каждого наблюдения.

На вертикальных разрезах за границу зоны опасного влияния подземных разработок принимают точку в краевой части мульды сдвижения, в которой земная поверхность в результате подработки получила кривизну $K = 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ *1/м, растяжение* $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ *и наклон* $i = 4 \cdot 10^{-3}$ *при интервалах 15-20 м.* Положение такой точки определяют следующим образом. На соответствующих графиках кривизны, горизонтальных деформаций и наклонов путем интерполирования находят точки с указанными величинами деформаций. Если таких точек окажется несколько, то за искомую принимают ту, которая максимально удалена от границы очистной выработки в плане. Эта точка служит для построения углов сдвижения.

Например, на рис. 1.4 в мульде сдвижения со стороны восстания точка с критическим значением наклона находится на интервале реперов 6-7, кривизны – между реперами 7-8, а растяжений – на интервале 5-6. Максимально удалена от границы очистной выработки в плане точка определенная по критерию растяжений. На разрезе от нее под принятым углом сдвижения в наносах φ проводим линию до пересечения линии контакта наносов с коренными породами. Полученную точку пересечения соединяем с границей очистной выработки, по наклону которой определяем угол сдвижения $\gamma = 89^0$. Со стороны падения наиболее удаленная от выработки в плане точка с критической деформацией полу-

Таблица 1.2

Ведомость сдвижений и деформаций по профильной линии IV шахты «Буланаш – 4»

Номера реперов	Начальные наблюдения 08.06.87		последние наблюдения 25.06.88		Оседания, η, мм	Горизонт. сдвижения, ξ, мм	Наклоны, i, 10^{-3}	Горизонт. деформации, ε, 10^{-3}	Кривизна, k, $10^{-3} \cdot \frac{1}{м}$
	Отметки реперов, м	Длины интервалов, м	Отметки реперов, м	Длины интервалов, м					
I	125,974		125,973		1	0			
		49,605		49,609			0	0	
II	125,532		125,529		3	-4			0
		48,426		48,430			0	0,1	
I	125,456		125,453		3	-8			0,01
		19,620		19,624			-0,5	0,2	
2	125,938		125,926		12	-12			0
		16,112		16,118			-0,5	0,4	
3	126,092		126,070		20	-18			0,03
		19,762		19,790			-1,0	1,4	
4	125,982		125,943		39	-45			0,07
		21,223		21,224			-2,5	1,0	
5	125,955		125,863		92	-66			-0,02
		18,470		18,518			-2,2	2,6	
6	125,993		125,860		133	-114			0,09
		17,880		17,930			-3,8	2,8	
7	126,253		126,054		199	-164			0,10
		20,856		20,929			-5,6	3,5	
8	125,979		125,664		315	-237			0,38
		20,267		20,269			-13,5	0,1	
9	125,854		125,264		590	-239			-0,09
		21,063		20,928			-11,5	-6,4	
10	125,980		125,147		833	-104			-0,39
		20,395		20,271			-3,5	-6,1	
11	126,061		125,157		904	20			-0,23
		18,529		18,442			1,0	-4,7	
12	126,119		125,233		886	107			-0,34
		18,439		18,296			7,2	-7,8	
13	126,154		125,401		753	250			-0,47
		17,082		17,024			15,6	-3,4	
14	126,064		125,578		486	308			0,09
		17,969		18,046			13,9	4,3	
15	125,970		125,735		235	231			0,39
		17,819		17,427			7,1	6,1	
16	126,073		125,965		108	123			0,22
		17,929		17,988			3,1	3,3	
17	126,079		126,027		52	64			0,11
		17,154		17,178			1,2	1,4	
18	126,204		126,172		32	40			0,02
		17,161		17,175			1,0	0,8	
19	126,243		126,228		15	26			0,04
		17,510		17,520			0,3	0,6	
20	126,107		126,098		9	16			0,01
		17,400		17,405			0,1	0,3	
21	126,083		126,075		8	11			-0,01
		18,640		18,644			0,2	0,2	
22	126,110		126,105		5	7			0
		49,734		49,739			0,1	0,1	
III	126,258		126,257		1	2			0
		49,031		49,033			0	0	
IV	126,018		126,018		0	0			

чается по растяжениям на репере 17. Аналогичными построениями на разрезе определяем значение угла сдвижения со стороны падения $\beta = 70$.

Подобным образом получают и другие угловые параметры сдвижения земной поверхности на угольных и рудных месторождениях в соответствии со схемами приведенными на рис. 1.5 и рис. 1.6.

При определении угловых параметров сдвижения земной поверхности используются характерные точки и критерии деформаций в мульде (табл. 1.3).

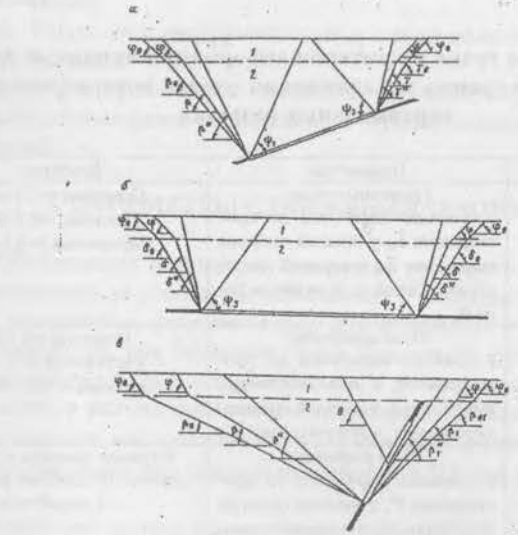


Рис. 1.5 Схема определения угловых параметров сдвижения на угольных месторождениях

а – вкрест простирания при пологом залегании; б – по простиранию; в – вкрест простирания при крутом залегании; 1 – наносы; 2 – коренные породы

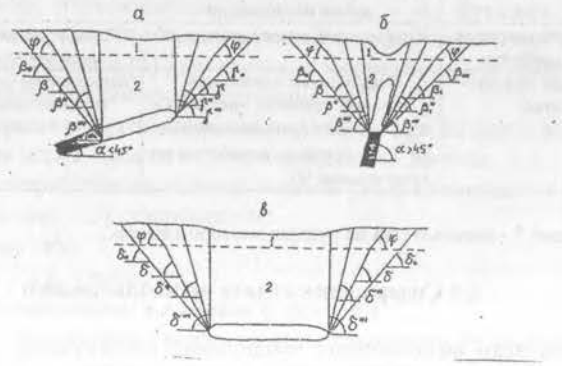


Рис. 1.6 Схема определения угловых параметров сдвижения на рудных месторождениях

а – при пологом и наклонном падении залежи; б – при крутом падении залежи; в – по простиранию залежи; 1 – наносы; 2 – коренные породы

Таблица 1.3

Характерные точки и критерии деформаций принятые для определения границ зон сдвижения земной поверхности на вертикальных разрезах

Наименование зон	Параметры	Критерии
Зона влияния выработки (мульда сдвижения)	Граничные углы: у границы выработки по простиранию δ_0, у нижней границы выработки β_0, у верхней границы выработки γ_0, в лежачем боку β_{01}	Оседания η=15 мм* Наклоны $i=0{,}5\cdot10^{-3}$ Растяжения $\varepsilon=0{,}5\cdot10^{-3}$
Зона опасных сдвижений	Углы сдвижения: у границы выработки по простиранию δ, у нижней границы выработки β, у верхней границы выработки γ, в лежачем боку β_1	Наклоны $i=4\cdot10^{-3}$ Растяжения $\varepsilon=2\cdot10^{-3}$ Кривизна $K=0{,}2\cdot10^{-3}$ 1/м
Зона разрывов	Углы разрывов: у границы выработки по простиранию δ'', у нижней границы выработки β'', у верхней границы выработки γ'', в лежачем боку β_1''	Видимая трещина в мульде сдвижения наиболее удаленная от выработки
Зона обрушения	Углы обрушения: * у границы выработки по простиранию δ''', у нижней границы выработки β''', у верхней границы выработки γ''', в лежачем боку β_1'''	Крупная трещина с раскрытием или смещением краев 0,25 м и более
Зона провалов	Угол воронкообразования ν* в любом направлении	Край воронки или провала
Точка максимального оседания при неполной подработке	Угол максимального оседания θ	Точка с максимальным оседанием в мульде сдвижения
Плоское дно мульды при полной подработке	Углы полных сдвижений: у нижней границы выработки Ψ_1, у верхней границы выработки Ψ_2, у границы выработки по простиранию Ψ_3	Деформации близки к нулю при максимальных оседаниях в мульде

Примечание: * - используется на рудных месторождениях

1.6 Содержание отчета по наблюдениям

По результатам выполненных наблюдений составляется отчет, состоящих из следующих разделов [1,2]:

1. Цель и задачи наблюдений.
2. Горно-геологическая характеристика условий в районе наблюдений.
3. Методика инструментальных наблюдений.

4. Видимые признаки сдвижений земной поверхности и толщи горных пород.
5. Результаты инструментальных и визуальных наблюдений.
6. Выводы.

К отчету прилагаются ведомости оседаний, горизонтальных сдвижений, вертикальных (наклонов и кривизны) и горизонтальных (растяжений и сжатий) деформаций.

2. ПАРАМЕТРЫ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Обобщенные параметры сдвижения горных пород и земной поверхности, полученные на основании выполненных наблюдений, содержатся в нормативных документах, разработанных для отдельных горнодобывающих отраслей. В частности, для месторождений Уральского региона значения параметров, используемых для построения зон с различными деформациями земной поверхности и нахождения границ предохранительных целиков, содержатся в [3] для угольных месторождений, в [4] для меднорудных месторождений, в [5] для месторождений руд черных металлов и в [6] для золоторудных месторождений.

Наиболее изучен процесс сдвижения земной поверхности на угольных месторождениях, где получены наиболее стабильные и полные данные о их параметрах.

К основным параметрам относятся: предельный угол падения пласта α_n, при котором возникают опасные сдвижения пород лежачего бока; углы сдвижения в коренных породах и в наносах; граничные углы; углы разрывов; углы максимального оседания и углы полных сдвижений; общая продолжительность процесса сдвижения и периода опасных деформаций; коэффициенты подработанности; относительные величины q_o и a_o; функции распределения вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций в мульде.

Рекомендованные [3] для угольных месторождений Уральского региона значения основных параметров следующие.

1. **Предельный угол падения пласта** α_n, при котором возникают опасные сдвижения пород лежачего бока, определяется по табл. 2.1.

2. При разработке одиночных пластов **углы сдвижения в толще коренных пород** (см. рис. 1.5) принимаются:

угол δ по табл. 2.1.

углы β, γ и β_1 - табл. 2.2.

3. **Угол сдвижения в наносах** φ табл. 2.1.

4. Для нахождения границ мульды сдвижения на земной поверхности при разработках одиночных пластов **граничные углы** δ_o, β_o, γ_o, β_{o1} и φ_o определяются по табл. 2.3.

Таблица 2.1

Значения углов $\alpha_п$, φ, δ, ψ_3, град.

Бассейны и месторождения	$\alpha_п$	φ	δ	ψ_3
Печорский (кроме Интинского м-я)	60	55	75	60
Челябинский	50	45	65	60
Кизеловский	60	50	75	50
Интинское	-	55	70	55
Буланашское	55	45	70	60

Примечание: угол δ в подработанной толще уменьшается на 5°.

Таблица 2.2

Значения углов β, γ и β_1 (град)

Бассейны и месторождения	α	β	α	γ	β_1
Печорский (кроме Интинского м-я)	0-25	75-0,8α	0-25	75	-
	26-70	70-0,6α	26-55	70	-
	71-85	30	60	60	-
	86-90	40	61-90	-	45
Челябинский	0-20	65-0,6α	0-20	65	-
	21-60	60-0,4α	21-40	60	-
	61-85	35	50	50	-
	86-90	40	51-90	-	40
Кизеловский	0-25	75-0,7α	0-25	75	-
	26-60	70-0,5α	26-55	70	-
	61-85	40	60	60	-
	86-90	45	61-90	-	45
Интинское	0-25	70-0,7α	0-25	70	-
	26-50	65-0,5α	26-45	65	-
			50	50	-
Буланашское	0-25	70-0,8α	0-20	70	-
	26-60	65-0,6α	21-45	65	-
	61-85	30	55	55	-
	86-90	40	56-90	-	40

Примечания: 1. Промежуточные значения углов определяются интерполяцией.
2. В подработанной толще углы β и γ уменьшаются на 5°.

5. **Углы разрывов** δ'', β'', γ'' и β'' принимаются на 10° больше соответствующих углов сдвижения.

6. **Углы максимального оседания** Θ и **углы полных сдвижений** ψ_1 и ψ_2 при отсутствии сдвижения пород лежачего бока ($\alpha \le \alpha_п$) определяются по табл. 2.4, угол ψ_3 – по табл. 2.1.

Таблица 2.3

Значения углов δ_o, β_o, γ_o, β_{o1} и φ_o (град)

Бассейны и месторождения	δ_o	β_o	γ_o	β_{o1}	φ_o
Печорский (кроме Интинского м-я)	δ - 5°	β - 5°	γ - 5°	β_1 – 5°	φ - 5°
Челябинский	δ - 10°	β - 5°	γ - 5°	β_1 – 10°	φ - 5°
Кизеловский	δ - 5°	β - 5°	γ - 5°	β_1 – 10°	φ - 5°
Интинское	δ - 10°	β - 5°	γ - 5°	-	φ - 5°
Буланашское	δ - 5°	β - 5°	γ - 5°	β_1 – 10°	φ - 5°

Таблица 2.4

Углы Θ, ψ_1 и ψ_2 (град)

Бассейны и месторождения	α	При отсутствии смежных выработок			При наличии смежных выработок			
					по падению		по восстанию	
		Θ	ψ_1	ψ_2	Θ	ψ_1	Θ	ψ_2
Печорский (кроме Интинского месторождения)	0	90	55	55	90	55	90	55
	20	76	52	60	71	60	81	68
	40	65	47	68	60	54	70	77
	55	58	43	77	50	53	60	80
Челябинский	0	90	60	60	90	60	90	60
	10	84	57	63	79	67	89	70
	30	72	52	71	67	61	77	80
	50	60	48	81	55	64	65	94
Кизеловский	0	90	50	50	90	50	90	50
	20	80	45	56	70	55	90	75
	40	70	40	65	62	49	78	82
	60	60	35	75	55	42	65	84
Интинское	0	90	55	55	90	55	90	55
	10	83	54	57	78	61	88	66
	30	70	50	63	65	55	75	73
	50	60	45	74	55	52	65	83
Буланашское	0	90	60	60	90	60	90	60
	20	75	59	65	69	69	81	69
	40	65	55	77	59	63	71	63
	55	57	49	82	52	53	62	53

Примечание: При промежуточных значениях α углы Θ, ψ_1 и ψ_2 определяются интерполяцией.

7. **Общая продолжительность процесса сдвижения** (T, мес) от влияния отдельной очистной выработки при подвигании забоя по простиранию определяется по формуле

$$T = \kappa_т \frac{H}{C}\left(\operatorname{ctg}\delta_o + \operatorname{ctg}\psi_3\right), \qquad (2.1)$$

где δ_o – граничный угол, определяемый по табл. 2.3.;
ψ_3 – угол полных сдвижений, определяемый по табл. 2.1;

H – глубина залегания пласта под рассматриваемой точкой.

Коэффициент $к_т$ определяется по табл. 2.5 в зависимости от средней скорости подвигания очистного забоя С и средней глубины горных работ Н.

Таблица 2.5

Значения коэффициента $к_т$

Средняя скорость подвигания очистного забоя С, м/мес	Глубина горных работ Н, м		
	до 100	до 300	≥ 500
20	1,5	1,2	1,1
60	1,8	1,5	1,3
до150	2,0	1,5	1,5

Примечание: промежуточные значения определяются интерполяцией

8. **Период опасных деформаций** (t, мес) определяется из выражений:

$$t = 0{,}65\ T;\ \text{при } H \text{ до } 300\ м;$$
$$t = 0{,}55\ T;\ \text{при } H = 500\ м. \qquad (2.2)$$

Примечание: промежуточные значения определяются интерполяцией

9. **Коэффициенты подработанности** N_1 и N_2 в зависимости от отношения размеров выработки $Д_1$ и $Д_2$ к средней глубине разработки Н определяются по табл. 2.6.

Таблица 2.6

Коэффициенты N_1 и N_2

Месторождения Печерского бассейна									
Д/Н	**≥1,4**	**1,2**	**1,0**	**0,8**	**0,6**	**0,5**	**0,4**	**0,3**	**≤0,2**
N_1 и N_2 без влияния смежной выработки;	1,0	0,92	0,84	0,75	0,65	0,59	0,53	0,40	0,27
N_1 и N_2 с учетом влияния смежной выработки	1,0	1,0	1,0	0,91	0,77	0,70	0,57	0,42	0,28
Челябинский бассейн и Буланашское месторождение									
Д/Н	**≥1,1**	**1,0**	**0,8**	**0,6**	**0,5**	**0,4**	**0,3**	**0,2**	**≤0,1**
N_1 и N_2 без влияния смежной выработки;	1,0	0,95	0,85	0,74	0,67	0,60	0,48	0,30	0,19
N_1 и N_2 с учетом влияния смежной выработки	1,0	1,0	0,90	0,79	0,72	0,62	0,50	0,32	0,20
Кизиловский бассейн									
Д/Н	**≥1,6**	**1,4**	**1,2**	**1,0**	**0,8**	**0,6**	**0,4**	**0,3**	**≤0,2**
N_1 и N_2 без влияния смежной выработки;	1,0	0,94	0,92	0,90	0,78	0,62	0,40	0,30	0,22
N_1 и N_2 с учетом влияния смежной выработки	1,0	1,0	1,0	1,0	0,91	0,77	0,57	0,38	0,26

Примечание: При промежуточных значениях Д/Н значения коэффициентов N_1 и N_2 определяются интерполяцией

10. **Относительные величины** максимального оседания q_o и максимального горизонтального сдвижения a_o определяется по табл. 2.7.

Таблица 2.7

Коэффициенты q_o и a_o

Бассейны и месторождения	Первичная подработка		Повторная подработка	
	q_o	a_o	q_o	a_o
Печорский (кроме Интинского месторождения	0,65	0,35	0,80	0,35
Челябинский и Буланашское	0,85	0,35	0,90	0,35
Кизеловский:				
при наличии известняков;	0,4	0,3	0,6	0,3
при отсутствии известняков	0,6	0,3	0,7	0,3
Интинское	0,7	0,3	0,85	0,3

11. **Распределение сдвижений и деформаций в мульде** задается типовыми функциями, значения которых для угольных месторождений уральского региона приведены в табл. 2.8 – 2.11. Функцией $S_{(z)}$ задается распределение оседаний, функциями $S'_{(z)}$ и $S''_{(z)}$ соответственно наклонов и кривизны. Эти же функции используются для расчета горизонтальных сдвижений и деформаций в точках главных сечений мульды по формулам (3.4) – (3.19) приведенными в главе 3.

Таблица 2.8

Значение функций $S_{(z)}$, $S'_{(z)}$ и $S''_{(z)}$ для месторождений Печорского бассейна и Интинского месторождения

z	N = 1			N = 0.9			N ≤ 0.8		
	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$
0	1,00	0,0	0,0	1,00	0,0	-3,25	1,00	0,0	-5,25
0,1	0,99	0,30	-4,00	0,98	0,40	-4,50	0,96	0,55	-5,00
0,2	0,94	0,80	-6,50	0,91	0,90	-5,75	0,89	1,00	-4,75
0,3	0,83	1,60	-6,75	0,79	1,55	-5,50	0,76	1,50	-3,75
0,4	0,62	2,15	-1,75	0,61	2,00	-1,75	0,59	1,85	-1,50
0,5	0,40	1,95	3,75	0,40	1,90	3,00	0,39	1,80	2,50
0,6	0,23	1,40	5,25	0,23	1,40	5,00	0,23	1,35	4,50
0,7	0,12	0,90	4,25	0,12	0,90	4,25	0,12	0,90	4,00
0,8	0,05	0,55	3,00	0,05	0,55	3,00	0,05	0,55	3,00
0,9	0,01	0,25	1,50	0,01	0,25	1,50	0,01	0,25	1,50
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 2.9

Значение функций $S_{(z)}$, $S'_{(z)}$ и $S''_{(z)}$ для Челябинского бассейна

z	N = 1			N = 0,9			N = 0,8			N ≤ 0,7		
	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$
0	1,00	0,0	0,0	1,00	0,0	-6,0	1,00	0,0	-9,0	1,00	0,0	-9,0
0,1	0,95	0,9	-8,0	0,93	1,1	-8,8	0,91	1,2	-8,5	0,92	1,0	-8,5
0,2	0,83	1,6	-6,0	0,78	1,7	-4,5	0,76	1,7	-3,8	0,80	1,8	-6,0
0,3	0,65	2,1	-1,5	0,58	2,0	0,3	0,57	1,9	0,3	0,57	2,2	0,5
0,4	0,42	1,9	4,0	0,38	1,7	4,0	0,37	1,7	4,0	0,37	1,7	5,0
0,5	0,28	1,2	5,0	0,24	1,2	4,5	0,24	1,1	4,3	0,22	1,2	4,5
0,6	0,18	0,9	3,5	0,14	0,8	3,5	0,14	0,8	3,3	0,13	0,8	3,5
0,7	0,10	0,6	2,8	0,08	0,5	2,5	0,08	0,5	2,5	0,07	0,5	2,5
0,8	0,05	0,4	2,0	0,04	0,3	1,8	0,04	0,3	1,8	0,04	0,3	1,5
0,9	0,02	0,2	1,2	0,02	0,2	0,8	0,02	0,2	0,8	0,02	0,2	0,9
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 2.10

Значение функций $S_{(z)}$, $S'_{(z)}$ и $S''_{(z)}$ для Кизеловского бассейна

z	N = 1			N = 0,9			N = 0,8			N ≤ 0,7		
	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$
0	1,00	0,0	0,0	1,00	0,0	-5,5	1,00	0,0	-6,8	1,00	0,0	-7,0
0,1	0,97	0,6	-5,3	0,96	0,7	-5,8	0,95	0,7	-6,0	0,93	0,8	-6,0
0,2	0,89	1,1	-5,0	0,87	1,2	-4,8	0,86	1,2	-4,5	0,84	1,2	-4,0
0,3	0,76	1,6	-3,8	0,73	1,6	-3,5	0,71	1,6	-3,0	0,69	1,6	-2,5
0,4	0,58	1,8	-0,8	0,56	1,8	-0,8	0,54	1,8	-0,5	0,52	1,7	1,0
0,5	0,40	1,7	2,0	0,37	1,7	2,5	0,35	1,7	2,8	0,35	2,0	3,5
0,6	0,24	1,4	3,8	0,22	1,3	4,3	0,20	1,3	4,5	0,22	1,6	6,0
0,7	0,12	1,0	4,3	0,11	0,9	4,0	0,10	0,8	4,0	0,12	0,8	5,5
0,8	0,05	0,6	3,5	0,05	0,5	3,3	0,04	0,5	3,0	0,07	0,5	2,5
0,9	0,01	0,3	1,8	0,01	0,3	1,8	0,01	0,2	1,5	0,03	0,3	1,5
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 2.11

Значение функций $S_{(z)}$, $S'_{(z)}$ и $S''_{(z)}$ для Буланашского месторождения

z	N = 1			N = 0.9			N ≤ 0.6		
	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$	$S_{(z)}$	$S'_{(z)}$	$S''_{(z)}$
0	1,00	0,0	0,0	1,00	0,0	-6,5	1.00	0,0	-9,5
0,1	0,98	0,5	-7,5	0,96	0,7	-8,0	0,94	1,1	-8,2
0,2	0,90	1,3	-5,0	0,84	1,6	-7,0	0,79	1,8	-5,2
0,3	0,73	2,1	-2,3	0,65	2,2	-3,2	0,58	2,2	-0,5
0,4	0,50	2,3	2,5	0,43	2,1	3,2	0,36	1,9	4,8
0,5	0,30	1,6	6,0	0,26	1,4	5,5	0,22	1,3	5,3
0,6	0,17	1,0	4,8	0,14	0,9	4,6	0,12	0,8	4,1
0,7	0,09	0,6	3,8	0,07	0,5	3,1	0,06	0,4	2,7
0,8	0,04	0,3	2,3	0,04	0,2	1,9	0,03	0,2	1,6
0,9	0,01	0,1	1,4	0,01	0,1	1,2	0,01	0,1	1,0
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

3.1. Исходные данные для расчета

Для расчетов используются следующие исходные данные:

1. Вынимаемые мощности пластов на всех рассматриваемых участках m.

2. Углы падения пластов в пределах рассматриваемых очистных выработок α.

3. Размеры очистных выработок вкрест и по простиранию пластов (вкрест подвигания и в направлении подвигании очистного забоя) $Д_1$ и $Д_2$.

4. Взаимное положение очистных выработок в пространстве.

5. Мощность наносов и коренных пород в главных сечениях мульды сдвижения над каждой очистной выработкой.

6. Положение тектонических нарушений, осевых поверхностей складок, слабых контактов и их выходов на поверхность.

7. Способ управления горным давлением; при применении закладки коэффициент заполнения выработанного закладочным материалом, проектируемая величина отставания закладочного массива от забоя, коэффициент усадки закладки.

Вынимаемая мощность пласта определяется как суммарная мощность извлекаемых (извлеченных) из очистных выработок слоев угля и вмещающих пород.

При закладке выработанного пространства материалом, доставляемым извне участка горных работ, вместо вынимаемой мощности пласта при расчетах сдвижений и деформаций поверхности принимается эффективная мощность пласта $m_э$, которая при известных значениях неполноты закладки и конвергенции пород до возведения закладочного массива определяется по формуле:

$$m_э = (m - h_к - h_н)\, B_1 + h_н + h_к, \qquad (3.1)$$

где $h_н$ – неполнота закладки – среднее расстояние от верха закладочного массива до кровли пласта; $h_к$ – сближение кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива, зависящая от расстояния между закладочным массивом и забоем выработки; B_1 – коэффициент усадки (уплотнения) закладки под природной нагрузкой.

Значения $h_к$, $h_н$ и B_1 определяются на основании опытных данных.

При отсутствии данных наблюдений величину эффективной мощности следует определять по формуле:

$$m_э = \frac{mB_1 + h_н(1 - B_1)}{1 - k + kB_1} \le m, \qquad (3.2)$$

где B_1 – определяется для различных видов закладки по табл. 3.1;

$$k = \frac{l}{l_0} + 0{,}1 \le 1,$$

где l – расстояние от груди забоя до границы закладочного массива; l_0 – параметр, определяемый по табл. 3.2 в зависимости от типа кровли.

Таблица 3.1

Значения коэффициента B_1

Виды закладки	B_1
Гидравлическая:	
из песка	0,05 – 0,15
из дробленой породы	0,15 – 0,30
Пневматическая	0,25 – 0,40
Самотечная:	
из дробленой породы	0,25 – 0,45
из рядовой породы	0,35 – 0,50

Таблица 3.2

Значения параметра l_0 (м)

Тип кровли		
Легкообрушаемая	Среднеобрушаемая	Труднообрушаемая
$l_0 = 25$	$l_0 = 40$	$l_0 = 65$

При расчете ожидаемых сдвижений и деформаций исходными параметрами являются:

- граничные углы β_0, γ_0, δ_0, φ_0;
- угол максимального оседания (при неполной подработке) θ;
- углы полных сдвижений (при полной подработке) ψ_1, ψ_2, ψ_3;
- относительная величина максимального оседания q_0;

- относительная величина максимального горизонтального сдвижения a_0;
- функции распределения сдвижений и деформаций $S_{(z)}$, $S'_{(z)}$, $S''_{(z)}$.

3.2. Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций от отдельной очистной выработки

3.2.1. Сдвижения и деформации в главных сечениях мульды (рис. 3.1).

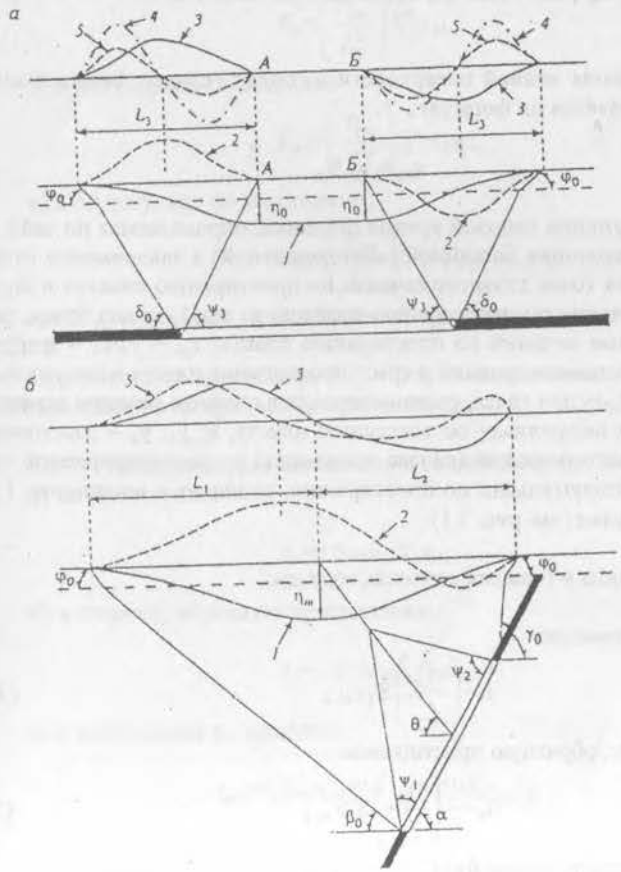


Рис. 3.1. Схема распределения сдвижений и деформаций в точках главных сечений мульды сдвижения при закончившемся процессе:
а – на разрезе по простиранию; б – на разрезе вкрест простирания;
1 – оседания; 2 – горизонтальные сдвижения; 3 – наклоны; 4 – кривизна;
5 – горизонтальные деформации; АБ – плоское дно

Максимальное оседание земной поверхности определяется по формуле:

$$\eta_m = q_0 \cdot m \cdot \cos\alpha \, N_1 N_2 , \qquad (3.3)$$

где q_0 – относительное максимальное оседание, определяемое по табл. 2.7 для соответствующих бассейнов и месторождений;

m – вынимаемая мощность пласта, при работе с закладкой используется эффективная мощность, определяемая по (3.2);

α - угол падения пласта;

N_1 и N_2 – коэффициенты, определяемые по табл. 2.6.

3.2.2. Оседание земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения определяется по формуле:

$$\eta_{xy} = \eta_m S_{(z)}, \qquad (3.4)$$

где $S_{(z)}$ – функция типовой кривой оседания, определяемая по табл. 2.8 – 2.11 для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициентов N_1 – для точек главного сечения по простиранию пластов и N_2 – для точек главного сечения по простиранию пластов; $z_x = x/L_3$ – для точек, расположенных в главном сечении по простиранию пласта; $z_{y1} = y_1/L_1$ – для точек, расположенных в главном сечении в крест простирания пласта в полумульде по падению; $z_{y2} = y_2/L_2$ – для точек, расположенных в главном сечении вкрест простирания пласта в полумульде по восстанию пласта; x; y_1; y_2 – расстояния от точки максимального оседания (начала координат) до рассматриваемой точки, соответственно в полумульдах по простиранию, падению и восстанию; L_1; L_2; L_3 – длины полумульд (см. рис. 3.1).

3.2.3. Наклоны в главных сечениях мульды:

а) по простиранию

$$i_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3}\right) S'_{(z_x)} ; \qquad (3.5)$$

б) в сторону, обратную простиранию

$$i_x = -\left(\frac{\eta_m}{L_3}\right) S'_{(z_x)} ; \qquad (3.6)$$

в) в полумульде по падению

$$i_{y1} = \left(\frac{\eta_m}{L_1}\right) S'_{(z_{y1})} ; \qquad (3.7)$$

г) в полумульде по восстанию

$$i_{y2} = -\left(\frac{\eta_m}{L_2}\right) S'_{(z_{y2})} , \qquad (3.8)$$

где $S'_{(z)}$ – функция типовой кривой наклонов, определяемая по таблицам 2.8 – 2.11.

3.2.4.Кривизна в главных сечениях мульды при $\alpha \le 45^0$ определяется по формулам:

а) по простиранию

$$K_x = \left(\frac{\eta_m}{L_3^2}\right) S''_{(z_x)} ; \qquad (3.9)$$

б) в полумульде по падению

$$K_{y1} = \left(\frac{\eta_m}{L_1^2}\right) S''_{(z_{y1})} ; \qquad (3.10)$$

в) в полумульде по восстанию

$$K_{y2} = \left(\frac{\eta_m}{L_2^2}\right) S''_{(z_{y2})} , \qquad (3.11)$$

где $S''_{(z)}$ – функция типовой кривой кривизны, определяемая по таблицам 2.8 – 2.11.

При неполной подработке ($N_{1,2}<1$) кривизна в точке максимального оседания определяется по средней длине полумульды $L_{cp}=0,5(L_1+L_2)$.

3.2.5. Горизонтальные сдвижения в точках главных сечений мульды:

а) по простиранию

$$\xi_x = 0,5 a_0 \eta_m S'_{(z_x)}; \qquad (3.12)$$

б) в сторону, обратную простиранию,

$$\xi_x = -0,5 a_0 \eta_m S'_{(z_x)}; \qquad (3.13)$$

в) в полумульде по падению

$$\xi_{y1} = 0,5 a_0 \eta_m [S'_{(z_{y1})} + 2BS_{(z_{y1})}]; \qquad (3.14)$$

г) в полумульде по восстанию

$$\xi_{y2} = -0,5 a_0 \eta_m [S'_{(z_{y2})} - 2BS_{(z_{y2})}]. \qquad (3.15)$$

Значение B определяется по формуле

$$B = \frac{1}{a_0}\left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{h}{H_{cp}}\right) \geq 0, \qquad (3.16)$$

где a_0 - относительное максимальное горизонтальное сдвижение, определяемое по табл. 2.7; α - угол падения пласта; H_{cp} – средняя глубина разработки, м; h – мощность наносов, м.

Значения функции $S_{(Z_x)}$ определяются по таблицам 2.8 – 2.11 в зависимости от коэффициента N_2, а значения функций $S_{(Z_{y1})}$; $S_{(Z_{y2})}$; $S'_{(Z_{y1})}$; $S'_{(Z_{y2})}$ в зависимости от коэффициента N_1.

3.2.6. Горизонтальные деформации в точках главных сечений мульды:

а) по простиранию

$$\varepsilon_x = 0{,}5 a_0 \frac{\eta_m}{L_3} S''_{(Z_x)}; \qquad (3.17)$$

б) в полумульде по падению

$$\varepsilon_{y_1} = 0{,}5 a_0 \frac{\eta_m}{L_1}\left[S''_{(Z_{y_1})} + 2BS'_{(Z_{y_1})}\right]; \qquad (3.18)$$

в) в полумульде по восстанию

$$\varepsilon_{y_2} = 0{,}5 a_0 \frac{\eta_m}{L_2}\left[S''_{(Z_{y_2})} - 2BS'_{(Z_{y_2})}\right]. \qquad (3.19)$$

Значения функций $S''_{(Z_x)}$ $S'_{(Z_x)}$ определяется по таблицам 2.8 – 2.11 для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициента N_2; значения функций $S''_{(Z_y)}$ $S'_{(Z_y)}$ определяется по таблицам 2.8 – 2.11 для соответствующих бассейнов (месторождений) в зависимости от коэффициента N_1.

При неполной подработке ($N_1 < 1$) горизонтальные деформации в точке максимального оседания определяются по средней длине полумульды

$L_{cp} = 0{,}5\ (L_1 + L_2)$.

Промежуточные значения функций $S_{(Z)}$, $S''_{(Z)}$ и $S'_{(Z)}$, в таблицах 2.8 – 2.11 определяются интерполяцией.

3.3. Расчет скорости оседания

Средние скорости оседания определяются по формуле:

$$\upsilon_0 = k_\eta \frac{\eta_m C}{H}, \text{ м/мес} \qquad (3.20)$$

где C – скорость подвигания очистного забоя, м/мес; k_η - коэффициент, определяемый по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Значения коэффициента k_η

Бассейн, месторождение	k_η
Печорский (кроме Интинского м-я), Буланашское	2,1
Челябинский	2,2
Интинское	1,7
Кизеловский	1,5

Для определения максимальных скоростей оседания средние скорости оседания следует умножить на коэффициент $k_{v1} = 2{,}0$.

3.4. Расчет сдвижений и деформаций от нескольких выработок

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций от нескольких выработок выполняется путем алгебраического сложения сдвижений и деформаций от каждой выработки.

Последовательность суммирования сдвижений и деформаций от выработок в одном пласте и выработок в свите пластов должна соответствовать последовательности ведения очистных работ. За окончательные значения сдвижений и деформаций земной поверхности принимаются наибольшие из полученных при суммировании соответствующих сдвижений и деформаций от отдельных выработок.

В сложных случаях (при наличии сдвижений пород лежачего бока, при залегании пород в синклинальных складках, в зонах влияния дизъюнктивных нарушений) расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности производят по методикам, изложенным в работе [3].

3.5. Пример расчета сдвижений и деформаций

Требуется рассчитать ожидаемые величины сдвижений и деформаций земной поверхности, которые могут возникнуть при отработке пласта 15 лавой № 31 на шахте "Буланаш-4" Буланашского угольного месторождения.

Горно-геологические условия:

угол падения пласта $\alpha = 30°$, вынимаемая мощность пласта m = 2,5 м, наклонная длина лавы $Д_1 = 100$ м, размер лавы по простиранию $Д_2 = 600$ м, средняя глубина лавы $H_{cp} = 125$ м, мощность наносов h = 20 м, средняя скорость подвигания забоя лавы C = 30 м/мес, управление кровлей – полное обрушение.

Со стороны восстания от лавы № 31 пласт 15 отработан ранее. Время отработки более периода общей продолжительности процесса сдвижения. Межлавный целик не оставляется, подработка первичная.

Для расчета производят построение разрезов вкрест простирания и по простиранию пласта (рис. 3.2, а и б), на которых наносят границы планируемой горной выработки и линию земной поверхности. В зависимости от угла падения пласта по таблицам 2.1 – 2.3 главы 2 для Буланашского месторождения находим значения граничных углов: $\varphi_o = 40^o$, $\beta_o = 42^o$, $\gamma_o = 55^o$, $\delta_o = 65^o$. По табл. 2.4. определяем значение угла максимального оседания $\Theta = 76^o$ и по табл. 2.1 – угла полных сдвижений $\psi_3 = 60^o$.

В результате построения этих углов на разрезах вкрест простирания и по простиранию получают границы зоны влияния лавы № 31 на земной поверхности. Графически на рис. 3.2 определяют размеры полумульд $L_1 = 180$ м, $L_2 = 150$ м и $L_3 = 150$ м.

В зависимости от отношения размера очистной выработки по падению $Д_1$ к средней глубине лавы $H_{ср}$ по табл. 2.6 определяют значение коэффициента подработанности вкрест простирания $N_1 = 0,9$, а по отношению размера выработки по простиранию $Д_2$ к $H_{ср}$ – значение коэффициента подработанности по простиранию $N_2 = 1,0$. Из табл. 2.7 для Буланашского месторождения при первичной подработке находим значения $q_o = 0,85$ и $a_o = 0,35$.

Далее производят расчет сдвижений и деформаций в главных сечениях мульды по формулам (3.3) – (3.19).

Подставляя численные значения параметров, входящих в формулу (3.3), получают величину максимального оседания в мульде (точка О на рис. 3.2)

$\eta_m = 0,85 \cdot 2,5 \cdot 0,87 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,655$ м = 1655 мм.

Вычисления оседаний η_y, наклонов $i_{(y)}$, кривизны $k_{(y)}$, горизонтальных сдвижений $\xi_{(y)}$ и горизонтальных деформаций соответственно по формулам (3.4), (3.7), (3.10), (3.14) и (3.18) в точках полумульды по падению и по формулам (3.4), (3.8), (3.11), (3.15) и (3.19) в точках полумульды по восстанию сведены для удобства в таблицы 3.4 и 3.5. При этом значения функций $S_{(z)}$, $S''_{(z)}$ и $S'_{(z)}$ в формулах определялись в зависимости от коэффициента подработанности $N_1 = 0,9$ для Буланашского месторождения по табл. 2.11.

На основании вычисленных в табл. 3.4 и 3.5 значений сдвижений и деформаций на разрезе вкрест простирания в главном сечении мульды (рис. 3.2) построены графики, где положительные величины отложены вверх, кроме оседаний, от условной горизонтальной линии, а отрицательные значения и оседания - вниз.

Аналогичным образом производят расчет сдвижений и деформаций в главном сечении мульды в направлении по простиранию.

а

б

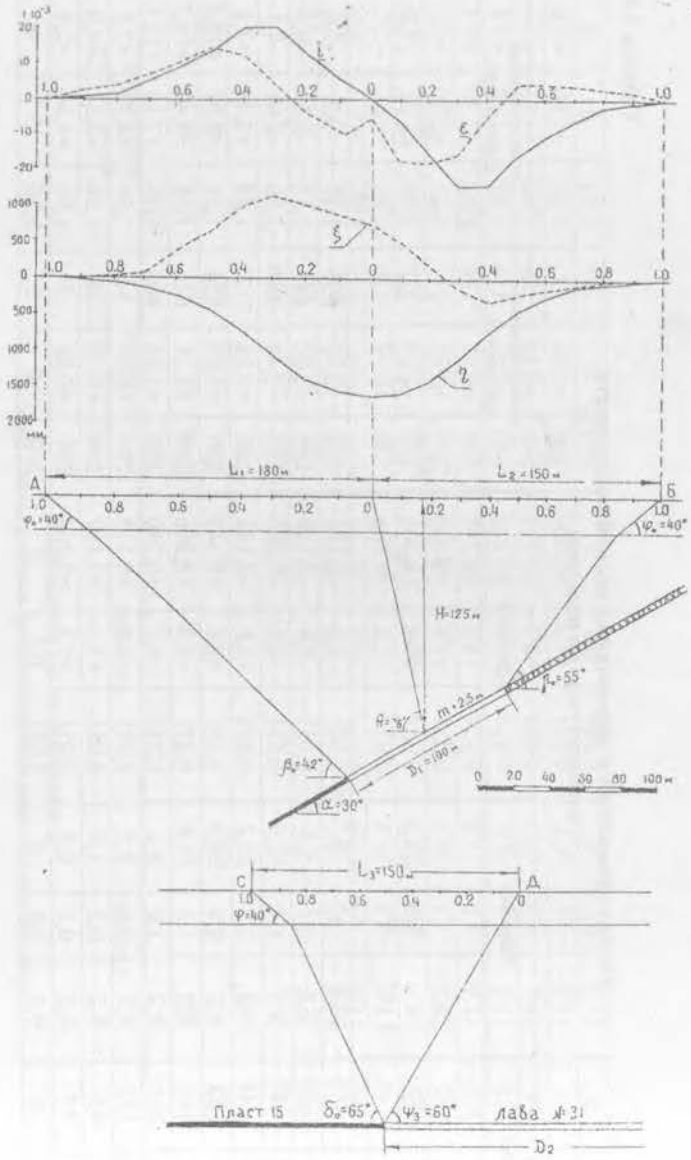


Рис. 3.2. Разрезы вкрест простирания (а) и по простиранию (б) пласта и графики сдвижений и деформаций земной поверхности:
η - оседаний, ξ - горизонтальных сдвижений,
i – наклонов, ε - горизонтальных деформаций

Таблица 3.4

Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в полумульде по падению

Z	Оседания			Наклоны			Кривизна			Горизонтальные сдвижения			Горизонтальные деформации		
	η_m, мм	$S_{(z)}$	η_{y1}, мм	$\frac{\eta_m}{L_1}$, $1\cdot10^{-3}$	$S'_{(z)}$	i_{y1} $1\cdot10^{-3}$	$\frac{\eta_m}{L_1^2}$, $1\cdot10^{-3}\cdot\frac{1}{м}$	$S''_{(z)}$	K_{y1}, $1\cdot10^{-3}\cdot\frac{1}{м}$	$0{,}5\cdot a_0\cdot\eta_m$	$S'_{(z)}+2B\cdot S_{(z)}$	ξ_{y1}, мм	$0{,}5\cdot a_0\cdot\frac{\eta_m}{L_1}$, $1\cdot10^{-3}$	$S''_{(z)}+2B\cdot S'_{(z)}$	ε_{y1}, $1\cdot10^{-3}$
0	1655	1,00	1655	10,0	0	0	0,061	-3,2	-0,195	290	+2,40	695	1,75	-3,2	-5,6
0,1	1655	0,97	1605	9,2	0,6	5,5	0,051	-7,8	-0,398	290	+2,92	845	1,56	-6,36	-9,9
0,2	1655	0,87	1440	9,2	1,4	12,9	0,051	-6,0	-0,306	290	+3,48	1009	1,56	-2,64	-4,1
0,3	1655	0,69	1141	9,2	2,2	20,2	0,051	-2,8	-0,143	290	+3,88	1122	1,56	+2,47	+3,8
0,4	1655	0,46	760	9,2	2,2	20,2	0,051	+2,8	+0,143	290	+3,30	956	1,56	+8,07	+12,6
0,5	1655	0,28	462	9,2	1,5	13,8	0,051	+5,8	+0,296	290	+2,16	626	1,56	+9,40	+14,7
0,6	1655	0,16	264	9,2	1,0	9,2	0,051	+4,7	+0,240	290	+1,38	400	1,56	+7,10	+11,1
0,7	1655	0,08	132	9,2	0,6	5,5	0,051	+3,4	+0,173	290	+0,19	56	1,56	+4,84	+7,5
0,8	1655	0,04	66	9,2	0,2	1,8	0,051	+2,1	+0,107	290	+0,10	28	1,56	+2,58	+4,0
0,9	1655	0,01	17	9,2	0,1	0,9	0,051	+1,3	+0,066	290	+0,02	7	1,56	+1,54	+2,4
1,0	1655	0,0	0	9,2	0,0	0	0,051	0,0	0	290	0	0	1,56	0	0

Таблица 3.5

Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности в полумульде по восстанию

Z	Оседания			Наклоны			Кривизна			Горизонтальные сдвижения			Горизонтальные деформации		
	η_m, мм	$S_{(z)}$	η_{y2}, мм	$\frac{\eta_m}{L_2}$, $1\cdot10^{-3}$	$S'_{(z)}$	i_{y2} $1\cdot10^{-3}$	$\frac{\eta_m}{L_2^2}$, $1\cdot10^{-3}\cdot\frac{1}{м}$	$S''_{(z)}$	K_{y2}, $1\cdot10^{-3}\cdot\frac{1}{м}$	$0{,}5\cdot a_0\cdot\eta_m$ мм	$S'_{(z)}-2B\cdot S_{(z)}$	ξ_{y2}, мм	$0{,}5\cdot a_0\cdot\frac{\eta_m}{L_2}$, $1\cdot10^{-3}$	$S''_{(z)}-2B\cdot S'_{(z)}$	ε_{y2} $1\cdot10^{-3}$
0	1655	1,00	1655	10,0	0	0	0,061	-3,2	-0,195	-290	-2,4	695	1,75	-3,2	-5,6
0,1	1655	0,97	1605	11,0	-0,6	-6,6	0,074	-7,8	-0,577	-290	-1,73	501	1,93	-9,24	-17,8
0,2	1655	0,87	1440	11,0	-1,4	-15,4	0,074	-6,0	-0,444	-290	-0,69	200	1,93	-9,36	-18,0
0,3	1655	0,69	1141	11,0	-2,2	-24,2	0,074	-2,8	-0,207	-290	+0,54	-156	1,93	-8,07	-15,5
0,4	1655	0,46	760	11,0	-2,2	-24,2	0,074	+2,8	+0,207	-290	+1,09	-316	1,93	-2,33	-4,5
0,5	1655	0,28	462	11,0	-1,5	-16,5	0,074	+5,8	+0,430	-290	+0,83	-241	1,93	+2,20	+4,2
0,6	1655	0,16	264	11,0	-1,0	-11,0	0,074	+4,7	+0,348	-290	+0,62	-180	1,93	+2,30	+4,4
0,7	1655	0,08	132	11,0	-0,6	-6,6	0,074	+3,4	+0,252	-290	+0,41	-119	1,93	+1,96	+3,8
0,8	1655	0,04	66	11,0	-0,2	-2,2	0,074	+2,1	+0,156	-290	+0,10	-29	1,93	+1,52	+2,9
0,9	1655	0,01	17	11,0	-0,1	-1,1	0,074	+1,3	+0,096	-290	+0,01	-3	1,93	+1,06	+2,0
1,0	1655	0,0	0	11,0	0,0	0	0,074	0,0	0	-290	0	0	1,93	0	0

4. ДОПУСТИМЫЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Допустимыми деформациями (показателями деформаций) земной поверхности (основания сооружений) считают деформации, которые могут вызвать такие повреждения в сооружениях, при которых для дальнейших их эксплуатации по прямому назначению достаточно проведения текущих ремонтных и наладочных работ.

Предельными деформациями (показателями деформаций) земной поверхности(основания сооружений) считаются такие, превышение которых вызывает аварийное состояние сооружений с угрозой опасности для жизни людей.

Для эксплуатируемых гражданских и промышленных зданий, построенных без конструктивных мер защиты от вредного влияния подработок, для инженерных сооружений, наружных трубопроводов, линий электропередач, железных дорог и транспортных сооружений установлены допустимые и предельные деформации (показатели деформаций), значения которых приведены ниже.

4.1. Показатели деформаций для гражданских зданий

4.1.1. **Расчетный показатель деформаций** для гражданских зданий Δl определяется по следующим формулам.

1. При разработке пласта отдельной выработкой:

$$\Delta l = l\sqrt{m_\varepsilon^2\varepsilon_1^2 + m_K^2\frac{H^2}{R_1^2}}, \qquad (4.1)$$

2. При многократной подработке – разработке одного или свиты пластов несколькими выработками:

- при процессе сдвижения, когда разрывы во времени между подработками меньше или равны общей продолжительности процесса сдвижения,

$$\Delta l = l\sqrt{m_\varepsilon^2\left(\sum_1^n \varepsilon_i\right)^2 + m_K^2 H^2\left(\sum_1^n K_i\right)^2}; \qquad (4.2)$$

- при процессе сдвижения с разрывами во времени, превышающими общую продолжительность процесса сдвижения,

$$\Delta l = \sqrt{\Delta l_1^2 + \Delta l_2^2 + ... + \Delta l_n^2}. \qquad (4.3)$$

В формулах (4.1), (4.2) и (4.3): l и H – соответственно длина здания (отсека), мм, и его высота от подошвы фундамента до верха карниза, м; ε_i, R_i – соответственно расчетные величины горизонтальной деформации (безразм.), радиуса кривизны, м ($R=\frac{1}{K}$, K – кривизна земной поверхности, 1/м), от одной выработки; определяются по главе 3, ε_i, K_i - расчетные величины горизонтальной деформации и кривизны земной поверхности от отдельной i-той выработки; n – количество выработок; Δl_1, Δl_2, Δl_n – показатели деформаций от влияния первой, второй и n-ой выработок, определяются по формуле (4.1); m_ε, m_K – коэффициенты условий работы при учете воздействия на здание или сооружение относительных горизонтальных деформаций ε и кривизны K; значения коэффициентов условий работы принимаются по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Коэффициенты условий работы для зданий, сооружений и коммуникаций

Деформация земной поверхности	Обозначения	При длине здания, сооружения или коммуникации *l*, м		
		до 15	15-30	свыше 30
Относительная горизонтальная деформация растяжения или сжатия	m_ε	1,0	0,8	0,7
Кривизна выпуклости или вогнутости	m_K	1,0	0,7	0,5
Наклон	m_i	1,0	0,8	0,7

4.1.2. **Допустимые и предельные показатели деформаций** земной поверхности для гражданских (жилых и общественных) зданий определяются по формулам:

$$[\Delta l_д] = [\Delta l_д]_н\, n_1n_2n_3n_4n_5; \qquad (4.4)$$

$$[\Delta l_п] = [\Delta l_п]_н\, n_1n_2n_3n_4n_5, \qquad (4.5)$$

где $[\Delta l_д]_н$, $[\Delta l_п]_н$ – нормативные допустимый и предельный показатели деформаций, определяются по табл. 4.2 в зависимости от назначения гражданских зданий и их этажности; n_1 – коэффициент, зависящий от грунтовых условий, принимается по табл. 4.3; n_2 – коэффициент, учитывающий материал и толщину наружных стен зданий, принимается по табл. 4.4; n_3 – коэффициент, учитывающий износ наружных стен зданий, принимается по табл. 4.5; n_4 – коэффициент, учитывающий наличие "жестких" перекрытий.

Для зданий со сборными или монолитными железобетонными перекрытиями n_4=1,2, для зданий с деревянными перекрытиями n_4=1,0.

n_5 - коэффициент, учитывающий форму здания в плане.

Для простой формы n_5=1,0; для зданий П-образной, Г-образной, Т-образной формы в плане и других конфигураций n_5=0,8; для зданий с деревянными стенами во всех случаях n_5=1,0.

В формулах (4.4), (4.5) должно соблюдаться условие:

$$n_1n_2n_3n_4n_5 \geq 0{,}5. \qquad (4.6)$$

Если произведение указанных коэффициентов менее 0,5, то его принимают равным 0,5.

Таблица 4.2

Нормативные показатели деформаций $[\Delta l_д]_н$ и $[\Delta l_п]_н$ для гражданских зданий

Разряд	Объекты	Этажность	Допустимые $[\Delta l_д]_н$, мм	Предельные $[\Delta l_п]_н$, мм
1	Общественные здания особой значимости, монументальные здания с большими залами, пролетами более 18 м	1 - 3 4 – 5	70 100	140 140
2	Детские дошкольные учреждения, поликлиники, школы, роддома, больницы, театры, дворцы культуры	1 – 3 4 – 5	80 120	160 160
3	Жилые здания, гостиницы	1 – 3 4 – 5	100 130	160 160
4	Учреждения общественного обслуживания, вспомогательные здания	1 – 3 4 – 5	110 160	160 160

Таблица 4.3

Коэффициент n_1 для различных грунтов

Грунты	n_1
С высокой несущей способностью (скальные, крупнообломочные, плотные глины)	0,9
Пески, супеси, суглинки, глины	1,0
Слабые, с низкой несущей способностью (глины пластичные, рыхлые пески)	1,2
Многолетнемерзлые	0,8

Таблица 4.4

Коэффициент n_2

Материал стен	Толщина стен, мм	n_2
Кирпичная кладка	380 510 и более	1 1,2
Кладка из мелких шлакоблоков	400 600 и более	1,0 1,2
Облегченная кирпичная кладка	380 510	0,7 0,8
Деревянные рубленные	-	1,5
Каркасно-щитовые, из коротких бревен в "столбах"	-	1,2
Наливные из золошлакобетона	300-400	1,0

Таблица 4.5

Коэффициент n_3

Износ стен, %	n_3
До 10	1
11-20	0,85
21-30	0,70
Более 30	0,50

Примечание: Процент износа стен определяется как отношение времени эксплуатации здания к расчетному сроку его службы.

4.1.3. Для определения безопасных и предельных глубин подработки гражданских зданий в главе 5 допустимые и предельные показатели определяются по формулам:

$$[\varepsilon_д] = \frac{[\Delta l_д]}{1{,}2 m_\varepsilon l}, \tag{4.7}$$

$$[\varepsilon_п] = \frac{[\Delta l_п]}{1{,}2 m_\varepsilon l}, \tag{4.8}$$

где $[\Delta l_д]$ и $[\Delta l_п]$ - соответственно допустимые и предельные величины показателя деформации (мм), определяемые по формулам (4.4) и (4.5).

4.2. Показатели деформаций для промышленных зданий

4.2.1. Расчетные показатели деформаций для промышленных зданий ε, R, i определяются по следующим формулам.

1. При разработке пласта отдельной выработкой:

$$\varepsilon = m_\varepsilon \varepsilon_1; \tag{4.9}$$

$$R = \frac{1}{m_к к_1}; \tag{4.10}$$

$$i = m_i i_1. \tag{4.11}$$

2. При многократной подработке несколькими выработками или свитой пластов:

$$\varepsilon = m_\varepsilon \sum_1^n \varepsilon_i; \tag{4.12}$$

$$R = \frac{1}{m_к \sum_1^n K_i}; \tag{4.13}$$

$$i = m_i \sum_1^n i_i, \tag{4.14}$$

где K_1, i_1 – расчетные величины кривизны (1/м) и наклонов (безразм.) земной поверхности от одной выработки; m_i – коэффициенты условий работы при учете воздействия на здание и сооружение наклонов земной поверхности i, принимаются по табл. 4.1; i_i – расчетная величина наклонов земной поверхности от отдельной i-той выработки.

4.2.2. Допустимые и предельные показатели деформаций для промышленных зданий определяются по формулам:

$$[\varepsilon_д] = [\varepsilon_д]_н \, n_1 \, n_6; \qquad (4.15)$$

$$[\varepsilon_п] = [\varepsilon_п]_н \, n_1 \, n_6, \qquad (4.16)$$

где $[\varepsilon_д]_н$, $[\varepsilon_п]_н$ – нормативные величины допустимого и предельного показателей горизонтальных деформаций земной поверхности для промышленных зданий (безразм. величины); n_1 – коэффициент, зависящий от грунтовых условий, принимается по табл. 4.3; n_6 – коэффициент, зависящий от состояния здания к моменту его подработки, принимается по табл. 4.6.

Таблица 4.6

Коэффициент n_6

Состояние здания	n_6	Признаки состояния (возможные повреждения)
Хорошее	1,1	Незначительные повреждения или их отсутствие
Удовлетворительное	1,0	Отдельные вертикальные трещины в стенах с раскрытием до 2 мм, горизонтальные трещины в столбах и колоннах с раскрытием до 0,5 мм. Повреждения и выветрелость стен в местах опирания оконных и дверных перемычек без угрозы обрушения последних
Неудовлетворительное	0,9	Значительная выветрелость стен, особенно в местах опирания прогонов, балок и плит перекрытий, повреждения фундаментов; значительная коррозия или повреждения элементов металлического каркаса; множественные трещины в несущих стенах с раскрытием более 2 мм; горизонтальные трещины в столбах и колоннах с раскрытием более 0,5 мм, наклонные трещины в стенах, не сопровождающиеся разрушением кладки; отсутствие анкерной связи между колоннами и самонесущими стенами, не сопровождающиеся выпучиванием стен; недостаточность опирания элементов покрытий и перекрытий на стены и балки
Ветхое	0,7	Трещины в несущих стенах, сопровождающиеся местным разрушением кладки; косые трещины в пилястрах и столбах под опорами балок; множественные вертикальные трещины в столбах и колоннах; потеря устойчивости металлических элементов каркаса, сопровождающаяся выпучиванием колонн, ферм, балок; значительный выход стен из горизонтальной и вертикальной плоскостей; глубокая коррозия конструктивных элементов

4.2.3. Нормативная величина допустимого показателя горизонтальных деформаций земной поверхности для промышленных зданий (каркасные, бескаркасные и с неполным каркасом) определяется по следующим формулам:

- для зданий на столбчатых и ленточных фундаментах

$$[\varepsilon_д]_н = \frac{[C_д]}{m_\varepsilon l_ц}; \qquad (4.17)$$

- для зданий на сплошных железобетонных плитах

$$[\varepsilon_д]_н = \frac{100}{m_\varepsilon l_ф}, \qquad (4.18)$$

где $[C_д]$ - показатель (мм), зависящий от разряда здания, принимаемого по табл. 4.7, и конструктивной схемы здания; определяется по табл. 4.8;

Таблица 4.7

Классификация зданий промышленных предприятий

Характеристика здания	Разряд здания
Производственные здания с герметизированными помещениями и особыми требованиями к чистоте, температуре и влажности внутреннего воздуха; одноэтажные здания с трехсменным производством при наличии в одном пролете двух мостовых кранов весьма тяжелого режима работы	1
Одноэтажные здания с двух- и трехсменным производством при наличии мостовых кранов тяжелого, среднего или легкого режима работы; многоэтажные производственные здания тяжелой промышленности с динамическими нагрузками на перекрытия; производственные здания химических предприятий с двух- и трехсменным производством; сборочные цехи предприятий точного машиностроения; производственные предприятия пищевой и медицинской промышленности; центральные и групповые обогатительные фабрики; брикетные фабрики и фабрики инертной пыли; труболитейные цехи с карусельными разливочными машинами; мартеновские, кузнечные, литейные и прокатные цехи металлургических и машиностроительных заводов; холодильники районного значения; надшахтные здания и здания подъемных машин	2
Одноэтажные здания с односменным производством при наличии мостовых кранов; одноэтажные бескрановые здания и здания с подвесными кранами при двух- и трехсменном производстве; многоэтажные производственные здания легкой промышленности с динамическими нагрузками на перекрытия; многоэтажные здания тяжелой промышленности с двух- и трехсменным производством без динамических нагрузок на перекрытия; вспомогательные здания при наличии мостовых кранов тяжелого или среднего режима работы; административно-бытовые комбинаты, отдельно стоящие бытовые помещения, заводские амбулатории, больницы, бани и т.п.; центральные электромеханические мастерские; главные корпуса авторемонтных, мотороремонтных, цементных заводов; мясокомбинаты, хлебозаводы, элеваторы; шахтные и заводские котельные	3
Одноэтажные бескрановые здания и здания с подвесными кранами при односменном производстве; многоэтажные производственные здания легкой промышленности без динамических нагрузок на перекрытия; многоэтажные производственные здания тяжелой промышленности с односменным производством без динамических нагрузок на перекрытия; складские здания; административно-хозяйственные помещения, лаборатории, конструкторские бюро; автогаражи; компрессорные станции; здания шахтных вентиляторов и электроподстанций	4
Производственные здания с демонтированным оборудованием или другими изменениями технологии, приводящими к уменьшению нагрузок на конструкции; вспомогательные здания, не отмеченные в разрядах 3 и 4	5

Таблица 4.8

Показатель $[C_д]$, мм

Разряд зданий	Каркасные	Бескаркасные и с неполным каркасом
1	25	20
2	40	35
3	60	40
4	80, но не более $[C_п]$, опред. по табл. 4.9	60
5	Допустимые показатели деформаций равны предельным, определяемым по п.4.2.4	

$l_ц$ – расстояние от середины здания на ленточных фундаментах, от середины каркасного здания без связевого блока, от связевого блока каркасного здания или от жесткой пристройки до крайних фундаментов, мм;

100 – коэффициент (мм); $l_ф$ – длина фундаментной плиты (мм).

4.2.4. Нормативная величина предельного показателя горизонтальных деформаций земной поверхности для промышленных зданий определяется по формулам:

для каркасных зданий

$$[\varepsilon_п]_н = \frac{[C_п]}{m_\varepsilon l_ц}; \qquad (4.19)$$

для бескаркасных зданий, кроме указанных в п.4.2.5 и зданий с неполным каркасом

$$[\varepsilon_п]_н = \frac{100}{m_\varepsilon l_ц}, \qquad (4.20)$$

где $[C_п]$ - показатель (мм), зависящий от разряда зданий, принимаемого по табл. 4.7, и высоты колонн; определяется по табл. 4.9; $l_ц$ и 100 – то же, что и в формулах (4.17) и (4.18).

Таблица 4.9

Показатель $[C_п]$, мм

Разряд зданий	Высота колонн, м						
	4	5	6	7	8	9	10 и более
1-4	60	70	80	90	100	110	120
5	70	80	90	100	110	120	130

Примечание. Высота колонн принимается от обреза фундамента до ближайшей по высоте балки (подкрановой, стропильной и т.д.)

4.2.5. Нормативные величины предельных показателей горизонтальных деформаций земной поверхности для промышленных бескаркасных каменных (кирпичных, шлакоблочных и др.) зданий с расстоянием между поперечными стенами при железобетонных перекрытиях меньше 18 м, при деревянных перекрытиях меньше 9 м определяются по формуле (4.8) в которой вместо величины $[\Delta l_п]$ используется величина $[\Delta l_п]_н$, приведенная в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Нормативный показатель деформаций $[\Delta l_п]_н$ для бескаркасных промышленных зданий

Разряд зданий	$[\Delta l_п]_н$, мм
1 и 2	200
3, 4 и 5	250

4.2.6. Для промышленных предприятий с размещенным в них оборудованием допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности определяются раздельно для зданий в соответствии с пп. 4.2.2–4.2.5 и для оборудования – в соответствии с табл. 4.11. Меры охраны устанавливают по наименьшим допустимым или предельным показателям деформаций для зданий или технологического оборудования.

Таблица 4.11

Допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для технологического оборудования

Оборудование и его особенности	Деформации		
	Обозначения	Допустимые	Предельные
1. Поршневые компрессоры	[i]	$4 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
2. Подкрановые пути мостовых кранов:			
в поперечном направлении	[i]	$5 \cdot 10^{-3}$	
в продольном направлении	[i]	$6 \cdot 10^{-3}$	
	[R]	6 км	
3. Подкрановые пути козловых кранов:			
в поперечном направлении	[R]	3 км	
в продольном направлении	[i]	$6 \cdot 10^{-3}$	
4. Шахтные подъемные машины с барабаном диаметром, м:			
до 5	[i]	$6 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
более 5	[i]	$4 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
5. Шахтные вентиляторы:			
осевые	[ε]		$7 \cdot 10^{-3}$
	[i]		$10 \cdot 10^{-3}$
центробежные	[ε]		$9 \cdot 10^{-3}$
	[i]		$12 \cdot 10^{-3}$
6. Котлы:			
вертикальные водотрубные	[i]		$10 \cdot 10^{-3}$
	[ε]		$8 \cdot 10^{-3}$
горизонтальные жаротрубные	[R]		2 км
	[i]		$12 \cdot 10^{-3}$

4.3. Показатели деформаций для инженерных сооружений

4.3.1. Допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для инженерных сооружений определяются по табл. 4.12.

Таблица 4.12

Допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для инженерных сооружений

Объект и его отличительный признак	Деформации		
	Обозначения	Допустимые	Предельные
1. Подземные резервуары и отстойники длиной (диаметром) l, м:			
1) железобетонные	[ε]	$(70/l)\cdot10^{-3}$	-
2) каменные с железобетонной рубашкой	[ε]	$(40/l)\cdot10^{-3}$	-
2. Башенные сооружения:			
1) водонапорные башни	[ε]	$3\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$
2) дымовые трубы, кирпичные высотой H, м	[i]	$8\cdot10^{-3}$	$12\cdot10^{-3}$
H≤30	[i]	$8\cdot10^{-3}$	$15\cdot10^{-3}$
30<H≤45	[i]	$6{,}5\cdot10^{-3}$	$12\cdot10^{-3}$
45<H≤60	[i]	$5\cdot10^{-3}$	$10\cdot10^{-3}$
60<H≤100	[i]	$4\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-3}$
3) телевизионные и радиорелейные башни высотой H, м			
H≤50	[i]	-	$7\cdot10^{-3}$
H>50	[i]	-	$5\cdot10^{-3}$
4) стальные копры	[i]	$6\cdot10^{-3}$	-
3. Подстанции			
1) закрытые понизительные подстанции до 400 кВ:			
а) с синхронными компенсаторами	[ε]	-	$6\cdot10^{-3}$
б) без синхронных компенсаторов	[ε]	-	$8\cdot10^{-3}$
2) открытые понизительные подстанции:			
а) 110 – 400 кВ	[ε]	-	$7\cdot10^{-3}$
	[i]	-	$11\cdot10^{-3}$
б) менее 110 кВ	[ε]	-	$10\cdot10^{-3}$
	[i]	-	$14\cdot10^{-3}$
4. Бункеры:			
1) погрузочные железобетонные	[ε]	-	$6\cdot10^{-3}$
	[R]	-	3 км
2) то же, стальные	[ε]	-	$9\cdot10^{-3}$
	[R]	-	2 км
5. Плотины и дамбы:			
1) каменные и бетонные	[ε]	-	$2{,}5\cdot10^{-3}$
	[R]	-	12 км
2) грунтовые с водосливным устройством	[ε]	$6\cdot10^{-3}$	-
3) то же, без водосливного устройства	[ε]	$4\cdot10^{-3}$	-
4) то же, паводковые из глинистых и суглинистых грунтов, высотой до 6 м	[ε]	$10\cdot10^{-3}$	-

4.3.2. Допустимые и предельные показатели деформаций земной поверхности для наружных трубопроводов определяются по табл. 4.13.

Таблица 4.13

Допустимые и предельные показатели деформации земной поверхности для наружных трубопроводов

Сеть и ее отличительный признак	Деформации		
	Обозначения	Допустимые	Предельные
I. Газопроводы и нефтепроводы с избыточным давлением от 12 до 25 кг/см^2 включительно	[ε]	$8\cdot10^{-3}$	$15\cdot10^{-3}$
а) наземные и надземные из стальных труб различных марок			
б) подземные	[ε]	$(1\div2{,}5)\cdot10^{-3}$	-
1) из труб марок сталей с временным сопротивлением до 35 кг/мм^2 и пределом текучести до 25 кг/мм^2	[ε]	$(1\div3{,}5)\cdot10^{-3}$	-
2) из труб марок сталей с временным сопротивлением свыше 35 кг/мм^2 и пределом текучести свыше 25 кг/мм^2			
II. Газопроводы и нефтепроводы с избыточным давлением до 12 кг/см^2 из стальных труб различных марок:			
а) наземные и надземные	[ε]	$8\cdot10^{-3}$	$15\cdot10^{-3}$
б) подземные	[ε]	$(1\div3{,}5)\cdot10^{-3}$	$(4\div6)\cdot10^{-3}$
III. Теплопроводы из стальных труб:			
а) наземные и надземные магистральные	[ε]	$10\cdot10^{-3}$	$15\cdot10^{-3}$
б) подземные в каналах	[ε]	$6\cdot10^{-3}$	$10\cdot10^{-3}$
	[i]	$6\cdot10^{-3}$	$12\cdot10^{-3}$
в) подземные бесканальные магистральные и разводящие	[ε]	$(3\div4)\cdot10^{-3}$	$(5\div7)\cdot10^{-3}$
	[i]	$(4\div5)\cdot10^{-3}$	$(7\div8)\cdot10^{-3}$
IV. Водопроводы из стальных труб:			
а) наземные и надземные магистральные	[ε]	$10\cdot10^{-3}$	$15\cdot10^{-3}$
б) подземные магистральные и разводящие	[ε]	$(4\div5)\cdot10^{-3}$	$(6\div8)\cdot10^{-3}$
в) подземные секционные:	[ε]	$(1\div2{,}5)\cdot10^{-3}$	-
1) из чугунных раструбных труб	[ε]	$(3\div4)\cdot10^{-3}$	-
2) из асбоцементных и железобетонных труб на муфтах			
V. Канализационные сети:			
а) секционные безнапорные из чугунных раструбных труб	[ε]	$(3\div4)\cdot10^{-3}$	-
	[i]	$(2{,}5\div7)\cdot10^{-3}$	-
б) стальные напорные трубы:			
1)наземные и надземные	[ε]	$8\cdot10^{-3}$	$15\cdot10^{-3}$
2) подземные	[ε]	$(3\div4)\cdot10^{-3}$	$(5\div6)\cdot10^{-3}$

4.4 Показатели деформаций для железных дорог

4.4.1. Возможность и безопасные условия подработки звеньевого железнодорожного пути МПС в зависимости от категории дорог, принимаемых в со-

ответствии с классификацией по табл. 4.14, определяются путем сравнения допустимых и предельных показателей деформаций и скоростей оседания v земной поверхности, приведенных в табл. 4.15, с величинами расчетных деформаций земной поверхности, определенными по расчету в соответствии с главой 3.

Таблица 4.14

Классификация железных дорог

Категория железных дорог	Назначение железных дорог	Расчетная годовая приведенная грузонапряженность нетто в грузовом направлении на десятый год эксплуатации, млн т км/км
Скоростные	Магистрали для движения пассажирских поездов со скоростями свыше 160 км/ч	Независимо от грузонапряженности
Особогрузонапряженные	Магистрали для большого объема грузовых перевозок	Свыше 80
I	Магистральные линии	От 80 до 35
II	Магистральные линии	От 35 до 15
III	Магистральные линии	До 15
IV	Внутриузловые соединительные пути. Подъездные пути со скоростью движения поездов свыше 40, но не более 80 км/ч	До 8 Независимо от грузонапряженности
V	Внутристанционные соединительные пути. Подъездные пути со скоростью движения поездов не более 40 км/ч	То же

Таблица 4.15

Допустимые и предельные показатели деформации и скорости оседаний земной поверхности при подработке железных дорог

Категория железных дорог	Деформации и скорости оседаний		
	Обозначения	Допустимые	Предельные
I	[i] [ε] [R] [v]	$5\cdot10^{-3}$ $3\cdot10^{-3}$ 20 км 8 мм/сут	[i]=$10\cdot10^{-3}$ ε=$8\cdot10^{-3}$ [R]=6,5 км [v]=15 мм/сут
II	[i] [ε] [R] [v]	$6\cdot10^{-3}$ $4\cdot10^{-3}$ 13,5 км 10 мм/сут	
III	[i] [ε] [R] [v]	$8\cdot10^{-3}$ $6\cdot10^{-3}$ 10 км 12 мм/сут	
IV и V	[i] [ε] [R] [v]	$10\cdot10^{-3}$ $8\cdot10^{-3}$ 6,5 км 15 мм/сут	

Если по нескольким или одному из показателей расчетные деформации земной поверхности превышают предельные значения, то подработка железных дорог и транспортных сооружений не допускается без применения горных мер защиты, существенно уменьшающих ожидаемые деформации земной поверхности.

5. УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ПОДРАБОТКИ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

5.1. Условия подработки зданий и сооружений

5.1.1. Определение условий безопасной выемки угля в зонах влияния на охраняемые объекты выполняются в следующем порядке:

- устанавливаются конструктивные особенности и техническое состояние объектов, и другие параметры, используемые для определения допустимых и предельных деформаций (показателей деформаций);
- по рекомендациям главы 4 определяются допустимые и предельные деформации основания для объектов;
- в соответствии с настоящей главой определяются безопасная и предельные глубины разработки пластов на разрезах, строятся горизонты безопасной и предельной глубины разработки;
- определяются пласты и участки пластов, которые располагаются:

а) ниже горизонта безопасной глубины разработки;

б) между горизонтами безопасной и предельной глубин разработки;

в) выше горизонта предельной глубины разработки;

г) отдельно выделяются участки пластов, отработка которых может вызвать образование провалов на земной поверхности, затопление поверхности или существенное изменение гидрогеологических режимов, которое может нанести значительный вред природе.

5.1.2. Возможность безопасной выемки полезного ископаемого в зонах влияния на гражданские и промышленные здания, технологическое оборудование, транспортные коммуникации, инженерные сооружения, опоры ЛЭП, санитарно-технические сети и выбор мер охраны устанавливают на основании расчетных деформаций земной поверхности в пятне застройки и их сравнения с допустимыми и предельными деформациями (показателей деформаций) и скоростями оседаний (для железных дорог).

Расчетные деформации определяют по главе 3, а показатели деформаций по главе 4.

5.1.3. На основании допустимых значений деформаций (показателей деформаций) определяют безопасную глубину разработки.

Безопасной глубиной разработки называется такая, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций более допустимых.

Безопасная глубина откладывается от объекта по вертикали.

5.1.4. Безопасная глубина $H_б$ при разработке одиночных пластов определяется по формулам:

а) без учета влияния подвижек пород по контактам напластований

$$H_б = k_д \cdot \frac{m}{[Д_д]}; \qquad (5.1)$$

б) от влияния подвижек пород по контактам напластований

$$H_б = \frac{0{,}9\, m \sin^2\alpha}{[Д_д]}, \qquad (5.2)$$

где m – вынимаемая мощность пласта.

Под вынимаемой мощностью пласта понимают суммарную мощность пачек угля и прослоев пород, если порода не остается в выработанном пространстве.

При выемке пластов с закладкой выработанного пространства материалом, доставляемым извне области влияния горных работ на объект, $H_б$ рассчитывается по эффективной мощности пласта $m_э$, определяемой по главе 3;

$[Д_д]$ - допустимые значения горизонтальных деформаций (показателей деформаций) или наклонов для объекта.

Если для объекта установлены допустимые величины горизонтальных деформаций $[Д_д]=[\varepsilon_д]$ и наклонов $[Д_д]=[i_д]$ (показателей деформаций), то из рассчитанных по формуле (5.1) значений безопасной глубины принимается наибольшее $H_б$.

$k_д = k_\varepsilon$ - при допустимых горизонтальных деформациях (показателей деформаций) для объекта;

$k_д = k_i$ – при допустимых наклонах для объекта.

Значения коэффициентов k_ε и k_i определяются по таблицам 5.1 и 5.2

Таблица 5.1

Значения коэффициента k_ε

Бассейн, месторождение	Угол падения пласта, град					
	0	20	35	45	55	60
Челябинский	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7	0,6
Буланашское	1,2	0,8	0,8	0,7	0,6	-
Воркутинское, Интинское	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
Кизеловский	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 5.2

Значения коэффициента k_i

Бассейн, месторождение	Угол падения пласта, град					
	0	20	35	45	55	60
Воркутинское, Буланашское	1,8	1,4	1,0	0,8	0,7	0,5
Интинское, Кизеловский, Челябинский	1,4	1,2	1,0	0,7	0,6	0,5

5.1.5. Безопасная глубина при разработке свит пластов без учета влияния подвижек пород по контактам напластований определяется по формулам:

а) при разработке свит пластов с углами падения $\alpha < 25°$ (рис. 5.1, а)

$$\frac{m_1}{H_б} + \frac{m_2}{H_б + \Delta h_1} + \frac{m_3}{H_б + \Delta h_2} \le \frac{[Д_д]}{k_д}, \qquad (5.3)$$

где m_1, m_2, m_3 – вынимаемые мощности соответственно верхнего, среднего и нижнего, - трех наиболее влияющих пластов (имеющих максимальные отношения – m_1/H_1, m_2/H_2, m_3/H_3; H_1, H_2, H_3 – средние глубины разработки пластов), расположенных в зоне влияния на охраняемый объект; зона влияния определяется по углам β_0 и γ_0 на разрезе вкрест простирания или углом δ_0 на разрезе по простиранию (рис. 5.1, а, зона АА'Б'Б); Δh_1 – мощность междупластья между первым и вторым наиболее влияющими пластами (расстояние по нормали между почвой первого и кровлей второго пластов); Δh_2 – мощность междупластья между первым и третьим наиболее влияющими пластами (расстояние по нормали между почвой первого и кровлей третьего пластов).

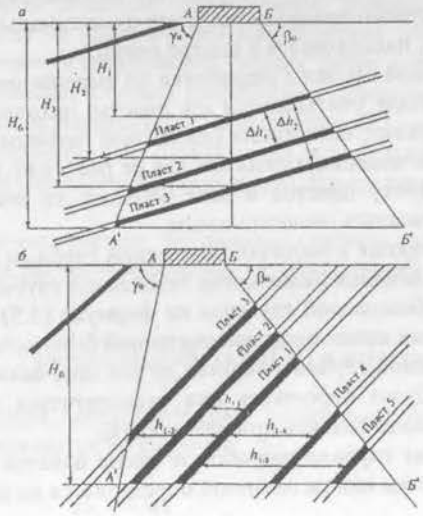


Рис. 5.1. Схемы к определению безопасной глубины разработки свиты пластов: а – при разработке пластов с углами падения $\alpha \le 25°$ б – то же, $\alpha > 25°$

При мощности междупластий $\Delta h_1 \le 0{,}2H_2$; $\Delta h_2 \le 0{,}2H_3$ расчет безопасной глубины можно производить по формуле:

$$H_б = \frac{k_д}{[Д_д]} \cdot (m_1 + m_2 + m_3). \qquad (5.4)$$

При $\Delta h_1 > 0{,}2H_2$; $\Delta h_2 > 0{,}2H_3$ безопасная глубина определяется из выражений (5.3); решение уравнения (5.3) выполняется методом итераций или каким-либо другим методом.

б) при разработке свит наклонных и крутых пластов с углами падения, $\alpha \geq 25°$ (рис. 5.1, б)

$$H_б = \frac{k_д}{2[Д_д]} \sum_1^n m_i + \sqrt{\left(\frac{k_д}{2[Д_д]} \sum_1^n m_i\right)} - \frac{k_д}{[Д_д]} \sum_1^{n-1} m_{i+1} h_{1-(i+1)}, \qquad (5.5)$$

где $\sum_1^n m_i$ - суммарная вынимаемая мощность свиты пластов в пределах зоны влияния на охраняемые объекты; зона влияния выработок на охраняемый объект определяется по углам β_o, γ_o на разрезе вкрест простирания и углом δ_o – на разрезе по простиранию (зона АА′Б′Б, см. рис. 5.1, б);

$\sum_1^{n-1} m_{i+1} h_{1-(i+1)} = m_2 h_{1-2} + m_3 h_{1-3} + ... + m_n h_{1-n}$, где h_{1-2}, h_{1-3}, h_{1-n} – расстояние по горизонтали между выбранным первым пластом свиты и каждым рассматриваемым пластом; в качестве первого принимается пласт с максимальной вынимаемой мощностью или пласт, находящийся в центре свиты.

Расчет безопасной глубины разработки по выражению (5.5) выполняется последовательно. Вначале учитываются все пласты, находящиеся в зоне влияния на охраняемый объект; если линия безопасной глубины на разрезе пересекает все пласты в зоне влияния, принятые для ее расчетов, либо располагается ниже принятых к расчету пластов в зоне влияния, то полученное значение безопасной глубины является окончательным.

Если часть принятых в расчетах безопасной глубины пластов располагается на разрезе в зоне влияния ниже линии безопасной глубины, то производится повторный расчет безопасной глубины по формуле (5.5) без учета влияния пластов, расположенных ниже линии рассчитанной безопасной глубины на разрезах. Расчеты безопасной глубины ведутся до тех пор, пока линия безопасной глубины на разрезе будет пересекать или располагаться ниже тех пластов, мощности которых использовались при расчетах $H_б$.

5.1.6. Безопасная глубина разработки свиты пластов при наличии подвижек пород по контактам напластованной определяется из выражения:

$$H_б = \frac{\sin^2\alpha \sum_1^n k_i m_i}{[Д_д]}, \qquad (5.6)$$

где k_1, k_2……., k_n – коэффициенты влияния первого, второго, n-го пластов; $k_1 = 0{,}9$; $k_2 = 0{,}7$; $k_3 = ... = k_n = 0{,}5$.

При наличии подвижек пород по контактам напластований расчеты безопасной глубины выполняются дважды:

- по формулам (5.1), (5.3), (5.4), (5.5) без учета влияния подвижек пород по контактам напластований;
- по формулам (5.2), (5.6) с учетом подвижек пород по контактам напластований.

К использованию для планирования горных работ и выбора мер охраны объектов принимаются максимальные из полученных значений безопасной глубины $H_б$.

При разработке свиты пластов под гражданскими, промышленными, инженерными сооружениями и санитарно-техническими сетями безопасная глубина может рассчитываться отдельно для каждого пласта свиты как для одиночного, если разрыв во времени между подработками объектов превышает пять лет, ликвидированы деформации и повреждения несущих и ограждающих конструкций от предыдущих подработок, восстановлена эксплуатационная способность зданий, сооружений и коммуникаций.

5.1.7. Если охраняемый объект возведен на подработанной площади после окончания процесса сдвижения от предыдущих подработок и при отсутствии зависаний пород, то значение безопасной глубины, рассчитанное по формулам (5.1) – (5.7), увеличивается на 15 %.

5.1.8. Предельные условия подработки объектов, при которых горные работы могут вызывать появление недопустимых деформаций в зданиях и сооружениях, определяются предельными показателями деформации (глава 4) или при перспективном планировании горных работ —предельной глубиной разработки $H_п$. Предельная глубина разработки откладывается от охраняемого объекта по вертикали и определяется по формулам (5.1) - (5.6), в которых вместо допустимых деформаций $[Д_п]$ (показателей деформации) используются предельные деформации (показатели деформаций), определяемые в соответствии с главой 4.

Приемы и методы расчета предельной глубины разработки аналогичны приемам и методами расчета безопасной глубины разработки, изложенными в настоящей главе.

5.2. Условия подработки ЛЭП и шахтных стволов

5.2.1. Для линий электропередач, наклонных шахтных стволов безопасная глубина определяется по формуле:

$$H_б = k_б m, \qquad (5.7)$$

где m – вынимаемая мощность пласта; $k_б$ – коэффициенты безопасности, определяемые по табл. 5.3 для ЛЭП и табл. 5.4 в зависимости от материала крепи для наклонных шахтных стволов.

При разработках свит пластов под ЛЭП безопасная глубина определяется по суммарной мощности трех наиболее влияющих пластов.

Таблица 5.3

Коэффициент безопасности k_6 для опор высоковольтных воздушных линий

Тип опор ВЛ	Напряжение ВЛ, кВ	k_6
Анкерные и анкерно-угловые, промежуточные угловые, концевые	220-400	100
То же	6-110	75
Промежуточные прямые	220-400	75
То же	6-110	60

Таблица 5.4

Коэффициент безопасности k_6 для наклонных шахтных стволов

Бассейн, месторождение	Подработка			
	Первичная		Повторная	
	Материал крепи		Материал крепи	
	Бетон	Дерево и металл	Бетон	Дерево и металл
Воркутинское и Интинское	170	70	200	85
Челябинский и Буланашское	200	150	240	170
Кизеловский	125	75	150	75

5.2.2. Вертикальные шахтные стволы вместе с копрами и зданиями подъемных машин, как правило, охраняются предохранительными целиками без учета безопасных глубин.

Размеры предохранительных целиков во всех случаях определяются в зависимости от назначения и глубины ствола, типа крепи (жесткая или податливая) и глубины расположения целиков. Правила построения целиков приведены в главе 7.

Жесткими считаются крепи из монолитного бетона и железобетона, кирпича, бетонита, тюбингов, металлических труб и другие, конструктивно не приспособленные к восприятию деформаций от очистных выработок.

Податливыми считаются крепи деревянные, а также из любого другого материала, конструктивно приспособленные к восприятию деформаций от очистных выработок.

5.2.3. Наклонные шахтные стволы охраняются предохранительными целиками до безопасной глубины разработки, определяемой по формуле (5.7), в которой значения коэффициента k_8 для различных бассейнов и месторождений приведены в табл. 5.4.

Безопасная глубина откладывается по вертикали от почвы наклонного ствола.

5.3. Условия подработки водных объектов

5.3.1. По условиям безопасного ведения горных работ водные объекты разделяются на три основные группы.

К I и II группам относятся водные объекты, расположенные в (на) массивах горных пород, в которых отсутствуют геологические нарушения (сместители или осевые поверхности синклинальных складок), пересекающие водный объект.

К I группе относятся водные объекты (водоемы, водотоки и обводненные породы), подстилаемые глинами (суглинками), а мощность глин (суглинков) $\Gamma_к$ не менее глубины водотока, водоема или напора воды над почвой водоносного горизонта и удовлетворяет следующим условиям:

$$\Gamma_к > 2m_1 \text{ – при разработке одиночных пластов,} \qquad (5.8)$$

$$\Gamma_к > 1{,}5\sum_1^3 m_i \text{, но не менее } 2m \text{ – при разработке свит пластов,} \qquad (5.9)$$

где m_1, m_2, m_3 – вынимаемые мощности первого, второго и третьего наиболее влияющих пластов (пластов, у которых отношения вынимаемых мощностей к средней глубине разработки имеют максимальные значения).

Ведение горных работ под водными объектами I группы вне зон опасного влияния водного объекта не может привести к прорывам водоупоров с выносом прорывоопасных пород (рис. 5.2, а).

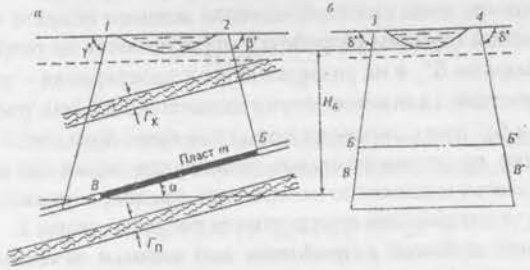


Рис. 5.2. Построение границ опасного влияния водного объекта в угольном пласте:
а, б, - разрезы вкрест и по простиранию пласта; 1-2 и 3-4 – соответственно границы водного объекта с учетом максимального разлива воды на разрезах вкрест и по простиранию; ВБ – зона опасного влияния водного объекта в пласте на разрезе вкрест простирания, ББ и ВВ – то же, по простиранию; $\Gamma_к$ и $\Gamma_п$ – соответственно мощность глины в покрывающих и подстилающих породах

Ко II группе относятся водные объекты, не удовлетворяющие изложенным выше условиям.

К III группе относятся водные объекты, которые пересекаются на подрабатываемых участках геологическими нарушениями, или нарушения проходят от водного объекта на расстояниях, меньших безопасной глубины разработки.

5.3.2. Под зоной опасного влияния водного объекта в угольном пласте понимается участок угольного пласта, в пределах которого выемка угля может повлечь за собой недопустимое увеличение притока воды в горные выработки, а в отдельных случаях – прорывы воды и затопление выработок.

Подработка водного объекта I группы за пределами зоны опасного влияния не приводит к существенному увеличению водопритоков в горные выработки при мощности глин $\Gamma_к > 2m_1$, при разработке одиночных пластов и мощности глин $\Gamma_к > 1{,}5\sum_1^3 m_i$, но не менее $2m_1$ – при разработке свит пластов (m_1, m_2, и m_3 – мощность каждого до 3,5 м).

Подработка водного объекта II группы за пределами зоны опасного влияния является безопасной с точки зрения предотвращения прорывов воды, однако не исключает увеличение водопритока.

5.3.3. За границы наземных водных объектов, не имеющих в основании обводненных отложений, в плане принимается граница максимального разлива воды, по данным гидрологической службы с обеспеченностью 3 % (т. е. имевшая место не более трех раз за 100 лет). Нижней границей водотока (водоема) является его дно (ложе).

При наличии под водотоком (водоемом) высокопроницаемых обводненных отложений (песков, галечников, горельников, сильно трещиноватых пород) за границы водного объекта в плане и на вертикальных разрезах принимаются соответствующие границы указанных отложений. Границы водных объектов, представленных водоносными горизонтами и обводненными зонами, соответствуют границам этих зон и горизонтов.

5.3.4. Границы зоны опасного влияния водного объекта в угольном пласте выше безопасной глубины разработки определяются на разрезах по простиранию углами разрыва δ'', а на разрезах вкрест простирания – углами разрывов β'' и γ'' при отсутствии сдвижения пород лежачего бока (см. рис. 5.2) или углами разрывов β'' и β_1'' при сдвижении пород лежачего бока.

Построение по углам разрывов границ зон опасного влияния водных объектов выполняется аналогично построению предохранительных целиков.

Значения углов разрыва определяются согласно главы 2.

Безопасной глубиной разработки под водным объектом называется минимальная глубина, при которой зона водопроводящих трещин, образующаяся над выработанным пространством, не достигает нижней границы водного объекта. Ведение горных работ ниже горизонта безопасной глубины не вызывает прорывов воды в горные выработки из подрабатываемых водных объектов.

5.3.5. Безопасная глубина разработки под всеми водными объектами, кроме обводненных пород, залегающих согласно с разрабатываемыми пластами, отсчитывается от нижней границы водного объекта по вертикали. Безопасная глубина разработки под обводненными породами, залегающими согласно с разрабатываемыми пластами, отсчитывается от почвы соответственных водоносных горизонтов по нормали к напластованию.

5.3.6. Безопасная глубина разработки одиночного пласта под водным объектом определяется следующим образом:

а) для водных объектов I группы при мощности глин (суглинков) $15m > \Gamma_к > 2m$ и мощности пластов $m \le 2$ м

$$H_б = 0{,}7\frac{m}{\varepsilon_{к1}}, \qquad (5.10)$$

где m – вынимаемая мощность пласта, при работе с закладкой – эффективная мощность пласта, $\varepsilon_{к1}$ – показатель деформаций горных пород в основании водного объекта I группы при безопасной глубине разработки одиночного пласта;

$$\varepsilon_{к1} = 1{,}45\cdot10^{-3}\cdot(\Gamma_к/1\text{ м})+13\cdot10^{-3}, \qquad (5.11)$$

где $\Gamma_к$ – мощность глин (суглинков), м; при $\Gamma_к>15$ м безопасная глубина определяется как при $\Gamma_к=15$ м.

При вынимаемой мощности пластов $m>2$ м и мощности глин (суглинков) $\Gamma_к>10$ м, но не менее 2m безопасная глубина горных работ под водным объектом первой группы принимается

$$H_б=20m. \qquad (5.12)$$

б) для водных объектов II группы при мощности глин (суглинков) $\Gamma_к<2m$ и при $m<2$ м безопасная глубина принимается

$$H_б=0{,}7\frac{m}{\varepsilon_{к2}}, \qquad (5.13)$$

где $\varepsilon_{к2}$ – показатель деформаций горных пород в основании водного объекта II группы при безопасной глубине разработки одиночного пласта;

$$\varepsilon_{к2} = 6{,}4\cdot10^{-3}K_г+11{,}1\cdot10^{-3}, \qquad (5.14)$$

где $K_г=M_а/M$ – отношение суммарной мощности залегающих под водным объектом аргиллитов, алевролитов, глинистых сланцев $M_а$ к мощности M подрабатываемой толщи пород, расположенной на участке от нижнего контура водного объекта до верхней границы зоны обрушения и больших трещин в кровле разрабатываемого пласта; высота зоны обрушения и больших трещин принимается $h_0=10m$;

в) для водных объектов II группы при $\Gamma_к<2m$ и $2\text{ м} < m \le 4$ м безопасная глубина принимается

$$H_б = 50m \text{ при } \frac{M_а}{M}\le0{,}4; \qquad (5.15)$$

$$H_б = 40m \text{ при } \frac{M_а}{M}>0{,}4.$$

5.3.7. Повторная подработка водных объектов нижележащими (вышележащими) пластами свиты допускается после периода опасных деформаций от очистных работ по ранее разрабатываемым пластам. Продолжительность периода опасных деформаций определяется в соответствии с главой 2.

6. МЕРЫ ОХРАНЫ ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Основными мерами охраны подрабатываемых объектов являются горные и конструктивные.

Горные меры охраны – специальные системы разработки пластов и способы управления горным давлением, способствующие уменьшению величин деформации поверхности или их скоростей.

Различают следующие горные меры: применение закладки выработанного пространства породой, доставленной извне зоны влияния горных работ, а также специальные способы и порядок ведения горных работ, уменьшающие величины деформаций (скорости деформаций) поверхности; оставление предохранительных целиков, если другие меры охраны не могут гарантировать нормальную эксплуатацию охраняемого объекта или являются экономически нецелесообразными. *Когда надобность в предохранительном целике отпадает, предприятие обязано частично или полностью извлечь запасы из предохранительного целика. В случае нецелесообразности извлечения запасов они относятся к потерям в целиках в установленном порядке.*

Конструктивные меры охраны – усиление конструкций и узлов для восприятия дополнительных усилий в сооружении при подработке, а также снижение жесткости конструкций для уменьшения дополнительных усилий в сооружении, снижение дополнительных силовых воздействий на сооружения со стороны основания, уменьшение деформаций сооружения путем подъема и выправления сооружения или его части.

Различают следующие конструктивные меры: усиление отдельных конструктивных элементов или сооружения в целом тяжами, железобетонными поясами, установка связей – распорок, разделение зданий деформационными швами, выправление зданий и сооружений, вскрытие подземных трубопроводов или установка в них компенсаторов, восстановление профиля железнодорожных путей и др.

Более подробно о горных и конструктивных мерах охраны изложено в методическом пособии [8].

Планирование горных работ под подрабатываемыми объектами должно производиться исходя из следующих основных положений:

ниже горизонта безопасной глубины горные работы в зоне влияния на охраняемые объекты могут вестись без применения горных и конструктивных мер охраны объектов;

на участках между безопасной и предельной глубиной разработки при ведении горных работ необходимо предусматривать применение раздельно или совместно горных и конструктивных мер охраны объектов.

При проектировании горных работ на участках выше предельной глубины или участках, разработка которых может вызвать образование провалов, необходимо совместное применение как горных мер защиты объектов, уменьшающих деформации как минимум до предельных величин, так и конструктивных мер, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов.

Мерой охраны может явиться временное изменение характера эксплуатации объекта.

Выбор мер охраны производиться на основе технико-экономических расчетов. Меры охраны должны обеспечивать удовлетворительную эксплуатацию объектов при минимальных затратах на их осуществление и при наиболее полном извлечении запасов из недр.

Различают общие и частные меры защиты городов, поселков, промышленных комплексов.

Общие меры обеспечивают снижение деформаций поверхности под всей застроенной территорией путем, например, закладки выработанного пространства или частичной выемки запасов. *Частные меры* обеспечивают снижение деформаций в основании отдельных объектов.

Выбор рационального комплекса общих мер защиты должен определяться технико-экономическим обоснованием и социальными требованиями.

Рациональный вариант определяется на основании оценок потерь полезного ископаемого в недрах, дополнительных затрат на специальные способы ведения горных работ, стоимости конструктивных мер защиты объектов.

7. ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

7.1.Общие правила и способы построения целиков

7.1.1. Предохранительные целики строят под охраняемую площадь, которая включает охраняемый объект и берму вокруг него. Ширину бермы (Б, м) для зданий и сооружений определяют по табл. 7.1.

Таблица 7.1

Ширина бермы

Допустимые деформации		Разряд здания промышленных предприятий	Категория охраны транспортного сооружения	Ширина бермы, м
$[\varepsilon_д]$, $1\cdot10^{-3}$	$[i_д]$, $1\cdot10^{-3}$			
2 и менее	4 и менее	1	I	20
2,1-4,0	4,1-6,0	2	II	15
4,1-6,0	6,1-8,0	3	III	10
Более 6	Более 8	4	IV	5

Если для сооружений по допустимым деформациям (показателям деформаций) $[\varepsilon_д]$ и $[i_д]$ получаются различные размеры берм, то в качестве окончательного значения принимается наибольшее, в диапазоне величин, указанных в табл. 7.1.

7.1.2.Границы охраняемой площади для отдельных зданий и сооружений, у которых отношение длинной стороны к короткой менее 5, определяются на плане следующим образом. Вокруг охраняемого объекта через его угловые точки строят прямоугольник, стороны которого ориентируют по простиранию и вкрест простирания рудной залежи или пласта. Параллельно этим сторонам на расстоянии от них, равном ширине бермы, проводят прямые до их взаимного пересечения. Отрезки прямых между точками пересечения являются границами охраняемой площади.

7.1.3. Для группы зданий и сооружений (например, площадка шахты) границы охраняемой площади определяются на плане многоугольником со сторонами, параллельными охраняемым объектам и отстоящими от них на расстоянии ширины бермы.

7.1.4. Для вытянутых объектов, ориентированных диагонально к линии простирания залежи или пласта, границы охраняемой площади строят параллельно сторонам охраняемых объектов на расстоянии от них, равном ширине бермы. К вытянутым объектам относятся: железные дороги, трубопроводы, каналы и другие, а также отдельные здания и сооружения, у которых отношение длинной стороны к короткой равно или более 5.

При построении предохранительного целика под железную дорогу охраняемым контуром является основание насыпи; под наземные подвесные сооружения (трубопроводы, канатные дороги и др.) – линии, соединяющие внешние точки опор. За границы наземных водных объектов (водоемы, водотоки) в плане принимается граница максимального разлива воды, по данным гидрологической службы с обеспеченностью 3 % (т. е. имевшая место не более трех раз за 100 лет).

7.1.5. Построение предохранительных целиков для зданий и сооружений обычно производится *способом вертикальных разрезов.* Вертикальные разрезы строят в направлениях вкрест простирания и по простиранию пластов или рудных залежей. На разрезах границы целиков определяются пересечением почвы пластов (рудных тел) линиями, проведенными в наносах через границы охраняемой площади и продолженными в коренных породах под соответствующими углами сдвижения. Значения углов принимаются рекомендованными нормативными документами для различных месторождений полезных ископаемых [3; 4; 5; 6]. Для рудных месторождений с неизученным характером процесса сдвижения допускается использование значений углов приведенных в табл. 1.1.

7.1.6.Построение предохранительных целиков под сооружения и объекты вытянутой формы производят *способом перпендикуляров.* При построении

границ предохранительных целиков для вытянутого объекта, длинная ось которого расположена под углом к линии простирания пласта (залежи) с выдержанным углом падения (простирания), длина перпендикуляров в сторону восстания q и в сторону падения l вычисляется по формулам:

$$q = h \cdot ctg\,\varphi + \frac{(H-h)ctg\beta'}{1+ctg\beta'\cos\theta tg\alpha}; \qquad (7.1)$$

$$l = h \cdot ctg\varphi + \frac{(H-h)ctg\gamma'}{1-ctg\gamma'\cos\theta tg\alpha}, \qquad (7.2)$$

где h – мощность наносов; H – расстояние от земной поверхности до пласта (залежи) по вертикали, проходящей через точку пересечения линии, проведенной в наносах от границы охраняемой площади под углом φ, с линией контакта наносов с коренными породами; α - угол падения пласта (залежи); углы β′ и γ′ вычисляются по формулам:

$$ctg\,\beta' = \sqrt{ctg^2\beta \cdot \cos^2\theta + ctg^2\delta \sin^2\theta}; \qquad (7.3)$$

$$ctg\,\gamma' = \sqrt{ctg^2\gamma \cos^2\theta + ctg^2\delta \sin^2\theta}, \qquad (7.4)$$

где β, δ и γ - углы сдвижения в коренных породах; θ - острый угол между линией простирания пласта (залежи) и соответствующей границей бермы.

7.1.7. При построении предохранительных целиков под водные объекты вместо углов сдвижения φ, δ, β, β_1, γ используются углы разрыва δ″, β″, γ″ и β_1″.

7.1.8. При разработке свит пластов на угольных месторождениях для построения предохранительных целиков рекомендуется два варианта определения углов сдвижения и построения предохранительных целиков.

Первый вариант используется в случаях, когда в пределах предохранительных целиков имеются ранее пройденные очистные выработки. В этом случае углы сдвижения для второго и последующих пластов уменьшаются по сравнению с углами сдвижения от первого пласта, для которого углы сдвижения принимаются как при разработке одного пласта. Поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов, определяемые в соответствии с главой 2, имеют отрицательные значения (рис. 7.1, а, б).

Второй вариант построения целиков используется в случаях, когда ранее пройденные очистные выработки в пределах предохранительных целиков отсутствуют. В этом случае углы сдвижения для второго и последующих пластов увеличиваются по сравнению с углами сдвижения от первого пласта, для которого углы сдвижения принимаются как для нижнего пласта при разработке

свиты пластов (как для первого варианта построения целиков). Поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов, определяемые в соответствии с главой 2, имеют положительные значения (рис. 7.1, в, г).

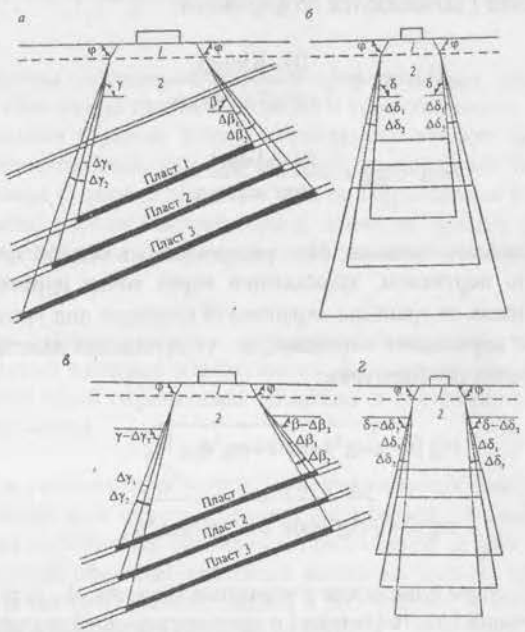


Рис. 7.1. Определение границ предохранительного целика
по первому (а,б) и второму (в,г) вариантам
а,в и б,г вертикальные разрезы соответственно вкрест простирания и по простиранию пластов;
1 – наносы, 2 – коренные породы

При построении предохранительных целиков в свитах пластов (два и более) значения углов сдвижения определяются по формулам:

$$\delta_{ц} = \delta \pm \Delta\delta_{ц}$$
$$\beta_{ц} = \beta \pm \Delta\beta_{ц} \qquad (7.5)$$
$$\gamma_{ц} = \gamma \pm \Delta\gamma_{ц}$$

Значения поправок Δ к углам сдвижения δ, β, γ определенным в соответствии с главой 2 при построении предохранительных целиков для свиты пластов по первому и второму вариантам следующие:

для второго пласта 3^0, для третьего – 5^0, для последующих – 7^0.

На рудных месторождениях поправки к углам сдвижения при построении предохранительных целиков и варианты построения, указанные выше, не применяются.

7.1.9. При всех способах построения целиков, если безопасная глубина разработки располагается выше точки пересечения полезного ископаемого с плоскостью, проведенной под углом γ (для водных объектов γ''), то за нижнюю границу целика принимается безопасная глубина разработки.

7.1.10. Для вертикальных шахтных стволов (см. рис. 7.2) с жесткой крепью оборудованных постоянным подъемом при построении предохранительных целиков используются те же два варианта, изложенных в п. 7.1.8.

По первому варианту, т. е. когда в пределах предохранительных целиков имеются ранее пройденные очистные выработки, границы предохранительных целиков определяются на вертикальных разрезах от границ охраняемой площади, включающей копры, надшахтные здания, здания подъемных машин и берму, линиями пересечения пластов плоскостями, проведенными:

- в наносах под углом сдвижения φ;
- в коренных породах до глубины 600 м и ниже глубины 1,2 Нс – под углами сдвижения;
- в коренных породах от глубины 600 м до глубины 1,2 Н – под граничными углами.

По второму варианту до глубины 600 м целики строятся по граничным углам, а ниже по углам сдвижения.

При этом поправки к углам сдвижения для второго и последующих пластов, определяемые в соответствии с п. 1.7.8, в первом варианте построения целиков имеют отрицательные, а во втором – положительные значения.

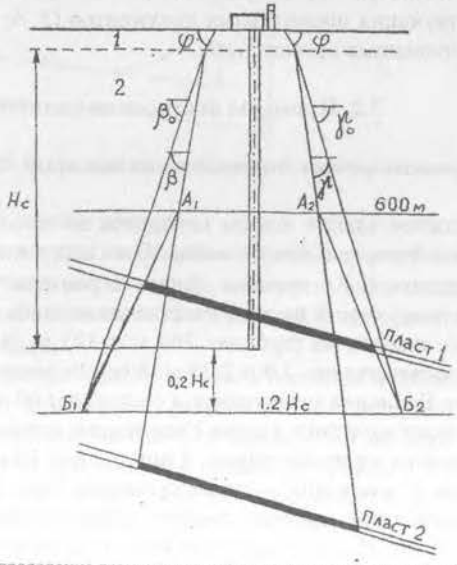


Рис. 7.2. Определение границ предохранительных целиков для охраны шахтных стволов
1 – наносы; 2 – коренные породы; Нс – глубина ствола с зумпфом

В интервалах глубин от 600 м до 1,2 Нс границы предохранительных целиков определяются линиями, соединяющими границы целиков соответственно на горизонтах 600 м и 1,2 Нс (на рис. 7.2 – линии $А_1 Б_1$ и $А_2 Б_2$).

Для вентиляционных и воздухоподающих стволов, не оборудованных постоянным подъемом, а так же для стволов с податливой крепью границы целиков определяются по углам сдвижения при любых глубинах разработки.

На рудных месторождениях при построении предохранительных целиков для вертикальных шахтных стволов граничные углы и варианты построения, указанные выше, не применяются.

7.1.11. Для охраны объектов ограниченных размеров, оси которых расположены под углом к линии простирания пласта (залежи), построение предохранительных целиков оптимальных размеров производится следующим способом. Для объекта строится охраняемый контур со сторонами, параллельными линиям падения и простирания пласта, и от этого контура строятся границы целика по углам β, γ и δ. Затем для этого же объекта строится охраняемый контур со сторонами, параллельными осям объекта, для которого строятся границы целика по углам β′ и γ′. Точки пересечения границ целиков, построенных двумя способами, будут угловыми точками контура целика оптимальных размеров.

7.1.12. При залегании пластов в синклинальных и антиклинальных складках, при переменных углах падения пласта, при наличии разрывных тектонических нарушений, выходящих под охраняемую площадь, и в других сложных случаях построение предохранительных целиков производится по рекомендациям действующих нормативных документов [3; 4; 5; 6] или с привлечением специализированных организаций.

7.2. Примеры построения целиков

7.2.1.Построение целика для отдельно стоящего здания (рис. 7.3)

Четырех этажное здание школы находится на поле шахты «Центральная» в Челябинском буроугольном бассейне. Оно построено на участке, ранее подработанном пластом I. Ко времени начала строительства школы процесс сдвижения земной поверхности на этом участке закончился.

Под зданием школы, на глубинах 263 м и 323 м, залегают пласты Ф и $Ж_{вп}$ мощностью соответственно 2,0 и 2,25 м. Угол падения пластов 10^0. Мощность наносов 10 м. Величина междупластья составляет 60 м.

Основные характеристики здания следующие: стены кирпичные толщиной 510 мм, перекрытия железобетонные; длина здания 36 м, форма его в плане П-образная; грунты в основании – сухие суглинки. При визуальном осмотре наружных стен установлено наличие трещин с раскрытием до 1 мм. Большинство трещин – волосные. Износ здания принимаем равным 10 %.

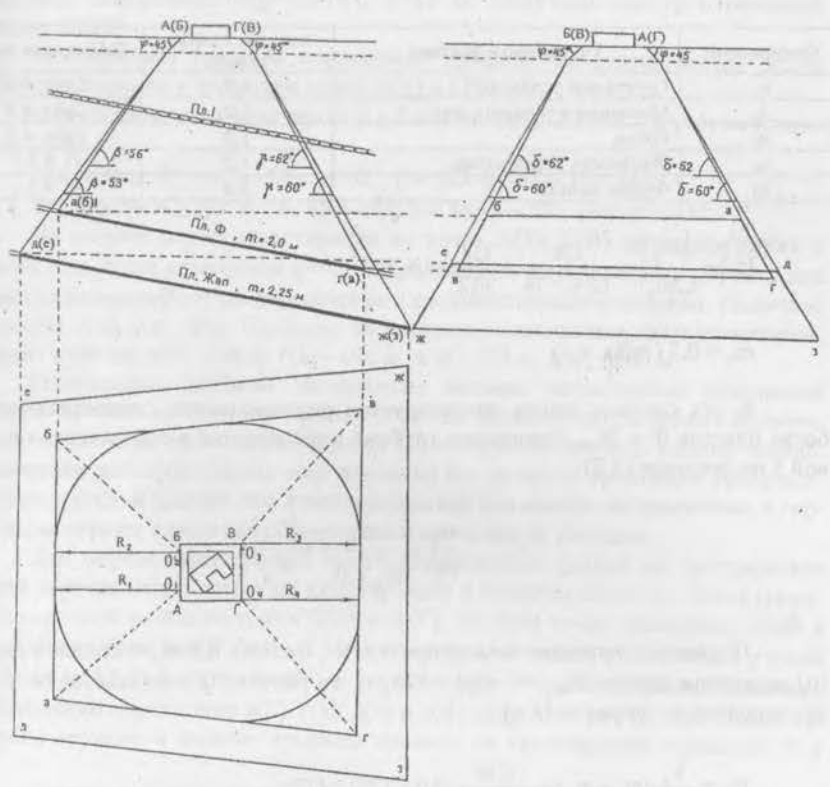


Рис. 7.3. Построение предохранительного целика для отдельно стоящего здания

Выбор мер охраны здания.

Для здания школы необходимо определить показатель деформаций $[\Delta l_д]$ и безопасную глубину разработки $Н_б$ для свиты, включающую пласты Ф и $Ж_{вп}$.

Допустимый показатель деформаций определяется по формуле (4.4): $[\Delta l_д] = [\Delta l_д]_н \, n_1 n_2 n_3 n_4 n_5$.

Четырехэтажное здание школы относится к зданиям второго разряда, для которых $[\Delta l_д]_н$ принимается равным 120 мм (табл. 4.2).

Значения коэффициентов n со ссылкой на таблицы или пункты, в соответствии с которыми они приняты, приведены в табл. 7.2.

Подставив полученные значения в формулу (4.4), получим

$[\Delta l_д] = 120 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}8 = 138$ мм.

Для определения $Н_б$ рассчитаем допустимый показатель горизонтальных деформаций для здания школы по формуле (4.7)

Таблица 7.2

Принимаемые значения коэффициентов

Коэффициент	Учитываемые факторы	Значение коэффициента	Таблица или пункт
n_1	Грунтовые условия	1,0	Табл. 4.3
n_2	Материал и толщина стен	1,2	Табл. 4.4
n_3	Износ	1,0	Табл. 4.5
n_4	Жесткость перекрытия	1,2	П. 4.2.1
n_5	Форма здания	0,8	П. 4.2.1

$$[\varepsilon_д]=\frac{|\Delta l_Д|}{1{,}2 m_\varepsilon l}=\frac{138}{1{,}2\cdot 0{,}7\cdot 36}=\frac{138}{30{,}2}=4{,}6\cdot 10^{-3};$$

$m_\varepsilon = 0{,}7$ (табл. 4.1).

В тех случаях, когда проектируется одновременная совместная разработка пластов Ф и $Ж_{вп}$, безопасная глубина определяется в соответствии с главой 5 по формуле (5.3)

$$\frac{m_1}{H_б}+\frac{m_2}{H_б+\Delta h_1}\le\frac{|Д_д|}{K_д};$$

Поскольку величина междупластья Δh_1 меньше 0,2 $H_{ср}$ – средней глубины залегания пласта $Ж_{вп}$ (60 <0,2 · 323 м), то расчет $H_б$ допускается (п. 5.1.5) производить по формуле (5.4).

$$H_б=\frac{k_д}{[Д_д]}(m_1+m_2)=\frac{0{,}95}{4{,}6\cdot 10^{-3}}(2{,}0+2{,}25)=878\text{м}.$$

$k_д = k_\varepsilon = 0{,}95$ – находим по табл. 5.1 для Челябинского бассейна при $\alpha = 10°$; $[Д_д] = [\varepsilon_д] = 4{,}6 \cdot 10^{-3}$ – допустимый показатель горизонтальных деформаций, определенный по формуле (4,7); m_1 и m_2 – вынимаемые мощности пласта Ф = 2,0 м и пласта $Ж_{вп}$ = 2,25 м.

Учитывая, что толща пород ранее была подработана выработками по пласту I, то в соответствии с п. 5.1.7, рассчитанное по (5.4) значение безопасной глубины увеличиваем на 15 %, т.е. H_8 = 878 м · 1,15 = 1010 м. По этой же причине (п.7.1.8) определение углов сдвижения и построение предохранительного целика производим по первому варианту следующим образом. Вокруг здания школы через его угловые точки строим прямоугольник, стороны которого ориентируем по простиранию и вкрест простирания пласта. Параллельно этим сторонам на расстоянии от них, равном ширине бермы, проводим прямые до их взаимного пересечения.

Ширину бермы определяем по табл. 7.1 в зависимости от допустимого показателя деформаций $[\varepsilon_д]=4{,}6\cdot10^{-3}$, Б=10 м. Получаем контур охраняемой площади АБВГ.

Проектируем границы охраняемой площади на вертикальный разрез вкрест простирания и получаем точки А(Б) и Г(В).

Определяем углы сдвижения β,γ,δ и φ по табл. 2.1 и 2.2 с учетом поправок (п.7.1.8):

для пласта Ф $\gamma = \delta = 65-3 = 62°$; $\beta = (65-0{,}6\alpha) - 3° = 56°$;

для пласта $Ж_{вп}$ $\gamma = \delta = 65-5 = 60°$; $\beta = 58-5 = 53°$; угол $\varphi = 45°$.

На разрезе вкрест простирания от точек А(Б), Г(В) проводим линии в наносах под углом сдвижения φ=45° и продолжаем их в коренных породах под углами сдвижения β и γ до пересечения с соответствующим пластом. Получаем точки а(б), г(в), д(е), з(ж). Глубины, на которых расположены границы целиков, составят в точках а(б) -166 м, г(в) - 196 м, д(е) - 220 м, з(ж) - 260 м.

Полученные глубины значительно меньше вычисленной безопасной глубины $H_б$=1010 м. Поэтому выемка угля под зданием школы может производиться только при применении горных и конструктивных мер защиты здания. Применение конструктивных мер повлекло бы за собой временное прекращение эксплуатации здания, что в период занятий для школы неприемлемо, а горные меры охраны одиночного здания экономически не выгодны.

Для определения границ предохранительного целика по простиранию строим вертикальный разрез по простиранию и наносим на него с плана границы охраняемой площади точки Б(В) и А(Г). Из этих точек проводим линии в наносах под углом φ=45° (табл. 2.1) и в коренных породах под углами с учетом поправок (п.7.1.8) δ=62° и δ=60° до пересечения с горизонтальными линиями, проходящими через точки а(б), г(в), д(е) и з(ж) на разрезе вкрест простирания и получим верхние и нижние границы целиков по простиранию в пластах Ф и $Ж_{вп}$.

Границы предохранительных целиков, полученные на вертикальных разрезах вкрест простирания и по простиранию, переносим на план и получаем контур предохранительного целика по пласту Ф - абвг, а по пласту $Ж_{вп}$ - дежз.

Предельно минимальные размеры предохранительных целиков, до которых допускается отработка пластов, определяются следующим образом.

На плане из угловых точек целиков абвг (дежз) проводятся линии, делящие углы, образованные границами целика, пополам, до пересечения с границами контура охраняемой площади (линии а-0_1, б-0_2, в-0_3, г-0_4). Из точек пересечения этих линий (0_1, 0_2, 0_3, 0_4) с контуром охраняемой площади проводим окружности радиусом, равным минимальному расстоянию от указанных точек до линий границ целика (R_1, R_2, R_3, R_4). Длина радиусов равна длине перпендикуляров, опущенных на линии границ целика из точек 0_1, 0_2, 0_3, 0_4. Указанные окружности определяют предельную границу целика (см. рис. 7.3). Если линии а-0_1, б-0_2, в-0_3, г-0_4 не пересекают контур охраняемой площади, то предельная граница целика определяется радиусом окружности, проведенным из точек пе-

ресечения прямых: а-0_1-б-0_2 и в-0_1-г-0_4. Производим подсчет запасов в предохранительных целиках.

7.2.2. Построение целиков для двух вертикальных шахтных стволов с копрами и зданиями подъемных машин (рис. 7.4)

Вертикальные стволы одной из шахт в Кизеловском бассейне закреплены жесткой крепью из монолитного бетона и оборудованы постоянным подъемом. Глубина стволов с зумпфами H_c=1000 м. Стволы расположены один относительно другого по направлению простирания пластов.

Под стволами залегают пласты 13 и 11 мощностью m соответственно 3,0 и 2,2 м. Угол падения пластов $\alpha = 40°$. Наносы представлены суглинками нормальной влажности мощностью 20 м.

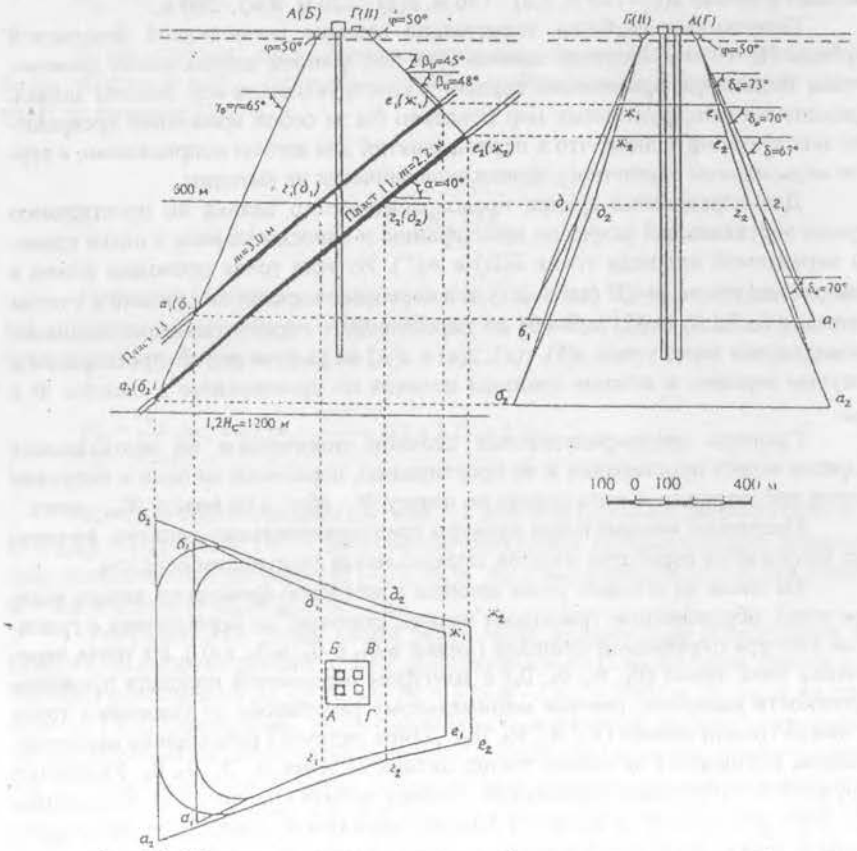


Рис. 7.4. Построение предохранительных целиков для охраны двух глубоких вертикальных шахтных стволов с копрами и зданиями подъемных машин

Согласно п. 5.2.2 вертикальные шахтные стволы вместе с копрами и зданиями подъемных машин охраняются предохранительными целиками без учета безопасных глубин. Для построения границ охраняемой площади на плане от охраняемых объектов откладываем отрезки, равные ширине бермы, которая составляет 20 м (табл. 7.1). Через концы этих отрезков проводим линии, параллельные сторонам охраняемых объектов. Получим общий контур охраняемой площади АБВГ.

Так как в пределах предохранительного целика ранее пройденные очистные выработки отсутствуют для построения целиков используем второй вариант определения углов сдвижения и построения (п. 7.1.10).

В соответствии с главой 2 определяем углы сдвижения для Кизиловского бассейна и вводим поправки согласно п. 7.1.8.

Углы сдвижения составят:

для пласта 13 δ=75-3-5=67^0; γ=70-5=65^0; β=50-3-5=42^0;

для пласта 11 δ=67+3=70^0; γ=65^0; β=42+3=45^0.

Граничные углы составят:

для пласта 13 δ_0=70^0; γ_0=65^0; β_0=45^0;

для пласта 11 δ_0=70+3^0=73^0; γ_0=65^0; β_0=45+3=48^0.

Для определения нижней границы предохранительного целика в пласте 13 на разрезе вкрест простирания от поверхности проводим линию под углом φ_0=50^0 до границы наносов с коренными породами. Далее в сторону падения пластов продолжаем линию под граничным углом в данном случае равным углу сдвижения γ_0=γ=65^0 до пересечения с пластами 11 и 13. Эти точки пересечения a_1($б_1$) и a_2($б_2$) будут являться нижними границами целика по пластам 11 и 13.

Со стороны восстания пластов линии, проведенные под граничными углами β_0=45^0 и β_0=48^0 от границы наносов с коренными породами, будут пересекать оба пласта выше горизонта 600 м, поэтому границей предохранительных целиков со стороны восстания пластов будут являться точки пересечения e_1($ж_1$), e_2($ж_2$).

На разрез по простиранию наносим с плана границы охраняемой площади точки Б(В) и А(Г) и с разреза вкрест простирания – верхние и нижние границы целиков по пластам. Из точек Б(В) и А(Г) проводим линии под углами φ_0=50^0 и далее под граничными углами δ_0=70^0 и δ_0=73^0 до глубины 600 м.

Из тех же точек Б(В) и А(Г) проводим линии под углами сдвижения δ=67^0 (для пласта 13) и δ=70^0 (для пласта 11) до пересечения с нижними границами целика на разрезе вкрест простирания. Соединяя точки пересечения на горизонте 600 м с нижними границами целиков по пластам, получаем контуры предохранительного целика на разрезе по простиранию (с учетом изломов на горизонте 600 м) по пласту 13 – $ж_1 e_1 г_1 а_1 б_1 д_1$, по пласту 11 – $ж_2 e_2 г_2 а_2 б_2 д_2$.

Переносим соответствующие точки с разрезов вкрест простирания и по простиранию на план и получаем контуры предохранительных целиков в плане $а_1 б_1 д_1 ж_1 e_1 г_1$; $а_2 б_2 д_2 ж_2 e_2 г_2$.

В соответствии с рекомендациями примера 7.2.1 определяем минимальные допустимые размеры целиков.

Подсчитываем запасы угля в предохранительных целиках.

7.2.3. Построение целика для железной дороги (рис. 7.5)

На шахтном поле в Кизеловском угольном бассейне проходит двухколейная железная дорога общего пользования со стыковыми путями. Скорость движения поездов 80 км/ч. Грузонапряженность дороги 10 млн ткм/км. Под железной дорогой залегает пласт 13 мощностью 2,2 м. Угол падения пласта α = 20°. Мощность наносов h = 10 м.

Согласно п. 4.4.1 (табл. 4.14 и табл. 4.15) железная дорога относится к III категории, допустимые показатели деформаций поверхности составляют: наклон - $[i_д] = 8 \cdot 10^{-3}$; горизонтальные деформации - $[\varepsilon_д] = 6 \cdot 10^{-3}$.

Безопасная глубина разработки пласта (формула 5.1), исходя из допустимого показателя наклонов, составит

$$H_б = k_i \frac{m}{[i_д]} = 1{,}2 \cdot \frac{2{,}2}{8 \cdot 10^{-3}} = 330 \text{ м},$$

а, исходя из допустимого показателя горизонтальных деформаций

$$H_б = k_\varepsilon \frac{m}{[\varepsilon_д]} = 0{,}5 \cdot \frac{2{,}2}{6 \cdot 10^{-3}} = 183 \text{ м}.$$

Для Кизиловского бассейна при α = 20°, K_i = 1,2, K_ε = 0,5 (табл. 5.1 и табл. 5.2).

Из двух значений безопасной глубины разработки, вычисленных по допустимым наклонам и горизонтальным деформациям, принимаем наибольшее, т.е. 330 м.

Для охраны железной дороги по ряду технико-экономических соображений целесообразно оставить предохранительный целик.

При построении целика соблюдается следующая последовательность:

1. На плане, где нанесены железная дорога и изолинии пласта, от границы выемки или основания насыпи откладываем предохранительную

берму, равную 10 м. Получаем границу охраняемой площади на земной поверхности.

2. Определяем углы сдвижения. Для Кизеловского бассейна при α = 20°они составят β = 64°, γ = 75°, δ = 75°, φ = 55° (табл. 2.1 и 2.2).

3. Криволинейные границы охраняемой площади разбиваем на несколько прямолинейных отрезков. Получаем характерные точки на контуре охраняемой площади АВДЖИЛБГЕЗКМ.

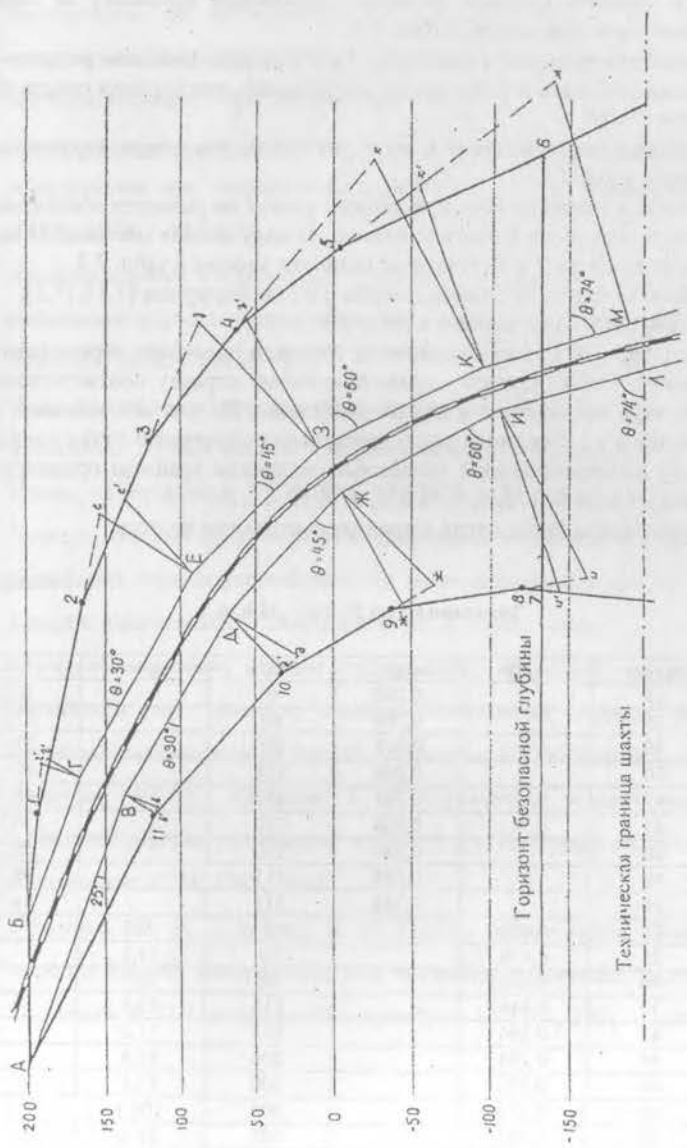


Рис.7.5. Построение предохранительного целика для охраны железной дороги

4. Определяем графически углы Θ (острые углы между линией простирания пласта и соответствующей границей охраняемой площади) на плане. Найденные значения Θ приведены в табл. 7.3.

5. Определяем значения котангенса β′ и γ′ при диагональном расположении охраняемого объекта относительно направления простирания пласта по формулам (7.3) и (7.4).

Вычисленные значения ctg β′ и ctg γ′ для соответствующих характерных точек приведены в табл. 7.3.

6. Вычисляем значения H в характерных точках по разности абсолютных отметок земной поверхности и изогипс пласта. Из полученных значений H вычитаем мощность наносов h и полученные разности вносим в табл. 7.3.

7. Вычисляем длины перпендикуляров q и l по формулам (7.1), (7.2).

Полученные значения вносим в табл. 7.3.

8. В характерных точках охраняемой площади проводим перпендикуляры таким образом, чтобы каждому прямолинейному отрезку соответствовали два перпендикуляра по падению и два по восстанию. На них откладываем вычисленные отрезки q и l. Соединяя последовательно полученные точки линиями и продолжив их до пересечения с соседними, получаем границы предохранительного целика в плане Б, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, А.

9. Подсчитываем запасы угля в предохранительном целике.

Таблица 7.3

Значения Θ, ctg β′, ctg γ′, H-h, q, l

Точки	Θ, град	ctg β′	ctg γ′	H-h, м	q, м	l, м
А	25		0,268	0		10,0
В	25		0,268	60		27,6
В	30		0,268	60		27,6
Д	30		0,268	135		49,5
Д	45		0,268	135		48,9
Ж	45		0,268	210		70,5
Ж	60		0,268	210		69,2
И	60		0,268	315		98,7
И	74		0,268	315		96,7
Б	25	0,456		0	10,0	
Г	25	0,456		36	24,2	
Г	30	0,445		36	24,1	
Е	30	0,445		115	55,1	
Е	45	0,394		115	51,2	
З	45	0,394		200	81,8	
З	60	0,335		200	73,1	
К	60	0,335		305	106,1	
К	74	0.287		305	95,0	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях.* – М.: Недра, 1989. – 96 с.
2. *Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений.* – М.: Недра, 1988. – 112 с.
3. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.* – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 291 с.
4. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ при разработке меднорудных месторождений Урала.* – Свердловск: УНИПРМЕДЬ, 1978. – 51 с.
5. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на месторождениях руд черных металлов Урала и Казахстана.* – Свердловск: ИГД, 1990. – 64 с.
6. *Временные правила охраны сооружений, природных объектов и горных выработок от вредного влияния подземных горных разработок на золоторудных месторождениях.* – Иркутск: ИРГИРЕДМЕТ, 1993. – 76 с.
7. *Туринцев, Ю. И., Храмцов, Б. А.* Сдвижение земной поверхности под влиянием горных разработок: в 2 ч. / Ю. И. Туринцев, Б. А. Храмцов. – Свердловск: СГИ, 1983, 1984.
8. *Туринцев, Ю. И., Самарин, В. П.* Горная геомеханика. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием подземных разработок / Ю. И. Туринцев, В. П. Самарин. - Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 150 с.

Учебное издание

Юрий Иванович Туринцев
Владимир Петрович Самарин

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие
для лабораторных работ по дисциплине "Маркшейдерское обеспечение безопасности горных работ" для студентов специальности 130402 - "Маркшейдерское дело" (МД) направления 130400 - "Горное дело"

2-е изд., исправл. и доп.

Корректура кафедры маркшейдерского дела

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16. Гарнитура Tames New Roman.
Печать на ризографе. Печ. л. 4,75. Тираж 150 экз. Заказ №43

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинала макета в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Жабко А.В.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Методические указания к самостоятельной работе и задания для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело» направленность «Маркшейдерское дело» очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для обучающихся по освоению учебной дисциплины

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Ознакомиться с календарно-тематическим планом самостоятельной работы обучающихся.

3. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

4. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы студента преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется проверка расчетно-графических работ, опрос. Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов (СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента по данной учебной дисциплине. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы студентов, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРС, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий химии, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обоб-

щение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служат вопросы для самопроверки, позволяющие контролировать степень успешности изучения учебного материала.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, студентам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

При самостоятельном изучении теоретического курса студентам необходимо:

самостоятельно освоить и проработать темы теоретического курса в соответствии с учебной программой дисциплины, основательно подготовить ответы на вопросы, приведенные после каждой темы.

Самостоятельно изучаемые вопросы курса в последующем включаются в экзаменационные билеты.

Темы на самостоятельное изучение выдаются студентам на лекционных занятиях.

1. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок, карстогенеза и т.д.
2. Условия безопасной подработки зданий, сооружений и природных объектов.
3. Меры охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов.
4. Построение предохранительных целиков.
5. Наблюдения за сдвижением горных пород, земной поверхностью и подработанными объектами (зданиями и сооружениями).
6. Проект наблюдательной станции. Горно-экологический мониторинг сдвижений на подрабатываемых территориях.
7. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности с применением моделей сплошных сред и традиционными методами.
8. Сдвижение горных пород при строительстве метрополитенов, особенности.
9. Опасные зоны
10. Особенности процесса сдвижения горных пород при разработке месторождений углеводородов. Геодинамические полигоны. Техногенные землетрясения.

ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИЛА ЛЕКЦИЙ

Для приобретения прочных знаний и выработки навыков самостоятельной работы по учебной дисциплине «Маркшейдерское обеспечение безопасности горных работ» необходимо повторить материал лекционных занятий, а также прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную для самостоятельного изучения по данной дисциплине [1-7]. Работа с материалом должна носить системный характер.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Для успешной подготовки к практическим занятиям обучающемуся невозможно ограничиться слушанием лекций. Требуется предварительная самостоятельная работа по теме планируемого занятия. Не может быть и речи об эффективности занятий, если обучающиеся предварительно не поработают над конспектом, учебником, учебным пособием, чтобы основательно овладеть теорией вопроса.

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Тема 1: Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок, карстогенеза и т.д

1. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок.
2. Термины, определения, основные понятия, цели и задачи науки (дисциплины).
3.. Параметры процесса сдвижения горных пород.
4. Влияние трещиноватости на угловые параметры процесса сдвижения.

Тема 2: Условия безопасной подработки зданий, сооружений и природных объектов.

1. Условия безопасной подработки зданий, сооружений.
2. Допустимые и предельные деформации земной поверхности подрабатываемых объектов.

Тема 3: Меры охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов.

1. Горные меры охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов.
2. Конструктивно-строительные меры охраны подрабатываемых сооружений и природных объектов.

Тема 4: Построение предохранительных целиков.

1. Способы построения предохранительных целиков.

Тема 5: Наблюдения за сдвижением горных пород, земной поверхностью и подработанными объектами (зданиями и сооружениями).

1. Наблюдения за сдвижением горных пород, земной поверхностью и подработанными объектами (зданиями и сооружениями).
2. Методы изучения сдвижения толщи горных пород.

Тема 6: Проект наблюдательной станции.

1. Проект наблюдательной станции.
2. Горно-экологический мониторинг сдвижений на подрабатываемых территориях.

Тема 7: Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности.

1. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности от отдельной очистной выработки.
2. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности от нескольких выработок.
3. Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций на рудных мемторождениях.

Тема 8: Сдвижение горных пород при строительстве метрополитенов, особенности.

1. Сдвижение горных пород при строительстве метрополитенов, особенности.

Тема 9: Опасные зоны.

1. Опасные зоны. Классификация.
2. Порядок ведения горных работ в опасных зонах.
3. Роль маркшейдерской службы предприятия в установлении, расчете, выносе границ опасных зон и разработке проектов ведения горных работ в опасных зонах.

Тема 10: Особенности процесса сдвижения горных пород.

1. Особенности процесса сдвижения горных пород при разработке месторождений углеводородов.
2. Геодинамические полигоны.
3. Техногенные землетрясения.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *экзамену* по дисциплине «*Маркшейдерское обеспечение безопасности горных работ*» обучающемуся рекомендуется:

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 *Маркшейдерское обеспечение безопасности горных работ*». Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса.

Рекомендуемая литература

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб., 1998. – 291 с. (Минтопэнерго РФ РАН. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ).

2. Туринцев Ю.И., Самарин В.П. Горная геомеханика ч. 1. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием подземных разработок: Учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2001. – 150 с.

3. Борщ-Компониец В.И., Батугина И.М., Варлашкин В.М., и др. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках. – М.: Недра, 1984. – 247 с.

4. Учебно-методическое пособие по дисциплине ” Маркшейдерское обеспечение безопасности горных работ ” для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело».

5. РД-07-113-96. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок (с изм. 1 - РДИ 07-471(113)-02). Госгортехнадзор России, 2002 г.

6. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. - М.: Недра, 1988. – 112 с. (Разраб. ВНИМИ, введ. 03.07.1986 г.).

7. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей. - СПб., 2008. – 95 с. (согл. Ростехнадзором 30.04.2008 г.).

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гордеев В.А., Раева О.С.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение маркшейдерских съемок должно проводиться с точностью, отвечающей требованиям, предъявляемым технологией ведения горных работ. Эти требования сводятся к необходимости расчетов, связанных с оценкой точности прокладываемых теодолитных, нивелирных ходов, ориентирно-соединительных съемок и предрасчета точности сбойки горных выработок.

Недостаточно точное решение многих маркшейдерских задач может привести к значительному ущербу, снижению безопасности горных работ. Избыточная точность ведет к ненужной затрате сил и времени маркшейдера, к излишним расходам средств на выполнение горных работ.

Горный инженер-маркшейдер должен уметь анализировать точность предстоящих маркшейдерских работ, выбрать и разработать рациональную методику их проведения.

В учебно-методическом пособии рассматриваются типовые примеры анализа точности основных результатов маркшейдерских работ, излагается последовательность расчетов, даются необходимые формулы и формуляры.

1. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В процессе создания опорных и съемочных маркшейдерских сетей выполняются угловые и линейные измерения. Маркшейдер должен уметь правильно рассчитать или принять для дальнейших расчетов средние квадратические ошибки (СКО) любого маркшейдерского измерения.

1.1. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Расчет СКО измерения горизонтального угла выполняется по формуле:

$$m_\beta = \sqrt{m_и^2 + \frac{\rho^2}{2a^2b^2}\left[e_с^2\left(a^2+b^2\right)+e_т^2\left(a^2+b^2-2ab\cos\beta\right)\right]}, \quad (1.1)$$

где $m_и$ – составляющая ошибки, зависящая от точности теодолита и способа измерения угла; a, b – длины сторон измеряемого угла, м; β – значение измеряемого угла, град.; $e_с$, $e_т$ – линейные ошибки центрирования теодолита и сигналов, мм; ρ – градусное выражение радиана (в 1 радиане 206265″, или 3438′, или 57,3°).

В расчетах по формуле (1.1) следует принимать $\rho = 206$.

Как правило, в расчетах принимается измерение угла способом приемов. СКО $m_и$ рассчитывается по формуле:

$$m_и = \frac{m}{\sqrt{n}}, \tag{1.2}$$

где m – СКО измерения угла одним приемом; n – число приемов.

Ошибка измерения угла одним приемом определяется типом прибора, у отечественных приборов она указывается в маркировке (для теодолитов типа Т5 $m = 5''$, Т2 – $m = 2''$ и т.д.). Сведения о СКО измерения угла одним приемом приводятся в паспорте прибора, их можно найти в справочной литературе.

1.2. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В маркшейдерской практике измерение длин полигонометрических ходов производится металлическими рулетками, светодальномерами и электронными тахеометрами.

В случае измерения длин рулеткой СКО определяется по формуле:

$$m_L = \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2}, \tag{1.3}$$

где μ – коэффициент, выражающий влияние случайных ошибок на единицу измеряемой длины; λ – коэффициент, выражающий влияние систематических ошибок на единицу измеряемой длины; L – длина измеряемой линии, м.

Значения коэффициентов μ и λ принимаются равными:

$$\mu = 0{,}0005 \text{ м}^{1/2}, \lambda = 0{,}00005.$$

В случае измерения длин светодальномерами и электронными тахеометрами СКО определяется выражением:

$$m_L = a + bL, \tag{1.4}$$

где L – длина измеряемой линии, км; a – составляющая, обусловленная влиянием ошибок, не зависящих от величины измеряемого расстояния (инструментальные ошибки, личные ошибки наблюдателя), мм; b – коэффициент, учитывающий влияние ошибок, зависящих от величины измеряемого расстояния, мм/км.

Значения a и b определяют опытным путем, они указываются в справочной литературе, в проспектах фирм-изготовителей.

Пример 1.1. Рассчитать СКО измерения длины стороны теодолитного хода рулеткой и светодальномером СП-2 (для СП-2 a = 1,5 мм, b = 2 мм/км) при L = 45 м.

СКО измерения длины рулеткой:

$$m_L = 1000\sqrt{0{,}0005^2 \cdot 45 + 0{,}00005^2 \cdot 45^2} = 4{,}0 \text{ мм};$$

СКО измерения длины светодальномером СП-2:

$$m_L = 1{,}5 + 2 \cdot 0{,}045 = 1{,}6 \text{ мм}.$$

2. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ПЛАНОВЫХ И ВЫСОТНЫХ СЕТЯХ

2.1. СКО ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА ПОСЛЕДНЕЙ СТОРОНЫ ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

СКО дирекционного угла любой стороны свободного теодолитного хода определяется по формуле:

$$m_{\alpha_n} = \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + \sum_{i=1}^{n} m_{\beta_i}^2}, \tag{2.1}$$

где m_{α_0} – СКО дирекционного угла исходной стороны хода; m_{β_i} – СКО i-го горизонтального угла; n – число углов хода от исходной стороны до определяемой стороны.

СКО горизонтального угла определяется по формуле (1.1). В предрасчетах точности в подземных теодолитных ходах можно принимать: $m_{\alpha_0} = 60''$, $m_\beta = 20''$.

Пример 2.1. Определить СКО дирекционного угла 5-й стороны теодолитного хода (см. рис. 2.1). Углы измерялись с точностью $m_\beta = 20''$. Ошибка дирекционного угла исходной стороны $m_{\alpha_0} = 60''$.

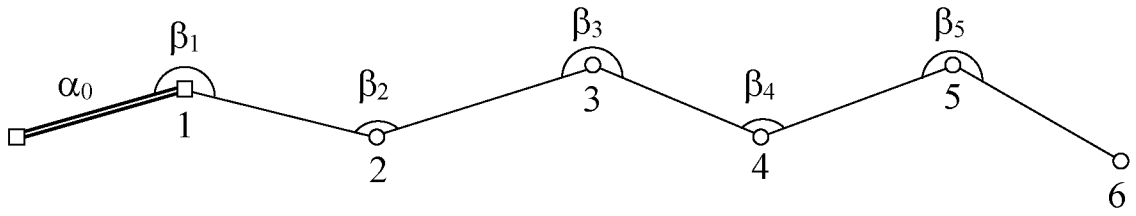


Рис. 2.1. Схема теодолитного хода при $n = 5$

$$m_{\alpha_5} = \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + \sum_{i=1}^{5} m_{\beta_i}^2} = \sqrt{60^2 + 5 \cdot 20^2} = 75''. \qquad (2.2)$$

2.2. СКО КООРДИНАТ ПУНКТА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

2.2.1. СКО КООРДИНАТ ПУНКТА СВОБОДНОГО ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

СКО координат пункта свободного теодолитного хода обусловлена ошибками измерений углов, длин сторон и ошибкой ориентирования первой стороны хода:

$$\begin{aligned} M_x^2 &= M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2 + M_{x_{\alpha_0}}^2, \\ M_y^2 &= M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2 + M_{y_{\alpha_0}}^2, \end{aligned} \qquad (2.3)$$

где M_{x_β}, M_{y_β} – ошибки координат точки, обусловленные ошибками измерения углов:

$$M_{x_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} R_{y_i}^2 m_{\beta_i}^2;$$
$$M_{y_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} R_{x_i}^2 m_{\beta_i}^2 . \qquad (2.4)$$

M_{x_l}, M_{y_l} – ошибки координат точки, обусловленные ошибками линейных измерений. Возможны два случая:

длины сторон хода измерялись рулеткой

$$M_{x_l}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{n} l_i \cos^2\alpha_i + \lambda^2 R_x^2;$$
$$M_{y_l}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{n} l_i \sin^2\alpha_i + \lambda^2 R_y^2 . \qquad (2.5)$$

длины сторон хода измерялись светодальномером

$$M_{x_l}^2 = \sum_{i=1}^{n}(a + bl_i)^2 \cos^2\alpha_i;$$
$$M_{y_l}^2 = \sum_{i=1}^{n}(a + bl_i)^2 \sin^2\alpha_i . \qquad (2.6)$$

$M_{x_{\alpha_0}}$, $M_{y_{\alpha_0}}$ – ошибки координат точки, обусловленные ошибками ориентирования исходной стороны хода

$$M_{x_{\alpha_0}} = R_y m_{\alpha_0}/\rho, \qquad M_{y_{\alpha_0}} = R_x m_{\alpha_0}/\rho. \qquad (2.7)$$

В формулах (2.4) – (2.7) приняты следующие обозначения:

n – число вершин теодолитного хода;

R_{x_i}, R_{y_i} – приращения координат x и y от определяемой точки до остальных вершин теодолитного хода;

m_{β_i} – СКО измерения i-го горизонтального угла;

μ, λ, a, b, – коэффициенты в уравнениях СКО линейных измерений (см. п. 1.2);

l_i – длины сторон теодолитного хода;

α_i – дирекционные углы сторон хода;

R_x, R_y – приращения координат линии, соединяющей начальную и конечную (определяемую) точки хода.

Пример 2.2. Определить СКО координат т. 10 теодолитного хода (рис. 2.2). Ошибка дирекционного угла исходной стороны (1-2) $m_{\alpha_0} = 60''$. Теодолитный ход пройден в прямом и обратном направлениях. Углы измерялись одним приемом теодолитом Т5 (e_c = 0,8 мм, $e_т$ = 1,2 мм), длины измерялись рулеткой.

По результатам измерений (табл. 2.1) вычисляются координаты каждого пункта по формулам прямой геодезической задачи.

Координаты т. 1: x_1 = 15080 м, y_1 = 13900 м. Дирекционный угол начальной стороны $\alpha_{1\text{-}2} = 160° + 8°N$, где N – номер варианта задания.

Вычерчивается план теодолитного хода в масштабе 1:1000 с изображением приращений R_{x_i}, R_{y_i}.

Таблица 2.1

Результаты измерений в теодолитном ходе

Вершины углов теодолитного хода	Значения левых по ходу углов β_i, град.	Стороны хода	Измеренные длины сторон l_i, м
2	83	1-2	56
3	185	2-3	22
4	177	3-4	28
5	158	4-5	33
6	139	5-6	16
7	173	6-7	27
8	187	7-8	21
9	176	8-9	30
		9-10	33

Рис 2.2. Схема свободного теодолитного хода

Находим СКО координат последней точки хода в зависимости от ошибок измерений углов по формулам (2.2). СКО измерений горизонтальных углов рассчитывается по формуле (1.1). Значения приращений берутся с плана теодолитного хода или вычисляются по разности координат $R_{x_i} = x_{10} - x_i$, $R_{y_i} = y_{10} - y_i$. Результаты расчета приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Данные для расчета M_{x_β}, M_{y_β}

№ точек	Координаты, м		R_{y_i}, м	R_{x_i}, м	$m_{\beta i}$, сек.	$\left(\frac{R_{y_i} m_{\beta_i}}{\rho}\right)^2$, мм^2	$\left(\frac{R_{x_i} m_{\beta_i}}{\rho}\right)^2$, мм^2
	x	y					
1	15080,00	13900,00					
2	15027,38	13919,15	85,4	157,0	11,1	21,3	72,1
3	15037,37	13938,76	65,8	147,0	16,5	27,7	138,2
4	15047,85	13964,72	39,8	136,5	13,7	7,0	82,5
5	15061,80	13994,62	9,9	122,6	18,6	0,8	122,2
6	15073,50	14005,54	-1,0	110,9	19,1	0,0	105,6
7	15100,49	14006,48	-1,9	83,9	17,1	0,1	48,5
8	15121,41	14004,65	-0,1	63,0	16,4	0,0	25,3
9	15151,39	14005,70	-1,2	33,0	13,3	0,0	4,5
10	15184,37	14004,54					
						56,9	**598,9**

Величину ρ следует принимать равной 206, а проекции R_{x_i}, R_{y_i} – в метрах, тогда M_x и M_y получим в миллиметрах.

$$M_{x_\beta} = \sqrt{56{,}9} = 7{,}5 \text{ мм}; \quad M_{y_\beta} = \sqrt{598{,}9} = 24{,}5 \text{ мм}.$$

Находим СКО координат последней точки теодолитного хода в зависимости от ошибок измерения длин сторон по формулам (2.5).

Результаты расчетов приведены в табл. 2.3. Заметим, что суммы чисел в столбцах 4 и 5 должны совпадать с числами в столбце 2.

Таблица 2.3

Данные для расчета M_{x_l}, M_{y_l}

Стороны хода	Длины сторон, м	Дирекционные углы сторон, град.	$l_i \cdot \cos^2 \alpha_i$,, м	$l_i \cdot \sin^2 \alpha_i$, м
1	2	3	4	5
1-2	56	160		
2-3	22	63	4,5	17,5
3-4	28	68	4,0	24,1
4-5	33	65	5,9	27,1
5-6	16	43	8,6	7,4
6-7	27	2	27,0	0,03
7-8	21	355	20,8	0,2
8-9	30	2	30,0	0,03
9-10	33	358	33,0	0,04
			133,8	**76,4**

Значения длин и дирекционных углов сторон хода берутся с плана или вычисляются по координатам, используя обратную геодезическую задачу. Первой точкой теодолитного хода является т. 2, поэтому

$$R_x = R_{x_2} = x_{10} - x_2 = 157{,}0\,\text{м}, \quad R_y = R_{y_2} = y_{10} - y_2 = 85{,}4\,\text{м}.$$

СКО координат последней точки теодолитного хода в зависимости от ошибок измерения длин сторон с учетом того, что ход пройден дважды, равны

$$M_{x_l} = 1000\sqrt{\frac{(5\cdot 10^{-4})^2}{2}\cdot 133{,}8 + (5\cdot 10^{-5}\cdot 157{,}0)^2} = 8{,}8\,\text{мм},$$

$$M_{y_l} = 1000\sqrt{\frac{(5\cdot 10^{-4})^2}{2}\cdot 76{,}4 + (5\cdot 10^{-5}\cdot 85{,}4)^2} = 5{,}3\,\text{мм}.$$

Ошибки координат последней точки теодолитного хода, обусловленные ошибкой ориентирования первой стороны, определяем по формулам (2.7):

$$M_{x_{\alpha_0}} = 85{,}4 \cdot 60/206 = 24{,}9 \text{ мм},$$

$$M_{y_{\alpha_0}} = 157{,}0 \cdot 60/206 = 45{,}7 \text{ мм}.$$

Окончательно ошибка координат последней точки теодолитного хода равна (2.3):

$$M_x = \sqrt{7{,}5^2 + 8{,}8^2 + 24{,}9^2} = 27{,}4 \text{ мм},$$

$$M_y = \sqrt{24{,}5^2 + 5{,}3^2 + 45{,}7^2} = 52{,}1 \text{ мм}.$$

С учетом того, что теодолитный ход был пройден дважды (в прямом и обратном направлениях), СКО координат последней точки теодолитного хода составит:

$$M_x = \sqrt{7{,}5^2/2 + 8{,}8^2 + 24{,}9^2} = 26{,}9 \text{ мм},$$

$$M_y = \sqrt{24{,}5^2/2 + 5{,}3^2 + 45{,}7^2} = 49{,}2 \text{ мм}.$$

Предельные (ожидаемые) ошибки координат с учетом коэффициента доверительной вероятности 3 равны:

$$M_{x_{\text{ож}}} = 3 \cdot 26{,}9 = 81 \text{ мм},$$

$$M_{y_{\text{ож}}} = 3 \cdot 49{,}2 = 148 \text{ мм}.$$

2.2.2. СКО КООРДИНАТ ПОСЛЕДНЕГО ПУНКТА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА, ПРОЛОЖЕННОГО МЕЖДУ ДВУМЯ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ СТОРОНАМИ

СКО координат пункта теодолитного хода, проложенного между двумя ориентированными сторонами, обусловлена ошибками измерений углов, длин сторон и ошибками ориентирования первой и последней сторон хода:

$$M_x^2 = M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2 + M_{x_{\alpha_0}}^2 + M_{x_{\alpha_n}}^2,$$
$$M_y^2 = M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2 + M_{y_{\alpha_0}}^2 + M_{y_{\alpha_n}}^2, \qquad (2.8)$$

где M_{x_β}, M_{y_β} – ошибки координат точки, обусловленные ошибками измерения углов:

$$M_{x_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} r_{y_i}^2 m_{\beta_i}^2;$$
$$M_{y_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} r_{x_i}^2 m_{\beta_i}^2. \qquad (2.9)$$

r_{x_i}, r_{y_i} – приращения координат x и y от центра тяжести до вершин теодолитного хода.

M_{x_l}, M_{y_l} – ошибки координат точки, обусловленные ошибками линейных измерений определяются по формулам (2.5) или (2.6), в зависимости от способа измерения длин сторон теодолитного хода.

$M_{x_{\alpha_0}}$, $M_{y_{\alpha_0}}$ – ошибки координат точки, обусловленные ошибками ориентирования первой стороны хода

$$M_{x_{\alpha_0}} = r_{y_1} m_{\alpha_0}/\rho, \qquad M_{y_{\alpha_0}} = r_{x_1} m_{\alpha_0}/\rho. \qquad (2.10)$$

$M_{x_{\alpha_n}}$, $M_{y_{\alpha_n}}$ – ошибки координат точки, обусловленные ошибками ориентирования последней стороны хода

$$M_{x_{\alpha_n}} = r_{y_n} m_{\alpha_n}/\rho, \qquad M_{y_{\alpha_n}} = r_{x_n} m_{\alpha_n}/\rho. \qquad (2.11)$$

Координаты центра тяжести теодолитного хода, проложенного между двумя ориентированными сторонами, определяются по формулам

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i \Big/ n, \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^{n} y_i \Big/ n, \tag{2.12}$$

где n – количество пунктов хода, расположенных между ориентированными сторонами.

Пример 2.3. Определить СКО координат т. 10 теодолитного хода (рис. 2.3). Дирекционный угол последней стороны (9-10) определялся гироскопическим ориентированием. Ошибки дирекционных углов исходной стороны (1-2) m_{α_0} = 60″, конечной стороны (9-10) – m_{α_n} = 20″. Теодолитный ход пройден в прямом и обратном направлениях. Углы измерялись одним приемом теодолитом Т5 ($e_с$ = 0,8 мм, $e_т$ = 1,2 мм), длины измерялись рулеткой.

Для решения задачи используются данные примера 2.2.

Координаты центра тяжести определяются по формулам (2.12)

$$\bar{x} = \frac{x_2 + x_3 + \ldots + x_9}{8} = 15077{,}65 \text{ м},$$

$$\bar{y} = \frac{y_2 + y_3 + \ldots + y_9}{8} = 13979{,}95 \text{ м}.$$

Вычерчивается план теодолитного хода в масштабе 1:1000 с изображением приращений r_{x_i}, r_{y_i}.

Для расчета СКО последней точки теодолитного хода в зависимости от ошибок измерений горизонтальных углов применяются формулы (2.9). Значения приращений r_{x_i}, r_{y_i} берутся с плана теодолитного хода или вычисляются по разности координат $r_{x_i} = x_i - \bar{x}$, $r_{y_i} = y_i - \bar{y}$. Результаты расчета приведены в табл. 2.4.

Величину ρ следует принимать равной 206, а проекции r_{x_i}, r_{y_i} в метрах, тогда M_x и M_y получим в миллиметрах.

$$M_{x_\beta} = \sqrt{41{,}5} = 6{,}4 \text{ мм}; \quad M_{y_\beta} = \sqrt{62{,}1} = 7{,}9 \text{ мм}.$$

Рис 2.3. Схема определения координат последней точки теодолитного хода, проложенного между двумя ориентированными сторонами

Таблица 2.4

Данные для расчета M_{x_β}, M_{y_β}

№ точек	Координаты, м		r_{y_i}, м	r_{x_i}, м	$m_{\beta i}$, сек.	$\left(\frac{r_{y_i} m_{\beta_i}}{\rho}\right)^2$, мм^2	$\left(\frac{r_{x_i} m_{\beta_i}}{\rho}\right)^2$, мм^2
	x	y					
1	15080,00	13900,00					
2	15027,38	13919,15	-60,8	-50,3	11,1	10,8	7,4
3	15037,37	13938,76	-41,2	-40,3	16,5	10,8	10,4
4	15047,85	13964,72	-15,2	-29,8	13,7	1,0	3,9
5	15061,80	13994,62	14,7	-15,8	18,6	1,8	2,0
6	15073,50	14005,54	25,6	-4,1	19,1	5,6	0,1
7	15100,49	14006,48	26,5	22,9	17,1	4,8	3,6
8	15121,41	14004,65	24,7	43,8	16,4	3,9	12,2
9	15151,39	14005,70	25,7	73,7	13,3	2,8	22,5
10	15184,37	14004,54	24,6	106,7			
						41,5	**62,1**

СКО координат последней точки теодолитного хода в зависимости от ошибок измерения длин сторон находятся по формулам (2.5). Значения M_{x_l}, M_{y_l} берутся из примера 2.2.

Ошибки координат последней точки теодолитного хода, обусловленные ошибкой ориентирования первой стороны, определяем по формулам (2.10):

$$M_{x_{\alpha_0}} = 60{,}8 \cdot 60/206 = 17{,}7 \text{ мм},$$

$$M_{y_{\alpha_0}} = 50{,}3 \cdot 60/206 = 14{,}6 \text{ мм}.$$

Ошибки координат последней точки теодолитного хода, обусловленные ошибкой гироскопического ориентирования последней стороны, определяем по формулам (2.12):

$$M_{x_{\alpha_n}} = 24{,}6 \cdot 20/206 = 2{,}4 \text{ мм},$$

$$M_{y_{\alpha_n}} = 106{,}7 \cdot 20/206 = 10{,}4 \text{ мм}.$$

Окончательная ошибка координат последней точки теодолитного хода равна (2.8):

$$M_x = \sqrt{6{,}4^2 + 8{,}8^2 + 17{,}7^2 + 2{,}4^2} = 20{,}9 \text{ мм},$$

$$M_y = \sqrt{7{,}9^2 + 5{,}3^2 + 14{,}6^2 + 10{,}4^2} = 20{,}3 \text{ мм}.$$

С учетом того, что теодолитный ход был пройден дважды (в прямом и обратном направлениях), СКО координат последней точки теодолитного хода составит:

$$M_x = \sqrt{6{,}4^2/2 + 8{,}8^2 + 17{,}7^2 + 2{,}4^2} = 20{,}4 \text{ мм},$$

$$M_y = \sqrt{7{,}9^2/2 + 5{,}3^2 + 14{,}6^2 + 10{,}4^2} = 19{,}5 \text{ мм}.$$

Предельные (ожидаемые) ошибки координат с учетом коэффициента доверительной вероятности 3 равны:

$$M_{x_{\text{ож}}} = 3 \cdot 20{,}4 = 61 \text{ мм},$$

$$M_{y_{\text{ож}}} = 3 \cdot 19{,}5 = 58 \text{ мм}.$$

2.3. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СВОБОДНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫСОТНЫХ ХОДАХ

СКО высотной отметки последней точки свобоодного нивелирного хода рассчитывается по формуле:

$$m_H = m_h \sqrt{n}, \qquad (2.13)$$

где m_h – СКО превышения на станции; n – число станций.

В предрасчетах точности погрешность m_H можно определить по формуле:

$$m_H = 20\,мм\sqrt{L}, \qquad (2.14)$$

где L – длина нивелирного хода, км.

Формула (2.12) справедлива для подземных опорных и съемочных высотных сетей.

При предрасчете точности высотных тригонометрических ходов используют формулы:

$$m_H = 40\text{мм}\sqrt{L} \qquad \text{для опорных сетей} \qquad (2.15)$$

$$m_H = 50\text{мм}\sqrt{L} \qquad \text{для съемочных сетей} \qquad (2.16)$$

Оценка точности фактически проложенных ходов осуществляется по формулам:

если линейные измерения выполнялись рулеткой

$$M_H = \sqrt{\left(\frac{m_\delta^2}{\rho^2}\right)\sum_1^n (l_i \cos\delta_i)^2 + \mu^2 \sum_1^n l_i \sin^2\delta_i + \lambda^2 \sum_1^n (l_i \sin\delta_i)^2 + n(m_i^2 + m_v^2)} \qquad (2.17)$$

если линейные измерения выполнялись светодальномером

$$M_H = \sqrt{\frac{m_\delta^2}{\rho^2}\sum_1^n (l_i \cos\delta_i)^2 + \sum_1^n \left[(a + bl_i)^2 \sin^2\delta_i\right] + n\left(m_i^2 + m_v^2\right)} \qquad (2.18)$$

где m_δ – ошибка измерения угла наклона, сек.; l_i – наклонная длина стороны хода, м; δ_i – угол наклона линии, град.; n – число вершин хода; m_i, m_v – СКО измерения высоты инструмента и сигнала (принимается 2 мм).

Пример 2.4. Определить СКО высотной отметки последнего пункта хода тригонометрического нивелирования, пройденного по наклонной горной выработке от пункта 1 до пункта 6, в прямом и обратном направлениях (табл. 2.5). Вертикальные углы измерялись теодолитом Т5 одним приемом, длины измерялись светодальномером 2СТ10.

Таблица 2.5

Данные тригонометрического нивелирования

Сторона хода	Угол наклона	Наклонная длина стороны, м
1-2	$18^\circ 05' 24''$	139,567
2-3	$17^\circ 56' 18''$	142,835
3-4	$17^\circ 49' 30''$	145,623
4-5	$18^\circ 01' 48''$	229,019
5-6	$18^\circ 12' 36''$	140,825

Принимаем: ошибку измерения вертикального угла $m_\delta = 8''$; составляющие СКО линейных измерений a = 5 мм, b = 3 мм/км; $m_i = m_v = 2$ мм. Результаты расчетов приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Данные для расчета M_H

Сторона хода	$(l_i \cos\delta_i)^2$, м²	$a + bl_i$, мм	$(a + bl_i)^2 \sin^2\delta_i$, мм²
1-2	$17{,}6\times10^3$	5,4	2,8
2-3	$18{,}5\times10^3$	5,4	2,8
3-4	$19{,}2\times10^3$	5,4	2,8
4-5	$47{,}4\times10^3$	5,7	3,1
5-6	$17{,}9\times10^3$	5,4	2,9
	$120{,}6\times10^3$		**14,4**

Общую погрешность M_H получаем по формуле (2.18)

$$M_H = \sqrt{(8/206)^2 \cdot 120{,}6 \cdot 10^3 + 14{,}4 + 5 \cdot (2^2 + 2^2)} = 15{,}4 \text{ мм}.$$

Так как ход был пройден дважды, полученный результат следует разделить на $\sqrt{2}$, т.е. $m_H = 10{,}9$ мм.

Для выполнения данного задания каждый студент принимает значения δ и L из табл. 2.5, вводя поправки $\delta_i = \delta + N°$; $L_i = L + N$, где N – номер варианта.

3. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ

3.1. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ

Ошибка ориентирования через один вертикальный ствол (рис. 3.1) определяется по формуле:

$$M_\alpha^2 = m_{\text{исх}}^2 + m_{\text{цп}}^2 + m_{\text{цш}}^2 + m_{\text{пр}}^2 + \theta^2, \qquad (3.1)$$

где $m_{\text{исх}}$ – СКО исходного дирекционного угла на поверхности; $m_{\text{цп}}$, $m_{\text{цш}}$ – ошибки обусловленные неточностью центрирования теодолита и сигналов на поверхности и в шахте; $m_{\text{пр}}$ – СКО примыкания способом соединительных треугольников на поверхности и в шахте; θ – угловая ошибка проектирования створа отвесов.

Для ориентирования подземных маркшейдерских опорных сетей в качестве подходных пунктов должны использоваться пункты сетей не ниже 1 разряда, поэтому $m_{\text{исх}}$ следует принимать: 5″ – для сетей 4 класса, 10″ – для сетей 1 разряда.

Погрешности центрирования теодолита и сигналов учитывают по формулам:

$$m_{\text{цп}} = 206\sqrt{(e_{\text{тп}}^2 + e_{\text{сп}}^2)/2}\Big/d,$$
$$m_{\text{цш}} = 206\sqrt{(e_{\text{тш}}^2 + e_{\text{сш}}^2)/2}\Big/d_1, \qquad (3.2)$$

где d, d_1 – длины примычных сторон на поверхности и в шахте, м; $e_{\text{тп}}$, $e_{\text{тш}}$ – линейные СКО центрирования теодолита в точках C и C_1, мм; $e_{\text{сп}}$, $e_{\text{сш}}$ – линейные СКО центрирования сигналов в точках D и D_1, мм.

Величины ошибок центрирования теодолита и сигналов см. в 1.1.

СКО примыкания к отвесам на поверхности и в шахте рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{пр}}^2 = \frac{2m_\gamma^2}{3}\left(2 + \frac{\text{tg}\beta}{\text{tg}\gamma} + \frac{\text{tg}^2\beta}{\text{tg}^2\gamma} + \frac{\text{tg}\alpha_1}{\text{tg}\gamma_1} + \frac{\text{tg}^2\alpha_1}{\text{tg}^2\gamma_1}\right), \qquad (3.3)$$

где m_γ рассчитывается по формуле (1.2) в зависимости от типа теодолита и числа приемов.

Угловая ошибка проектирования створа отвесов с поверхности в шахту определяется по формуле:

$$\theta = 206 \cdot e/c \qquad (3.4)$$

где e – линейная ошибка проектирования, принимается 1-2 мм; c – расстояние между отвесами, м.

Пример 3.1. Определить ошибку ориентировки через один вертикальный ствол. Примыкание производилось соединительными треугольниками при двух положениях отвесов (рис. 3.1), углы измерены теодолитом Т5 тремя приемами. Результаты измерений следующие:

на поверхности	**в шахте**
$a = 8{,}241$ м	$a_1 = 2{,}452$ м
$b = 3{,}258$ м	$b_1 = 7{,}321$ м
$c = 4{,}984$ м	$c_1 = 4{,}984$ м
$d = 43{,}634$ м	$d_1 = 28{,}487$ м
$\gamma = 0°54'22''$	$\gamma_1 = 14°20'40''$
$\beta = 0°35'30''$	$\alpha_1 = 7°00'00''$
$\varepsilon = 80°35'32''$	$\varepsilon_1 = 58°31'50''$

Ошибку дирекционного угла исходной стороны на поверхности примем $m_{\text{исх}} = 15''$. Для расчета погрешностей центрирования теодолита и сигналов принимаем: $e_\text{т} = 1{,}2$ мм, $e_\text{с} = 0{,}8$ мм. Тогда

$$m_{\text{цп}} = 206\sqrt{(1{,}2^2 + 0{,}8^2)/2}\,/\,43{,}6 = 4{,}8'',$$

$$m_{\text{цш}} = 206\sqrt{(1{,}2^2 + 0{,}8^2)/2}\,/\,28{,}5 = 7{,}4''.$$

Угловая ошибка проектирования при $e = 1$ мм

$$\theta = 206 \cdot 1/4{,}984 = 41{,}3''.$$

Рис 3.1. Схема к расчету точности ориентировки
через один вертикальный ствол

СКО измерения угла γ:

$$m_\gamma = 5''/\sqrt{3} = 2{,}9''.$$

Погрешность примыкания:

$$m_{\text{пр}}^2 = 2{,}9\sqrt{\frac{2}{3}\left(2 + \frac{\text{tg}\beta}{\text{tg}\gamma} + \frac{\text{tg}^2\beta}{\text{tg}^2\gamma} + \frac{\text{tg}\alpha_1}{\text{tg}\gamma_1} + \frac{\text{tg}^2\alpha_1}{\text{tg}^2\gamma_1}\right)} = 4{,}6''.$$

Общая ошибка двукратного ориентирования составит

$$M_\alpha = \sqrt{15^2 + (4{,}8^2 + 7{,}4^2 + 4{,}6^2 + 41{,}3^2)/2} = 34''.$$

Схема примыкания и точность проектирования отвесов должны обеспечивать погрешность передачи дирекционного угла в шахту не более 60″.

Для выполнения данного задания каждый студент принимает за исходные данные результаты измерений, приведенные в примере 3.1. введя следующие поправки по вариантам:

$$\gamma = \gamma + N', \quad \gamma_1 = \gamma_1 - N', \quad d = d + 0{,}5N, \text{ м},$$

где N – номер варианта (берется в минутах).

3.2. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛА

При анализе точности ориентирования через два ствола проверяется выполнение следующих двух требований:

– СКО дирекционного угла линии, соединяющей отвесы, относительно исходной стороны опорной сети на поверхности не должна превышать 20″;

– СКО дирекционного угла ориентируемой стороны подземного хода (или ближней к стволу, как наиболее слабой) не должна превышать 60″.

Ошибка дирекционного угла створа отвесов на поверхности рассчитывается по формуле:

$$m_{(AB)} = 1/c\sqrt{m_\beta^2 \sum_{i=1}^{n} R_i^2 + \rho^2 \sum_{i=1}^{n} m_{l_i}^2 \sin^2 \varphi_i}\,, \qquad (3.5)$$

где m_β – точность измерения углов в подходных полигонах на поверхности (для полигонометрии 2 разряда m_β = 10″, 1 разряда m_β = = 5″); c – расстояние между отвесами, м; m_{l_i} – точность линейных измерений, мм; ρ = 206; R_i – проекция на створ отвесов расстояния от i-й точки полигона на поверхности до отвеса, к которому проложен полигон, м; φ_i – острый угол между i-й стороной полигона на поверхности и створом отвесов, град.

Точность линейных измерений либо рассчитывается по формуле (1.4) с учетом применявшегося светодальномера, либо принимается в зависимости от разряда подходной полигонометрии, мм:

для ходов 1 разряда $m_l = 0{,}05\ l$,

для ходов 2 разряда $m_l = 0{,}1\ l$,

причем l следует принимать в метрах.

Ошибка дирекционного угла ориентируемой стороны подземного хода определяется по формуле:

$$M_\alpha = \sqrt{m_{\text{исх}}^2 + m_{(AB)}^2 + m_{\alpha_\text{п}}^2 + \theta^2}\,, \qquad (3.6)$$

где $m_{\text{исх}}$ – СКО дирекционного угла исходной стороны на поверхности, от которой проходились полигонометрические ходы (см. 3.1); θ – рассчитывается по формуле (3.4); $m_{(AB)}$ – рассчитывается по формуле (3.5); $m_{\alpha_\text{п}}$ – СКО примыкания на ориентируемом горизонте.

Ошибка примыкания в шахте:

$$m_{\alpha_\text{п}} = 1/c\sqrt{\sum_{1}^{n} m_{\beta_i}^2 R_{\text{ш}i}^2 + \rho^2 \sum_{1}^{n} (m_{l_i}^2 \cdot \sin^2 \varphi_i)}\,, \qquad (3.7)$$

где m_{β_i} – точность измерения угла на i-й точке подземного полигона; m_{l_i} – точность линейных измерений в шахте, мм; ρ = 206; $R_{\text{ш}i}$ – проекция на створ отвеса расстояния от i-й точки полигона до соответ-

ствующего отвеса (между которым и оцениваемой стороной расположена *i*-я точка), м; φ_i – острый угол между *i*-й стороной подземного полигона и створом отвесов, град.

Ошибки линейных измерений рассчитываются по формулам (1.3) и (1.4), причем принимается $\lambda = 0$.

Пример 3.2. Определить ошибки дирекционных углов створа отвесов на поверхности и стороны 4-5 подземного теодолитного хода из двух независимых ориентировок (рис. 3.2).

К отвесам на поверхности от пункта III полигонометрии 4-го класса пройдены подходные полигоны 1 разряда. Соединительный теодолитный ход в шахте проложен по горизонтальным выработкам ($\mu = 0{,}0005$ м$^{1/2}$). Углы в подземном полигоне измерялись теодолитом Т5 одним приемом ($e_c = 0{,}8$ мм, $e_т = 1{,}2$ мм). Расстояние между отвесами $c = 71$ м.

Вспомогательные расчеты приведены в табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Данные для расчета $m_{(AB)}$

Пункты хода	R_i, м	l_i, м	φ_i, град	m_l, мм	R^2_i	$m^2_{l_i} \sin^2 \varphi_i$	Примечания
ход к отвесу *A*							
III	120				14400		$m_\beta = 5''$, $m_l = 0{,}05 \cdot l$
		163	39	8,2		26,63	
IV	7				49		$\sum R_i^2 =$ **14449** м^2
		53	82	2,6		6,63	
A							$\sum m^2_l \sin^2 \varphi_i =$ **33,26** мм^2
ход к отвесу *B*							
III	49				2401		$\sum R_i^2 =$ **3845** м^2
		140	85	7,0		48,63	
II	38				1444		$\sum m^2_l \sin^2 \varphi_i =$ **49,10** мм^2
		40	20	2,0		0,47	
B							$m_\beta = 5''$, $m_l = 0{,}05 \cdot l$

СКО дирекционного угла створа отвесов на поверхности определяем по формуле (3.5).

$$m_{(AB)} = 1/71 \cdot \sqrt{5^2 (14449 + 3845) + 206^2 (33{,}26 + 49{,}10)} = 28{,}0''.$$

Рис. 3.2. Схема полигонов на поверхности и в шахте

Из двух ориентировок $m_{(AB)} = 28{,}0/\sqrt{2} = 19{,}8''$, т.е. не превышает допуск 20″.

Таблица 3.2

Данные для расчета $m_{\alpha_п}$

Пункты хода	$R_{ш_i}$, м	β_i, град	l_i, м	m_{β_i}, сек.	m_{l_i}, мм	$m_{\beta_i}^2 R_{ш_i}^2$	φ_i, град.	$m_{l_i}^2 \sin^2\varphi_i$
A	0							
			19		2,2		55	3,25
1	11	182		16,6		33343		
			35		3,0		58	6,47
2	29	167		10,4		90963		
			54		3,7		45	6,85
3	68	179		9,5		417316		
			43		3,3		44	5,25
4	98	135		8,4		677658		
			72		44,2		1	0,60
5	99	45		6,6		426932		
			43		3,3		44	5,25
6	68	184		10,8		539343		
			38		3,1		48	5,31
7	42	164		13,7		331085		
			25		2,5		32	1,76
8	21	237		15,7		108702		
			22		2,3		89	5,29
9	21	131		15,6		107322		
			27		2,6		40	2,79
B	0					0		
						2732663		**42,81**

Примечание: так как определяется СКО ориентирования подземной стороны 4-5, то проекция $R_{ш_i}$ определяется от пункта *A* до пункта 4 и от пункта 5 до пункта *B*.

Ошибка примыкания в шахте (данные см. в табл. 3.2):

$$m_{\alpha_п} = 1/71\sqrt{2732663 + 206^2 \cdot 42{,}81} = 30{,}0''.$$

Из двух ориентировок:

$$m_{\alpha_п} = 30{,}0/\sqrt{2} = 21{,}2''.$$

Ошибка двойного проектирования створа отвесов (принимаем $e = 2$ мм):

$$\theta = 206 \cdot 2 / \left(71\sqrt{2}\right) = 4{,}1''.$$

Общая ошибка ориентирования стороны 4-5 подземной опорной маркшейдерской сети составляет (с учетом $m_{\text{исх}} = 5''$ – см. 3.1):

$$M_\alpha = \sqrt{5^2 + 19{,}8^2 + 21{,}2^2 + 4{,}1^2} = 29{,}7''.$$

Из расчетов видно, что $M_\alpha = 29{,}7''$ не превышает допуск 60″.

Для выполнения задания каждый студент на листе ватмана строит проект полигона, принимая, с учетом своего варианта, следующие данные (табл. 3.3):

Таблица 3.3

Данные для задания

Пункты	***X*, м**	***Y*, м**
на поверхности		
A	150	615
B	122 - *N*	550 - 0,5·*N*
II	120 + *N*	510 + *N*
III	244 + *N*	444 + *N*
IV	201 + *N*	601 + *N*
в шахте		
1	160	599 + *N*
2	180	570 + *N*
3	200	520 + *N*
4	215	480 + *N*
5	185	415 + *N*
6	170	455 + *N*
7	154	490 + *N*
8	150	515 + *N*
9	130	524 + *N*

где N – номер варианта.

4. ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СБОЙКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Предварительная оценка точности сбойки горных выработок выполняется с целью выбора методики маркшейдерских работ, обеспечивающей требуемую точность сбойки, зависит от назначения сбиваемой выработки и условий ее проходки.

Предрасчет точности сбойки горных выработок выполняется в условной системе координат. Ответственное направление сбойки (обычно перпендикулярно оси выработки в месте сбойки) обозначается осью x'. Кроме того, часто необходимо рассчитать несмыкание забоев по высотным отметкам, т.е. по направлению z.

Предрасчет точности сбойки выполняется в следующей последовательности:

1) устанавливается или рассчитывается предельная ошибка сбойки δ;

2) составляется проект маркшейдерских работ по обеспечению сбойки;

3) принимаются формулы для оценки точности координат точки на месте сбойки;

4) производится расчет геометрической составляющей погрешности сбойки;

5) используя принцип равных влияний или нормированного распределения весов, устанавливается необходимая точность ориентирования угловых, линейных и высотных измерений.

Предельное расхождение забоев горизонтальных и наклонных откаточных выработок в плане (приближенно) рассчитывается по формуле:

$$\delta_{x'} = l \cdot \vartheta / S, \qquad (4.1)$$

где $\delta_{x'}$ – предельное расхождение забоев в плане, м; l – расстояние от постоянного, балластированного рельсового пути до места встречи забоев (l = 30…40 м); ϑ – допустимая разность размеров рельсовой и колесной колеи (ϑ = 28 мм); S – жесткая база электровозов, мм (см. табл. 4.1).

Таблица 4.1

Жесткие базы различных типов электровозов, мм

Контактные электровозы		Аккумуляторные электровозы	
марка	жесткая база	марка	жесткая база
ЭКР-600	810	АК2У	630
4КР1	900	4АРВ2М	900
7КР1У	1200	5АРВ2М	950
10КР2	1200	АРП7	1200
14КР2	1700	АРВ7	1200
К10	1200	АМ8	1200
К14	1800	АРП10	1400
КТ14	1800	АРП14	1655
2КТ28	1800	АРП28	1655

Предельное расхождение забоев горизонтальных и наклонных откаточных выработок по высоте вычисляется по формуле:

$$\delta_z = 4 \cdot l \cdot i_{\text{пр}}, \qquad (4.2)$$

где δ_z – предельное расхождение забоев по высоте, м; l – расстояние от постоянного, балластированного рельсового пути до места встречи забоев (l = 30…40 м); $i_{\text{пр}}$ – допустимое отклонение фактического уклона пути от проектного ($i_{\text{пр}}$ = 0,002);

Предельное расхождение забоев вертикальной выработки, при прохождении ее полным сечением с постоянной крепью обеих частей, не должно превышать 0,10 м, узким сечением – не более 0,40 м.

Предельное расхождение забоев тоннелей метро и других транспортных тоннелей установлено 0,1 м, коллекторных тоннелей – 0,2 м.

4.1. СБОЙКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ С ШАХТНЫМ СТВОЛОМ

Точность сбойки вертикального ствола определяется величиной несовпадения центров ствола на земной поверхности и на горизонте горных работ по ответственному направлению x'. Центры ствола на

поверхности и в шахте выносятся по координатам, заданным в проекте, таким образом, чтобы они находились на одной отвесной линии. Величина несовпадения центров ствола на поверхности и в шахте (ожидаемая ошибка сбойки) зависит от точности ориентирования подземной съемки:

$$M_{\text{сб}}^2 = M_{x'_{\text{п}}}^2 + M_{x'_{\text{ш}}}^2 .$$

Пример 4.1. Координаты центра ствола № 2 определены проложением полигонометрического хода от пункта 202 опорной сети IV класса (рис. 4.1.). Со стволом № 2 (отвес O_2) сбивается горизонтальная выработка, по которой запроектирован теодолитный ход от ствола № 1. Сторона хода 1-2 ориентирована геометрическим способом через ствол № 1, кроме этого, сторону 7-8 предполагается ориентировать гироскопическим способом. К стволу № 1 также проложен полигонометрический ход. Допуск для погрешности сбойки установлен 0,2 м. Требуется для обеспечения сбойки установить необходимую точность угловых и линейных измерений на поверхности и в шахте, а также точность геометрического и гироскопического ориентирования.

Общая погрешность сбойки по направлению x' рассчитывается по формуле:

$$M_{x'}^2 = \frac{\left(m_{\beta_{\text{п}}}^2 \sum R_{y'_{\text{п}}}^2\right)}{\rho^2} + \frac{\left(\sum l_{i_{\text{п}}}^2 \cos^2 \alpha'_{i_{\text{п}}}\right)}{T_{\text{п}}^2} + \frac{m_{\beta_{\text{ш}}}^2 \left(\sum R_{y'_{\text{ш}}}^2 + \sum r_{y'}^2\right)}{\rho^2} + \tag{4.4}$$

$$+ \frac{\left(\sum l_{i_{\text{ш}}}^2 \cos^2 \alpha'_{i_{\text{ш}}}\right)}{T_{\text{ш}}^2} + \frac{m_{\alpha_{\text{п}}}^2 \sum D_{y'_{\text{п}}}^2}{\rho^2} + \frac{m_{\alpha_{\text{ш}}}^2 \sum D_{y'_{\text{ш}}}^2}{\rho^2} + \frac{m_{\alpha_{\text{г}}}^2 \sum D_{y'_{\text{г}}}^2}{\rho^2}$$

где $m_{\beta_{\text{п}}}$, $m_{\beta_{\text{ш}}}$ – СКО измерения углов на поверхности и в шахте; $m_{\alpha_{\text{п}}}$, $m_{\alpha_{\text{ш}}}$ – СКО определения дирекционных углов на поверхности и в шахте; $m_{\alpha_{\text{г}}}$ – СКО дирекционных углов, определенных гироскопическим способом; $T_{\text{п}}$, $T_{\text{ш}}$ – знаменатель относительной СКО линейных измерений на поверхности и в шахте; $R_{y'_{\text{п}}}$ – проекции на ось y' расстояний от вершин полигонов на поверхности до первой точки

подземного полигона (при ориентировке через один ствол) или до отвеса (при центрировании подземной сети одним отвесом); $R_{y'_{\text{ш}}}$ – проекции на ось y' расстояний от вершин подземного полигона до второй точки ориентированной стороны; $r_{y'}$ – проекции на ось y' расстояний от центра тяжести звена с измеренными дирекционными углами до пунктов, составляющих звено; $D_{y'_{\text{п}}}$, $D_{y'_{\text{ш}}}$ – проекции на ось y' сторон фиктивного полигона на поверхности и в шахте; $D_{y'_{\text{г}}}$ – проекции на ось y' сторон фиктивного полигона, с учетом влияния ошибок гироскопического ориентирования; $l'_{i_{\text{п}}}, l'_{i_{\text{ш}}}$ – длины сторон ходов на поверхности и в шахте; $\alpha'_{i_{\text{п}}}, \alpha'_{i_{\text{ш}}}$ – дирекционные углы сторон ходов на поверхности и в шахте в условной системе координат.

За начало координат условной системы принимаем отвес O_2, ответственное направление – ось x' располагается перпендикулярно к оси горизонтальной выработки, для удобства расчетов совпадающей с последней стороной хода 9-O_2.

Координаты центра тяжести хода, проложенного между двумя ориентированными сторонами, определяются в условной системе координат как среднее арифметическое из координат точек звена.

Для рассматриваемого хода:

$$\bar{x}' = \left(x'_2 + x'_3 + \ldots + x'_7\right)/6 = -99\,\text{м},$$

$$\bar{y}' = \left(y'_2 + y'_3 + \ldots + y'_7\right)/6 = 132\,\text{м}.$$

Заметим, что, хотя в ствол № 1 спускалось два отвеса для примыкания соединительным треугольником, они в предрасчете заменяются одной точкой O_1 (центр ствола). Такая замена существенно упрощает расчет практически без потери точности.

Данные к расчету составляющих погрешности сбойки от маркшейдерских работ на поверхности и в шахте приведены в табл. 4.2-4.3.

Рис. 4.1. Схема полигонов на поверхности и в шахте при сбойке горизонтальной выработки с шахтным стволом

В обобщенном виде формула (4.4) выглядит следующим образом:

$$M_{x'} = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta_п} R_п}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{l_п}{T_п}\right)^2 + \left(\frac{m_{\beta_ш} R_ш}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{l_ш}{T_ш}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_п} \cdot \Sigma(D_{п1} + D_{п2})}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_ш} \cdot D_{ш1}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_г} \cdot D_{ш2_г}}{\rho}\right)^2}. \quad (4.5)$$

Для определения точностных характеристик $m_{\beta_п}$, $m_{\beta_ш}$, $T_п$, $T_ш$, $m_{\alpha_п}$, $m_{\alpha_ш}$ используем способ нормированного распределения весов.

Таблица 4.2

Данные к полигонам на поверхности

Номера вершин	$R_{y'_п}$, м	$R^2 y'_п$, м	$l_{i_п}$, м	$\alpha'_{i_п}$, град	$l^2_{i_п} \cos^2 \alpha'_{i_п}$
ход к отвесу O_1					
202	141	19881			
			153	124	7320
I	14	196			
			81	142	4074
C	35	1225			
			28	180	784
O_1	35	1225			
			36	281	47
1	0	0			
					0
ход к отвесу O_2					
202	92	8464			
			119	247	2162
III	18	324			
			36	151	991
O_2	0	0			
					0
		31315	**453**		**15379**

Таблица 4.3

Данные к полигонам в шахте

Номера вершин	$R_{y'_{\text{ш}}}$ ($r_{y'}$), м	$R^2{}_{y'_{\text{ш}}}$ $\left(r^2{}_{y'}\right)$	$l_{i_{\text{ш}}}$, м	$\alpha'_{i_{\text{ш}}}$, град.	$l^2_{i_{\text{ш}}} \cos^2 \alpha'_{i_{\text{ш}}}$
O_1			36	281	47
1			32	243	211
2	73	5329	32	243	211
3	45	2025	28	270	0
4	16	256	41	301	446
5	19	361	32	297	211
6	47	2209	30	315	450
7	68	4624	41	329	1235
8	42	1764	32	333	813
9	28	784	28	270	0
O_2	0	0			
		17352	**332**		**3624**

Рассчитаем значения частных производных в формуле (4.5):

$$R_{\text{п}} = \sqrt{\Sigma R^2_{y'_{\text{п}}}} = \sqrt{31315} = 177 \text{ м},$$

$$l_{\text{п}} = \sqrt{\Sigma l^2_{i_{\text{п}}} \cos^2 \alpha'_{i_{\text{п}}}} = \sqrt{15379} = 124 \text{ м},$$

$$R_{\text{ш}} = \sqrt{\Sigma R^2_{y'_{\text{ш}}} + \Sigma r^2_{y'}} = \sqrt{17352} = 132 \text{ м},$$

$$l_{\text{ш}} = \sqrt{\Sigma l^2_{i_{\text{ш}}} \cos^2 \alpha'_{i_{\text{ш}}}} = \sqrt{3624} = 60 \text{ м},$$

$D_{п1} = 177$ м; $D_{п2} = 92$ м;

$D_{ш1} = 73$ м; $D_{ш2гир} = 132$ м.

Сумма производных S = 957 м.

Требуемая точность измерений определяется по формуле:

$$m_{A_i} = \delta / k_з \sqrt{D_i S}, \qquad (4.6)$$

где δ – допуск на несбойку, м; $k_з$ – коэффициент запаса, для ответственных маркшейдерских работ принимается $k_з$ = 4; D_i – частная производная в формуле (4.5), м; S – сумма производных, м.

После подстановки в формулу (4.6) допуска δ = 0,2 м и других величин, получим:

$m_{\beta_п} / \rho = 0{,}2 / \left(4\sqrt{177 \cdot 957}\right) = 1{,}21 \cdot 10^{-4}$, откуда $m_{\beta_п} = 25''$,

$1/T_п = 0{,}2 / \left(4\sqrt{124 \cdot 957}\right) = 1/6890$,

$m_{\beta_ш} / \rho = 0{,}2 / \left(4\sqrt{122 \cdot 957}\right) = 1{,}46 \cdot 10^{-4}$, откуда $m_{\beta_ш} = 30''$,

$1/T_ш = 0{,}2 / \left(4\sqrt{60 \cdot 957}\right) = 1/4792$,

$m_{\alpha_п} \cdot \Sigma(D_{п1} + D_{п2}) / \rho = 0{,}2 / \left(4\sqrt{(177+92) \cdot 957}\right) = 0{,}98 \cdot 10^{-4}$,

т.е. $m_{\alpha_п} = 20''$,

$m_{\alpha_ш} \cdot D_{ш1} / \rho = 0{,}2 / \left(4\sqrt{73 \cdot 957}\right) = 1{,}89 \cdot 10^{-4}$, т.е. $m_{\alpha_ш} = 39''$,

$m_{\alpha_{гир}} \cdot D_{ш2гир} / \rho = 0{,}2 / \left(4\sqrt{132 \cdot 957}\right) = 1{,}41 \cdot 10^{-4}$,

т.е. $m_{\alpha_{гир}} = 29''$.

Полученные характеристики точности измерений сравниваются с инструктивными (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Требования к опорным маркшейдерским сетям на поверхности и в шахте

Полигонометрия	На поверхности			В шахте	
	4 кл.	1 разр.	2 разр.		
$m_{\alpha_{гир}}$	-	-	-	60″	
m_α	5″	10″	20″	60″	
m_β	-	5″	10″	20″	
T	-	20000	10000	10000	
Нивелирование	IV кл.	техн.	триг.	геом.	триг.
m_δ	-	-	-	-	30″
$m_{мм}$	8	20	-	20	40
m_H	3 мм + 0,05 H, где H берется в м				

Для рассматриваемого примера требуемая точность измерений ниже табличной, за исключением $m_{\alpha_{гир}} = 29 < 60''$, $m_{\alpha_ш} = 23'' < 60''$ и $m_{\alpha_п} = 20''$. Повышение требуемой точности отдельных видов измерений до нормативных значений, приводит к снижению требуемой точности в других видах измерений. Прием на поверхности полигонометрию 2-го разряда, а для шахтных условий зададимся табличными значениями:

$$m_{\beta_п} = 10'',\ T_п = 10000,\ m_{\alpha_п} = 20'',$$

$$m_{\beta_ш} = 20'',\ T_ш = 10000,\ m_{\alpha_ш} = 60'',\ m_{\alpha_{гир}} = 60''.$$

После подстановки принятых значений погрешностей измерений в формулу (4.5), получим ожидаемую СКО сбойки:

$$M_{x'} = \sqrt{\left(\frac{10''\cdot 177}{206265}\right)^2 + \left(\frac{124}{10000}\right)^2 + \left(\frac{20''\cdot 122}{206265}\right)^2 + \left(\frac{60}{10000}\right)^2 +}$$

$$+\left(\frac{20''\cdot(177+92)}{206265}\right)^2 + \left(\frac{60''\cdot 73}{206265}\right)^2 + \left(\frac{60''\cdot 132}{206265}\right)^2} = 0{,}055 \text{ м}.$$

Предельная ошибка сбойки рассчитывается по формуле:

$$M = 3M_x' \qquad (4.7)$$

Для примера 4.1 предельная ошибка сбойки составляет

$$M = 3M_x' = 3\cdot 0{,}055 = 0{,}165 \text{ м},$$

что не превышает допустимой погрешности сбойки, равной 0,2 м.

Исходные данные для выполнения приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Координаты пунктов на поверхности и в шахте, м

Название пункта	***X*, м**	***Y*,м**	**Номер пункта**	***X*, м**	***Y*,м**
202	850 + *N*	540	1	1070	560
I	1000	510	2	1060	590
III	805	650	3	1050	620
O_1	1100 - 0,5*N*	540	4	1030	640
O_1	840	660 + 0,5*N*	5	990	650
C	1080 - 0,5*N*	520	6	960	660
			7	930	660
			8	890	650
			9	860	640

4.2. СБОЙКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ, ПРОХОДЯЩЕЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТВОЛАМИ

Точность сбойки горизонтальной выработки определяется величиной несовпадения осей выработки по двум отвесным направлениям: в плане и по высоте. Ожидаемая ошибка сбойки в плане зависит от ошибок измерения углов и длин сторон теодолитных ходов, пройденных на поверхности и в шахте, и от ошибки ориентирования подземной съемки.

Ожидаемая ошибка сбойки по высоте зависит от ошибок измерений при передаче высотных отметок в шахту и геометрического нивелирования на земной поверхности и в шахте.

Пример 4.2. Требуется определить ошибку сбойки в т. *M* горизонтальной откаточной выработки, прохождение которой планируется на гор. 162 м между двумя вертикальными стволами №1 и №2. Ответственные направления сбойки: в плане по направлению x' и по высоте (рис. 4.2).

Исходными пунктами на поверхности являются точки I, II (пункты сетей IV класса).

Проект полигона маркшейдерской опорной сети включает 10 точек теодолитного хода. Сторону 4-5 предполагается ориентировать гироскопическим способом, сторону D_1-10 – геометрическим (соединительным треугольником).

Необходимые данные для расчетов следует принимать с плана (рис. 4.2).

Решение начинается с расчета допустимых расхождений забоев по ответственным направлениям x' и z – см. формулы (4.1) и (4.2).

Принимая жесткую базу электровоза $S = 1800$ мм, получим:

$$\delta_{x'} = l \cdot \vartheta / S = 30\,\text{м} \cdot 28/1800\,\text{мм} = 0{,}46\,\text{м};$$

$$\delta_z = 4 \cdot l \cdot i = 4 \cdot 30 \cdot 0{,}002 = 0{,}24\,\text{м}.$$

За начало координат условной системы принимаем точку *M*, ответственное направление – ось x' располагается перпендикулярно к оси выработки (см. рис. 4.2).

Рис. 4.2. Схема полигонов на поверхности и в шахте
при сбойке горизонтальной выработки,
проходящей между двумя вертикальными стволами

Для расчета погрешности сбойки по направлению x' используется формула

$$M_{x'} = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta_п} R_п}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{l_п}{T_п}\right)^2 + \left(\frac{m_{\beta_ш} R_ш}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{l_ш}{T_ш}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_п} \cdot \Sigma(D_{п1} + D_{п2})}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_ш} \cdot D_{ш2}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_г} \cdot \Sigma(D_{г1} + D_{г2})}{\rho}\right)^2}, \quad (4.8)$$

Данные к расчету составляющих погрешности сбойки приведены в табл. 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6

Данные к полигонам на поверхности

Номера вершин	$R_{y'_п}$, м	$R^2_{y'_п}$, м	$l_{i_п}$, м	$\alpha'_{i_п}$, град	$l^2_{i_п} \cos^2 \alpha'_{i_п}$
К отвесу O_1					
II	118	13924	91	220	4859
III	60	3600	67	287	384
C	4	16	11	22	104
O_1	0	0			
К отвесу O_2					
II	98	9604	91	220	4859
III	40	1600	101	207	8098
D	6	36	16	158	220
O_2	0	0			
		28780	**377**		**18525**

Таблица 4.7

Данные к полигонам в шахте

Номера вершин	$R_{y'_{ш}}$, м	$R^2 y'_{ш}$	$l_{i_{ш}}$, м	$\alpha'_{i_{ш}}$, град.	$l^2_{i_{ш}} \cos^2 \alpha'_{i_{ш}}$
O_1	0	0			
			17	107	25
C_1	16	256			
			25	78	27
1	40	1600			
			60	90	0
2	100	10000			
			50	90	0
3	150	22500			
			44	90	0
4	194	37636			
			54	138	1610
5	50	2500			
			62	144	2516
6	86	7396			
			52	150	2028
7	112	12544			
			53	270	0
8	59	3481			
			59	270	0
M	0	0			
			20	270	0
9	20	400			
			94	270	0
10	114	12996			
			28	260	24
D_1	18	324			
			19	286	27
O_2	0	0			
		111633	**637**		**6257**

Рассчитаем значения частных производных в формуле (4.8):

$$R_{п} = \sqrt{28780} = 170\,м; \quad l_{п} = \sqrt{18525} = 136\,м;$$

$$R_{ш} = \sqrt{111633} = 334\,м; \; l_{ш} = \sqrt{6257} = 79\,м;$$

$$D_{п_1} = 118\,м; \quad D_{п_2} = 104\,м;$$

$D_{ш2} = 114$ м;

$D_{г1} = 194$ м; $D_{г2} = 50$ м.

Сумма производных $S = 1299$ м.

Требуемую точность измерений определим по формуле (4.6) при $\delta_{x'} = 0{,}46$ м, $K_3 = 4$:

$$m_{\beta_п} / \rho = 0{,}46 / \left(4\sqrt{170 \cdot 1299}\right) = 2{,}45 \cdot 10^{-4}, \text{ откуда } m_{\beta_п} = 50'',$$

$$1/T_п = 0{,}46 / \left(4\sqrt{136 \cdot 1299}\right) = 1/3655,$$

$$m_{\beta_ш} / \rho = 0{,}46 / \left(4\sqrt{334 \cdot 1299}\right) = 1{,}75 \cdot 10^{-4}, \text{ откуда } m_{\beta_ш} = 36'',$$

$$1/T_ш = 0{,}46 / \left(4\sqrt{79 \cdot 1299}\right) = 1/2786,$$

$$m_{\alpha_п} \cdot \Sigma(D_{п1} + D_{п2}) / \rho = 0{,}46 / \left(4\sqrt{(118 + 104) \cdot 1299}\right) = 2{,}14 \cdot 10^{-4},$$

т.е. $m_{\alpha_п} = 44''$,

$$m_{\alpha_ш} \cdot D_{ш1} / \rho = 0{,}46 / \left(4\sqrt{114 \cdot 1299}\right) = 2{,}99 \cdot 10^{-4},$$

т.е. $m_{\alpha_ш} = 62''$,

$$m_{\alpha_г} \cdot \Sigma(D_{г1} + D_{г2}) / \rho = 0{,}46 / \left(4\sqrt{(194 + 50) \cdot 1299}\right) = 2{,}04 \cdot 10^{-4},$$

т.е. $m_{\alpha_г} = 42''$.

Сравнивая полученные значения требуемой точности с нормативными значениями (табл. 4.4), замечаем, что требуемая точность ниже нормативной по всем составляющим кроме $m_{\alpha_г} = 42'' < 60''$. Следовательно, можно проектировать: на поверхности полигонометрию 2-го разряда ($m_{\beta_п} = 10''$, $T_п = 10000$) в шахте – подземный

теодолитный ход ($m_{\beta_ш} = 20''$, $T_ш = 10000$); производить однократное ориентирование подземной сети через стволы №1 и №2 ($m_{\alpha_ш} = 60''$) и гироскопическое ориентирование ($m_{\alpha_г} = 60''$). При этих данных СКО сбойки составит:

$$M_{x'} = \sqrt{\left(\frac{10''\cdot 170}{206265}\right)^2 + \left(\frac{136}{10000}\right)^2 + \left(\frac{20''\cdot 334}{206265}\right)^2 + \left(\frac{79}{10000}\right)^2 +}$$

$$+\left(\frac{20''\cdot\sum(118+104)}{206265}\right)^2 + \left(\frac{60''\cdot 114}{206265}\right)^2 + \left(\frac{60''\cdot\sum(194+50)}{206265}\right)^2} = 0{,}089 \text{ м}.$$

Предельная ошибка сбойки $M_{x'\text{пред}} = 3M_{x'} = 3\cdot 0{,}089 = 0{,}267$ м, что находится в пределах допустимой погрешности сбойки, равной $\delta_{x'} = 0{,}46$ м.

Общая погрешность сбойки по направлению z (в вертикальной плоскости) рассчитывается по формуле:

$$M_z = \sqrt{m_{H_1}^2 + m_{H_2}^2 + m_{h_п}^2 (L_{1_п} + L_{2_п}) + m_{h_ш}^2 (L_{1_ш} + L_{2_ш})}, \qquad (4.9)$$

где m_{H_1}, m_{H_2} – СКО передачи высотной отметки на горизонт сбойки, в нашем случае $m_{H_1} = m_{H_2}$; $m_{h_п}$, $m_{h_ш}$ – СКО нивелирования 1 км хода на поверхности и в шахте, мм; $L_п$, $L_ш$ – длины нивелирных ходов на поверхности и в шахте, км.

Формула (4.9) преобразуется к виду:

$$M_z = \sqrt{\left(\sqrt{2}m_H\right)^2 + \left(\sqrt{L_{1_п} + L_{2_п}}\, m_{h_п}\right)^2 + \left(\sqrt{L_{1_ш} + L_{2_ш}}\, m_{h_ш}\right)^2} = \qquad (4.10)$$

$$= \sqrt{\left(am_H\right)^2 + \left(L_п m_{h_п}\right)^2 + \left(L_ш m_{h_ш}\right)^2},$$

где a, $L_п$, $L_ш$ – производные.

Рассчитываем значения производных для рассматриваемого примера:

$$a = \sqrt{2} = 1{,}41;$$

$$L_{\text{п}} = \sqrt{L_{1_{\text{п}}} + L_{2_{\text{п}}}} = \sqrt{0{,}377} = 0{,}61;$$

$$L_{\text{ш}} = \sqrt{L_{1_{\text{ш}}} + L_{2_{\text{ш}}}} = \sqrt{0{,}637} = 0{,}80.$$

Длины полигонов принимаем по табл. 4.5 – 4.6. Сумма производных S = 2,82. Требуемую точность измерений определяем по формуле (4.6) при δ = 0,24 м = 240 мм и $K_3 = 4$:

$$m_H = 240 \text{ мм} / \left(4\sqrt{1{,}41 \cdot 2{,}82}\right) = 29 \text{ мм},$$

$$m_{h_{\text{п}}} = 240 \text{ мм} / \left(4\sqrt{0{,}61 \cdot 2{,}82}\right) = 46 \text{ мм},$$

$$m_{h_{\text{ш}}} = 240 \text{ мм} / \left(4\sqrt{0{,}80 \cdot 2{,}82}\right) = 40 \text{ мм}.$$

Полученные величины сравниваются с табличными (табл. 4.4). При глубине ствола H = 162 м:

$$m_{H\ \text{табл.}} = 3 \text{ мм} + 0{,}05 \text{ мм} \cdot 162 \text{ м} = 11 \text{ мм} < m_H.$$

Все требуемые значения точности измерений оказались ниже нормативных, следовательно, при оценке СКО сбойки можно принять следующую методику измерений: техническое нивелирование на поверхности и в шахте:

$$m_{h_{\text{п}}} = m_{h_{\text{ш}}} = 20 \text{ мм}, \quad m_H = 11 \text{ мм}.$$

Пересчет СКО сбойки для принятой методики выполняется по формуле (4.10):

$$M_z = \sqrt{\left(\sqrt{2} \cdot 11\right)^2 + \left(0{,}61 \cdot 20\right)^2 + \left(0{,}80 \cdot 20\right)^2} = 25{,}4 \text{ мм}.$$

Предельная ошибка сбойки по высоте равна $M_{z\,\text{пред.}} = 3M_z = 3 \cdot 25{,}4 = 76{,}2$ мм находится в пределах допустимой погрешности, равной $\delta_z = 0{,}24$ м.

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Координаты пунктов на поверхности и в шахте

Название пунктов	***X*, м**	***Y*, м**	**Номер пункта**	***X*, м**	***Y*,м**
II	388 + *N*	320	C_1	286	365
III	330	390 + *N*	1	310	360
C	266	370	2	370	360
D	284	480	3	420	360
O_1	270	360	4	464	360
O_2	290	495	5	500	400
			6	536	450
			7	562	495
			8	509	495
			9	430	495
			10	336	495
			D_1	308	500
			M	**450 + *N***	**495**

где *N* – номер варианта в метрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гордеев В. А.* Теория ошибок и уравнительные вычисления: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург: Изд.-во УГГГА. – 2004. – 429 с.

2. *Голубко Б. П., Гордеев В. А.* Анализ точности маркшейдерских съемок. Часть 2: Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям для студентов профилизации «Маркшейдерское дело» направление 550600 – «Горное дело» – Екатеринбург: Изд. УГГГА, 1996. – 44 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ 3
1.1. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА 3
1.2. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 4
2. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ПЛАНОВЫХ И ВЫСОТНЫХ СЕТЯХ 5
2.1. СКО ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА ПОСЛЕДНЕЙ СТОРОНЫ ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА 5
2.2. СКО КООРДИНАТ ПУНКТА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА 6
2.2.1. СКО КООРДИНАТ ПУНКТА СВОБОДНОГО ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА 6
2.2.2. СКО КООРДИНАТ ПОСЛЕДНЕГО ПУНКТА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА, ПРОЛОЖЕННОГО МЕЖДУ ДВУМЯ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ СТОРОНАМИ 12
2.3. НАКОПЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СВОБОДНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫСОТНЫХ ХОДАХ 17
3. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ 20
3.1. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ 20
3.2. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛА 23
4. ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СБОЙКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК 29

4.1. СБОЙКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ С ШАХТНЫМ СТВОЛОМ 30
4.2. СБОЙКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ, ПРОХОДЯЩЕЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТВОЛАМИ 39
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 47

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Гордеев В.А., Раева О.С.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе
для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»
направленность «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Содержание дисциплины	4
2. Повторение материала лекций	4
3. Самостоятельное изучение тем курса	4
4. Подготовка к практическим занятиям	7
5. Подготовка к опросу и экзамену	9
Рекомендуемая литература	15

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие является руководством к самостоятельной работе обучающийся по дисциплине «Анализ точности маркшейдерских работ».

К самостоятельно работе обучающихся при освоении дисциплины относятся следующие виды работ: повторение материала лекций, самостоятельное изучение тем курса дисциплины, подготовка к практическим занятиям, выполнение расчетно-графических работ, подготовка к экзамену.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Анализ точности является неотъемлемой составляющей маркшейдерских работ. Он применяется для обоснования выбора методики и приборов для выполнения маркшейдерских работ.

Целю дисциплины является освоение методов оценки точности отдельных видов маркшейдерских работ, проектирования маркшейдерских съемочных и опорных сетей.

При этом решаются следующие задачи: оценка точности маркшейдерских измерений, предрасчет необходимой точности измерений при решении разнообразных научно-производственных задач, основы проектирования маркшейдерско-геодезических сетей.

Дисциплина «Математическая обработка результатов измерений» формирует теоретические знания, практические навыки, вырабатывает компетенции, которые дают возможность решать профессиональные задачи в соответствии с видами профессиональной деятельности: производственно-технологической.

2.ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Конспект лекций является подсобным материалом обучающихся при самостоятельной работе при освоении тем курса дисциплины.

3.САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

Самостоятельная работа над дисциплиной включает в себя освоение теоретической части по рекомендуемым литературным источникам в соответствии с темами дисциплины.

Тема 1: Анализ точности угловых, линейных и высотных измерений

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи дисциплины.

Источники ошибок при измерении горизонтальных углов. СКО измерения угла одним приемом. Классификация теодолитов по точности. Ошибки центрирования прибора и сигналов. Формула Гельмерта. Ошибка от неточного горизонтирования прибора. Влияние горизонтальной рефракции. Источники ошибок при измерении вертикальных углов. СКО измерения вертикального угла одним приемом. Точность угловых измерений электронными приборами. Требования к точности угловых измерений.

Источники ошибок при гироскопическом ориентировании. СКО гироскопического ориентирования.

Нормативная точность линейных измерений. Требования к точности линейных измерений. Точность измерения длин оптическими дальномерами. Источники случайных и систематических ошибок при измерении металлическими рулетками. Точность измерения длин рулетками. Источники ошибок при линейных измерениях электронными тахеометрами. Точность измерения длин электронными тахеометрами. Классификация электронных тахеометров по точности.

Источники ошибок при геометрическом нивелировании. СКО превышения. Требования к точности высотных сетей.

Тема 2: Анализ точности линейно-угловых и высотных построений

Распределение СКО дирекционных углов в свободном ходе. Распределение СКО дирекционных углов в ходе между твердыми сторонами. Ошибка положения последнего пункта в свободном ходе. Эллипс ошибок положения пункта полигонометрического хода.

Ошибка положения последнего пункта в ходе между гиросторонами. Ошибка положения последнего пункта в многосекционном ходе. Распределение ошибок в вытянутых ходах.

Распределение СКО реперов в свободном ходе. Распределение СКО реперов в ходе между исходными реперами. Законы накопления ошибок в ходах геометрического нивелирования. Классификация нивелиров по точности. Накопление ошибок в ходах тригонометрического нивелирования.

Тема 3: Анализ точности ориентирно-соединительных съемок

Составляющие погрешности ориентирования через один ствол. Погрешность створа отвесов. СКО примыкания соединительными треугольниками. СКО примыкания соединительными четырехугольниками.

Составляющие погрешности ориентирования через два ствола. СКО дирекционного угла линии отвесов. СКО дирекционного угла стороны подземного соединительного полигона. Распределение ошибок дирекционных углов и координат пунктов соединительного полигона.

Анализ точности многосекционных линейно-угловых построений в подземных выработках. Анализ точности передачи высотной отметки в шахту. Анализ точности высотных ходов в подземных выработках.

Тема 4: Анализ точности маркшейдерских работ на карьерах

Требования к точности пунктов съемочной сети на карьерах. Анализ точности геодезических засечек – прямых (полярной, угловой, линейной, линейно-угловой) и обратных (угловой, линейной, линейно-угловой). Обобщенная формула расчета точности геодезической засечки.

Анализ точности спутникового позиционирования. Источники ошибок при спутниковом позиционировании. Классификация спутниковых приемников по точности. Геометрический фактор. Проект создания опорной или наблюдательной сети с помощью спутниковых систем.

Тема 5: Проектирование маркшейдерских работ необходимой точности

Ошибка положения наиболее удаленного пункта подземной сети. Содержание проекта создания (реконструкции) подземной опорной сети. Принцип нормированного распределения весов.

Допустимая погрешность смыкания забоев. Содержание проекта маркшейдерского обеспечения сбойки. Требования к точности маркшейдерских работ при строительстве тоннелей (коллекторных, транспортных, метро).

4.ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическим занятиям является составляющим общего процесса освоения дисциплины. Она включает в себя подбор необходимых методических материалов и средств для выполнения расчетно-графических работ. Практические занятия состоят из следующих тем.

Анализ точности угловых, линейных и высотных измерений

Расчет СКО измерения горизонтального угла в шахте.

Анализ точности линейно-угловых и высотных построений

Ошибка положения последнего пункта в свободном ходе. Ошибка положения последнего пункта в ходе между гиросторонами.

Анализ точности ориентирно-соединительных съемок

СКО дирекционного угла линии отвесов. СКО дирекционного угла стороны подземного соединительного полигона.

Анализ точности маркшейдерских работ на карьерах

Анализ точности обратной угловой засечки.

Проектирование маркшейдерских работ необходимой точности

Предрасчет точности сбойки двух выработок.

Анализ точности угловых, линейных и высотных измерений

Расчет СКО измерения горизонтального угла в шахте.

Анализ точности линейно-угловых и высотных построений

Ошибка положения последнего пункта в свободном ходе. Ошибка положения последнего пункта в ходе между гиросторонами.

Анализ точности ориентирно-соединительных съемок

СКО дирекционного угла линии отвесов. СКО дирекционного угла стороны подземного соединительного полигона.

5.ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ И ЭКЗАМЕНУ

Подготовка обучающихся к опросу и экзамену является заключительным этапом самостоятельной работы по освоению программы курса дисциплины. Она состоит в проверке усвоенных знаний путем ответов на вопросы, на основании которых составлены экзаменационные билеты.

Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Источники ошибок угловых измерений;
2. Ошибки измерения угла способом приемов;
3. Ошибки центрирования теодолита;
4. Ошибки центрирования сигналов;
5. Анализ совместного влияния ошибок центрирования теодолита и сигналов
6. Классификация теодолитов по точности;
7. СКО измерения вертикального угла одним приемом;
8. Источники ошибок линейных измерений рулетками;
9. Закон накопления ошибок линейных измерений рулетками;
10. Источники ошибок линейных измерений тахеометрами;
11. Закон накопления ошибок линейных измерений тахеометрами;
12. СКО гироскопического ориентирования;
13. Классификация электронных тахеометров по точности;
14. Подбор электронного тахеометра по классу полигонометрии;
15. Распределение СКО дирекционных углов в свободном ходе;
16. Распределение СКО дирекционных углов в ходе между двумя сторонами;
17. Влияние ошибок линейных измерений на положение последней точки свободного хода;
18. Влияние ошибок угловых измерений на положение последней точки свободного хода;

19. Влияние ошибок угловых измерений на положение последней точки хода с двумя гиросторонами;
20. Классификация нивелиров по точности;
21. Источники ошибок при геометрическом нивелировании;
22. Законы накопления ошибок при геометрическом нивелировании;
23. Подбор нивелира по классу нивелирования;
24. Подбор электронного тахеометра по классу нивелирования;
25. Распределение ошибок в свободном нивелирном ходе;
26. Распределение ошибок в нивелирном ходе между двумя исходными реперами;
27. Накопление ошибок в тригонометрическом высотном ходе;
28. Источники ошибок при спутниковом позиционировании;
29. Геометрический фактор при спутниковом позиционировании;
30. Подбор GPS по классу полигонометрии;
31. Подбор GPS по классу нивелирования.

Примерный перечень вопросов для подготовки к опросу

1. Назовите основные задачи (предмет) анализа точности маркшейдерских работ.
2. Назовите источники ошибок при измерении горизонтальных углов.
3. Какие требования предъявляются к точности измерений горизонтальных углов?
4. Какие показатели заложены в классификацию теодолитов по точности?
5. При каких условиях необходимо учитывать ошибки центрирования?
6. Назовите источники ошибок при измерении вертикальных углов.
7. При каких условиях необходимо учитывать ошибки горизонтирования угломерного прибора?
8. Раскройте влияние боковой рефракции на точность угловых измерений.
9. Назовите источники ошибок при гироскопическом ориентировании.
10. Как оценить точность гироскопического ориентирования?
11. Какие требования предъявляются к точности линейных измерений на поверхности и в шахте?
12. Назовите источники ошибок при измерении длин мерными приборами.
13. Запишите законы накопления ошибок при линейных измерениях рулеткой и тахеометром.
14. Какому закону подчиняется распределение СКО дирекционных углов в свободном ходе?
15. Какому закону подчиняется распределение СКО дирекционных углов в ходе между твердыми сторонами?
16. Что понимают под ошибкой положения пункта?
17. Сформулируйте влияние ошибок угловых измерений на ошибки положения пунктов в свободном ходе.

18. Сформулируйте влияние ошибок линейных измерений на ошибки положения пунктов в свободном ходе.
19. Сформулируйте влияние ошибок ориентирования на ошибки положения пунктов в свободном ходе.
20. Назовите элементы эллипса ошибок положения пункта.
21. Сформулируйте влияние ошибок угловых измерений на ошибки положения пунктов в ходе между гиросторонами.
22. Сформулируйте влияние ошибок линейных измерений на ошибки положения пунктов в ходе между гиросторонами.
23. Сформулируйте влияние ошибок ориентирования на ошибки положения пунктов в ходе между гиросторонами.
24. Сформулируйте правила разбиения хода на секции.
25. Сформулируйте влияние ошибок угловых измерений на ошибки положения пунктов в многосекционном ходе.
26. Сформулируйте влияние ошибок линейных измерений на ошибки положения пунктов в многосекционном ходе.
27. Сформулируйте влияние ошибок ориентирования на ошибки положения пунктов в Что понимается под точностью ориентирования шахты?
28. Какие допуски на передачу дирекционного угла с поверхности на подземные горизонты устанавливает Инструкция?
29. Назовите составляющие погрешности ориентирования через один ствол.
30. Какая из составляющих погрешности ориентирования оказывает наибольшее влияние?
31. Что понимают под погрешностью створа отвесов?
32. Какая форма соединительного треугольника является выгодной?
33. Для чего уравнивают углы на примычных точках?
34. Как уравнивание углов на примычных точках сказывается на точности примыкания?

35. Какая схема примыкания соединительным четырехугольником предпочтительнее?
36. Какую роль при примыкании соединительным четырехугольником играют погрешности линейных измерений?
37. Перечислите составляющие погрешности ориентирования через два ствола.
38. Какая составляющая погрешности ориентирования шахты значительно снижается в случае ориентирования через два ствола?
39. Какие составляющие влияют на СКО дирекционного угла линии отвесов?
40. Какие стороны подземного соединительного полигона наиболее слабые?
41. Какие требования предъявляются к точности пунктов съемочной сети на карьерах?
42. Перечислите способы создания съемочных сетей на карьерах.
43. Назовите факторы, определяющие точность геодезической засечки.
44. Что такое «геометрия засечки»?
45. Какими параметрами характеризуется оптимальная засечка?
46. Для чего засечки следует выполнять дважды?
47. Нарисуйте схему двукратной обратной угловой засечки.
48. Чем отличается точность угловой и линейной засечки?
49. Что значит «наиболее удаленный пункт подземной сети»?
50. Какие требования предъявляются к ошибке положения наиболее удаленного пункта подземной сети?
51. В каких случаях составляется проект создания (реконструкции) подземной опорной сети?
52. Какие задачи должны быть решены в проекте выполнения маркшейдерских работ?
53. Раскройте содержание проекта создания подземной опорной сети.

54. Какими параметрами характеризуется точность положения определяемых пунктов относительно исходных?
55. Какими параметрами характеризуется точность взаимного положения определяемых пунктов?
56. Раскройте содержание проекта реконструкции подземной опорной сети.
57. В чем суть принципа нормированного распределения весов?
58. Как устанавливается допустимая погрешность смыкания забоев?
59. Что понимается под опасным направлением сбойки?
60. Укажите опасные направления для каждого типа сбойки.
61. Какие требования предъявляются к сбойке транспортных и коллекторных тоннелей?
62. Раскройте содержание проекта маркшейдерского обеспечения сбойки.
63. Как производится выбор необходимого оборудования для обеспечения сбойки?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Маркшейдерия: учеб. пособие / Б.П. Голубко, В.А. Гордеев, В.Н. Яковлев: под ред. В.А. Гордеева. – Екатеринбург: УГГУ, 2010 – 208 с.
2. *Гордеев В. А., Раева О. С.* Анализ точности маркшейдерских работ. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Анализ точности маркшейдерских работ» для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело специализации «Маркшейдерское дело», 2019. - 49 с.
3. *Гудков В.М., Хлебников А.В.* Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений: Учебник. М.: Недра, 1990. – 335 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Бадулин А.П., Жабко А.В., Алябьева О.Д.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4
1. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ……...5
1.1. Общее положение……...5
1.2. Вертикальная планировка горизонтальной промплощадки…….....…….5
1.3. Вертикальная планировка наклонной промплощадки……..……14
2. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ВЫНОСА ЦЕНТРА И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОСЕЙ СООРУЖЕНИЯ С ПРОЕКТА В НАТУРУ……...19
2.1. Общие положения……..……....19
2.2. Порядок выполнения работы……..……..20
2.3. Оценка точности выноса в натуру центра сооружения……..……... 25
3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОГО МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПОЛИГОНА ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК……...……27
3.1. Общие положения……....27
3.2. Вычисление приращения координат и увязка проектного полигона……..……....31
4. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРОВЕРКА ОДНОКАНАТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА……..……...37
4.1. Общие положения……..……..……37
4.2. Исходные данные и требования к проверке……..37
4.3 Порядок выполнения работы……..…….....40
5. РАЗБИВКА ЗАКРУГЛЕННОЙ ТРАССЫ ПУТИ С ПЕРЕХОДНЫМИ КРИВЫМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ…... 51
5.1. Общие положения……..……....51
5.2. Варианты исходных данных……..……54
5.3. Параметры круговой кривой……..……....56
5.4. Параметры переходной кривой……....56
5.5. Детальная разбивка переходной кривой……....57
5.6. Разбивка пикетажа……...……..60
6. РЕШЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАДАЧ ПО ПЛАНАМ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ БУМАГИ ПЛАНА……..……...61
7. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОКАНАТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ ……64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 76

ВВЕДЕНИЕ

Строительство подземных сооружений требует особого маркшейдерского обеспечения, которое слагается: из маркшейдерских работ, проводимых на поверхности промплощадки, передачи координат с поверхности на горизонты подземного строительства в системе, принятой на поверхности; развития околоствольных выработок, контроля подъемных установок и обслуживания строительства транспортных сооружений при скоростном движении грузопотока.

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с действующей учебной программой по дисциплине «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений». В пособии приводятся исходные данные для выполнения лабораторных работ, рассматривается их содержание, а также даются теоретические основы решения поставленных задач, рекомендации по их выполнению и оформлению результатов.

В учебно-методическом пособии рассмотрены следующие лабораторные работы:

1) вертикальная планировка промышленной площадки;

2) подготовка данных для выноса центра и строительных осей сооружения с проекта в натуру;

3) составление проектного маркшейдерского полигона околоствольных горных выработок;

4) маркшейдерская проверка одноканатного подъемного комплекса;

5) разбивка закруглений трассы пути с переходными кривыми при строительстве транспортных тоннелей;

6) решение маркшейдерских задач по планам с учетом деформации бумаги плана;

7) маркшейдерский контроль геометрических элементов многоканатной подъемной установки.

1. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ

1.1. Общее положение

Вертикальная планировка промплощадки предназначена для сглаживания естественного рельефа, придавая поверхности площадки такую форму, при которой наиболее целесообразно решать вопросы размещения сооружения, транспортных путей и стока воды. Планируемой поверхности площадки обычно придают плоскую форму, чаще горизонтальную или, реже, наклонную. Поэтому существует вертикальная планировка горизонтальной и наклонной площадки.

При вертикальной планировке промплощадки проводят следующие разбивочные работы:

1) разбивку контура промплощадки и закрепление угловых точек;

2) разбивку и закрепление точек строительной сетки;

3) определение высотных отметок H точек строительной сетки;

4) выбор отметки H_0 проектного горизонта;

5) определение рабочих отметок сетки;

6) определение объема земляных работ;

7) исполнительную съемку спланированной площадки.

1.2. Вертикальная планировка горизонтальной промплощадки

Контур площадки разбивают в соответствии с техническим проектом, в котором даны основные размеры площадки, ее положение относительно стволов. Угловые точки контура закрепляют постоянными знаками и проводят разбивку строительной сетки.

Строительная сетка представляет собой систему точек, равномерно покрывающую поверхность планируемой площадки. Выбор системы точек зависит от рельефа поверхности, плоскости и застроенности площадки. Чаще всего выбирают квадратную или прямоугольную сетку со сторонами длиной 10 – 50 м (рис. 1.1).

Точки сетки закрепляют деревянными кольями со сторожками, на которых указывают номера точек и их рабочие отметки. Стороны сетки ориентируют по направлению осей ствола.

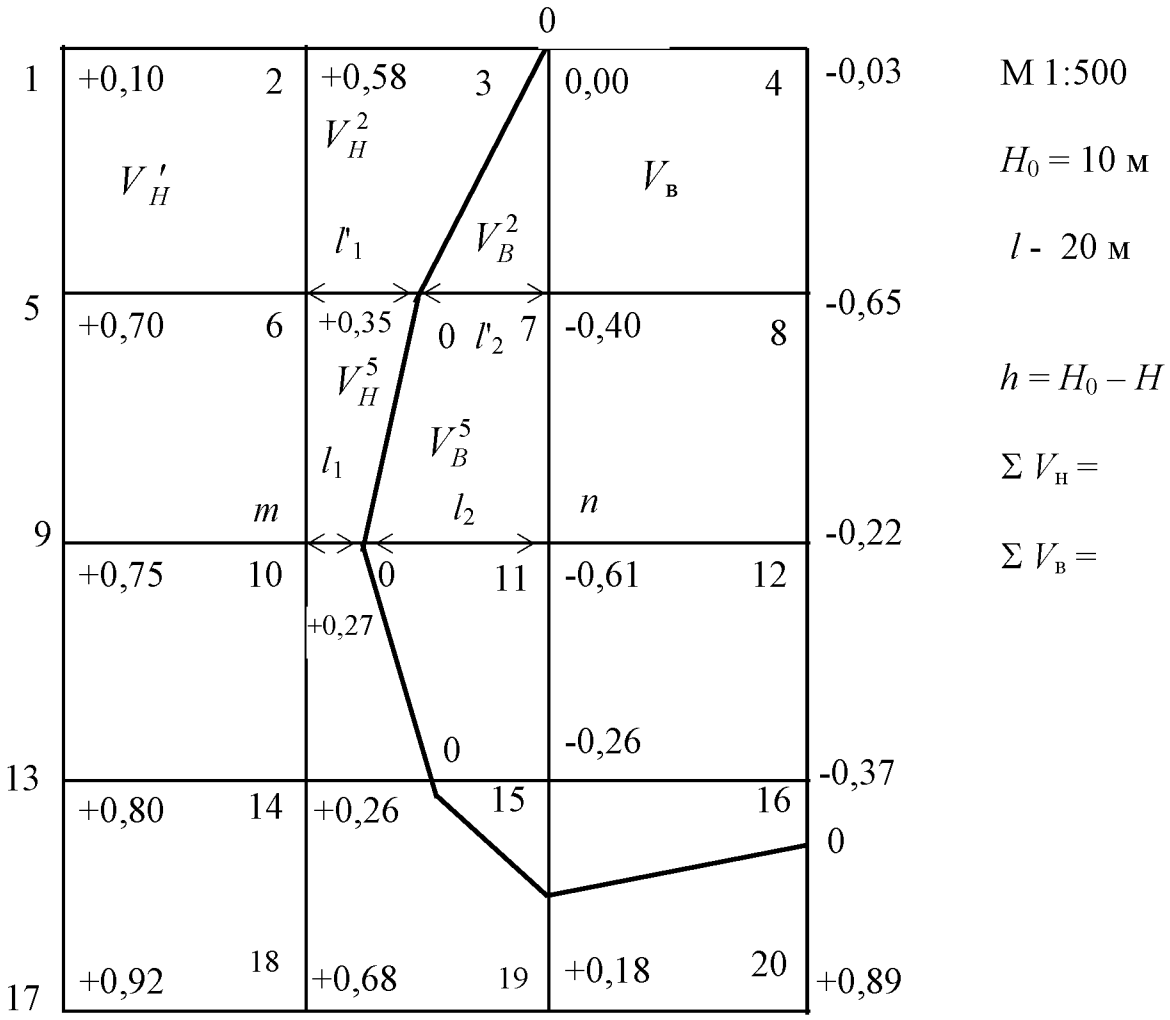


Рис. 1.1. Строительная сетка

Высотные отметки H точек сетки определяют нивелированием или по плану поверхности масштабов 1:500, 1:1000 и 1:2000 с сечением рельефа через 0,5 м.

Высотная отметка H_0 проектного горизонта площадки предусматривается проектом. Если отметка горизонта площадки проектом не предусмотрена, то ее численное значение определяют с учетом рельефа, добиваясь минимального объема земляных работ, при этом:

$$H_0 = H_{ср.} = \frac{\sum H_i}{h},$$

где H_i – высотные отметки точек вершин квадратов; n – количество точек сетки.

Если же проектируемая поверхность промплощадки есть горизонтальная плоскость с проектным горизонтом H_0, то рабочие отметки точек m и n сетки (рис. 1.2) определяют по формулам

$$h_m = H_0 - H_m; \quad h_n = H_0 - H_n.$$

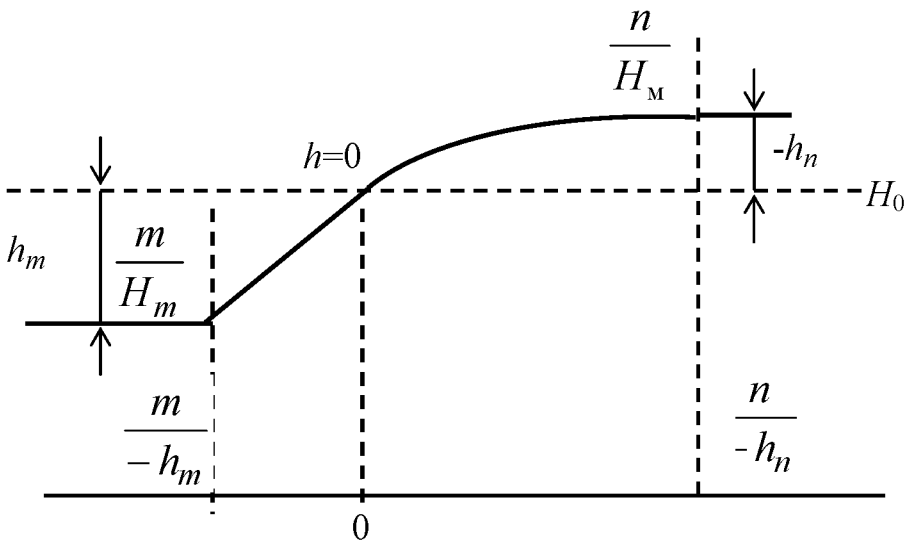


Рис. 1.2. Проектируемая поверхность промплощадки с горизонтальной плоскостью и с проектным горизонтом H_0

Положительные значения рабочих отметок показывают, что в данном месте необходимо сделать подсыпку грунта, отрицательные – выемку грунта.

При определении объема работ составляют схему участка промплощадки.

На схеме (см. рис. 1.1) показывают номера точек и их рабочие отметки, по которым находят линию нулевых работ. Для этого между соседними точками с противоположными знаками численных значений рабочих отметок находят точку с нулевой отметкой (см. рис. 1.2), затем точки с нулевыми отметками соединяют и получают линию нулевых работ (см. рис. 1.1).

Положение точки нулевой отметки легко определить с помощью графика (рис. 1.3), построенного на прозрачной бумаге, или вычислить аналитически по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{|h_m|l}{|h_m|+|h_n|}; \quad l_2 = \frac{|h_n|l}{|h_m|+h_n|},$$

где l – размер стороны квадрата, м.

Расстояние l_1 откладывают от точки m, а l_2 – от точки n по линии, ограниченной этими точками.

Если $l = 20$ м ; $h_m = +\,0{,}27$ и $h_n = -\,0{,}61$ м, то

$$l_1 = \frac{0{,}27 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 6{,}14\ \text{м}\ ; \qquad l_2 = \frac{0{,}61 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 13{,}86\ \text{м}.$$

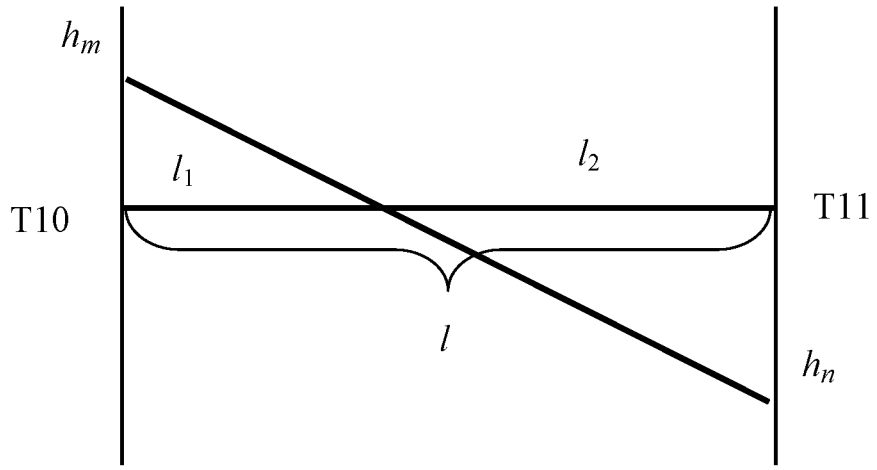


Рис. 1.3. График положения точки нулевой отметки

Объем земляных работ при планировке определяют по выемке и насыпи.

Существует несколько случаев определения объема, (рис. 1.4).

Первый случай. В квадрате рабочие отметки имеют одинаковый знак "+" или "–".

Например, в квадрате 1-2-6-5 по насыпи:

$$V = \frac{1}{4} S(h_1 + h_2 + h_5 + h_6),$$

где S – площадь квадрата, м^2 ; h_1, h_2, h_5, h_6 – значения рабочих отметок, м, с точностью до см.

Аналогично вычисляется объем выемки, например, в квадрате 3-4-8-7.

Второй случай. В квадрате две рабочие отметки имеют один знак, а две другие – противоположный знак, т. е. при наличии линии нулевых работ (см. рис. 1.4).

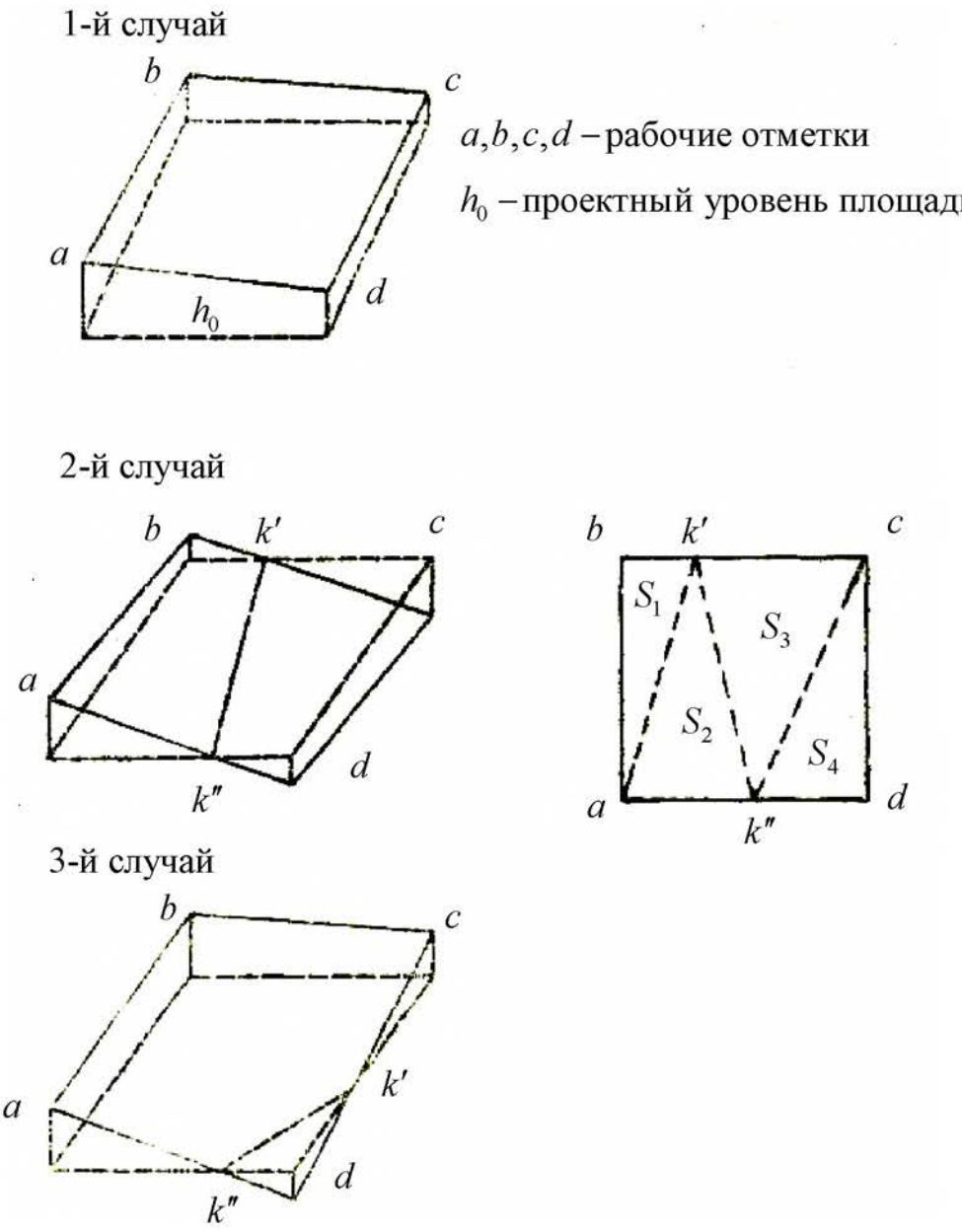


Рис. 1.4. Случаи определения объема

Например, в квадрате 6-7-11-10 объем земляных работ (по насыпи и выемке) вычисляют по формулам:

$$V_{\text{н}} = \frac{1}{6}\left[S_1(2h_{10} + h_6) + S_2(h_{10} + 2h_6)\ \right];$$

$$V_{\text{в}} = \frac{1}{6}\left[S_3(2h_7 + h_{11}) + S_4(h_7 + 2h_{11})\right],$$

или по формулам:

$$V_{\text{н}} = l\,\frac{l_1 + l_1^{'}}{2} \cdot \frac{h_{10} + h_6}{4};$$

$$V_{\text{в}} = l\,\frac{l_2 + l_2'}{2}\cdot\frac{h_7 + h_{11}}{4},$$

где l_1, l_1', l_2, l_2' – расстояние от соответствующих точек квадрата до линии нулевых работ; S_1 – S_4 – площади частей квадрата (вычисляют аналитически):

$$S_1 = \frac{1}{2}l\cdot l_1;\quad S_2 = \frac{1}{2}l\cdot l_1';\quad S_3 = \frac{1}{2}l\cdot l_2;\quad S_4 = \frac{1}{2}l\cdot l_2'.$$

Третий случай. В квадрате три рабочие отметки имеют один знак, а одна – противоположный знак, например, в квадрате 18-14-15-19 (см. рис. 1.1).

В данном случае объем насыпных и выемочных работ вычисляют раздельно. Для этого определяют площади насыпи S_1 и выемки S_2, умножают на средние высоты $h_{\text{ср}}$ насыпи и выемки. Величины площадей S_1 и S_2 определяют разделением их на простые геометрические фигуры (треугольник и пятиугольник или другие фигуры).

Величину рабочей отметки $h_{\text{ср}}$ в нашем случае определяют по формулам

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{15}}{3}$$ – при площади треугольной формы;

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5}$$ – при площади пятиугольной формы.

В данном случае расчеты объемов насыпных и выемочных работ вычисляют (см. рис. 1.4, 3-й случай):

$$V_{\text{н}} = S_1\frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5};$$

$$V_{\text{в}} = S_2\frac{h_{15}}{3},$$

где S_2 – площадь выемки работ, м^2; S_1 – площадь насыпи работ, м^2.

В табл. 1.1 даны варианты задач на определение объема работ при планировке горизонтальной поверхности промплощадки.

Общий объем работ определяют суммированием объемов насыпи и выемки по каждому квадрату

$$\Sigma V_{\text{н}} = V_{\text{н}1} + V_{\text{н}2} + \ldots + V_{\text{н}n};$$
$$\Sigma V_{\text{в}} = V_{\text{в}1} + V_{\text{в}2} + \ldots + V_{\text{в}n}.$$

Таблица 1.1

Высотные отметки точек строительной сетки

Точки сетки / Задача	Высотные отметки *H* точек, м							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8,42	8,35	9,71	9,92	9,25	9,75	10,00	10,42
2	9,93	9,78	9,62	9,25	10,42	10,55	10,05	9,65
3	9,25	8,81	8,42	9,05	9,65	9,24	8,58	9,15
4	9,00	9,40	9,45	9,05	9,15	9,79	10,08	9,70
5	9,05	8,90	9,51	9,15	9,70	9,00	9,65	9,40
6	8,36	8,75	9,24	9,54	8,90	9,41	9,75	10,21
7	8,35	8,75	9,36	8,35	9,40	8,81	8,60	8,80
8	8,85	9,25	9,74	10,23	8,35	9,08	9,70	11,19
9	10,25	10,74	10,60	9,81	10,20	10,79	11,10	10,37
10	10,80	10,20	9,40	9,65	10,60	10,15	9,75	10,05
11	9,65	9,80	10,30	11,11	10,05	10,45	11,00	11,30
12	9,21	9,75	10,21	10,35	9,41	9,85	10,45	10,71
13	10,31	10,11	9,77	10,18	10,76	10,41	9,96	10,05
14	10,18	10,27	10,17	10,33	10,37	10,12	10,55	10,75
15	10,80	9,80	10,00	10,45	10,81	10,31	9,90	9,81
16	10,40	10,70	10,81	10,20	9,80	10,45	10,40	9,85
17	10,60	9,80	10,00	10,50	9,95	9,90	9,85	9,90
18	10,80	11,00	11,35	11,10	9,80	10,45	10,70	10,50
19	11,00	10,10	10,70	11,30	9,90	10,90	10,60	9,90
20	11,20	11,11	10,50	10,00	11,00	11,50	11,10	10,40
21	11,40	10,80	9,80	10,20	10,70	9,80	9,40	10,00
22	11,60	11,30	11,40	10,70	10,30	10,80	11,50	10,80
23	11,80	11,10	10,10	9,60	8,70	10,80	10,25	9,75
24	9,85	10,10	9,05	10,60	9,88	10,15	8,70	9,80

Продолжение табл. 1.1

Точки сетки / Задача	Высотные отметки *H* точек, м							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	9,25	9,70	10,21	10,62	8,20	9,55	10,05	10,45
2	10,62	11,12	10,63	10,15	10,45	10,92	10,76	9,95
3	10,15	9,46	8,90	9,25	9,85	9,52	9,25	9,28
4	9,25	9,78	10,51	10,18	9,28	9,65	10,37	10,62
5	10,17	9,62	9,35	9,75	10,62	9,91	10,20	10,40
6	9,48	9,85	10,30	10,85	10,37	10,50	11,00	11,30
7	9,74	9,60	9,40	9,50	9,41	9,90	10,25	10,40
8	8,29	9,00	9,45	10,00	8,91	9,40	9,71	9,80
9	10,00	10,40	10,35	11,00	10,50	9,80	9,89	9,75
10	10,20	9,60	9,75	9,80	10,50	10,20	9,80	10,2
11	10,25	10,75	11,25	11,85	9,81	10,21	10,75	11,2
12	9,48	10,13	10,71	11,21	9,14	9,97	10,68	11,16
13	11,18	10,85	10,24	9,82	11,18	11,06	10,35	9,77
14	10,63	9,80	10,43	11,17	11,45	9,76	10,21	10,83
15	11,40	10,81	10,45	9,81	10,40	11,40	10,78	10,38
16	9,95	9,85	9,30	10,50	11,10	10,30	9,70	10,2
17	9,00	9,80	9,85	10,10	10,35	9,70	10,20	10,5
18	10,00	9,85	10,26	9,95	10,35	9,70	9,60	9,42
19	11,10	10,10	9,60	10,25	10,70	9,90	9,75	9,80
20	9,80	10,70	10,70	10,35	9,70	10,20	10,18	9,85
21	10,30	9,70	9,30	9,75	10,15	9,40	8,85	9,25
22	10,15	10,60	10,90	10,50	9,80	10,25	10,40	10,12
23	9,70	10,50	9,95	9,50	9,00	10,00	10,12	9,70
24	10,90	10,20	9,15	10,50	10,15	9,10	10,20	8,50

Окончание табл. 1.1

Точки сетки / Задача	Высотные отметки *H* точек, м							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	8,85	9,25	9,72	10,25	10,00	9,73	9,25	9,20
2	10,25	10,75	10,61	9,20	9,75	10,00	10,05	9,85
3	9,95	9,56	10,10	10,81	9,95	9,81	9,25	8,90
4	8,92	9,50	9,00	8,92	9,00	9,25	9,81	9,91
5	9,65	9,80	10,31	11,11	11,00	10,50	10,21	9,90
6	11,10	11,45	10,78	12,40	12,38	12,00	11,50	11,00
7	9,65	9,80	10,31	11,10	11,30	11,00	11,90	10,85
8	9,20	9,75	10,18	10,30	10,80	11,05	11,30	10,90
9	10,31	10,10	9,74	10,15	10,00	9,80	9,30	9,50
10	10,45	10,60	10,21	10,30	9,90	9,70	9,60	9,45
11	10,25	9,90	10,05	10,55	10,30	10,21	10,50	10,10
12	9,31	9,75	10,27	10,63	10,85	10,95	11,05	11,45
13	10,75	11,21	10,52	9,73	9,95	10,12	10,56	10,84
14	11,45	9,70	10,15	10,75	11,37	11,50	11,71	11,07
15	11,37	11,15	10,55	10,10	10,80	11,30	10,50	9,80
16	10,50	10,05	10,50	10,90	10,10	9,20	10,20	10,70
17	10,10	9,85	10,28	10,95	10,70	10,50	10,30	10,10
18	10,70	11,00	10,10	11,36	11,40	11,25	10,70	10,50
19	9,40	9,70	9,78	9,50	9,59	9,40	9,20	9,00
20	9,43	9,73	9,76	9,51	9,10	9,00	8,90	8,80
21	9,80	9,10	8,50	9,70	9,40	9,50	9,60	9,70
22	9,40	9,75	9,76	9,60	9,80	10,00	10,20	10,40
23	9,24	8,72	9,69	9,47	8,95	8,47	8,67	8,87
24	9,75	10,05	9,81	10,12	8,20	9,15	8,60	9,10

По окончании земляных работ проводится съемка промплощадки и составляется исполнительный план.

1.3. Вертикальная планировка наклонной промплощадки

При вертикальной планировке поверхности промплощадки в виде наклонной плоскости маркшейдер проводит разбивку строительной сетки с учетом данных в какой-либо точке, например "*M*" угла простирания α поверхности, уклона *i* или угла наклона δ плоскости (рис. 1.5) и определяет объем земляных работ.

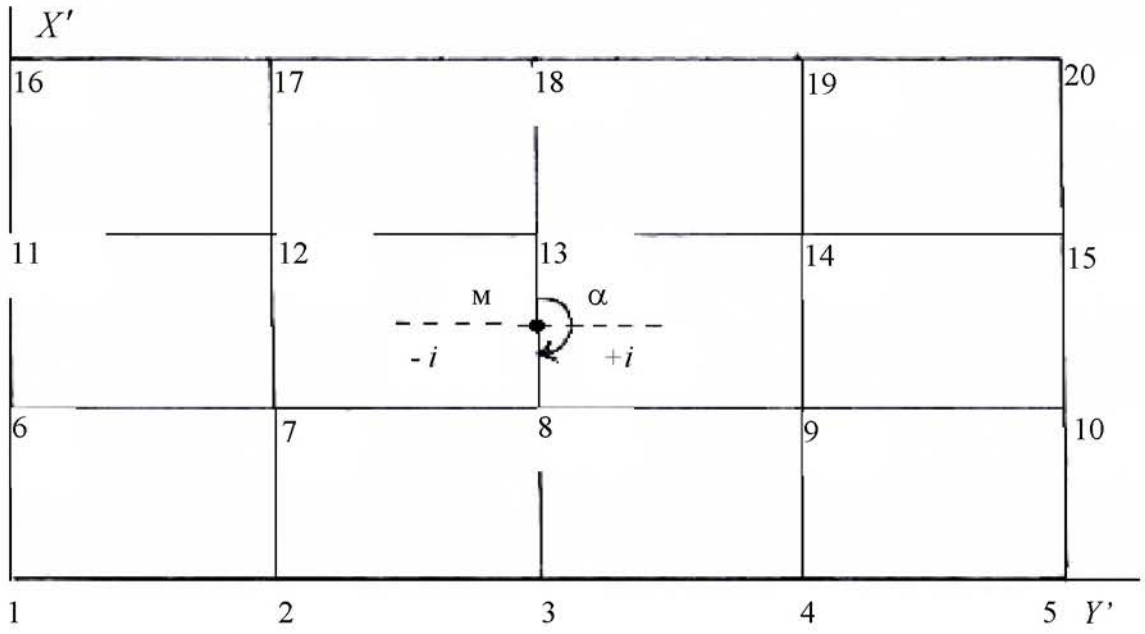


Рис. 1.5. Схема строительной сетки наклонной промплощадки

Особенностью планировки поверхности промплощадки в виде наклонной плоскости является определение проектных отметок точек сетки с учетом уклона, предусмотренного проектом или выбранного в соответствии с минимумом земляных работ.

На рис. 1.5 угол простирания равен 180°, расстояние между точками – *l*, точка *M* имеет высотную отметку H_{OM}.

Точки 1, 2, 3 ... 20 имеют высотные отметки H_1, H_2, H_3 ... H_{20}.

Проектные отметки точек H_{01}, H_{02}, H_{03} ... H_{020} определяют в соответствии с отметкой точки *M*, уклоном *i* и схемой сетки (см. рис. 1.5).

Для точек, находящихся на уровне отметки, равной H_0, будет:

$$H_0 = H_{03} = H_{08} = H_{013} = H_{018}.$$

Для точек, находящихся на уровне отметок, меньших отметки H_{0M}, будет:

$$H_{02} = H_{03} - l_i;\ H_{01} = H_{03} - 2\ l_i;\ H_{017} = H_{018} - l_i;\ H_{016} = H_{018} - 2l_i.$$

Для отметок, находящихся на уровне отметок, больших отметки H_{0M}:

$$H_{04} = H_{03}+l_i;\ H_{05} = H_{03}+2l_i;\ H_{019} = H_{018}+l_i;\ H_{020} = H_{018}+2l_i.$$

Рабочие отметки точек сетки будут: $h = H_{01} - H_1$.

Построение линии нулевых работ и определение объема земляных работ проводится так же, как и при планировке горизонтальной промплощадки.

В табл. 1.2 даны задачи на определение объема работ наклонной промплощадки. В задачах, состоящих из 20 точек, положение точки M совмещают с одной из точек сетки по указанию преподавателя.

При решении задач необходимо:

1) построить план участка;
2) определить рабочие отметки;
3) построить линию нулевых работ;
4) определить объем работ в каждом квадрате раздельно по насыпи и выемке;
5) определить общий объем работ на участке.

Таблица 1.2

Высотные отметки точек строительной сетки наклонной промплощадки

Высот-ные отметки точек, м	З А Д А Ч И								
	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	8,85	8,76	8,31	8,72	9,31	15,01	14,30	15,00	15,09
2	9,15	9,07	9,00	8,99	9,68	15,45	14,87	15,45	15,20
3	10,00	10,05	9,95	10,05	9,99	15,96	15,70	15,96	15,71
4	10,52	10,48	10,28	10,51	8,70	15,07	15,37	15,07	15,45
5	9,76	9,79	9,75	9,38	9,07	15,73	15,87	15,32	14,91
6	9,56	9,40	9,45	9,75	8,11	14,99	15,00	14,82	14,50
7	9,51	9,32	9,30	9,60	9,78	14,60	14,20	14,60	14,80
8	10,52	10,50	10,10	10,42	9,55	14,31	14,30	14,44	14,65
9	10,73	10,70	10,50	10,73	9,88	15,07	14,90	15,31	15,05
10	9,26	9,27	9,21	9,26	9,45	15,87	15,17	15,87	15,72
11	9,83	9,80	9,45	9,87	9,25	14,60	14,60	14,62	15,85
12	8,95	8,90	8,90	8,90	10,70	14,49	14,50	14,49	14,95
13	9,73	9,75	9,55	11,71	11,05	14,79	14,81	14,78	14,45
14	9,28	9,27	9,77	9,97	9,84	15,81	15,52	15,80	14,01
15	10,04	10,05	10,00	9,75	10,05	14,07	14,17	15,63	13,95
16	11,18	11,20	11,20	10,30	10,83	14,19	14,31	14,07	13,72
17	10,63	10,47	11,05	9,99	11,07	14,28	14,75	14,28	14,07
18	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00	15,00
19	9,55	9,50	9,45	9,40	9,35	15,05	15,10	15,15	15,20
20	9,00	9,10	9,20	9,30	9,40	14,95	14,90	14,85	14,80
Угол простирания	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'
Уклон Масштаб	0,001 1:500	0,001 1:1000	0,001 1:500	0,001 1:1000	0,001 1:500	0,002 1:1000	0,002 1:500	0,002 1:1000	0,002 1:500
Расстоян. между точками, м	20,0	20,0	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0	20,0

Продолжение табл. 1.2

Высотные отметки точек, м	З А Д А Ч И							
	35	36	37	38	39	40	41	42
1	14,95	19,79	20,05	19,37	20,10	19,55	25,05	25,17
2	15,00	20,01	20,37	19,27	20,45	19,78	24,75	25,73
3	15,31	20,85	20,73	19,73	20,51	19,99	25,75	25,92
4	15,95	20,63	20,63	19,95	20,92	20,01	25,37	76,01
5	14,40	20,95	20,31	20,07	19,37	20,59	25,25	25,91
6	14,70	20,17	20,27	20,38	19,57	20,17	25,17	25,17
7	14,21	21,01	20,39	20,17	20,01	20,95	24,93	24,92
8	14,00	20,93	20,01	20,93	20,55	21,07	24,85	24,71
9	15,30	20,03	20,53	20,99	20,99	20,17	24,25	24,05
10	15,60	20,72	20,18	21,44	21,10	20,01	24,10	23,91
11	15,91	20,93	20,01	20,65	21,37	19,73	23,95	24,10
12	15,07	20,65	19,85	20,16	20,99	19,25	23,81	24,51
13	14,70	20,31	19,37	19,83	20,76	19,03	23,72	24,17
14	14,50	20,05	19,52	19,57	20,91	19,00	24,00	24,18
15	15,20	19,73	19,30	19,01	20,31	19,37	24,15	24,99
16	15,35	19,52	19,01	18,95	20,07	19,86	24,75	25,08
17	15,71	19,21	19,50	19,29	19,85	20,10	24,89	25,00
18	15,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	25,00	25,00
19	15,10	20,10	20,20	20,30	20,40	20,50	25,10	25,20
20	14,90	19,90	19,80	19,70	19,60	19,50	24,90	24,80
Угол простирания	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'
Уклон Масштаб	0,002 1:1000	0,003 1:500	0,003 1:1000	0,003 1:500	0,003 1:1000	0,003 1:500	0,004 1:1000	0,004 1:500
Расстоян. между точками, м	20,0	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0	20,0

Окончание табл. 1.2

Высотные отметки точек, м	З А Д А Ч И							
	43	44	45	46	47	48	49	50
1	24,70	25,10	24,17	25,05	24,15	29,30	29,70	30,50
2	24,85	25,17	24,93	25,01	24,17	29,99	29,85	30,18
3	24,95	25,85	24,99	25,37	24,85	29,85	29,91	30,18
4	25,10	25,97	25,10	25,83	29,99	30,00	29,17	30,99
5	25,35	25,17	25,81	25,98	25,10	30,08	28,85	30,27
6	25,70	25,85	25,99	26,10	25,81	30,77	29,50	30,07
7	25,85	25,10	26,01	25,81	25,92	30,98	29,90	29,85
8	24,91	25,00	25,37	25,78	25,77	30,25	29,99	29,81
9	24,37	25,01	25,18	25,61	25,17	30,71	30,01	29,63
10	24,19	21,10	25,01	25,01	24,92	30,99	30,18	29,26
11	24,00	25,40	25,18	25,10	24,17	31,11	30,78	29,00
12	23,95	24,90	24,82	24,91	24,00	31,83	30,52	29,37
13	25,10	25,01	24,37	24,82	24,17	31,52	30,21	29,42
14	25,25	25,37	24,08	24,71	24,85	30,10	30,99	29,52
15	25,37	25,80	23,95	25,15	24,91	30,75	30,77	29,17
16	25,75	26,17	23,81	25,19	24,99	30,27	30,25	29,97
17	25,92	25,80	24,18	25,71	25,17	30,18	30,81	30,18
18	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	30,00	30,00	30,00
19	25,10	25,20	25,30	25,40	25,50	29,90	29,80	29,70
20	24,90	24,80	24,70	24,60	24,50	29,80	29,70	29,60
Угол простирания	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'
Уклон Масштаб	0,001 1:1000	0,004 1:500	0,004 1:1000	0,005 1:500	0,005 1:1000	0,005 1:500	0,005 1:1000	0,005 1:500
Расстоян. между точками, м	20,0	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0	20,0

2. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ВЫНОСА ЦЕНТРА И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОСЕЙ СООРУЖЕНИЯ С ПРОЕКТА В НАТУРУ

2.1. Общие положения

Определение и обозначение на местности точек, координаты которых заданы в проекте, является одной из наиболее часто встречающихся задач маркшейдерской службы.

Решение задачи рассмотрим на примере подготовки данных для выноса центра и строительных осей шахтного ствола, проходка которого должна быть осуществлена при условии соединения с подземной горной выработкой (рис. 2.1).

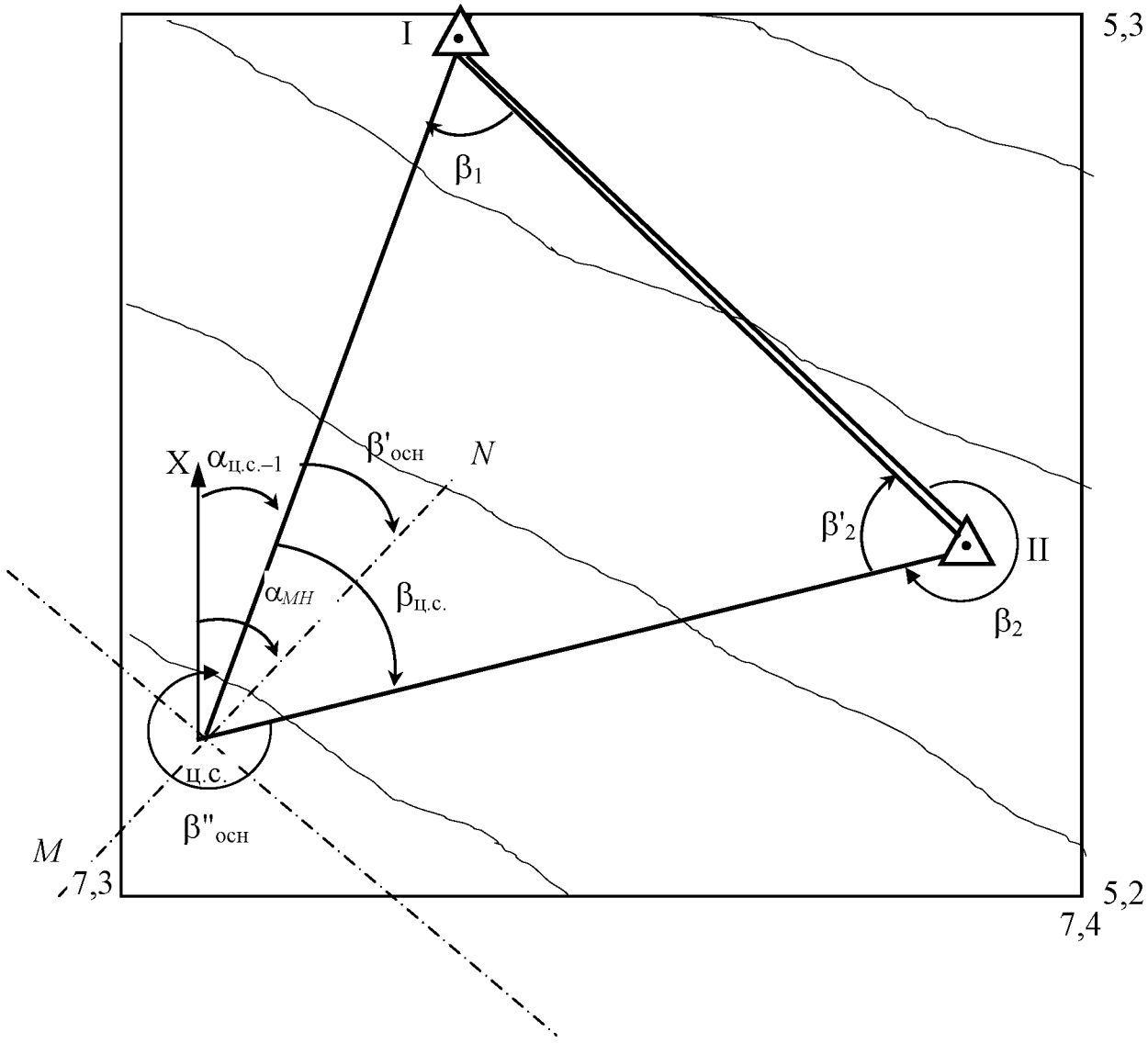


Рис. 2.1. План разбивок центра вентиляционного ствола и строительных осей

На поверхности, вблизи закладываемого шахтного ствола, имеются пункты I, II опорной сети, координаты которых X_{I}, Y_{I}, Z_{I}; X_{II}, Y_{II}, Z_{II}. В проекте даны координаты центра ствола $X_{ц.с.}$, $Y_{ц.с.}$, $Z_{ц.с.}$ и дирекционный угол главной оси (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Исходные данные координат пунктов центра ствола и дирекционного угла главной оси ствола шахты

Пункты	Координаты, м			Дирекционный угол оси ствола, α_{MN}
	X	Y	Z	
1	5298,475	7330,726	135,420	
2	5230,045	7387,521	141,560	$45^{o}30'00''$
ц. с.	5210,020	7305,080	150,700	

Для того, чтобы задание было индивидуальным, необходимо, согласно своих инициалов, в координаты устья ствола вести поправки, которые даны в табл. 2.2.

Решение задачи сводится к определению разбивочных элементов горизонтальных углов β_1, β_2, $\beta_{ц.с.}$, β'_2 и $\beta'_{оси}$, $\beta''_{оси}$, горизонтальных проложений l_1, l_2, а затем наклонных длин – L_{H1}, L_{H2}.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Составить план в масштабе 1: 1000 и по координатам нанести на него маркшейдерские пункты опорной сети, центр ствола, его главной оси и рельеф (см. рис. 2.1).

2. По координатам пунктов вычислить дирекционные направления линий и горизонтальное проложение между двумя пунктами, используя обратную геодезическую задачу.

Вычисления могут быть выполнены с помощью ЭВМ и логарифмических таблиц.

Методику расчета дирекционного направления и горизонтального проложения рассмотрим для линии I - ц.с.

Таблица 2.2

Поправки в координаты центра и дирекционный угол главной оси ствола

№ п/п	Алфавит	Ф	И	О	Ф	Примечание
		ΔX, м	ΔY, м	ΔZ, м	$\Delta\alpha°$	
1	А	-1	+7	-3	1	
2	Б	-2	+8	+1	2	Ф – фамилия
3	В	-3	+9	-1	3	И – имя
4	Г	-4	+6	+2	4	О – отчество
5	Д	-5	+5	+3	5	
6	Е	-6	+4	-3	6	Например:
7	Ё	-7	+30	-2	7	студент
8	Ж	-8	+4	-1	8	Денисов Н. С.
9	З	-9	+5	+1	9	получает
10	И	-10	+6	+2	10	поправки:
11	К	-11	+7	+3	11	ΔX = -5 м,
12	Л	-12	+8	+4	12	ΔY = +10 м,
13	М	-13	+9	-4	13	ΔZ = +2 м,
14	Н	-14	+10	-3	14	$\Delta\alpha$ = 5°.
15	О	-15	+11	-2	15	Координаты
16	П	+15	-11	-1	16	центра ствола
17	Р	+14	-10	+1	17	будут:
18	С	+13	-9	+2	18	x = 5205,020,
19	Т	+12	-8	+3	19	y=7315,080,
20	У	+11	-7	+4	20	z=152,700.
21	Ф	+10	-6	+3	21	Дирекцион-
						ный угол
22	Х	+9	-5	+2	22	оси ствола
23	Ц	+8	-4	+1	23	будет:
24	Ч	+7	-3	-1	24	α = 50°30'
25	Ш	+6	-2	-2	25	
26	Щ	+5	-1	-3	26	
27	Э	+4	+10	-4	27	
28	Ю	+3	+20	-3	28	
29	Я	+2	+3	-2	29	

Через логарифмы:

$$\lg \cdot \operatorname{tg} r_{(\text{I} - \text{ц.с.})} = \lg (Y_{\text{ц.с.}} - Y_{\text{I}}) - \lg (X_{\text{ц.с.}} - X_{\text{I}}).$$

Затем вычисляют значения $\operatorname{tg} r_{(\text{I} - \text{ц.с.})}$; $r_{(\text{I} - \text{ц.с.})}$ и $\alpha_{(\text{I} - \text{ц.с.})}$.
Через тригонометрические функции:

$$\operatorname{tg} r_{(\text{I - ц.с.})} = \frac{Y_{\text{ц.с.}} - Y_I}{X_{\text{ц.с.}} - X_I} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}.$$

По знакам приращений ΔY и ΔX определяется, в какой четверти находится румб (r) (рис. 2.2) и, соответственно, вычисляется дирекционный угол этой линии.

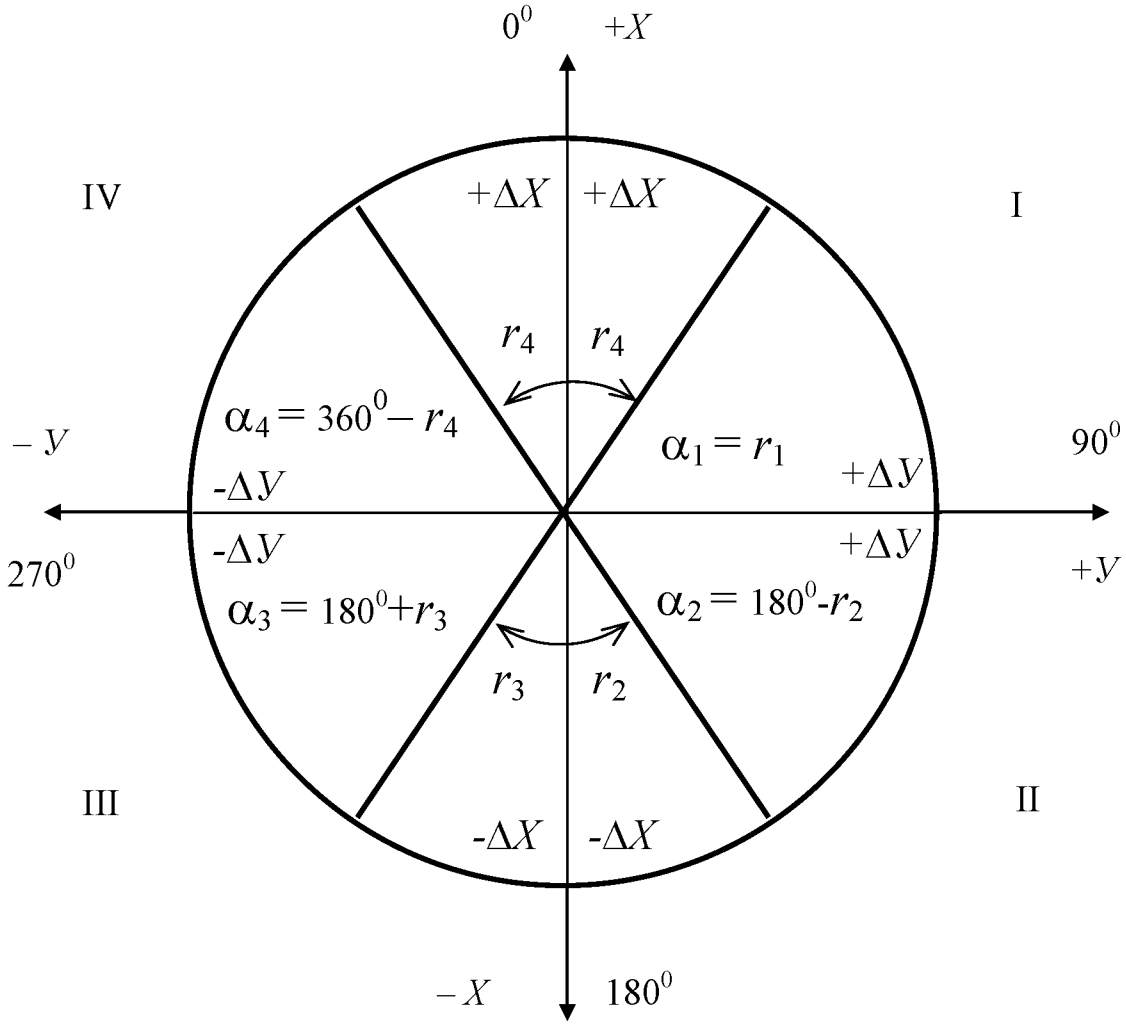


Рис. 2.2. Схема для определения дирекционных углов

Так, например, для направления I – ц.с.:

$$\alpha_{\text{I – ц.с.}} = 180^{\circ} + r_{(\text{I – ц.с.})}.$$

Аналогично вычисляются дирекционные углы линий II – ц.с., I – II.

3. По разности дирекционных углов линий определить горизонтальные углы β_1, β_2', β_3, которые необходимо отложить в натуре. Так, например, $\beta_1 = \alpha_{\text{I – ц.с.}} - \alpha_{\text{I – II}}$. Контролем вычисления углов является уравнение

$$\beta_1 + \beta_2' + \beta_{\text{ц.с.}} = 180^{\circ}.$$

4. Определить горизонтальное проложение линии I – ц.с.

$$l_{(\text{I – ц.с.})} = \frac{Y_{\text{ц.с.}} - Y_{\text{I}}}{\sin r_{(\text{I – ц.с.})}} = \frac{X_{\text{ц.с.–}} - X_{\text{I}}}{\cos r_{(\text{I – ц.с.})}}.$$

Через логарифмы

$$\lg l_{(\text{I – ц.с.})} = \lg (Y_{\text{ц.с.}} - Y_{\text{I}}) - \lg \sin r_{(\text{I – ц.с.})},$$

$$\lg l_{(\text{I – ц.с.})} = \lg (X_{\text{ц.с.}} - X_{\text{I}}) - \lg \cos r_{(\text{I – ц.с.})}.$$

Далее, по $\lg l_{(\text{I – ц.с.})}$ определяется ее длина. Расхождение в длине линии, вычисленной через $\sin r$ и $\cos r$, допускается 10 мм.

5. Определить наклонную длину линии I – ц.с.

По абсолютным отметкам z пунктов данной линии и по ее горизонтальному проложению l определяют наклонную длину $L_{\text{н}}$ (рис. 2.3).

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\Delta z}{l}; \qquad L_{\text{н}} = \frac{l}{\cos\delta},$$

где δ – угол наклона линии, град.

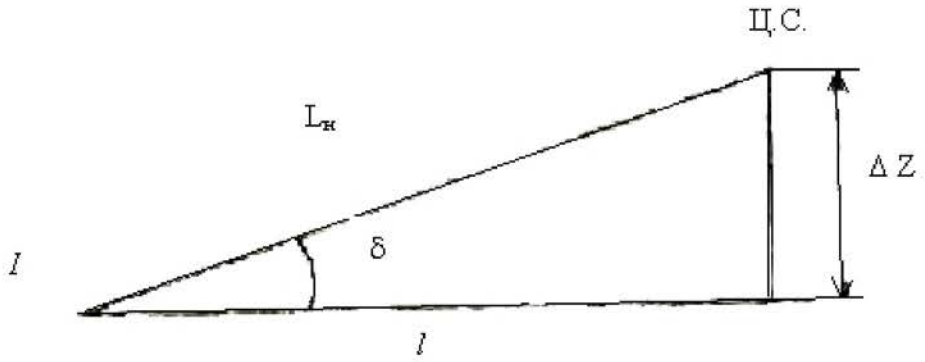


Рис. 2.3. Схема для определения наклонной длины линии

$$\delta = \operatorname{arctg}\frac{\Delta z}{l},$$

где Δz – разность высотных отметок концов определяемой линии.

Или через логарифмы

$$\lg L_н = \lg l - \lg \cos \delta ;$$
$$\lg \operatorname{tg} \delta = \lg \Delta z - \lg l.$$

Затем по антилогарифму находят δ и $L_Н$.

Или

$$L_н = \sqrt{(Y_{ц.с.} - Y_1)^2 + (X_{ц.с.} - X_1)^2 + (Z_{ц.с.} - Z_1)^2} .$$

6. После окончания всех вычислений вычерчивается план (см. рис. 2.1), на который наносятся по заданным координатам маркшейдерские пункты, центр и оси ствола.

Рекомендуется на этом же чертеже, в пределах точности графических построений, проконтролировать правильность вычислений l_1, l_2 (при помощи масштабной линейки) и разбивочных углов β_1, β_2', $\beta'_{ц.с.}$ (транспортиром), а также $\beta'_{оси}$, $\beta''_{оси}$.

7. Дать описание методики выноса центра ствола и осей на местность и оценку точности.

2.3 Оценка точности выноса в натуру центра сооружения

Способ угловой засечки

$$m_{\text{ц.с.}} = \sqrt{m_{\text{и}}^2 + m_{\text{з}}^2 + m_{\text{ц.р.}}^2 + m_{\text{ф}}^2},$$

где $m_{\text{и}}$ – ошибка исходных данных базиса; $m_{\text{ц.р.}}$ – ошибка центрирования теодолита и редукции визирования точки (цели); $m_{\text{з}}$ – ошибка собственной засечки; $m_{\text{ф}}$ – ошибка фиксирования точки ($m_{\text{ф}} = 0{,}002$ м).

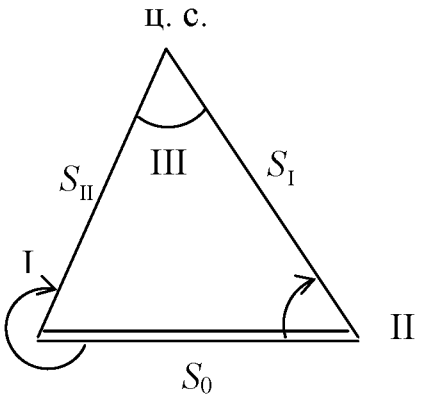


Рис. 2.4. Способ угловой засечки

Ошибка исходных данных базиса рассчитывается по формуле

$$m_{\text{и}} = \frac{S_0 \cdot \sin\beta_{\text{II}}}{\sin\beta_{\text{III}}} \sqrt{\left(\frac{m_{S_0}}{S_0}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho''}\right)^2} = S_{\text{II–ц.с.}} \sqrt{\left(\frac{m_{S_0}}{S_0}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2},$$

где m_α – ошибка определения дирекционного угла базиса; S_0 – длина базиса; m_{S_0} – ошибка определения длин базиса.

При определении длины базиса рулеткой

$$m_{S_0} = \sqrt{\mu^2 \cdot S_0 + \lambda^2 \cdot S_0^2},$$

где μ – коэффициент случайного влияния ($\mu = 0{,}0005$); λ – коэффициент систематического влияния ($\lambda = 0{,}00005$).

При использовании светодальномера или тахеометра

$$m_{S_0} = a + в \cdot S_0 \cdot 10^{-6},$$

где a – инструментальная ошибка и ошибка наблюдения; $в$ - коэффициент, учитывающий влияние ошибок, зависящих от величины измеряемого расстояния.

Ошибка собственной засечки

$$m_з = \frac{m_\beta \cdot S_0}{\rho''} \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_{II} + \sin^2 \beta_I}{\sin^4 \beta_{III}}} = \sqrt{S^2_{I-ц.с.} + S^2_{II-ц.с.}} \cdot \frac{m_\beta}{\rho'' \cdot \sin \beta_{III}},$$

где m_β – ошибка измерения горизонтального угла (для теодолитов типа Т5, $m_\beta = 5'$).

Ошибка центрирования теодолита и редукции визирования точки (цели) определяется по формуле

$$m_{ц.р.} = \frac{e}{\sin^2 \beta_{III}} \sqrt{\sin^2 \beta_I + \sin^2 \beta_{II}} = \frac{e}{S_0 \sin \beta_{III}} \sqrt{S_I^2 + S_{II}^2},$$

где e – ошибка центрирования инструмента и центрирования точки (цели), e = 0,001 м.

Способ линейной ошибки

$$m_{ц.с.} = \sqrt{m_и^2 + m_S^2 \frac{S_I S_{II}}{\sqrt{2p(p-S_{II})}(p-S_I)(p-S_0)} + m_ф^2},$$

где p – полупериметр

$$p = \frac{S_I + S_{II} + S_0}{2}.$$

$$m_{ц.с.} = \sqrt{m_и^2 + 2m_S^2 \frac{1}{\sin^2 \beta_{III}} + m_ф^2}, \text{ при } S_0 = S_I = S_{II}.$$

3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОГО МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПОЛИГОНА ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

3.1. Общие положения

Целью составления и вычисления проектного полигона является проверка правильности размеров горных выработок, указанных в проекте, и получение исходных данных для инструментального переноса в натуру характерных точек, осей проектируемых выработок и их направлений.

Составление проектного полигона начинается с вычерчивания его геометрической схемы. Исходными данными для составления проектного полигона являются проектные планы горных выработок.

В полигоне намечают точки, фиксирующие начало и конец прямолинейных и криволинейных участков. Проверяются все размеры прямолинейных участков, радиусы закруглений и проектные углы поворота.

При составлении проектного полигона оси криволинейных участков заменяют хордами. Число хорд определяется графически или вычисляют по формулам с таким расчетом, чтобы при переносе в натуру они не касались стенок выработки и при этом имели максимально возможную длину.

$$\sin\frac{\varphi}{4}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^{в}}{R}},$$

где $l^{в}$ – ширина горной выработки в свету по паспорту, м; R – радиус криволинейного участка, м.

По вычисленному значению угла φ и известному из проекта центральному углу α определяют число хорд максимальной длины, n_m

$$n_m=\frac{\alpha}{\varphi}.$$

Значение n_m округляют до целого числа всегда в большую сторону. Если n_m получилось целым числом, то увеличивают его на единицу.

Длины хорд вычисляют по формуле

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\alpha}{2n_m}.$$

Далее вычисляют углы β_i при начальной и конечной точках кривой и углы $\beta_i^{'}$ при промежуточных точках по формулам (рис. 3.1).

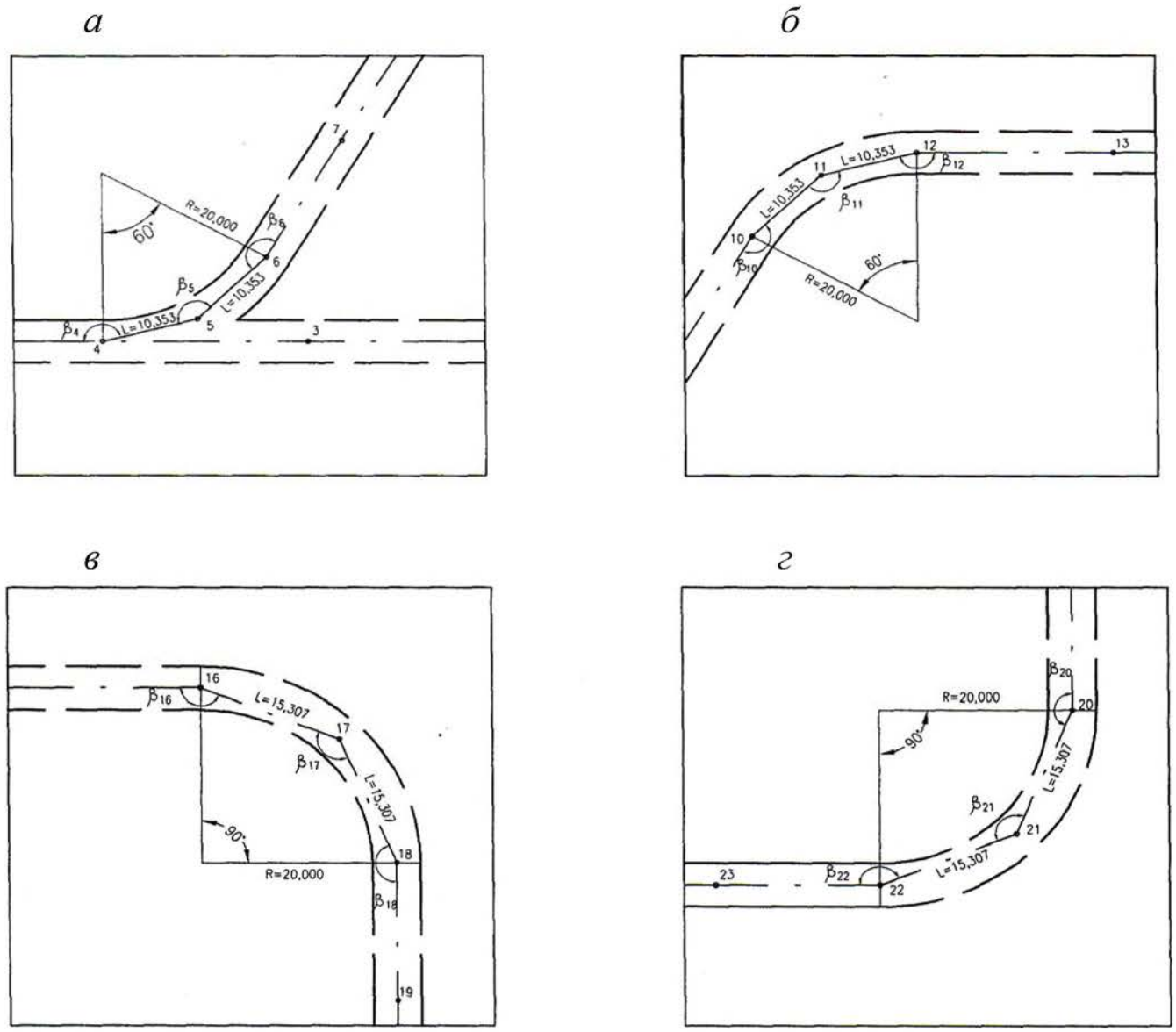


Рис. 3.1. Схемы определения параметров криволинейных участков маркшейдерского полигона:

а – расчет параметров криволинейных участков для точек 4 – 6;

б – расчет параметров криволинейных участков для точек 10 – 12;

в – расчет параметров криволинейных участков для точек 16 – 18;

г – расчет параметров криволинейных участков для точек 20 – 22

$$\beta_i = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m};$$

$$\beta_i^{'} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m}.$$

После вычисления углов проектного полигона производится их контроль по формулам:

для разомкнутого полигона

$$\sum\beta_i + \alpha_н - \alpha_к - 180^\circ \cdot n = 0;$$

для замкнутого проектного полигона

$$\sum\beta_i - 180^\circ(n \pm 2) = 0,$$

где $\sum\beta_i$ – сумма углов проектного полигона (фактическая); $180^\circ(n \pm 2)$ – теоретическая сумма углов; причем $(n + 2)$ – берется при внешних углах, а $(n - 2)$ – при внутренних углах; n – число углов в проектном полигоне; $\alpha_н$ – дирекционный угол начальной стороны; $\alpha_к$ – дирекционный угол конечной стороны.

Рассчитаем параметры криволинейных участков заданного полигона:

Для точек 4 – 6 (см. рис. 3.1, *а*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^в}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25 \qquad \varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{60^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}036\ ; \qquad n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 10{,}353$ м;

4. $\beta_4 = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00';$

$\beta_4 = 180^\circ - 165^\circ 00' = 15^\circ 00';$

$$\beta_5 = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2} = 150^\circ 00';$$

$$\beta_5 = 360^\circ - 150^\circ 00' = 210^\circ 00';$$

$$\beta_6 = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00';$$

$$\beta_6 = 360^\circ - 165^\circ 00' = 195^\circ 00'.$$

Для точек 10 – 12 (см. рис. 3.1, *б*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^в}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25;$ $\varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{60^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}036;$ $n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 10{,}353$ м;

4. $\beta_{10} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00';$

$$\beta_{11} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2} = 150^\circ 00';$$

$$\beta_{12} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00'.$$

Для точек 16 – 18 (см. рис. 3.1, *в*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^в}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25;$ $\varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{90^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}55;$ $n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 15{,}307$ м;

4. $\beta_{16} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30';$

$\beta_{17} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2} = 135^\circ 00';$

$\beta_{18} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30'.$

Для точек 20 – 22 (см. рис. 3.1, *г*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25;$ $\varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{90^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}55;$ $n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 15{,}307$ м;

4. $\beta_{20} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30';$

$\beta_{21} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2} = 135^\circ 00';$

$\beta_{22} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30'.$

Производим контроль вычисленных углов

$$\sum\beta_i - 180^\circ(n-2) = 1800^\circ - 180^\circ(12-2) = 0.$$

3.2. Вычисление приращения координат и увязка проектного полигона

Проектный полигон вычисляется по хордам l_i, углам β_i, β_i', длинам прямолинейных участков горных выработок (прямолинейными вставками) (рис. 3.2).

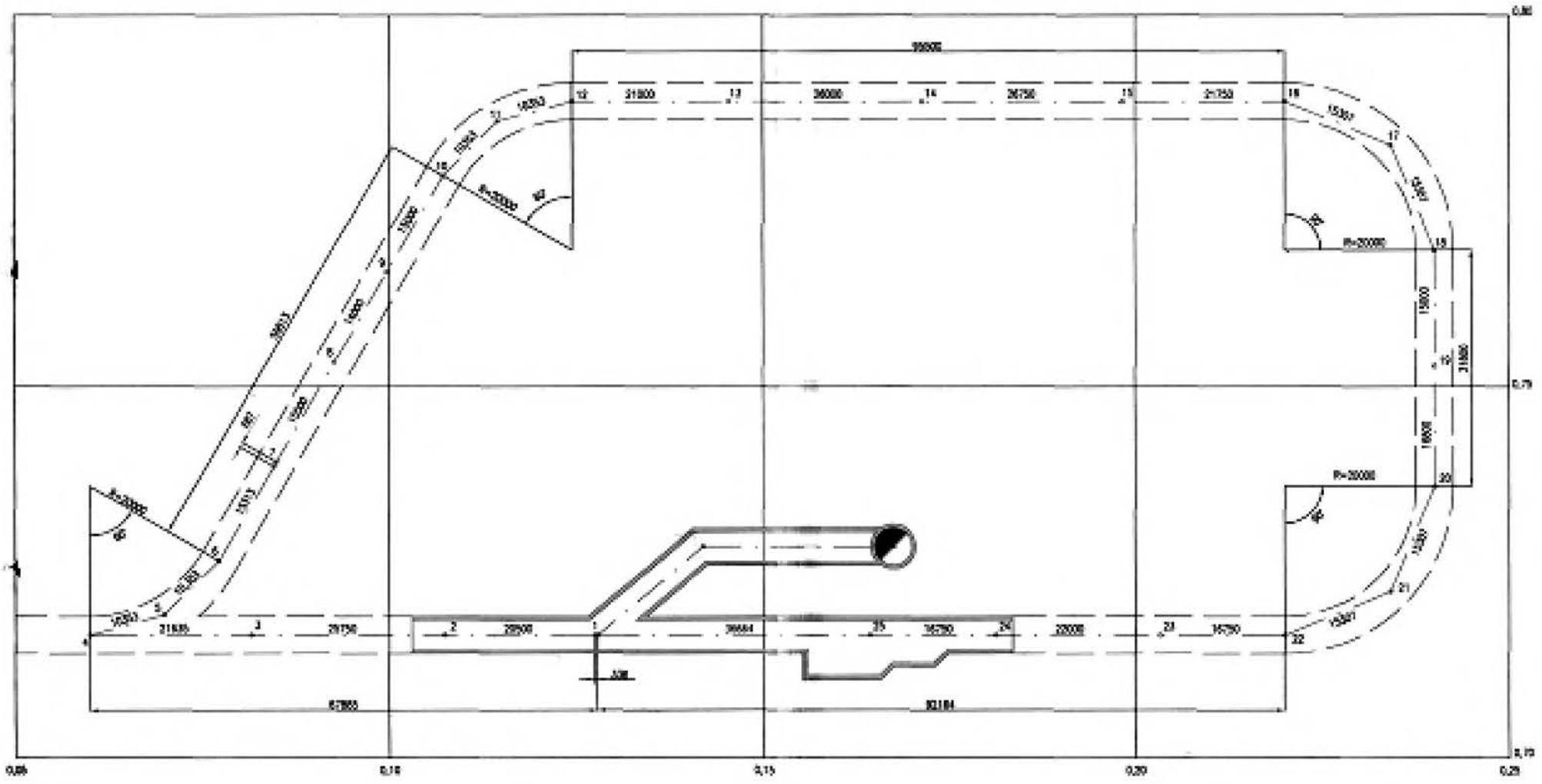


Рис. 3.2. Проектный полигон

Вычисление проектного полигона сводятся в таблицу (табл. 3.1), представляющую собой обычную ведомость вычисления приращения координат.

Таблица 3.1

Ведомость вычисления приращения координат

Точки		Длины сторон, м	Углы полигона ° ' "	Дирекционный угол, румб ° ' "	sin α, cos α	Приращения координат	
стояния	визирования					ΔY	ΔX
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	20,500		270°00'00" 90°00'00"	1 0	-20,500	0,000
2	1 3	25,750	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-25,750	0,000
3	2 4	21,635	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-21,635	0,000
4	3 5	10,353	345°00'00"	75°00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
5	4 6	10,353	150°00'00"	45°00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
6	5 7	-0,687 16,000 (15,313)	165°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	-0,343 8,000 (7,657)	-0,594 13,856 (13,262)
7	6 8	15,500	180°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	7,750	13,423
8	7 9	14,000	180°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	7,000	12,124
9	8 10	15,000	180°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	7,500	12,990
10	9 11	10,353	195°00'00"	45°00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
11	10 12	10,353	210°00'00"	75°00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
12	11 13	21,000	195°00'00"	90°00'00"	1 0	21,000	0,000
13	12 14	26,000	180°00'00"	90°00'00"	1 0	26,000	0,000

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	13 15	26,750	180°00'00"	90°00'00"	1 0	26,750	0,000
15	14 16	21,750	180°00'00"	90°00'00"	1 0	21,750	0,000
16	15 17	15,307	202°30'00"	112°30'00" 67°30'00"	0,923880 0,382683	14,142	-5,858
17	16 18	15,307	225°00'00"	157°30'00" 22°30'00"	0,382683 0,923880	5,858	-14,142
18	17 19	15,000	202°30'00"	180°00'00" 0°00'00"	0 1	0,000	-15,000
19	18 20	16,800	180°00'00"	180°00'00" 0°00'00"	0 1	0,000	-16,800
20	19 21	15,307	202°30'00"	202°30'00" 22°30'00"	0,382683 0,933880	-5,858	-14,142
21	20 22	15,307	225°00'00"	247°30'00" 67°30'00"	0,923880 0,382683	-14,142	-5,858
22	21 23	16,750	202°30'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-16,750	0,000
23	22 24	22,000	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-22,000	0,000
24	23 25	16,750	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-16,750	0,000
25	24 1	-0,336 37,000 (36,664)	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	–1 0	0,336 -37,000 (-36,664)	0,000
1	25 2		180°00'00"	270°00'00"		f_Y=+0,007 f_Y=0	f_X=+0,595 f_X=+0,001

После вычисления приращений координат полигона определяются невязки f_x и f_y. Для замкнутого полигона:

$$f_X = \Sigma \Delta X,$$

$$f_Y = \Sigma \Delta Y.$$

Далее определяется абсолютная линейная невязка $f_S = \pm\sqrt{f_X^2 + f_Y^2}$. Отношение f_S к периметру проектного полигона должно соответствовать точности графической наноски.

Известно, что точность накола точки на план равна 0,2 мм, тогда линейная ошибка нанесения проектного полигона $m = 0{,}2\sqrt{n}$, где n – число точек проектного полигона.

Отношение m к периметру полигона будет характеризовать относительную точность графической наноски проектного полигона. Следовательно, должно соблюдаться условие

$$\frac{f_S}{P} \le \frac{m}{P},$$

контролирующее необходимую точность составления маркшейдерского проектного полигона.

Проверим соблюдение условия:

$$\frac{f_S}{P} \le \frac{m}{P},$$

$$f_S = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = \sqrt{0{,}595^2 + 0{,}007^2} = 0{,}595 \quad \text{м},$$

$$\frac{0{,}595}{450{,}825} = \frac{1}{758} \quad < \quad \frac{0{,}2 \cdot \sqrt{25}}{450{,}825} = \frac{1}{451}.$$

При увязке проектного полигона необходимо оставить неизменными радиусы закруглений R_i и углы α_i. Изменению подлежат всегда две непараллельные прямые вставки, имеющие наибольшую длину. Увязку проектного полигона производим векторно-графическим способом, сущность которого заключается в следующем: в крупном масштабе 1:1000 проводим оси X и Y принятой системы координат, рис. 3.3; через точку О проводим оси X' и Y', параллельные прямым вставкам, которые подлежат изменению. На этих вставках отмечаем стрелками направление хода вычисления полигона. В принятом масштабе и с соответствующим знаком от точки О откладываем по осям X и Y полученные невязки f_X и f_Y. Графически определяем абсолютную невязку f_S (OL) (см. рис. 3.2). Поправка-вектор будет иметь противоположное направление (LO). Поправку-вектор раскладываем на две составляющие LK и LM по правилу параллелограмма, стороны которого

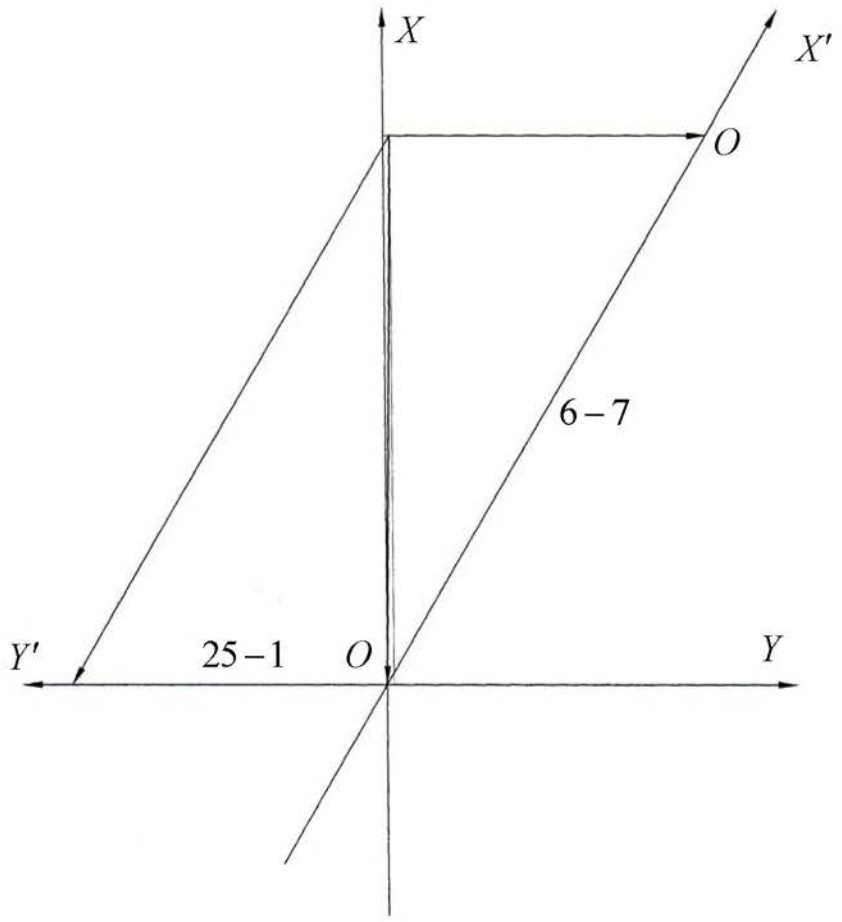


Рис. 3.3. Векторно-графический способ увязки проектного полигона

параллельны прямым вставкам OX' и OY'. В результате получаем поправки-векторы, величины которых измеряем на чертеже (см. рис. 3.3) в принятом масштабе и вводим в соответствующие длины прямых вставок. Если направление отличается на 180^0, то длина прямой вставки уменьшается на величину поправки-вектора. После этого в ведомости вычисления координат вносим исправленные длины и перевычисляем соответствующие приращения координат ΔX и ΔY. Можно также вычислить поправку сразу в приращении координат. Для этого величины поправок-векторов нужно умножить на синусы и косинусы румбов исправляемых сторон проектного полигона с соответствующими знаками в ранее вычисленные значения координат.

После увязки:

$$\sum \Delta X = +0,001,$$

$$\sum \Delta Y = 0.$$

4. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРОВЕРКА ОДНОКАНАТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА

4.1. Общие положения

В комплекс сооружений шахтного подъема входят проводники (направляющие подъемных сосудов), укрепленные на расстрелах, копер с расположенными на нем направляющими шкивами, подъемная машина с барабанами, на которые навивается канат, подъемные сосуды.

Маркшейдер должен обеспечить установку комплекса шахтного подъема с соблюдением проектных геометрических параметров его отдельных элементов.

Проверка подъемного комплекса производится при сдаче шахты в эксплуатацию и периодически в процессе ее работы. Маркшейдер проверяет соответствие величин углов отклонения канатов (девиации) на барабанах и шкивах правилам технической эксплуатации, вертикальность плоскостей симметрии шкивов, отсутствие у них «восьмерки», совпадение вертикальных проекций точек схода канатов и точек подвеса подъемных сосудов, горизонтальность главного вала подъемной машины. Этот контроль может быть выполнен как от осей ствола, закрепленных осевыми пунктами на поверхности, так и от оси главного вала подъемной машины.

4.2. Исходные данные и требования к проверке

Исходными данными для проверки подъемного механизма являются геометрические элементы подъемной установки (табл. 4.1), результаты съемки кронштейна с жалом Г, прикрепленного к реборде барабана, в двух диаметрально противоположных положениях Г и $Г_1$, в результате чего определяют их координаты $x_Г, y_Г, x_{Г_1}, y_{Г_1}$, результаты съемки элементов сечения ствола и съемки шкивов a_1, a_2, a_1', a_2' (табл. 4.2), а также др. геометрические параметры подъемного комплекса (рис. 4.1 – 4.4).

Таблица 4.1

Основные геометрические элементы подъемной установки

Номер вар.	H, м	$D_б$, м	$D_ш$, м	d_k, мм	l, м	$в$, мм	$H_{k,м}$	e, мм	$S_{ю,с}$ мм	$L_г$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,2	670/600	5	4	50,5/45	3,2	100	40,0	3	60	48,0
3,4	465/420	4	3	45/37	2,7	90	40,0	3	50	48,0
5,6	565/520	4	3	35/31	3,0	85	37,0	3	50	44,4
7,8	465/410	4	3	45/37	2,3	90	39,5	2	45	47,1
9,10	450/400	4	3	45/37	2,0	100	40,0	2	55	48,0
11,12	410/450	4	3	35/31	1,8	95	39,5	3	55	47,7
13,14	550/510	5	4	45/37	2,3	80	40,0	2	50	48,0
15,16	450/410	5	4	52/45	2,0	80	40,0	2	50	48,0
17,18	340/420	2,5	2,0	31/35	2,3	85	35,0	3	45	42,0
19,20	285/300	3,0	2,5	37/41	1,5	85	30,0	3	45	36,0
21,22	430/400	2,5	2,0	31/27	3,4	95	37,0	2	50	44,6
23,24	400/420	3	2,5	37/41	3,2	95	37,0	2	50	44,4
25,26	215/250	2,5	2,6	31/27	1,5	70	30,0	3	40	36,0
27,28	365/330	3,0	2,5	37/35	2,3	95	37,0	2	45	44,4
29,30	280/300	2,0	1,5	25/23	1,7	95	35,0	3	45	42,0
31,32	170/200	2,0	1,5	25/23	1,7	75	25,0	2	35	30,0
33,34	215/240	2,5	2,0	25/23	1,2	75	25,0	2	35	30,0
35,36	225/200	2,5	20,	31/27	1,5	80	30,0	3	45	36,0
37,38	400/350	3,4	3,0	43,5/45	2,3	95	37,0	3	45	44,4
39,40	550/500	3,5	3,0	25/31	1,8	95	40,0	2	50	48,0
41/42	300/320	3,5	3,0	42/37	1,7	95	37,0	3	35	44,4
43/44	520/500	4	305	37/35	207	95	40,0	3	45	48,0
45/46	620/600	5	4	52/50	2,3	95	39,5	2	50	47,4
47/48	700/650	6	5	52/50	2,4	100	40,0	2	45	48,0
49/50	550/500	4	3	43,5/45	2,3	95	39,5	3	50	47,4

Примечание. В графах 2 и 5 в числителе – нечетный вариант, в знаменателе – четный вариант.

Таблица 4.2

Результаты маркшейдерской съемки реборды барабана подъемной машины и шкивов

Номер вариан-та	Данные съемки шкивов				Съемки барабана машины			
	a_1, мм	a_2, мм	a_1', мм	a_2', мм	точка Г		точка $Г_1$	
					x', м	y', м	x', м	y', м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1710	1730	1710	1710	50,5	3,370	45,5	3,360
2	1710	1680	1710	1710	50,0	3,380	45,5	3,390
3	1445	1460	1445	1480	50,0	2,845	46,0	2,820
4	1445	1430	1445	1420	50,0	2,860	46,0	2,845
5	1092	1100	1092	1100	46,4	3,142	42,1	3,120
6	1092	1080	1092	1080	46,4	31,10	42,4	3,150
7	1240	1220	1240	1200	4904	2,435	45,4	2,470
8	1240	1260	1240	1260	4904	20452	45,5	2,420
9	1105	1150	1105	1100	50,0	2,160	46,0	2,180
10	1105	1050	1105	1150	50,0	2,150	46,0	2,180
11	1502	1515	1502	1480	49,4	1,957	45,4	1,900
12	1502	1495	1502	1520	49,4	1,940	45,4	1,970
13	1240	1225	1240	1210	50,0	2,440	45,5	2,490
14	1240	1255	1240	1280	50,5	2,450	45,5	2,470
15	1090	1115	1090	1100	50,5	2,140	45,5	2,120
16	1090	1035	1090	1120	50,5	2,160	45,5	2,170
17	1237	1220	1237	1200	43,25	2,432	40,75	2,400
18	1237	1270	1237	1250	43,25	2,430	40,75	2,480
19	0837	0850	0837	0850	37,5	1,632	34,5	1,680
20	0837	0820	0837	0800	37,5	1650	34,5	1,600
21	1797	1810	1897	1820	45,65	3547	43,15	3,500
22	1797	1780	1797	1770	46,65	3,560	43,15	3,600
23	1697	1710	1697	1720	45,9	3,347	42,9	3,305
24	1697	1980	1697	1680	49,9	3,330	42,9	3,380
25	0825	0800	0825	0850	37,25	1,615	34,75	1,600
26	0825	0850	0825	0800	37,25	1,600	34,75	1,620
27	1242	1220	1242	1210	45,9	2,437	42,9	2,450
28	1242	1260	1242	1270	45,9	2,420	42,9	2,480
29	0942	0960	0942	0910	43,0	1,832	41,0	1,800
30	0942	0930	0942	0960	43,0	1,850	41,0	1,800
31	0917	0930	0917	0900	31,0	1,807	29,0	1,850
32	0917	0900	0917	0930	31,0	1,825	29,0	1,80
33	0672	0700	0672	0650	31,2	1,307	28,75	1,320
34	0672	0650	0672	0700	31,25	1,330	28,75	1,300

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	0835	0850	0835	0815	37,25	1,630	34,75	1,600
36	0835	0820	0835	0850	37,25	1,650	34,75	1,630
37	1242	1260	1242	1210	46,1	2,437	42,7	2,400
38	1242	1220	1242	1250	46,1	2,450	42,7	2,400
39	0947	0960	0947	0960	49,75	1,847	46,25	1,880
40	0947	0930	0947	0920	49,75	1,860	46,25	1,810
41	0932	0910	0932	0900	46,15	1,817	42,65	1,800
42	0932	0950	0932	0950	46,15	1,850	42,65	1,800
43	1442	1460	1442	1420	50,0	2,837	46,0	2,800
44	1442	1420	1442	1460	50,0	2,800	46,0	2,840
45	1247	1220	1247	1270	49,5	2,447	44,5	2,410
46	1274	1260	1247	1220	49,5	2,420	44,5	2,430
47	1295	1310	1295	1280	51,0	2,540	45,0	2,500
48	1295	1280	1295	1300	51,0	2,560	45,0	2,600
49	1247	1280	1247	1230	49,4	2,447	45,4	2,410
50	1247	1230	1247	1280	49,4	2,470	45,4	2,490

Проверка выполняется путем прокладки теодолитного хода от осевых пунктов к подъемной машине и стволу и съемки характерных точек органов навивки подъемной машины, шкивов, сечения ствола (см. рис. 4.1).

4.3. Порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы рассмотрим на примере одного из вариантов.

Таблица 4.3

Основные геометрические элементы подъемной машины

Высота подъема	H, м	410
Диаметр барабана	$D_б$, м	4,00
Диаметр шкива	$D_ш$, м	3,00
Диаметр каната	$d_к$, мм	37
Ширина барабана	l, м	2,40
Расстояние между барабанами	b, мм	90
Высота копра	$H_{к, м}$	38,5
Зазор между витками канатов	e, мм	2
Ширина реборды барабана	$S_{ю, с}$, мм	45
Горизонтальное расстояние от оси вала подъемной машины и оси шкива	$L_г$, м	47,4

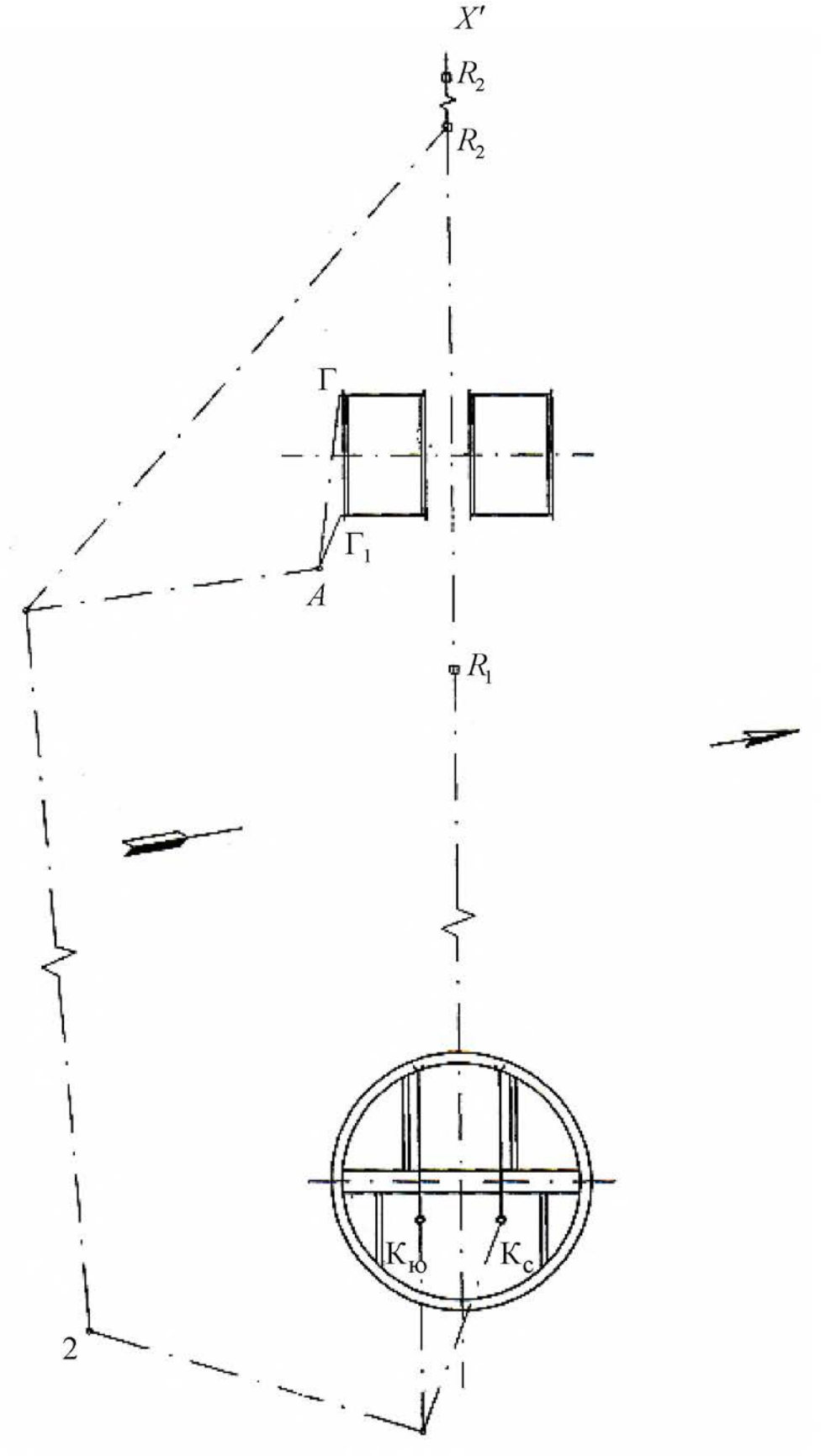


Рис. 4.1. Съемка характерных точек подъемного комплекса

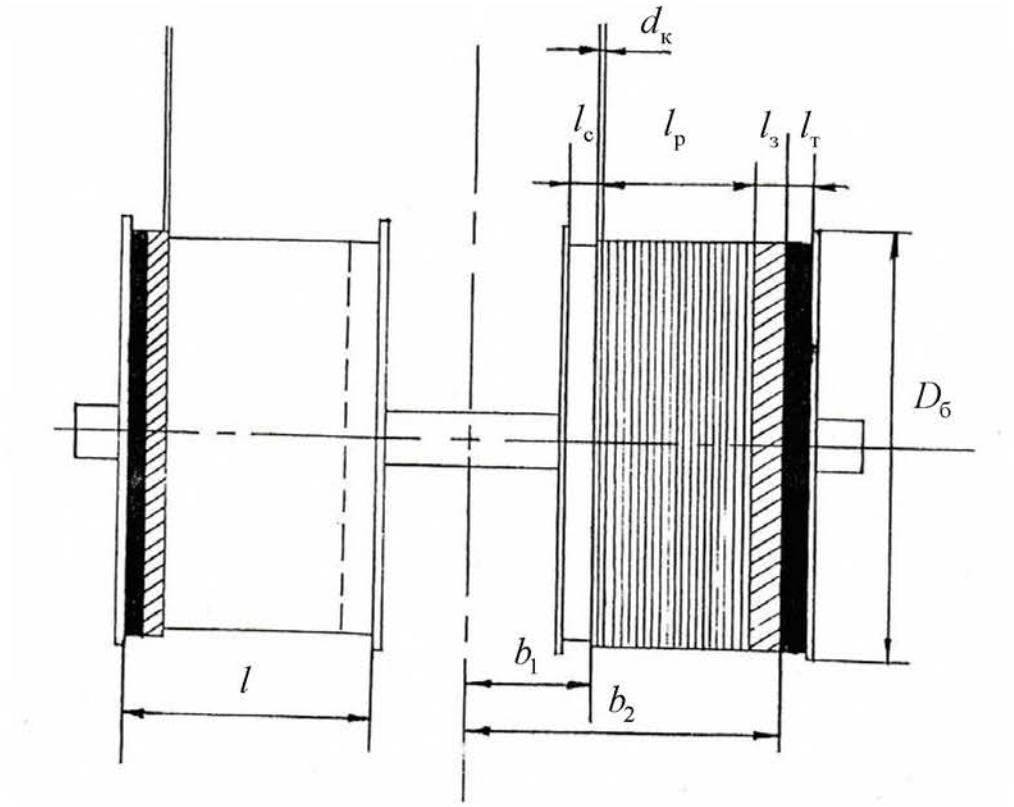


Рис. 4.2. Зоны цилиндрических барабанов

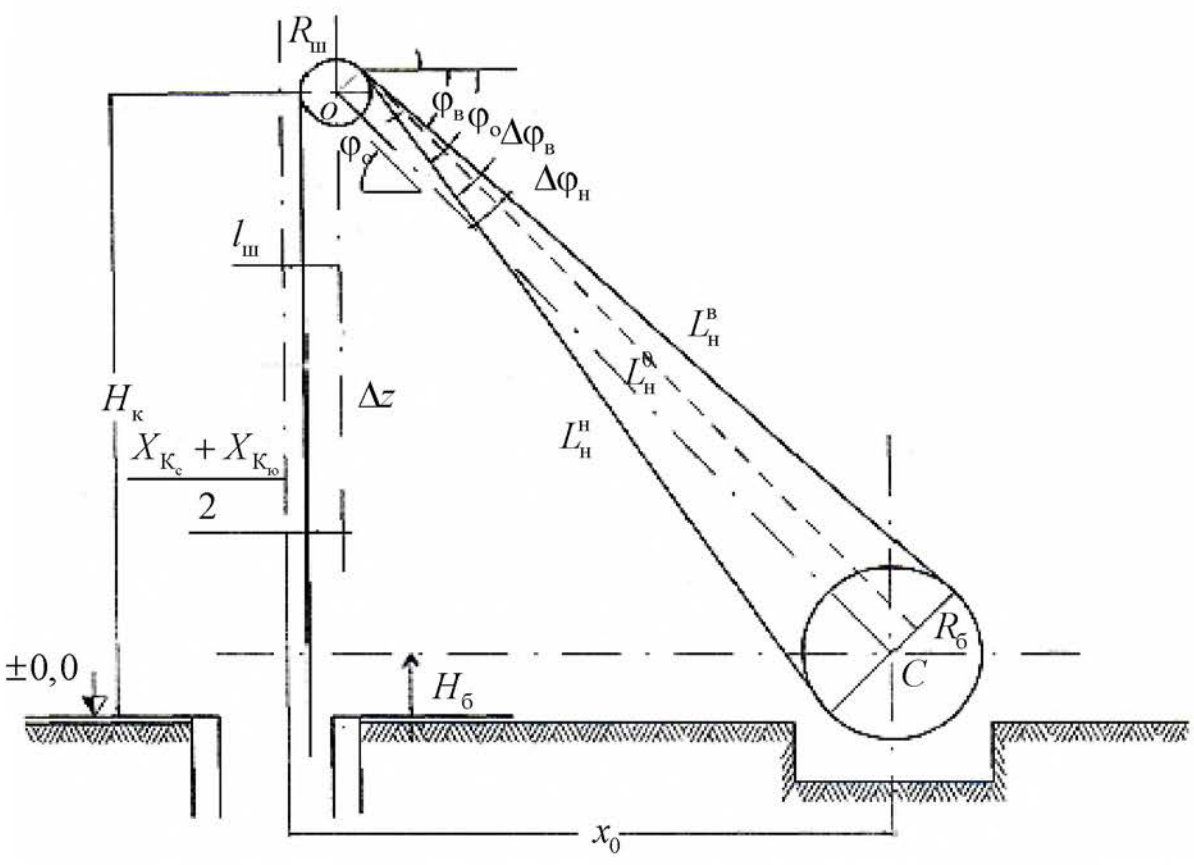


Рис. 4.3. Углы наклона подъемных канатов

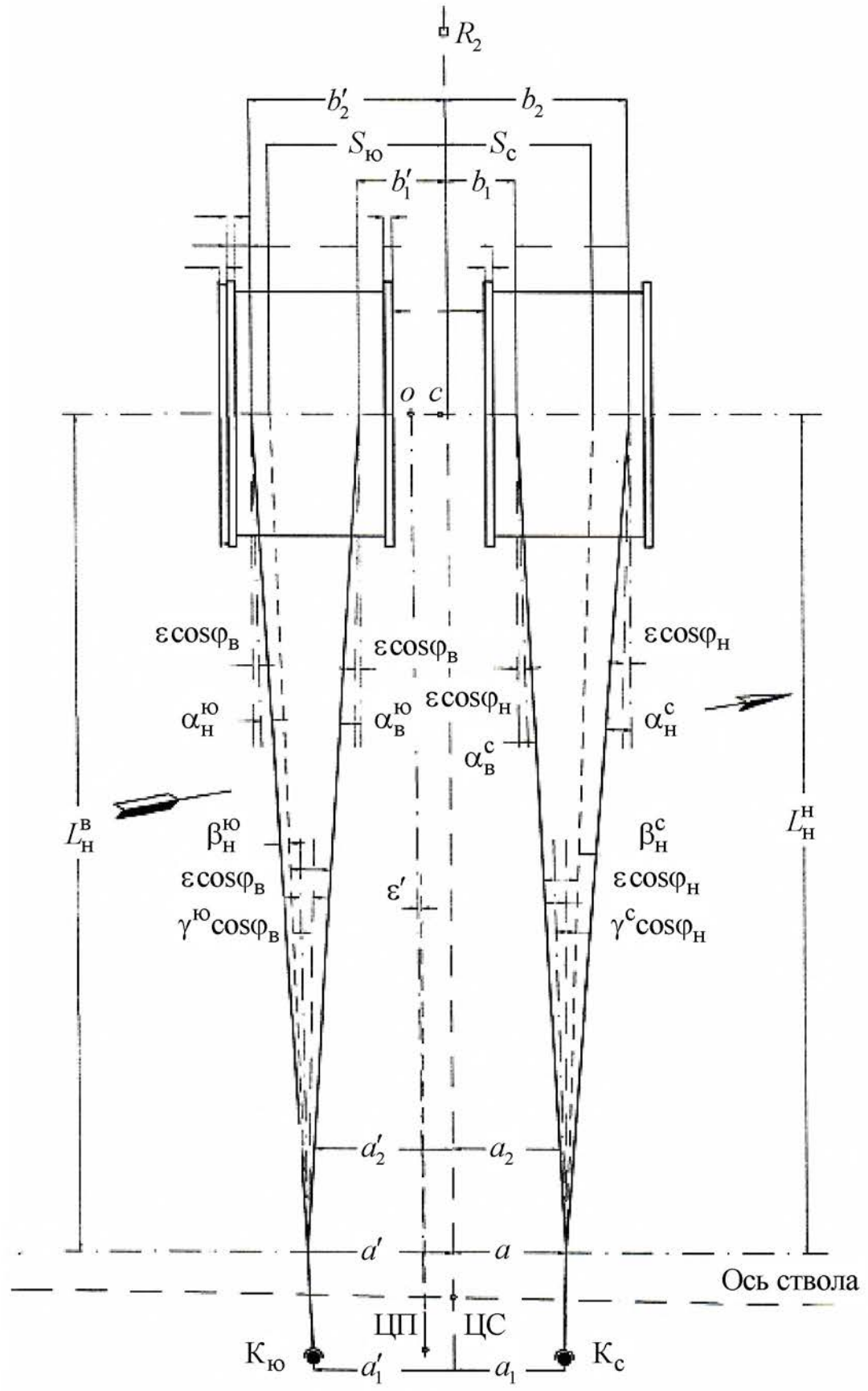


Рис. 4.4. Съемка шкивов и элементов барабанов подъемной машины

Таблица 4.4

Результаты маркшейдерской съемки реборды барабана подъемной машины и шкивов

Данные съемки шкивов				Съемки барабана машины			
				точка Г		точка $Г_1$	
a_1, мм	a_2, мм	a_1', мм	a_2', мм	x', м	y', м	x', м	y', м
1240	1260	1240	1250	49,4	2,450	45,4	2,420

4.3.1. *Вычисление элементов органов навивки для северного и южного барабанов (см. рис. 4.2)*

- Зона рабочих витков, ширина которой зависит от полной высоты подъема

$$l_{\text{р}} = \frac{H}{\pi \cdot D_{\text{б}}}\left(d_{\text{к}} + e\right) = \frac{410}{3{,}14 \cdot 4{,}0} \cdot \left(0{,}037 + 0{,}002\right) = 1{,}272 \text{ м}.$$

- Зона запасных витков необходима для наращивания рабочей части каната по мере уменьшения ее в процессе систематических испытаний каната:

$$l_{\text{з}} = \frac{30}{\pi \cdot D_{\text{б}}}\left(d_{\text{к}} + e\right) = \frac{300}{3{,}14 \cdot 4{,}0}\left(0{,}037 + 0{,}002\right) = 0{,}093 \text{ м},$$

где 30 – длина каната для испытаний.

- Зона витков трения служит для усиления закрепления каната на барабане (число витков трения n_m=3 – 5)

$$l_{\text{т}} = n_{\text{т}}\left(d_{\text{к}} + e\right) = 4\left(0{,}037 + 0{,}002\right) = 0{,}156 \text{ м}.$$

- Свободная часть барабана подъемной машины – разность между строительной шириной барабана l и суммарным размером рассмотренных выше трех зон

$$l_{\text{с}} = l - \left(l_{\text{р}} + l_{\text{з}} + l_{\text{т}}\right) = 2{,}4 - \left(1{,}272 + 0{,}093 + 0{,}156\right) = 0{,}879 \text{ м}.$$

4.3.2. Дирекционный угол фактической оси подъема (*см. рис. 4.1*)

$$\mathrm{tg}_{(\Gamma_1-\Gamma)} = \frac{Y'_{\Gamma} - Y'_{\Gamma_1}}{X'_{\Gamma} - X'_{\Gamma_1}} = \frac{2{,}450 - 2{,}420}{49{,}4 - 45{,}4} = 0{,}0075,$$

$$\alpha_{(\Gamma_1-\Gamma)} = 0^{\circ}25'47".$$

4.3.3. Величина непараллельности фактической оси подъема и оси ствола

$$\varepsilon = \alpha_{(\Gamma_1-\Gamma)} - \alpha_{R_2-R_3} = 0^{\circ}25'47",$$

где $\alpha_{R_2-R_3} = 0^{\circ}00'00"$ или $360^{\circ}00'00"$.

4.3.4. Координаты точки С, лежащей на оси главного вала подъемной машины посредине между барабанами

$$X_C = \frac{X'_{\Gamma_1} + X'_{\Gamma}}{2} = \frac{45{,}4 + 49{,}4}{2} = 47{,}4 \text{ м}.$$

$$Y_C = \frac{Y'_{\Gamma_1} + Y'_{\Gamma}}{2} - (2S + l_{\text{с}} + l_{\text{р}} + l_{\text{з}} + l_{\text{т}} + \frac{b}{2}) =$$

$$= \frac{2{,}420 + 2{,}450}{2} - (0{,}090 + 0{,}879 + 1{,}272 + 0{,}093 + 0{,}156 + 0{,}045) = -0{,}100 \text{ м}.$$

4.3.5. Углы наклонов верхнего и нижнего канатов и их наклонная длина (*см. рис. 4.3*)

- Наклонное расстояние от оси главного вала машины до оси шкивов:

$$L^0_{\text{н}} = \sqrt{L^2_{\Gamma} + \Delta Z^2},$$

где L_{Γ} – проекция искомого расстояния на горизонтальную плоскость; ΔZ – превышение оси шкива над осью вала

$$\Delta Z = H_{\text{к}} - H_{\text{б}} = 38{,}5 - 1 = 37{,}5 \text{ м},$$

$H_{\text{к}}$ – высота копра, м; $H_{\text{б}}$ – высота барабана, м

$$H_{б} = \frac{D_{б}}{2} - 1 = \frac{4,0}{2} - 1 = 1,0 \text{ м};$$

$$\Delta Z = 30 - 0,5 = 29,5 \text{ м};$$

$$L_{н}^{0} = \sqrt{47,4^2 + 37,5^2} = 60,440 \text{ м}.$$

- Углы наклонов верхнего и нижнего канатов

$$\text{tg}\varphi_0 = \frac{\Delta Z}{L_{Г}} = \frac{37,5}{47,4} = 0,79114,$$

где φ_0 – угол наклона линии, соединяющей оси вращения шкива и вала ($\varphi_0 = 38^\circ 20'56"$).

$$\Delta\varphi_{н} = \frac{R_{б} + R_{ш}}{L_{н}^{0}}\rho' = \frac{2+1,5}{60,440}3437,75 = 3^\circ 19'04";$$

$$\Delta\varphi_{в} = \frac{R_{б} - R_{ш}}{L_{Н}^{0}}\rho' = \frac{2-1,5}{60,440}3437,75 = 0^\circ 28'16";$$

$$\varphi_{в} = \varphi_0 - \Delta\varphi_{в} = 38^\circ 20'56" - 0^\circ 28'26" = 37^\circ 52'30";$$

$$\varphi_{н} = \varphi_0 + \Delta\varphi_{н} = 38^\circ 20'56" + 3^\circ 19'04" = 41^\circ 40'00".$$

- Наклонная длина верхних и нижних ветвей канатов

$$L_{н}^{в} = \frac{R_{б} - R_{ш}}{\sin\Delta\varphi_{в}} = \frac{2 - 1,5}{\sin 0^\circ 28'26"} = 60,453 \text{ м};$$

$$L_{н}^{н} = \frac{R_{б} + R_{ш}}{\sin\Delta\varphi_{н}} = \frac{2 + 1,5}{\sin 3^\circ 19'04"} = 60,476 \text{ м}.$$

4.3.6. Углы девиации на барабанах

- На северном:

$$\alpha_{в}^{с} = \frac{a - b_1}{L_{Н}^{н}}\rho' - \varepsilon\cos\varphi_{н};$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{b_2 - a}{L_{Н}^{н}}\rho' + \varepsilon\cos\varphi_{н},$$

где

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{1{,}240 + 1{,}260}{2} = 1{,}250 \text{ м},$$

$$b_1 = \frac{в}{2} - Y_C + S_C + l_c = 0{,}100 + 0{,}045 + 0{,}045 + 0{,}879 = 1{,}069 \text{ м},$$

$$b_2 = b_1 + l_р + l_з = 1{,}069 + 1{,}272 + 0{,}093 = 2{,}434 \text{ м};$$

$$\alpha_{в}^{с} = \frac{1{,}250 - 1{,}069}{60{,}476}3437{,}75 - 0^\circ 25'47''\cos 41^\circ 40' = -0^\circ 08'58'';$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{2{,}434 - 1{,}250}{60{,}476}3437{,}75 + 0^\circ 25'47''\cos 41^\circ 40' = 1^\circ 26'34''.$$

- На южном:

$$\alpha_{в}^{ю} = \frac{a' - b_1'}{L_{Н}^{в}}\rho' + \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в};$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{b_2' - a'}{L_{Н}^{н}}\rho' - \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в},$$

где

$$a' = \frac{a_1' + a_2'}{2} = \frac{1{,}240 + 1{,}2500}{2} = 1{,}245 \text{ м},$$

$$b_1' = Y_C + \frac{b}{2} + S_{ю} + l_с = -0{,}100 + \frac{0{,}09}{2} + 0{,}045 + 0{,}879 = 0{,}869 \text{ м},$$

$$b_2' = b_1' + l_р + l_з = 0{,}869 + 1{,}272 + 0{,}093 = 2{,}234 \text{ м},$$

$$\alpha_{в}^{ю} = \frac{1{,}245 - 0{,}869}{60{,}453}3437{,}75 + 0^\circ 25'47'' \cdot \cos 37^\circ 52'30'' = 0^\circ 41'44'',$$

$$\alpha_{н}^{ю} = \frac{2{,}234 - 1{,}245}{60{,}453}3437{,}75 - 0^\circ 25'47'' \cdot \cos 37^\circ 52'30'' = 0^\circ 35'53''.$$

По правилам технической эксплуатации значения углов отклонения канатов должны быть не более 1°30′. При углах отклонения выше этого предела возможно нарушение нормальной работы подъема, вызванное быстрым стиранием каната и расшатыванием копровых шкивов.

4.3.7. Углы девиации на шкивах

- На северном:

$$\gamma_{\text{с}} = \frac{\Delta a_{\text{с}}}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{a_2 - a_1}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{1{,}260 - 1{,}240}{3}3437{,}75 = 0^\circ 22'55'',$$

$$\beta_{\text{в}}^{\text{с}} = a_{\text{в}}^{\text{с}} + (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = -0^\circ 08'58'' + (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 27'25'';$$
$$\beta_{\text{н}}^{\text{с}} = a_{\text{н}}^{\text{с}} - (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 1^\circ 26'34'' - (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 50'11''.$$

- На южном:

$$\gamma_{\text{ю}} = \frac{\Delta a_{\text{ю}}}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{a_2 - a_1}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{1{,}250 - 1{,}240}{3}3437{,}75 = 0^\circ 11'28'';$$

$$\beta_{\text{в}}^{\text{ю}} = a_{\text{в}}^{\text{ю}} + (\gamma_{\text{ю}} - \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 0^\circ 41'44'' + (0^\circ 11'28'' - 0^\circ 25'47'')\cos 37^\circ 52'30'' =$$
$$= 0^\circ 30'26'';$$
$$\beta_{\text{н}}^{\text{ю}} = a_{\text{н}}^{\text{ю}} - (\gamma_{\text{ю}} - \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 0^\circ 35'53'' - (0^\circ 11'28'' - 0^\circ 25'47'')\cos 37^\circ 52'30'' =$$
$$= 0^\circ 47'11''.$$

4.3.8. Средние ошибки углов девиации на барабанах и шкивах

$$m_\alpha = \frac{\rho'}{L_{\text{н}}^0}\sqrt{\left(\frac{b_2 - a}{L_{\text{н}}^0}\right)m_{L_{\text{н}}^0}^2 + m_a^2 + m_{b_2}^2},$$

$$m_\beta = \sqrt{m_\alpha^2 + \cos^2\varphi_0 \cdot m_\gamma^2 + \gamma_c^2 \sin^2\varphi_0 \frac{m_\varphi^2}{\rho'^2}};$$

$$m_{L_н} = \pm\frac{1}{3000}60,440 = 0,020 \text{ м},$$

$$m_a = \frac{1}{3000}1,250 = 0,0004 \text{ м},$$

$$m_{b_2} = \frac{1}{3000}2,434 = 0,0008 \text{ м};$$

$$m_\alpha = \frac{206265}{60,440}\sqrt{\left(\frac{2,434-1,250}{60,440}\right)^2 0,020^2 + 0,0004^2 + 0,0008^2} = 0^\circ 00'03";$$

$$m_\gamma = 0,1^\circ; \quad m_\varphi = 5^\circ;$$

$$m_\beta^c = \sqrt{0,00083^2 + \cos^2\varphi_0 (0,1^\circ)^2 + \gamma^2 \sin^2\varphi_0 \frac{5^2}{57,3^2}} = 0^\circ 04'58";$$

$$m_\beta^{ю} = \sqrt{0,00083^2 + \cos^2\varphi_0 (0,1^\circ)^2 + \gamma^2 \sin^2\varphi_0 \frac{5^2}{57,3^2}} = 0^\circ 04'57".$$

Так как углы девиации на шкивах $\beta_в$ и $\beta_н$ не равны между собой и при большой разности этих углов будет происходить быстрое одностороннее стирание футеровки шкива и каната, это приведет к частой смене футеровки шкива и к сокращению срока службы каната, то необходимо довернуть шкив так, чтобы его плоскость была направлена на середину рабочей части барабана. Для этого определяют разность $(a_1 - a_{2\text{испр}})$.

Расстояния a_1 и a задаются проектом и изменению не подлежат, так как изменение сместит точки сходов канатов относительно центра тяжести подъемных отделений ствола.

$$a_1 - a_{2\text{испр}} = \frac{b_1 + b_2 - 2a}{2L_н^0 \cos\varphi_0} D_ш = \frac{1,069 + 2,434 - 2,500}{2 \cdot 60,440 \cos 38^\circ 20'56"}3 = 0,032 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}} = 1{,}240 - 0{,}032 = 1{,}208 \text{ м};$$

$$a_2 - a_{2\text{испр}} = 1{,}260 - 1{,}208 = 0{,}052 \text{ м};$$

$$a'_1 - a_{2\text{испр}'} = \frac{b'_1 + b'_2 - 2a'}{2L^0_{\text{н}} \cos\varphi_0} D_{\text{ш}} = \frac{1{,}869 + 2{,}234 - 2{,}490}{2 \cdot 60{,}440 \cos 38^\circ 20'56''} 3 = 0{,}019 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}'} = 1{,}240 - 0{,}019 = 1{,}221 \text{ м};$$

$$a'_2 - a_{2\text{испр}'} = 1{,}250 - 1{,}221 = 0{,}029 \text{ м}.$$

$$\Delta a_2 = 29 \text{ мм}.$$

Вывод: при вычислении углы девиации не превзошли допустимых (1°30'). Средняя ошибка углов девиации $m^c_\beta = 0^\circ 04'58''$; $m^{\text{ю}}_\beta = 0^\circ 04'57''$.

5. РАЗБИВКА ЗАКРУГЛЕННОЙ ТРАССЫ ПУТИ С ПЕРЕХОДНЫМИ КРИВЫМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

5.1. Общие положения

При перенесении проекта трассы с плана или карты в натуру выполняют вешение оси трассы и измерение углов поворота, линейные измерения, пикетаж, разбивку кривых, закрепление на местности элементов трассы и техническое нивелирование по пикетажу. Полученные материалы используют для составления рабочих чертежей проекта и при строительстве транспортного пути.

Линейные измерения по оси трассы производят стальной мерной лентой или дальномерами с относительной ошибкой 1:1000. Одновременно с линейными измерениями разбивают пикетаж, для чего на оси трассы фиксируют каждую сотню метров, отмечая её пикетажным колышком и сторожком; колышком отмечают и все точки излома профиля трассы, которые называются «плюсовыми точками».

Разбитые по трассе пикетные и плюсовые точки заносят в пикетажный журнал, в котором составляют подробный абрис ситуации вдоль трассы. В пикетажном журнале показывают также и вершины углов поворота оси трассы, измеренные значения углов и элементы закруглений (кривых) по трассе.

Понятие о переходных кривых

Известно, что при движении тела массой m по окружности радиуса R со скоростью v возникает центробежная сила F. Поэтому, когда движущийся вагон переходит с прямолинейного участка пути на круговую кривую, в начале кривой мгновенно возникает центробежная сила и осуществляет сильный толчок о рельсы, что особенно опасно при больших скоростях движения.

Для ослабления действия центробежной силы в начале и в конце круговой кривой делают вставку кривой, радиус которой изменяется от бесконечности (на прямой) до радиуса R круговой кривой, а в конце, наоборот, от R до бесконечности (рис 5.1). Такие кривые, служащие для перехода подвижного состава с прямолинейного

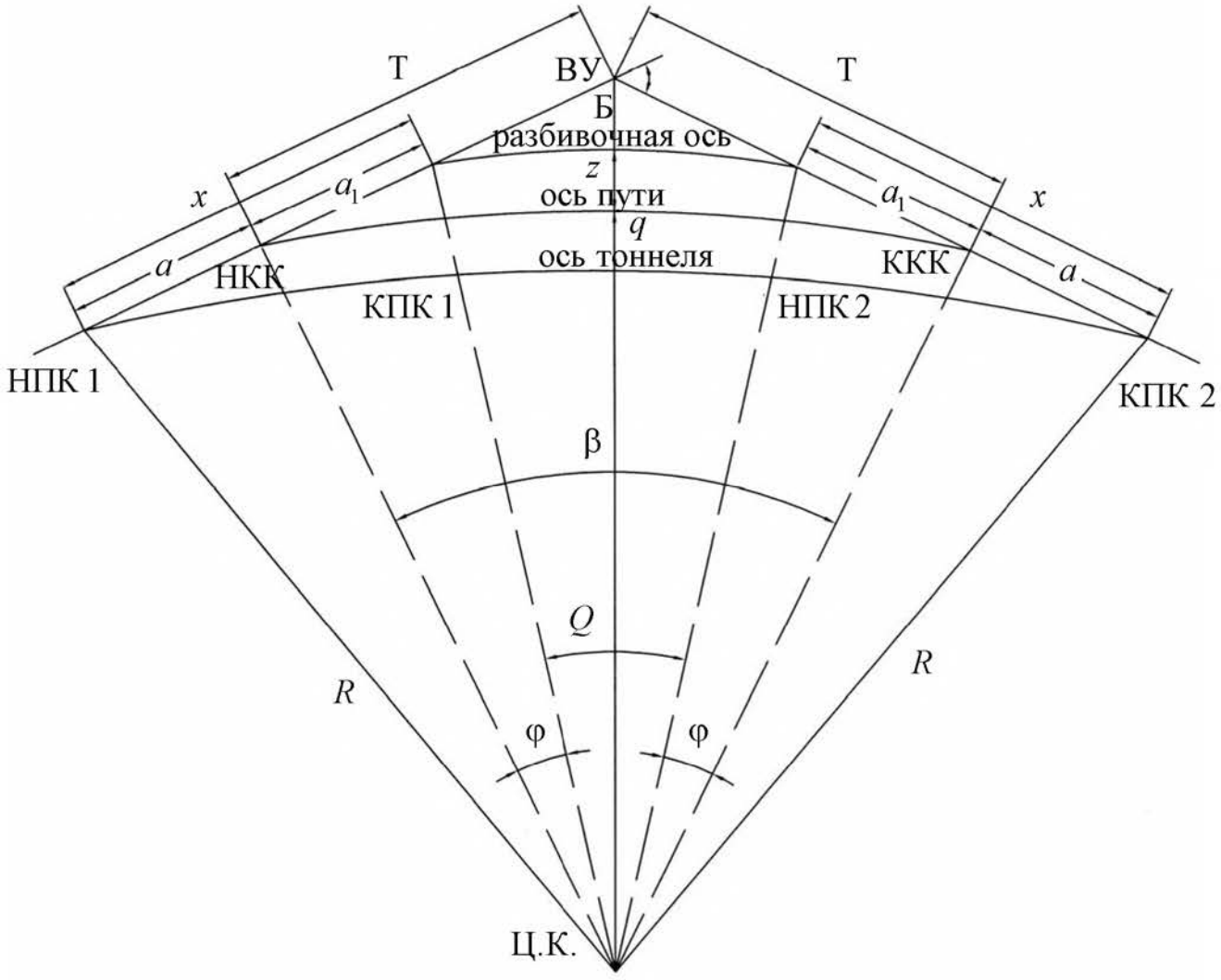


Рис. 5.1 Разбивка закругленной трассы тоннеля

участка на круговые кривые, называют **переходными кривыми**. На закруглениях дорог на их верхние строения действуют две силы: вес подвижного состава и центробежная сила. Необходимо, чтобы их равнодействующая была направлена перпендикулярно плоскости дороги. На автомобильной дороге это достигается устройством односкатного (в поперечном направлении) профиля на закруглениях вместо двускатного на прямых участках. На железных дорогах с той же целью устраивают возвышение h наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу (рис. 5.2).

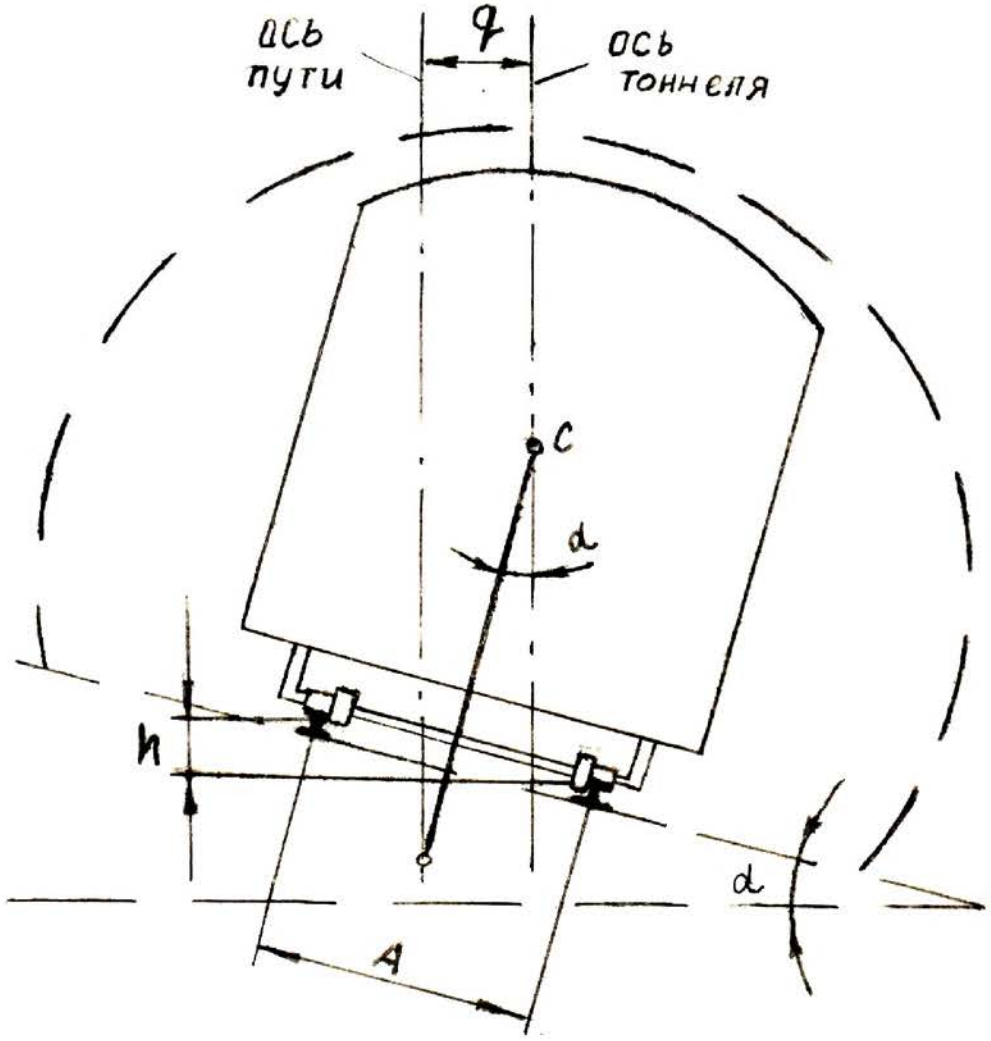


Рис. 5.2. Возвышение наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу

Для создания плавного перехода от прямых направлений к круговым кривым устраивают переходные кривые, величина радиуса которых изменяется от бесконечности до радиуса круговой кривой. В качестве переходной применяют кривую, которая выражается формулой

$$r_{\text{п}} = \frac{c}{S_{\text{п}}},$$

где $r_{\text{п}}$ – радиус кривизны; $S_{\text{п}}$ – длина переходной кривой от ее начала до текущей точки; c – постоянная величина (параметр переходной кривой).

5.2. Варианты исходных данных

Варианты исходных данных представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Определение основных элементов закруглений с переходной кривой и ее разбивка в транспортном тоннеле

Номер варианта	Варианты для группы 1			Варианты для группы 2		
	радиус круговой кривой, R, м	длина переходной кривой, L, м	угол поворота, β °	радиус круговой кривой, R, м	длина переходной кривой, L, м	угол поворота, β °
1	350	65	50°	355	90	50°
2	360	70	50°30'	365	85	50°30'
3	370	75	51°	375	80	51°
4	380	80	51°30'	385	75	51°30'
5	390	85	52°	395	70	52°
6	400	90	52°30'	405	65	52°30'
7	410	95	53°	415	60	53°
8	420	90	53°30'	425	65	53°30'
9	430	85	54°	435	70	54°
10	440	80	53°30'	445	75	53°30'
11	450	75	53°	455	80	53°
12	460	70	52°30'	465	85	52°30'
13	470	65	52°	475	90	52°
14	480	60	51°30'	485	95	51°30'
15	490	65	51°	495	90	51°
16	500	70	50°30'	505	85	50°30'
17	510	75	50°	515	80	50°
18	520	80	49°30'	525	75	49°30'
19	530	85	49°	535	70	49°
20	540	90	48°30'	545	65	48°30'
21	550	95	48°	555	60	48°
22	575	80	49°	550	70	50°
23	600	75	48°30'	545	80	55°
24	520	70	50°	325	60	52°
25	550	90	52°30'	385	70	57°

	Пикет начала круговой кривой ПК НКК	Ширина колеи, A, мм	Превышение горизонтального диаметра над головкой рельса, B, мм
Вариант для группы 1	95+50,542	1600	1700
Вариант для группы 2	97+49,844	1590	1850

Порядок выполнения работы рассмотрим на примере.

Исходные данные

Номер варианта	Радиус круговой кривой, R, м	Длина переходной кривой, L, м	Угол поворота, β, град	Пикет начала круговой кривой ПК НКК	Ширина колеи, A, мм	Превышение горизонтального диаметра над головкой рельса, B, мм
20	590	70	26°	95+50,542	1600	1700

Скорость поезда v = 60 км/ч.

a, a_1 – элементы переходной кривой;

X – абсцисса переходной кривой от начала до конца по линии тангенса;

Y – ордината от линии тангенса под углом 90° до разбивочной оси;

ВУ – вершина угла поворота;

Б – биссектриса, расстояние от вершины угла до середины кривой;

z – смещение оси пути относительно разбивочной оси;

q – смещение оси тоннеля относительно оси пути;

R – радиус круговой кривой;

β – угол поворота (центральный угол) трассы;

Θ – угол, ограниченный радиусом переходной кривой в точках $КПК_1$ и $НПК_1$;

φ – угол, заключенный между радиусами НКК и $КПК_1$ и между $НПК_2$ и ККК.

5.3. Параметры круговой кривой

1. Линия тангенса

$$T = R\mathrm{tg}\frac{\beta}{2} = 590\mathrm{tg}\frac{26^\circ}{2} = 136,212 \text{ м}.$$

2. Биссектриса

$$Б = R(\sec(\beta/2) - 1) = R\left(\frac{1}{\cos(\beta/2)} - 1\right) = 590\left(\frac{1}{\cos(26^\circ/2)} - 1\right) = 15,519 \text{ м}.$$

3. Длина круговой кривой

$$K = \frac{\pi R\beta}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 590 \cdot 26^\circ}{180^\circ} = 267,598 \text{ м}.$$

4. Домер

$$D = 2T - K = 2 \cdot 136,212 - 267,598 = 4,826 \text{ м}.$$

5.4. Параметры переходной кривой

1. Постоянная величина

$$c = RL = 590 \cdot 70 = 41300.$$

2. Текущие координаты

$$X = a + a_1 = L - \frac{L^5}{40c^2} = L\left(1 - \frac{L^2}{40 \cdot R^2}\right) = 70 - \frac{70^5}{40 \cdot 41300^2} = 69,975 \text{ м};$$

$$Y = \frac{L^3}{6c} - \frac{L^7}{336c^3} = \frac{L^2}{6R} = \frac{70^3}{6 \cdot 41300} - \frac{70^7}{336 \cdot 41300^3} = 1,384 \text{ м}.$$

3. Элементы переходной кривой

$$a = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{60c^2} = \frac{70}{2} + \frac{70^5}{60 \cdot 41300^2} = 35,016 \text{ м};$$

$$a_1 = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{24c^2} = \frac{70}{2} + \frac{70^5}{24 \cdot 41300^2} = 34,959 \text{ м}.$$

4. Смещение оси пути относительно разбивочной оси

$$z = \frac{L^3}{24c} + \frac{13L^7}{2688c^3} = \frac{70^3}{24 \cdot 41300} + \frac{13 \cdot 70^7}{2688 \cdot 41300^3} = 0,347 \text{ м}.$$

5. Смещение оси тоннеля относительно оси пути

$$q = h\frac{B}{A} = 76,271\frac{1700}{1600} = 0,081 \text{ м};$$

$$h = 12,5\frac{v^2}{R} = 12,5\frac{60^2}{590} = 76,271 \text{ мм}.$$

h – возвышение внешнего рельса над внутренним

6. Угол, заключенный между радиусами НКК и $КПК_1$, между $НПК_2$ и ККК

$$\varphi = \frac{L^2}{2c}\rho' = \frac{70^2}{2 \cdot 41300}3438' = 3^\circ 23' 57''.$$

5.5. Детальная разбивка переходной кривой

Детальная разбивка осуществляется либо от линии тангенса, либо от стягивающей эту кривую хорды.

5.5.1. Разбивка от линии тангенса

$$x_i = l_i - \frac{l_i^5}{40 \cdot c^2};$$

$$y_i = \frac{l_i^3}{6 \cdot c} - \frac{l_i^7}{336 \cdot c^3},$$

где l_i – длина кривой от начала переходной кривой до i-й точки; x_i – откладывают от пикета начала переходной кривой по линии тангенса; y_i – от линии тангенса.

$$q_i = q\frac{l_i}{L};$$

$$Y_i = y_i + q_i.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Результаты расчетов

l_i	x_i	y_i	q_i	$Y_i=y_i+q_i$
0	0	0	0	0
5	5	0,0005	0,006	0,0065
10	10	0,004	0,012	0,016
15	15	0,014	0,017	0,031
20	20	0,032	0,023	0,055
25	25	0,063	0,029	0,092
30	30	0,109	0,035	0,144
35	35	0,173	0,041	0,214
40	40	0,258	0,046	0,304
45	45	0,368	0,052	0,420
50	50	0,504	0,058	0,562
55	55	0,671	0,064	0,735
60	60	0,872	0,069	0,941
65	65	1,108	0,075	1,183
70	70	1,384	0,081	1,465

По результатам вычислений строим переходную кривую, рис. 5.3.

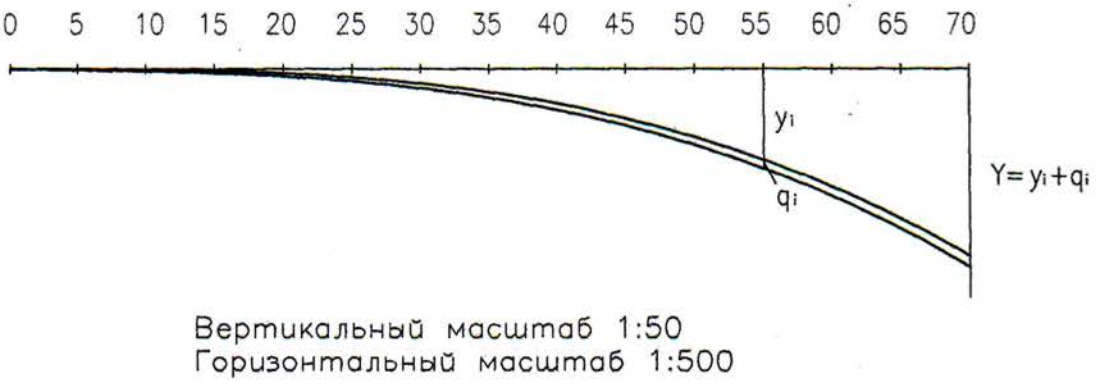


Рис. 5.3. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии тангенса

5.5.2 *Разбивка от линии хорды*

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{Y+q}{X},$$

где $Y = 1{,}384$ м, $q = 0{,}081$ м, $X = 69{,}975$ м.

$$\psi = \operatorname{arctg}\frac{1{,}384+0{,}081}{69{,}975} = 1^{\circ}11'58'';$$

$$b_i = l_i \operatorname{tg}\psi - \left(y_i + q_i\right).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Результаты расчетов

l_i	$l_i \cdot \operatorname{tg}\psi$	y_i	q_i	y_i+q_i	b_i
0	0	0	0	0	0
5	0,105	0,0005	0,006	0,0065	0,0985
10	0,209	0,004	0,012	0,016	0,193
15	0,314	0,014	0,017	0,031	0,283
20	0,419	0,032	0,023	0,055	0,364
25	0,523	0,063	0,029	0,092	0,431
30	0,628	0,109	0,035	0,144	0,484
35	0,733	0,173	0,041	0,214	0,519
40	0,837	0,258	0,046	0,304	0,533
45	0,942	0,368	0,052	0,420	0,522
50	1,047	0,504	0,058	0,562	0,485
55	1,152	0,671	0,064	0,735	0,417
60	1,256	0,872	0,069	0,941	0,315
65	1,361	1,108	0,075	1,183	0,178
70	1,466	1,384	0,081	1,465	0,001

По результатам вычислений строим переходную кривую, рис. 5.4.

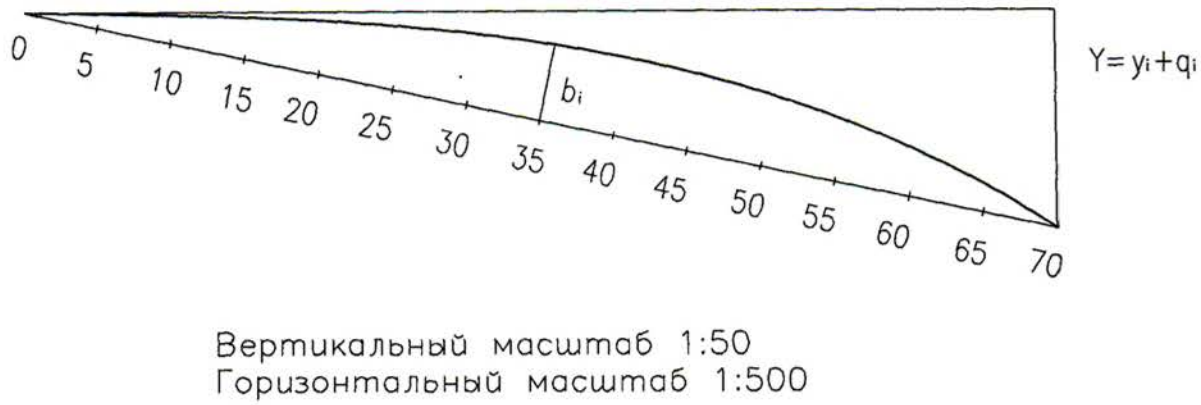


Рис. 5.4. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии хорды

5.6. Разбивка пикетажа

1. ПК НПК$_1$=ПК НКК – a = 95+50,542–35,016=95+15,526 м.
2. ПК КПК$_1$=ПК НПК$_1$ + L = 95+15,526+70=95+85,526 м.
3. ПК КПК$_1$=ПК НКК + a_1 = 95+50,542+34,959=95+85,501 м.
   ПК КПК$_1$=ПК НПК$_1$ + X = 95+15,526+69,975=95+85,501 м.
4. ПК ККК=ПК НКК + K = 95+50,542–267,598=98+18,140 м.
5. ПК КПК$_2$=ПК ККК + a = 95+18,140+35,016=98+53,156 м.
6. ПК НПК$_2$=ПК КПК$_2$ – L = 98+53,156–70=97+83,156 м.
7. ПК ВУ=ПК НКК – T = 95+50,542+136,212=96+86,754 м.

Контроль вычислений

$$\begin{array}{r} -\begin{array}{r}\text{ПК ВУ}\\ \text{Т}\end{array}\\ \hline +\begin{array}{r}\text{ПК НКК}\\ \text{К}\end{array}\\ \hline \text{ПК ККК}\end{array} \qquad \begin{array}{r} -\begin{array}{r}96+86{,}754\\ 136{,}212\end{array}\\ \hline +\begin{array}{r}95+50{,}542\\ 267{,}598\end{array}\\ \hline 98+18{,}140\end{array} \qquad \begin{array}{r} +\begin{array}{r}\text{ПК ВУ}\\ T\end{array}\\ -\quad D\\ \hline \text{ПК ККК}\end{array} \qquad \begin{array}{r} +\begin{array}{r}96+86{,}754\\ 136{,}212\end{array}\\ -\quad 4{,}826\\ \hline 98+18{,}140\end{array}$$

Главные точки закругления с переходными кривыми разбивают в такой последовательности:

- по значениям угла поворота, радиуса и длины переходной кривой рассчитывают или выбирают из таблицы разбивки кривых длину тангенсов, кривой и биссектрисы;
- откладывают от вершины угла в обе стороны величину тангенса и получают начало НК и конец КК кривой;
- по направлению биссектрисы откладывают ее величину и находят середину кривой СК.

6. РЕШЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАДАЧ ПО ПЛАНАМ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ БУМАГИ ПЛАНА

Исходные данные (берутся с планшета М 1:2000)

Точка № 480	a = 87,2 мм b = 60,4 мм A_0 = 15,0 км	a' = 12,3 мм b' = 40,2 мм B_0 = 22,0 км
Точка № 521	a = 93,1 мм b = 56,9 мм A_2 = 15,2 км	a' = 6,4 мм b' = 42,5 мм B_0 = 22,0 км
Точка № 514	a = 84,2 мм b = 16,4 мм A_2 = 15,2 км	a' = 14,9 мм b' = 83,4 мм B_4 = 22,4 км

М 1:2000

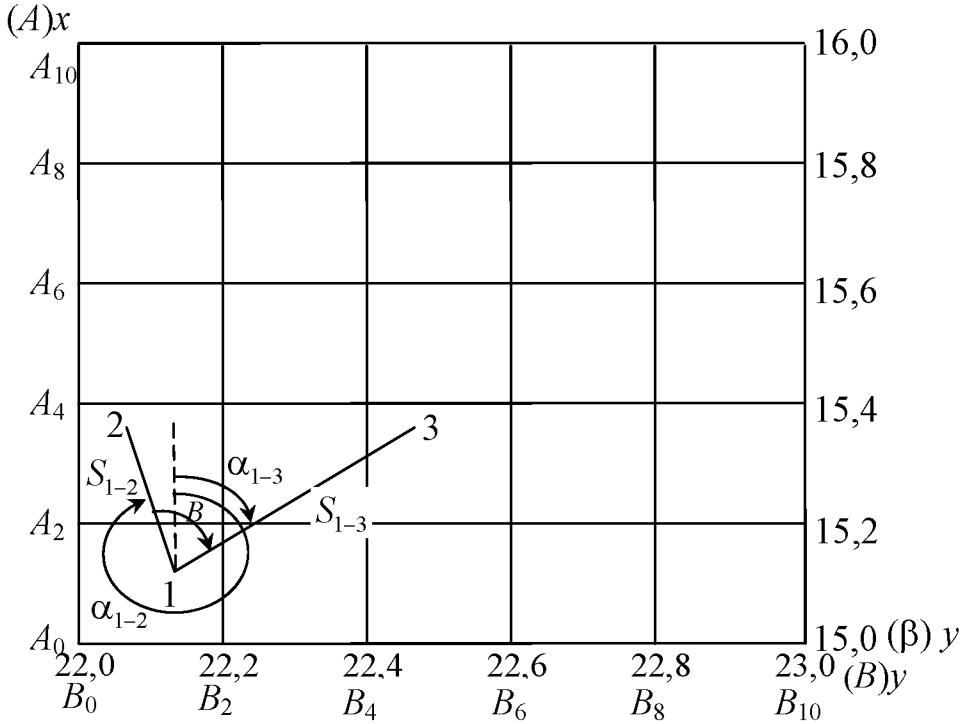


Рис. 6.1. Схема расположения скважин

Вычисляем координаты точек 1 – 3 (с точностью до миллиметра).

$$x_{\text{М}} = A + \frac{a}{\frac{1}{\text{М}}} \cdot \frac{d}{a+a}; \qquad y_{\text{М}} = B + \frac{b}{\frac{1}{\text{М}}} \cdot \frac{d}{b+b},$$

где d – размер координатной сетки (100 х 100); a, a' - берутся размеры с плана с точностью до 10 долей миллиметра по оси X; b, b' – берутся размеры с плана с точностью до 10 долей миллиметра по оси Y; $\frac{d}{a+a'} = \Delta X; \frac{d}{b+b'} = \Delta Y$ – коэффициент деформации по осям X и Y.

Вычисляем координаты точки 1:

$$x_1 = A_0 + \frac{a}{\frac{1}{M}} \frac{d}{a+a'} = 15,0 + \frac{87,2}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{87,2+12,3} = 15,175276 \text{ км};$$

$$y_1 = B_0 + \frac{b}{\frac{1}{M}} \frac{d}{b+b'} = 22,0 + \frac{60,4}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{60,4+40,2} = 22,120079 \text{ км};$$

Координаты точки 2:

$$x_2 = A_2 + \frac{a}{\frac{1}{M}} \frac{d}{a+a'} = 15,2 + \frac{93,1}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{93,1+6,4} = 15,387135 \text{ км};$$

$$y_2 = B_0 + \frac{b}{\frac{1}{M}} \frac{d}{b+b'} = 22,0 + \frac{56,9}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{56,9+42,5} = 22,114486 \text{ км};$$

Координаты точки 3:

$$x_3 = A_2 + \frac{a}{\frac{1}{M}} \frac{d}{a+a'} = 15,2 + \frac{84,2}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{84,2+14,9} = 15,369929 \text{ км};$$

$$y_3 = B_4 + \frac{b}{\frac{1}{M}} \frac{d}{b+b'} = 22,4 + \frac{16,4}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{16,4+83,4} = 22,432865 \text{ км};$$

Вычисляем горизонтальные проложение S_3 и S_2:

$$S_2 = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} =$$

$$= \sqrt{(15{,}369929 - 15{,}175276)^2 + (22{,}432865 - 22{,}120079)^2} = 0{,}368408 \text{ км};$$

$$S_3 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} =$$

$$= \sqrt{(15{,}387135 - 15{,}175276)^2 + (22{,}114486 - 22{,}120079)^2} = 0{,}211933 \text{ км}.$$

Вычисляем угол β:

$$\beta = \alpha_{1-3} - \alpha_{1-2} = (56^\circ 06' 18'' + 360^\circ) - 358^\circ 69' 56'' = 59^\circ 37' 02'';$$

$$\alpha^r_{1-3} = \operatorname{arctg}\frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} = \operatorname{arctg} 1{,}60689 = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha_{1-3} = \alpha^r_{1-3} = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha^r_{1-2} = \operatorname{arctg}\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \operatorname{arctg} 0{,}0264 = 1^\circ 30' 44'';$$

$$\alpha_{1-2} = 360 - \alpha^r_{1-2} = 358^\circ 69' 56''.$$

Ответ: S_2= 0,368408 км; S_3= 0,211933 км; β = 59°37′02″.

7. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОКАНАТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Многоканатные подъемные машины имеют несколько подъемных канатов, каждый из которых присоединен к обоим подъемным сосудам. Многоканатные подъемные машины устанавливают, как правило, в башенных копрах высотой от 31 до 127 м. Подъемные машины изготавливаются грузоподъемностью 3 – 50 т с диаметрами приводных шкивов 2,1 – 5 м и бывают трех типов: четырех-, шести- и восьмиканатные.

На рис. 7.1. изображены геометрические элементы и параметры многоканатной подъемной установки: *а* и *б* – проекции на вертикальную плоскость; *в* – вид в плане; *1* – барабан ведущих шкивов; *2, 3* – средние точки схода канатов с ведущих и отклоняющих шкивов; *4* – отклоняющие шкивы; *5* – горизонт установки отклоняющих шкивов; *6* – номер каната; *7* – расстрел; *8* – подвесное устройство подъемного сосуда; *9* – проводник; *10* – средняя точка подвесного устройства; *11* – подъемный сосуд; l – длина промежуточной струны каната; h – превышение между осями главного вала и вала отклоняющих шкивов; h_1, h_2 – превышение осей главного вала и вала отклоняющих шкивов над горизонтом установки отклоняющих шкивов; h_3, h_4 – превышение осей главного вала и вала отклоняющих шкивов над средними точками подвесных устройств; $R_{вш}$, $R_{ош}$ – радиусы ведущих и отклоняющих шкивов.

По завершении монтажа многоканатной подъемной установки, а также в период ее эксплуатации, выполняется маркшейдерская проверка соотношения геометрических элементов установки, в результате которой следует определить: углы наклона осей главного вала δ и вала отклоняющих шкивов δ'; углы девиации оси системы промежуточных канатов на ведущих φ и отклоняющих шкивах ψ; углы отклонения от вертикали осей систем неотклоненных θ и отклоненных ω канатов; углы девиации головных канатов на ведущих α и отклоняющих β шкивах; угол поворота оси вала отклоняющих шкивов относительно оси главного вала ε; угол перегиба каната отклоняющим шкивом η.

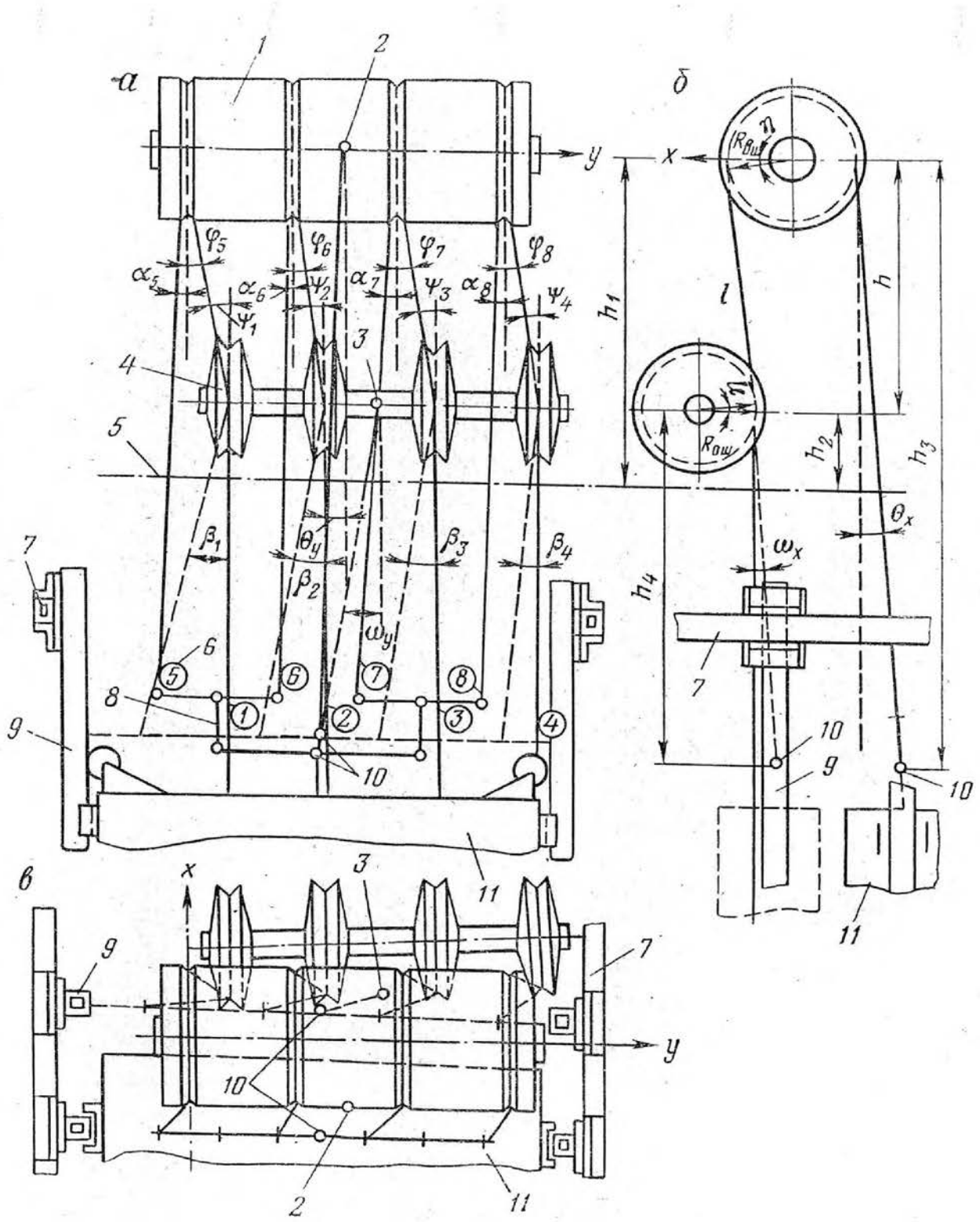


Рис. 7.1. Геометрические элементы и параметры многоканатной подъемной установки

Проверку выполняют относительно осей координат в условной системе, за ось ординат которой принимают ось главного вала, а за ось абсцисс – линию, проходящую через середину ручья одного из крайних ведущих шкивов. Способ проверки основан на допущении, что при нижнем положении подъемного сосуда головные канаты вертикальны, а при верхнем – максимально отклонены от вертикали. Работы целесообразно разделить на подготовительные и периодические.

В процессе подготовительных работ определяют радиусы ведущих шкивов, закрепляют на горизонте измерений вспомогательные оси и находят координаты пунктов этих осей, выполняют съемку вала отклоняющих шкивов, определяют высоту осей главного вала и вала отклоняющих шкивов, средних точек подвесных устройств.

При периодических проверках, не реже одного раза в год, контролируют параметры и соотношения геометрических элементов установки.

Рассмотрим виды и последовательность выполнения работ применительно к проверке четырехканатной подъемной установки в период эксплуатации.

1. Радиусы ведущих шкивов определяют для задания вспомогательных осей на горизонте измерений. Существуют несколько способов нахождения радиусов. На практике часто применяется способ определения радиусов ведущих шкивов $R_{\text{вш}}$ измерением расстояний от рейки, приложенной к ребордам барабана подъемной машины, до дна каждого из ручьев ведущих шкивов и до тормозных ободов. Первоначально определяют радиусы тормозных ободов $R_{\text{то}}$ и далее измеряют линейкой расстояния до тормозных ободов a_1 и a_2 и до ручьев шкивов $b_5 - b_8$. Радиусы ведущих шкивов

$$R_{1-6} = R_{\text{то}2} + a_2 - b_5 + r_{\text{к}}; \quad R_{2-6} = R_{\text{то}2} + a_2 - b_6 + r_{\text{к}};$$
$$R_{3-7} = R_{\text{то}1} + a_1 - b_7 + r_{\text{к}}; \quad R_{4-8} = R_{\text{то}1} + a_1 - b_8 + r_{\text{к}}.$$

2. Закрепление на горизонте измерений вспомогательных осей (рис. 7.2.). Пункты, закрепляющие вспомогательные оси *CD* и *AB,* расположены, как правило, на перекрытии копра, где установлены отклоняющие шкивы. На горизонте измерений параллельно неотклоненным канатам 5 – 7 и 8 укладывают рейку координатометра, опускают подъемный сосуд в нижнее положение и ординатометром измеряют расстояния от крайних канатов 5 и 8 до рейки. Перемещением рейки добиваются равенства этих расстояний и закрепляют опорные пункты *C* и *D*.

Пункты *A* и *B*, расположенные вдоль створа отклоненных канатов 1 – 3 и 4 определяют линейными засечками с пунктов *C* и *D* добиваясь, чтобы линия *AB* была параллельна *CD* с точностью ±10′.

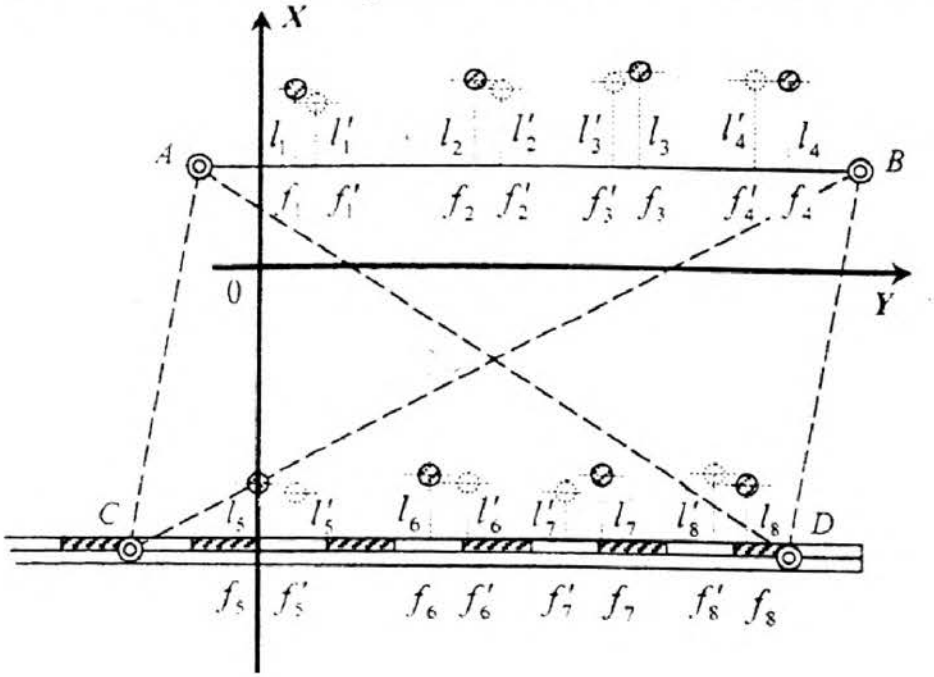


Рис. 7.2. Схема ординатной съемки канатов на горизонте измерений

3. Для определения координат пунктов *C* и *D* выполняют ординатную съемку неотклоненных канатов при нижнем положении подъемного сосуда и измеряют стороны и диагонали четырехугольника *ABCD* (см. рис. 7.2.). Вычисляют абсциссы оси рейки:

$$X_{p5} = -R_5 + l_5; \quad X_{p6} = -R_6 + l_6;$$

$$X_{p7} = -R_7 + l_7; \quad X_{p8} = -R_8 + l_8.$$

Абсциссы оси рейки уравнивают по формулам

$$X_{5\text{ур}} = \frac{2\left(X_{\text{р}5} + 2X_{\text{р}6} + X_{\text{р}7}\right) - \left(X_{\text{р}6} + 2X_{\text{р}7} + X_{\text{р}8}\right)}{4}$$

$$X_{5\text{ур}} = \frac{2\left(X_{\text{р}6} + 2X_{\text{р}7} + X_{\text{р}8}\right) - \left(X_{\text{р}5} + 2X_{\text{р}6} + X_{\text{р}7}\right)}{4}$$

Дирекционный угол стороны *CD* вычисляют по формуле

$$\alpha_{CD} = 90^\circ + \frac{\left(X_{\text{р}5\text{ур}} - X_{\text{р}8\text{ур}}\right)}{f_8 - f_5}\rho'.$$

Вычисляют координаты опорного пункта *C*:

если $\alpha_{CD} \pm 90° \le 10'$, *то*

$$X_C = X_{\text{р5ур}}; \qquad Y_C = \nu - f_5,$$

если $\alpha_{CD} \pm 90° > 10'$, *то*

$$X_C = X_{\text{р5ур}} + (\nu - f_5)\operatorname{tg}(\alpha_{CD} - 90°); \quad Y_C = \nu - f_5 + l_5 \operatorname{tg}(\alpha_{CD} - 90°),$$

где v – отсчет по рейке, соответствующий центру отверстия на пункте C.

4. Принимая за исходные данные координаты пункта C и дирекционный угол стороны CD, вычисляют координаты пунктов A, B и D. Первоначально необходимо определить внутренние углы четырехугольника $ABCD$, используя формулы

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \qquad \cos B = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac};$$

$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}; \qquad \cos D = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}.$$

Угловая невязка в четырехугольнике не должна превышать 10', а линейная – 1:2000.

5. Угол поворота оси вала отклоняющих шкивов ε относительно оси главного вала определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{d_4 - d_3}{S'}\rho' + (\alpha_{AB} - 90°),$$

где d_3 и d_4 – расстояния от оси вала отклоняющих шкивов до пунктов соответственно B и A вспомогательной оси AB на горизонте измерений; S' – расстояние между точками 3 и 4 вала отклоняющих шкивов.

6. Высоты осей главного вала и вала отклоняющих шкивов, опорных пунктов и средних точек подвесных устройств определяют геометрическим нивелированием относительно реперов, заложенных на перекрытиях. В результате вычисляют превышения: оси главного вала над горизонтом измерений h_1; оси вала отклоняющих шкивов h_2 над горизонтом измерений; оси главного вала над валом отклоняющих шкивов h.

Для определения наклона оси главного вала δ и оси вала отклоняющих шкивов δ' измеряют превышения Δh, $\Delta h'$ и расстояния S, S' между концами соответствующих валов, а затем вычисляют

$$\delta = \frac{\Delta h}{S}\rho'; \quad \delta' = \frac{\Delta h'}{S}.$$

7. Определение координат осей канатов на горизонте измерений (см. рис. 7.2). Координаты осей канатов при двух крайних положениях

подъемных сосудов (верхнем и нижнем) используют для определения углов отклонения от вертикали системы канатов θ и ω, углов девиации канатов α, β, φ, ψ и угла перегиба каната η отклоняющим шкивом. Ординатная съемка канатов выполняется от опорных пунктов *AB* и *CD* с помощью реечного координатометра. Отсчеты по координатометру приводят к оси рейки и осям канатов $(l_к, f_к)$. Затем вычисляют координаты x_i, y_i, осей неотклоненных канатов и $x_к, y_к$, осей отклоненных канатов при нижнем положении подъемного сосуда и x_i', y_i', $x_к'$, $y_к'$ – при верхнем положении сосуда:

$$x_к = x_A - l_к + (f_к - \nu)\mathrm{tg}(90° - \alpha_{AB}) = x_A - l_к + \Delta l;$$

$$y_к = y_A + (f_к - \nu) - l_к \mathrm{tg}(90^\circ - \alpha_{AB}) = y_A + (f_к - \nu) + \Delta f;$$

$$x_i = x_C - l_i + (f_i - \nu)\mathrm{tg}(90^\circ - \alpha_{CD}) = x_C - l_i + \Delta l;$$

$$y_i = y_C + (f_i - \nu) - l_i \mathrm{tg}(90^\circ - \alpha_{CD}) = y_C + (f_i - \nu) + \Delta f.$$

8. Угол перегиба η каната вычисляют по приближенной формуле

$$\eta = \mathrm{arctg}\frac{-(x_i - x_к)}{h - 0{,}5}.$$

9. Углы отклонения от вертикали осей систем канатов θ_y и θ_x, ω_y и ω_x вычисляют по формулам

$$\theta_y = \frac{\sum y'_i - \sum y_i}{n h_1}\rho'; \qquad \theta_x = \frac{\sum x'_i - \sum x_i}{n h_1}\rho';$$

$$\omega_y = \frac{\sum y'_к - \sum y_к}{n h_2}\rho'; \qquad \omega_x = \frac{\sum x'_к - \sum x_к}{n h_2}\rho',$$

где n – число канатов в системе.

10. Углы девиации головных канатов на ведущих (5 – 8) и отклоняющих (1 – 4) шкивах вычисляют по формулам

$$\alpha_i = \frac{y_i - y'_i}{h_1}\rho' + \delta; \quad \beta_к = \frac{y_к - y'_к}{h_2}\rho' + \delta'.$$

11. Углы девиации промежуточных канатов на ведущих φ_i и отклоняющих $\psi_к$ шкивах:

$$\varphi_i = \frac{y_к - y_i}{l}\rho' + \delta;\ \psi_к = \frac{y_i - y_к}{l}\rho' + \delta + \varepsilon\sin\eta,$$

где l – длина промежуточной струны каната;

$$l = \cos\eta\left[h - \left(R_{ош} + x_к\right)\mathrm{tg}\eta\right].$$

Угловые отклонения, полученные в результате проверки, сравнивают с допустимыми:

θ_y	ω_y	θ_x	ω_x	α	β	φ	ψ	δ	δ'	η	ε
0°30'	0°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	0°30'	0°30'	0°02'	0°10'	15°	0°45'

Пример. Выполнить маркшейдерский контроль канатной подъемной установки.

Шахтный ствол оборудован двухскиповым и двухклетьевым подъемами. В машинном зале цилиндрического башенного копра высотой 72,7 м установлены две четырехканатные машины. Высота машинного зала над нулевой площадкой 61 м. Диаметр подъемных канатов 28 мм. Армировка ствола жесткая с рельсовыми проводниками. При маркшейдерской проверке скиповой подъемной установки (см. рис. 13 – 15), обслуживающей горизонт – 610 м, получили следующие данные:

• для определения радиусов ведущих шкивов: радиусы тормозных ободов $R_{то1} = 1450$ мм и $R_{то2} = 1449$ мм; расстояния от рейки до тормозных ободов $a_1 = 351$ мм и $a_2 = 352$ мм; расстояния от рейки до дна ручья шкивов $b_5 = 187$ мм, $b_6 = 186$ мм, $b_7 = 191$ мм, $b_8 = 188$ мм; диаметр каната $d_к = 28$ мм;

• для определения наклонов валов шкивов: длина вала ведущих $S = 1850$ мм и отклоняющих $S' = 1780$ мм шкивов; превышения между концами вала ведущих $\Delta h = 1{,}1$ мм и отклоняющих $\Delta h' = 2{,}0$ мм шкивов;

• для определения углов девиации канатов: превышение оси главного вала над горизонтом измерений $h_1 = 7{,}65$ м; превышение вала отклоняющих шкивов над горизонтом измерений $h_2 = 1{,}50$ м; превышение между осями валов ведущих и отклоняющих шкивов $h = 6{,}20$ м;

• для определения углов разворота оси вала отклоняющих шкивов относительно главною вала: расстояния от рейки до оси вала $d_3 = 1776$ мм и $d_4 = 1771$ мм; расстояние от нуля до точки C рейки ко-

ординатометра v = 100 мм; результаты ординатной съемки представлены в табл. 7.1;

• для определения координат опорных пунктов на горизонте измерений: AB = 2003 мм; CD = 2003 мм; BD = 2288 мм; CA = 2275 мм; AD = 2969 мм; BC = 3100 мм.

Таблица 7.1

Результаты ординатной съемки канатов

Номер каната	Отсчеты по координатометру, мм		Номер каната	Отсчеты по координатометру, мм	
	$l_к$	$f_к$		l_i	f_i
Скип в нижнем положении					
1	-157	598	5	-177	697
2	-157	905	6	-178	1007
3	-159	1203	7	-182	1301
4	-158	1508	8	-178	1608
Скип в верхнем положении					
1'	-154	600	5'	-166	702
2'	-152	908	6'	-172	1012
3'	-153	1196	7'	-173	1276
4'	-154	1505	8'	-180	1598

Решение

1. Определяем радиусы ведущих шкивов

$$R_{1-5} = 1{,}449 + 0{,}352 - 0{,}187 + 0{,}014 = 1{,}628 \text{ м};$$

$R_{2-6} = 1{,}629$ мм; $R_{3-7} = 1{,}624$ мм; $R_{4-8} = 1{,}627$ мм.

2. Вычисляем абсциссы оси рейки

$$X_{р5} = -1{,}628 - 0{,}177 = -1{,}805 \text{ м};$$

$X_{р6} = -1{,}807$ м; $X_{р7} = -1{,}806$ м; $X_{р8} = -1{,}805$ м.

Уравненные значения абсцисс оси рейки

$$X_{р5ур} = -1{,}8065 \text{ м}; \qquad X_{р8ур} = -1{,}8057 \text{ м}.$$

3. Находим дирекционный угол стороны CD

$$\alpha_{CD} = 90° + \frac{-1{,}8065 + 1{,}8057}{1{,}608 - 0{,}697} 3438' = 89°57'.$$

Поскольку $(\alpha_{CD} - 90°) < 10'$, координаты пункта C

$$X_C = -1{,}806 \text{ м}; \qquad Y_C = 0{,}100 - 0{,}697 = -0{,}597 \text{ м}.$$

4. Вычисляем внутренние углы четырехугольника $ABCD$ по формуле косинусов:

$$\cos A = \frac{(2275)^2 + (2003)^2 - (3100)^2}{9486323} = -0{,}04452; \quad A = 92°33'.$$

Аналогичным образом получаем: $B = 87°18'$; $D = 92°16'$; $C = 87°45'$. Сумма углов составит $359°52'$, тогда угловая невязка $f_\beta = 359°52' - 360°00' = -0°08'$ оказалась меньше допустимой 10'. Поправка на каждый угол составит +2'.

После уравнивания углов в четырехугольнике составляем ведомость вычисления координат и в результате получаем координаты точек (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Координаты точек и поправки, м

Координаты	C	A	B	D	$f_x = 0{,}004$
x	-1,806	0,467	0,472	-1,814	$f_y = -0{,}001$
y	-0,597	-0,509	1,408	1,318	$f_{xyp} = 1:2080$

5. Вычисляем угол поворота оси вала отклоняющих шкивов ε относительно оси вала ведущих шкивов

$$\varepsilon = \frac{1771 - 1776}{1780} 3438' + (89°35' - 90°) = 0°35'.$$

6. Определяем углы наклона оси главного вала δ и оси вала ведущих шкивов δ′

$$\delta = \frac{1{,}1}{1850} 3438' = 2'; \qquad \delta' = \frac{2{,}0}{1780} 3438' = 4'.$$

7. Вычисляем координаты осей канатов при нижнем и верхнем положениях сосудов и оформляем для удобства в виде таблицы (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Координаты осей канатов, м

Номер каната	X_A, X_C	$l_к$, l_i	Δl, Δf	$x_к, x_i$	Y_A, Y_C	$f_к - \nu$ $f_i - \nu$	Δl, Δf	$y_к, y_i$
Скип в нижнем положении								
1	0,467	–0,157	0,004	0,628	–0,509	0,498	–0,001	–0,012
2		–0,157	0,006	0,630		0,805	–0,001	0,295
3		–0,159	0,008	0,634		1,103	–0,001	0,593
4		–0,158	0,010	0,635		1,408	–0,001	0,898
	$x_к$ = 0,632		$\sum x_к$ = 2,527		$y_к$ = 0,456		$\sum y_к$ = 1,826	
5	–1,806	–0,177	0,000	–1,629	–0,597	0,597	0,000	0,000
6		–0,178	0,001	–1,628		0,907	0,000	0,310
7		–1,182	0,001	–1,624		1,201	0,000	0,604
8		–0,178	0,001	–1,628		1,508	0,000	0,911
	x_i = –1,627		$\sum x_i$ = –6,509		y_i = 0,456		$\sum y_i$ = 1,825	
1'	0,467	–0,154	0,004	0,625	–0,509	0,500	–0,001	–0,010
2'		–0,152	0,006	0,625		0,808	–0,001	0,298
3'		–0,153	0,008	0,628		1,096	–0,001	0,586
4'		–0,154	0,010	0,631		1,405	–0,001	0,895
			$\sum x_к$ = –2,509				$\sum y_к$ = 1,769	
5'	–1,806	–0,166	0,000	–1,640	–0,597	0,602	0,000	0,005
6'		–0,172	0,001	–1,633		0,912	0,000	0,315
7'		–0,173	0,001	–1,632		1,176	0,000	0,579
8'		–0,180	0,001	–1,625		1,498	0,000	0,901
			$\sum x_i$ = –6,530				$\sum y_i$ =1,800	

Примечание: $x_к$, $y_к$ и x_i , y_i – координаты центра системы канатов 1 – 4 и 5 – 8 при нижнем положении скипа $x_к = \sum x_к /4$; $x_i = \sum x_i /4$; $y_к = \sum y_к /4$; $y_i = \sum y_i /4$

8. Находим угол перегиба каната

$$\eta = \operatorname{arctg}\frac{-(-1,627+0,632)}{6,2-0,5} = 9°52',$$

длина промежуточного каната:

$$l = 0,985[6,20-(1,615+0,632)\cdot 0,174] = 5,72 \text{ м}.$$

9. Вычисляем углы отклонения от вертикали систем канатов

$$\theta_y = \frac{1800-1,825}{4\cdot 7,66}3438' = -3'; \quad \theta_x = \frac{-6,530+6,509}{4\cdot 7,66}3438' = -3';$$

$$\omega_y = \frac{1,769-1,826}{4\cdot 1,50}3438' = -30'; \quad \omega_x = \frac{2,509-2,527}{4\cdot 1,50}3438' = -10'.$$

10. Определяем углы девиации головных канатов на ведущих $\alpha_5 - \alpha_8$ и отклоняющих $\beta_1 - \beta_4$ шкивах без учета поправок за положение балансиров подвесных устройств:

$$\alpha_5 = \frac{0{,}005 - 0}{7{,}66} 3438' + 2' = 5'; \qquad \alpha_6 = 5'; \qquad \alpha_7 = -13'; \qquad \alpha_8 = -4';$$

$$\beta_1 = \frac{-0{,}010 + 0{,}012}{1{,}50} 3438' + 4' = 9'; \quad \beta_2 = 11'; \quad \beta_3 = -19'; \quad \beta_4 = -3'.$$

11. Вычисляем углы девиации промежуточных канатов на ведущих и отклоняющих шкивах:

$$\varphi_5 = \frac{-0{,}012 - 0}{5{,}72} 3438' + 2' = -5'; \quad \varphi_6 = -7'; \quad \varphi_7 = -5'; \quad \varphi_8 = -6';$$

$$\psi_1 = \frac{0 + 0{,}012}{5{,}72} 3438' + 4' + 6' = 17'; \quad \psi_2 = 19'; \quad \psi_3 = 17'; \quad \psi_4 = 18'.$$

Результаты маркшейдерской проверки четырехканатной подъемной установки показали, что фактические отклонения геометрических элементов подъема не превышают установленных допусков и, следовательно, возможна нормальная и безопасная работа шахтного подъема.

Задачи. Исходные общие данные вариантов 1 – 25 для решения задачи по маркшейдерской проверке четырехканатной подъемной установке следующие: $R_{то1} = 1450$ мм; $\alpha_1 = 351$ мм; $R_{то2} = 1449$ мм; $\alpha_2 = 352$ мм; $b_5 = 187$ мм; $b_6 = 186$ мм; $b_7 = 191$ мм; $b_8 = 188$ мм; $d_к = 28$ мм; $S = 1850$ мм; $S' = 1780$ мм; $h_1 = 7{,}65$ мм; $h_2 = 1{,}50$ мм; $h_2 = 6{,}20$ мм; $\Delta h = 1{,}1$ мм; $\Delta h = 2{,}00$ мм; $R_{ош} = 1615$ мм; $R_{вш} = 1625$ мм.

Результаты ординатой съемки приведены в табл. 7.1; схемы многоканатного подъема – на рис. 7.1, 7.2; исходные данные задачи по вариантам – в табл. 7.4.

Требуется определить отклонения геометрических элементов многоканатного подъема и сравнить их с допустимыми значениями.

Таблица 7.4

Исходные данные, мм

Номер варианта	ν	d_3	d_4	*AB*	*BD*	*DC*	*CA*	*AD*	*BC*
1	100	1775	1771	2003	2288	2003	2275	2969	3100
2	150	1650	1654	2005	2280	2003	2278	2970	3103
3	200	1890	1896	2000	2285	2000	2273	2968	9098
4	220	1920	1915	2002	2284	2005	2280	2975	3100
5	250	1525	1523	2001	2288	2003	2283	2965	3105
6	280	1438	1444	2005	2288	2000	2275	2972	3100
7	300	1570	1575	2000	2286	2003	2278	2969	3102
8	320	1690	1684	2004	2292	2001	2279	2974	3105
9	350	1980	1985	2001	2287	2000	2276	2976	3100
10	400	1234	1238	2001	2294	2005	2280	2973	3103
11	120	1545	1547	2000	2292	2003	2271	2967	3098
12	140	1923	1925	2003	2290	2003	2280	2972	3103
13	160	1813	1810	1998	2285	1999	2272	2964	3097
14	210	1730	1735	1999	2283	1998	2271	2965	3098
15	240	1575	1578	1998	2286	1998	2274	2966	3099
16	130	1532	1535	1999	2285	1999	2273	2965	3098
17	110	1924	1920	2000	286	2001	2277	2971	3102
18	270	1861	1864	2001	2288	2003	2277	2968	3100
19	330	1772	1775	2003	2285	2003	2273	2967	3100
20	370	1893	1890	2005	2289	2004	2279	2973	3103
21	290	1910	1915	2004	2287	2003	2280	2974	3104
22	360	1459	1454	2003	2285	2004	2277	2972	3102
23	230	1721	1723	1997	2288	1999	2278	2963	3094
24	350	1634	1632	2003	2284	2004	2273	2971	3101
25	410	1525	1528	2001	2288	2002	2275	2969	3100

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афанасьев В. Г., Муравьев А. В. Геодезия и маркшейдерское дело в транспортном строительстве. М., Недра, 1987. 440 с.

Маркшейдерское дело / под ред. И. Н. Ушакова. М., Недра, 1989. 437 с.

Оглоблин Д. Н. Маркшейдерское дело. М., Недра, 1981. 704 с.

Пятлин М. П. Маркшейдерские работы при шахтном строительстве: практикум. Л., ЛГИ, 1976. 54 с.

Михелев Д. Ш. Инженерная геодезия. М., Academa, 2002. 474 с.

Инструкция по производству маркшейдерских работ. М., Недра, 1987. 240 с.

Добкин И. И., Лебедев В. Б., Галинская М. Н. и др. Маркшейдерские работы при установке и эксплуатации шахтного подъемного оборудования. М., Недра, 1983. 221 с.

Чумак В. К., Гусев В. Н. Маркшейдерские работы при шахтном строительстве: практикум. СПб., С – ПГГИ, 2003. 52 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Бадулин А.П., Жабко А.В., Алябьева О.Д.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие к курсовой работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4
1. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ……...5
1.1. Общее положение……...5
1.2. Вертикальная планировка горизонтальной промплощадки…….....…….5
1.3. Вертикальная планировка наклонной промплощадки……..……14
2. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ВЫНОСА ЦЕНТРА И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОСЕЙ СООРУЖЕНИЯ С ПРОЕКТА В НАТУРУ……...19
2.1. Общие положения……..……....19
2.2. Порядок выполнения работы……..……..20
2.3. Оценка точности выноса в натуру центра сооружения……..……... 25
3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОГО МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПОЛИГОНА ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК……...……27
3.1. Общие положения……....27
3.2. Вычисление приращения координат и увязка проектного полигона……..……....31
4. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРОВЕРКА ОДНОКАНАТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА……..……...37
4.1. Общие положения……..……..……37
4.2. Исходные данные и требования к проверке……..37
4.3 Порядок выполнения работы……..…….....40
5. РАЗБИВКА ЗАКРУГЛЕННОЙ ТРАССЫ ПУТИ С ПЕРЕХОДНЫМИ КРИВЫМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ…... 51
5.1. Общие положения……..……....51
5.2. Варианты исходных данных……..……54
5.3. Параметры круговой кривой……..……....56
5.4. Параметры переходной кривой……....56
5.5. Детальная разбивка переходной кривой……....57
5.6. Разбивка пикетажа……...……..60
6. РЕШЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАДАЧ ПО ПЛАНАМ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ БУМАГИ ПЛАНА……..……...61
7. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОКАНАТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ ……64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 76

ВВЕДЕНИЕ

Строительство подземных сооружений требует особого маркшейдерского обеспечения, которое слагается: из маркшейдерских работ, проводимых на поверхности промплощадки, передачи координат с поверхности на горизонты подземного строительства в системе, принятой на поверхности; развития околоствольных выработок, контроля подъемных установок и обслуживания строительства транспортных сооружений при скоростном движении грузопотока.

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с действующей учебной программой по дисциплине «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений». В пособии приводятся исходные данные для выполнения лабораторных работ, рассматривается их содержание, а также даются теоретические основы решения поставленных задач, рекомендации по их выполнению и оформлению результатов.

В учебно-методическом пособии рассмотрены следующие лабораторные работы:

1) вертикальная планировка промышленной площадки;

2) подготовка данных для выноса центра и строительных осей сооружения с проекта в натуру;

3) составление проектного маркшейдерского полигона околоствольных горных выработок;

4) маркшейдерская проверка одноканатного подъемного комплекса;

5) разбивка закруглений трассы пути с переходными кривыми при строительстве транспортных тоннелей;

6) решение маркшейдерских задач по планам с учетом деформации бумаги плана;

7) маркшейдерский контроль геометрических элементов многоканатной подъемной установки.

1. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКИ

1.1. Общее положение

Вертикальная планировка промплощадки предназначена для сглаживания естественного рельефа, придавая поверхности площадки такую форму, при которой наиболее целесообразно решать вопросы размещения сооружения, транспортных путей и стока воды. Планируемой поверхности площадки обычно придают плоскую форму, чаще горизонтальную или, реже, наклонную. Поэтому существует вертикальная планировка горизонтальной и наклонной площадки.

При вертикальной планировке промплощадки проводят следующие разбивочные работы:

1) разбивку контура промплощадки и закрепление угловых точек;

2) разбивку и закрепление точек строительной сетки;

3) определение высотных отметок H точек строительной сетки;

4) выбор отметки H_0 проектного горизонта;

5) определение рабочих отметок сетки;

6) определение объема земляных работ;

7) исполнительную съемку спланированной площадки.

1.2. Вертикальная планировка горизонтальной промплощадки

Контур площадки разбивают в соответствии с техническим проектом, в котором даны основные размеры площадки, ее положение относительно стволов. Угловые точки контура закрепляют постоянными знаками и проводят разбивку строительной сетки.

Строительная сетка представляет собой систему точек, равномерно покрывающую поверхность планируемой площадки. Выбор системы точек зависит от рельефа поверхности, плоскости и застроенности площадки. Чаще всего выбирают квадратную или прямоугольную сетку со сторонами длиной 10 – 50 м (рис. 1.1).

Точки сетки закрепляют деревянными кольями со сторожками, на которых указывают номера точек и их рабочие отметки. Стороны сетки ориентируют по направлению осей ствола.

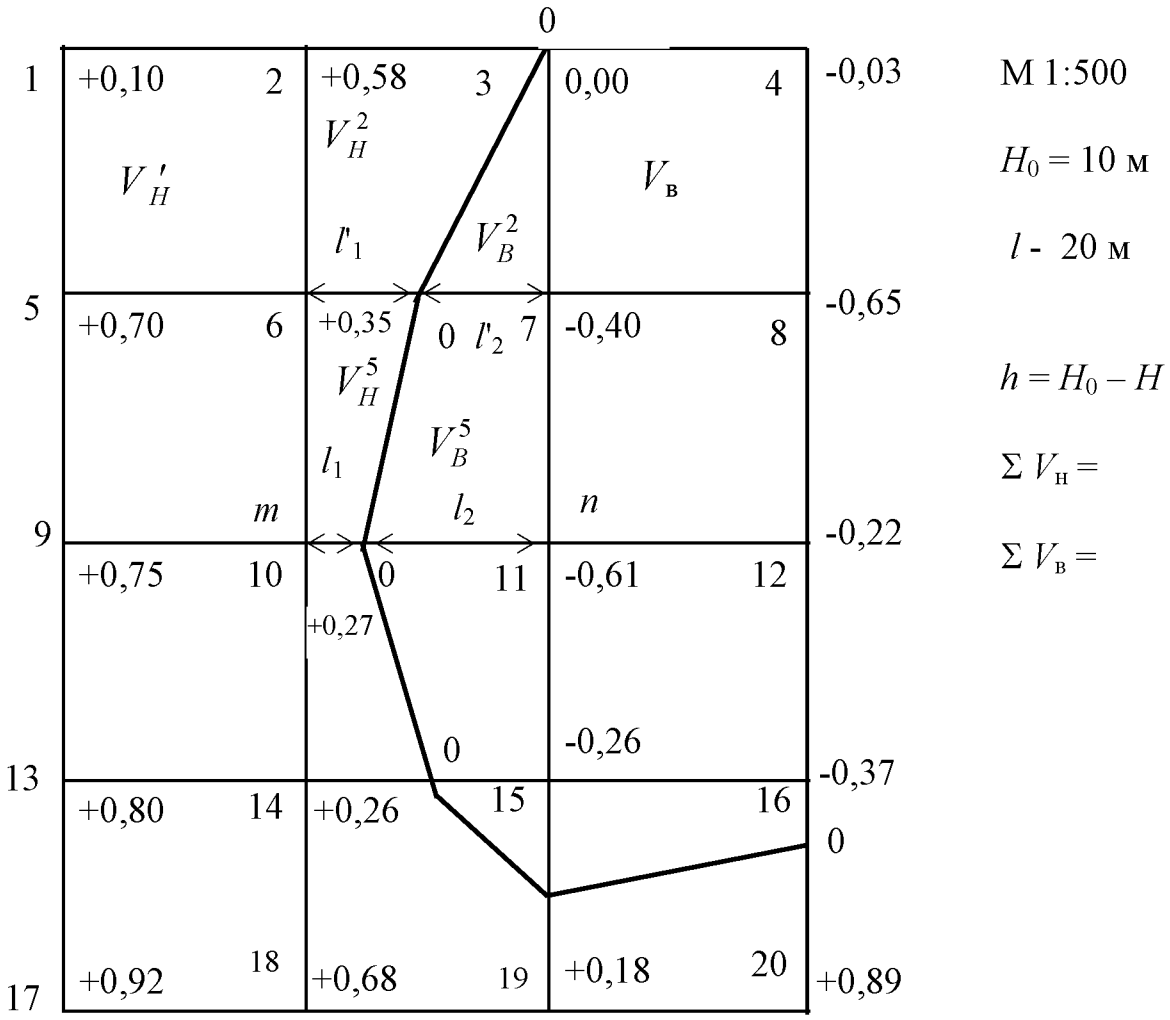


Рис. 1.1. Строительная сетка

Высотные отметки H точек сетки определяют нивелированием или по плану поверхности масштабов 1:500, 1:1000 и 1:2000 с сечением рельефа через 0,5 м.

Высотная отметка H_0 проектного горизонта площадки предусматривается проектом. Если отметка горизонта площадки проектом не предусмотрена, то ее численное значение определяют с учетом рельефа, добиваясь минимального объема земляных работ, при этом:

$$H_0 = H_{ср.} = \frac{\sum H_i}{h},$$

где H_i – высотные отметки точек вершин квадратов; n – количество точек сетки.

Если же проектируемая поверхность промплощадки есть горизонтальная плоскость с проектным горизонтом H_0, то рабочие отметки точек m и n сетки (рис. 1.2) определяют по формулам

$$h_m = H_0 - H_m; \quad h_n = H_0 - H_n.$$

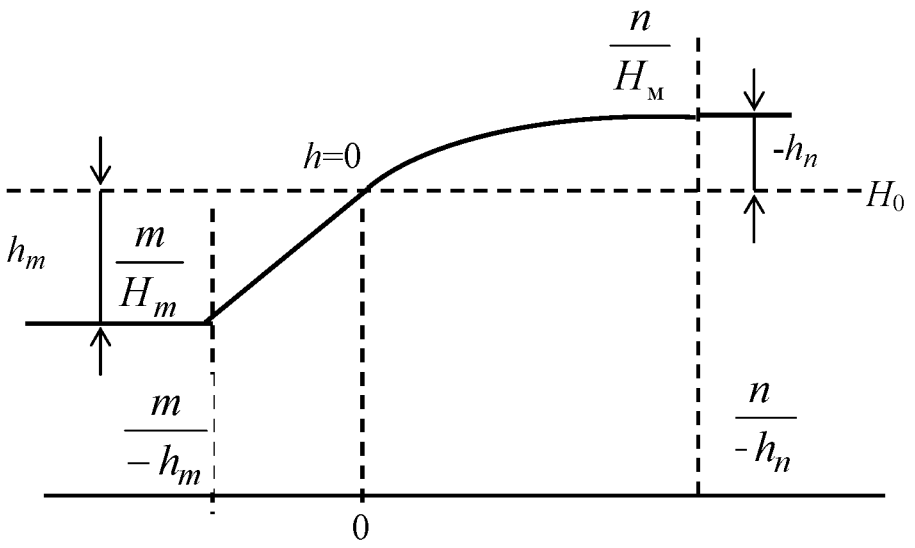


Рис. 1.2. Проектируемая поверхность промплощадки с горизонтальной плоскостью и с проектным горизонтом H_0

Положительные значения рабочих отметок показывают, что в данном месте необходимо сделать подсыпку грунта, отрицательные – выемку грунта.

При определении объема работ составляют схему участка промплощадки.

На схеме (см. рис. 1.1) показывают номера точек и их рабочие отметки, по которым находят линию нулевых работ. Для этого между соседними точками с противоположными знаками численных значений рабочих отметок находят точку с нулевой отметкой (см. рис. 1.2), затем точки с нулевыми отметками соединяют и получают линию нулевых работ (см. рис. 1.1).

Положение точки нулевой отметки легко определить с помощью графика (рис. 1.3), построенного на прозрачной бумаге, или вычислить аналитически по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{|h_m|l}{|h_m|+|h_n|}; \quad l_2 = \frac{|h_n|l}{|h_m|+h_n|},$$

где l – размер стороны квадрата, м.

Расстояние l_1 откладывают от точки m, а l_2 – от точки n по линии, ограниченной этими точками.

Если $l = 20$ м ; $h_m = +\,0{,}27$ и $h_n = -\,0{,}61$ м, то

$$l_1 = \frac{0{,}27 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 6{,}14\ \text{м}\ ; \qquad l_2 = \frac{0{,}61 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 13{,}86\ \text{м}.$$

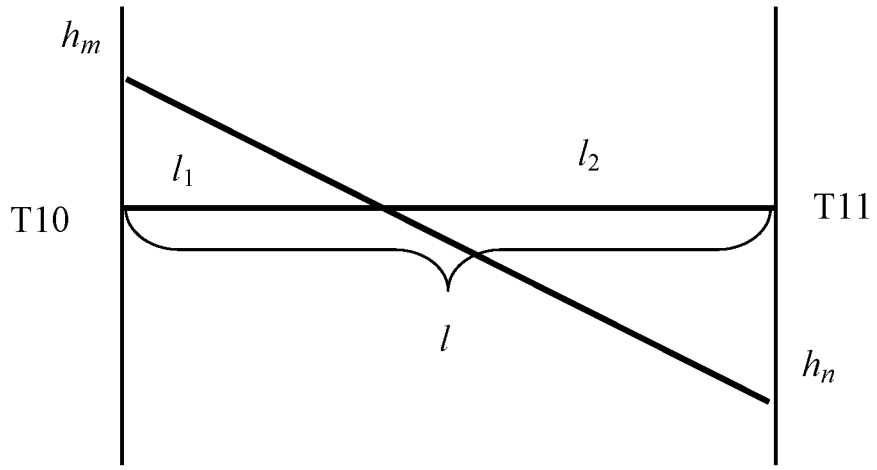


Рис. 1.3. График положения точки нулевой отметки

Объем земляных работ при планировке определяют по выемке и насыпи.

Существует несколько случаев определения объема, (рис. 1.4).

Первый случай. В квадрате рабочие отметки имеют одинаковый знак "+" или "–".

Например, в квадрате 1-2-6-5 по насыпи:

$$V = \frac{1}{4} S(h_1 + h_2 + h_5 + h_6),$$

где S – площадь квадрата, м^2 ; h_1, h_2, h_5, h_6 – значения рабочих отметок, м, с точностью до см.

Аналогично вычисляется объем выемки, например, в квадрате 3-4-8-7.

Второй случай. В квадрате две рабочие отметки имеют один знак, а две другие – противоположный знак, т. е. при наличии линии нулевых работ (см. рис. 1.4).

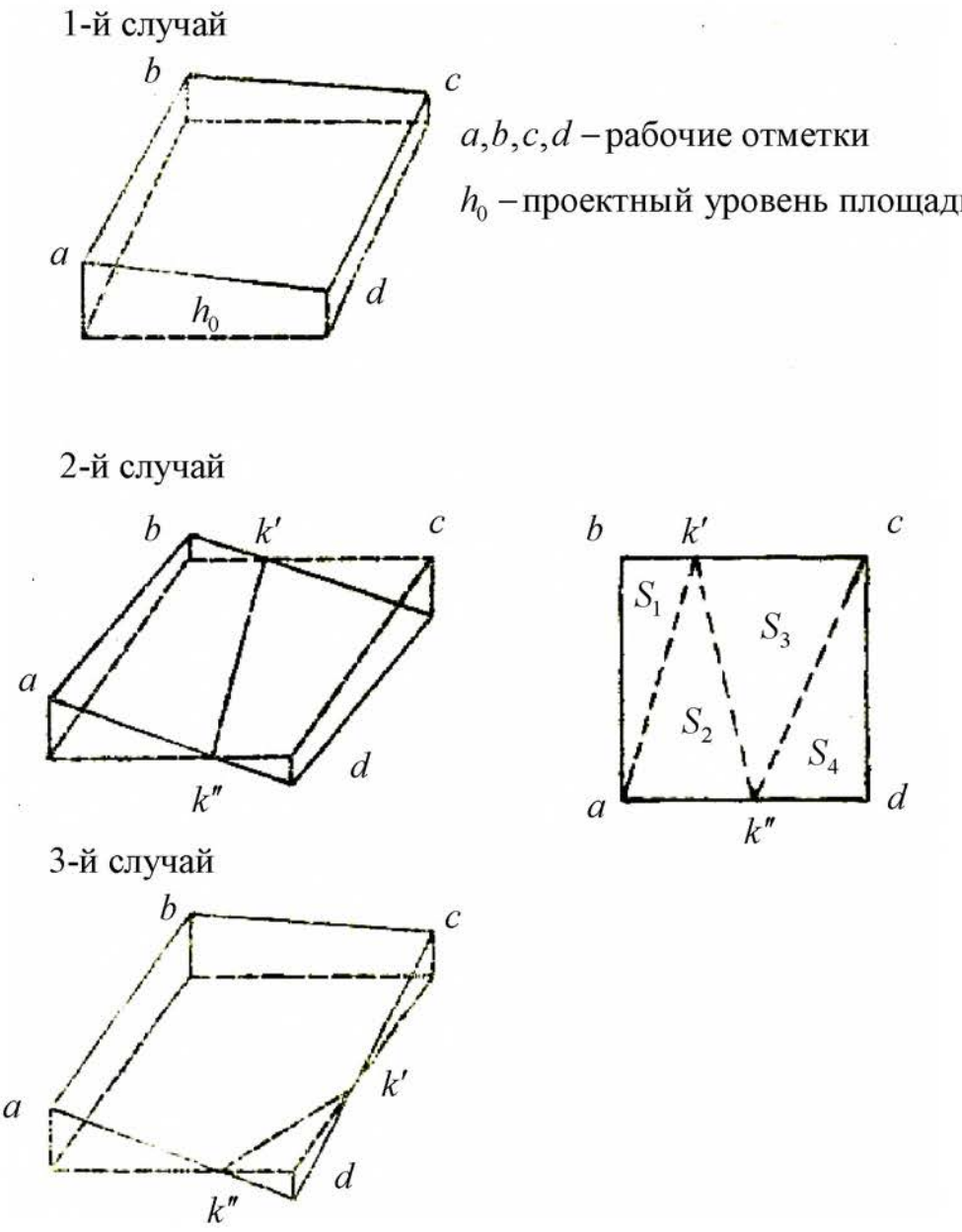


Рис. 1.4. Случаи определения объема

Например, в квадрате 6-7-11-10 объем земляных работ (по насыпи и выемке) вычисляют по формулам:

$$V_{\text{н}} = \frac{1}{6}\left[S_1(2h_{10} + h_6) + S_2(h_{10} + 2h_6)\ \right];$$

$$V_{\text{в}} = \frac{1}{6}\left[S_3(2h_7 + h_{11}) + S_4(h_7 + 2h_{11})\right],$$

или по формулам:

$$V_{\text{н}} = l\,\frac{l_1 + l_1^{'}}{2} \cdot \frac{h_{10} + h_6}{4};$$

$$V_{\text{в}} = l\,\frac{l_2 + l_2'}{2}\cdot\frac{h_7 + h_{11}}{4},$$

где l_1, l_1', l_2, l_2' – расстояние от соответствующих точек квадрата до линии нулевых работ; S_1 – S_4 – площади частей квадрата (вычисляют аналитически):

$$S_1 = \frac{1}{2}l\cdot l_1;\quad S_2 = \frac{1}{2}l\cdot l_1';\quad S_3 = \frac{1}{2}l\cdot l_2;\quad S_4 = \frac{1}{2}l\cdot l_2'.$$

Третий случай. В квадрате три рабочие отметки имеют один знак, а одна – противоположный знак, например, в квадрате 18-14-15-19 (см. рис. 1.1).

В данном случае объем насыпных и выемочных работ вычисляют раздельно. Для этого определяют площади насыпи S_1 и выемки S_2, умножают на средние высоты $h_{\text{ср}}$ насыпи и выемки. Величины площадей S_1 и S_2 определяют разделением их на простые геометрические фигуры (треугольник и пятиугольник или другие фигуры).

Величину рабочей отметки $h_{\text{ср}}$ в нашем случае определяют по формулам

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{15}}{3}$$ – при площади треугольной формы;

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5}$$ – при площади пятиугольной формы.

В данном случае расчеты объемов насыпных и выемочных работ вычисляют (см. рис. 1.4, 3-й случай):

$$V_{\text{н}} = S_1\frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5};$$

$$V_{\text{в}} = S_2\frac{h_{15}}{3},$$

где S_2 – площадь выемки работ, м^2; S_1 – площадь насыпи работ, м^2.

В табл. 1.1 даны варианты задач на определение объема работ при планировке горизонтальной поверхности промплощадки.

Общий объем работ определяют суммированием объемов насыпи и выемки по каждому квадрату

$$\Sigma V_{\text{н}} = V_{\text{н}1} + V_{\text{н}2} + \ldots + V_{\text{н}n};$$
$$\Sigma V_{\text{в}} = V_{\text{в}1} + V_{\text{в}2} + \ldots + V_{\text{в}n}.$$

Таблица 1.1

Высотные отметки точек строительной сетки

Точки сетки / Задача	Высотные отметки *H* точек, м							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8,42	8,35	9,71	9,92	9,25	9,75	10,00	10,42
2	9,93	9,78	9,62	9,25	10,42	10,55	10,05	9,65
3	9,25	8,81	8,42	9,05	9,65	9,24	8,58	9,15
4	9,00	9,40	9,45	9,05	9,15	9,79	10,08	9,70
5	9,05	8,90	9,51	9,15	9,70	9,00	9,65	9,40
6	8,36	8,75	9,24	9,54	8,90	9,41	9,75	10,21
7	8,35	8,75	9,36	8,35	9,40	8,81	8,60	8,80
8	8,85	9,25	9,74	10,23	8,35	9,08	9,70	11,19
9	10,25	10,74	10,60	9,81	10,20	10,79	11,10	10,37
10	10,80	10,20	9,40	9,65	10,60	10,15	9,75	10,05
11	9,65	9,80	10,30	11,11	10,05	10,45	11,00	11,30
12	9,21	9,75	10,21	10,35	9,41	9,85	10,45	10,71
13	10,31	10,11	9,77	10,18	10,76	10,41	9,96	10,05
14	10,18	10,27	10,17	10,33	10,37	10,12	10,55	10,75
15	10,80	9,80	10,00	10,45	10,81	10,31	9,90	9,81
16	10,40	10,70	10,81	10,20	9,80	10,45	10,40	9,85
17	10,60	9,80	10,00	10,50	9,95	9,90	9,85	9,90
18	10,80	11,00	11,35	11,10	9,80	10,45	10,70	10,50
19	11,00	10,10	10,70	11,30	9,90	10,90	10,60	9,90
20	11,20	11,11	10,50	10,00	11,00	11,50	11,10	10,40
21	11,40	10,80	9,80	10,20	10,70	9,80	9,40	10,00
22	11,60	11,30	11,40	10,70	10,30	10,80	11,50	10,80
23	11,80	11,10	10,10	9,60	8,70	10,80	10,25	9,75
24	9,85	10,10	9,05	10,60	9,88	10,15	8,70	9,80

Продолжение табл. 1.1

Точки сетки / Задача	Высотные отметки *H* точек, м							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	9,25	9,70	10,21	10,62	8,20	9,55	10,05	10,45
2	10,62	11,12	10,63	10,15	10,45	10,92	10,76	9,95
3	10,15	9,46	8,90	9,25	9,85	9,52	9,25	9,28
4	9,25	9,78	10,51	10,18	9,28	9,65	10,37	10,62
5	10,17	9,62	9,35	9,75	10,62	9,91	10,20	10,40
6	9,48	9,85	10,30	10,85	10,37	10,50	11,00	11,30
7	9,74	9,60	9,40	9,50	9,41	9,90	10,25	10,40
8	8,29	9,00	9,45	10,00	8,91	9,40	9,71	9,80
9	10,00	10,40	10,35	11,00	10,50	9,80	9,89	9,75
10	10,20	9,60	9,75	9,80	10,50	10,20	9,80	10,2
11	10,25	10,75	11,25	11,85	9,81	10,21	10,75	11,2
12	9,48	10,13	10,71	11,21	9,14	9,97	10,68	11,16
13	11,18	10,85	10,24	9,82	11,18	11,06	10,35	9,77
14	10,63	9,80	10,43	11,17	11,45	9,76	10,21	10,83
15	11,40	10,81	10,45	9,81	10,40	11,40	10,78	10,38
16	9,95	9,85	9,30	10,50	11,10	10,30	9,70	10,2
17	9,00	9,80	9,85	10,10	10,35	9,70	10,20	10,5
18	10,00	9,85	10,26	9,95	10,35	9,70	9,60	9,42
19	11,10	10,10	9,60	10,25	10,70	9,90	9,75	9,80
20	9,80	10,70	10,70	10,35	9,70	10,20	10,18	9,85
21	10,30	9,70	9,30	9,75	10,15	9,40	8,85	9,25
22	10,15	10,60	10,90	10,50	9,80	10,25	10,40	10,12
23	9,70	10,50	9,95	9,50	9,00	10,00	10,12	9,70
24	10,90	10,20	9,15	10,50	10,15	9,10	10,20	8,50

Окончание табл. 1.1

Точки сетки / Задача	Высотные отметки *H* точек, м							
	17	18	19	20	21	22	23	24
1	8,85	9,25	9,72	10,25	10,00	9,73	9,25	9,20
2	10,25	10,75	10,61	9,20	9,75	10,00	10,05	9,85
3	9,95	9,56	10,10	10,81	9,95	9,81	9,25	8,90
4	8,92	9,50	9,00	8,92	9,00	9,25	9,81	9,91
5	9,65	9,80	10,31	11,11	11,00	10,50	10,21	9,90
6	11,10	11,45	10,78	12,40	12,38	12,00	11,50	11,00
7	9,65	9,80	10,31	11,10	11,30	11,00	11,90	10,85
8	9,20	9,75	10,18	10,30	10,80	11,05	11,30	10,90
9	10,31	10,10	9,74	10,15	10,00	9,80	9,30	9,50
10	10,45	10,60	10,21	10,30	9,90	9,70	9,60	9,45
11	10,25	9,90	10,05	10,55	10,30	10,21	10,50	10,10
12	9,31	9,75	10,27	10,63	10,85	10,95	11,05	11,45
13	10,75	11,21	10,52	9,73	9,95	10,12	10,56	10,84
14	11,45	9,70	10,15	10,75	11,37	11,50	11,71	11,07
15	11,37	11,15	10,55	10,10	10,80	11,30	10,50	9,80
16	10,50	10,05	10,50	10,90	10,10	9,20	10,20	10,70
17	10,10	9,85	10,28	10,95	10,70	10,50	10,30	10,10
18	10,70	11,00	10,10	11,36	11,40	11,25	10,70	10,50
19	9,40	9,70	9,78	9,50	9,59	9,40	9,20	9,00
20	9,43	9,73	9,76	9,51	9,10	9,00	8,90	8,80
21	9,80	9,10	8,50	9,70	9,40	9,50	9,60	9,70
22	9,40	9,75	9,76	9,60	9,80	10,00	10,20	10,40
23	9,24	8,72	9,69	9,47	8,95	8,47	8,67	8,87
24	9,75	10,05	9,81	10,12	8,20	9,15	8,60	9,10

По окончании земляных работ проводится съемка промплощадки и составляется исполнительный план.

1.3. Вертикальная планировка наклонной промплощадки

При вертикальной планировке поверхности промплощадки в виде наклонной плоскости маркшейдер проводит разбивку строительной сетки с учетом данных в какой-либо точке, например "*M*" угла простирания α поверхности, уклона *i* или угла наклона δ плоскости (рис. 1.5) и определяет объем земляных работ.

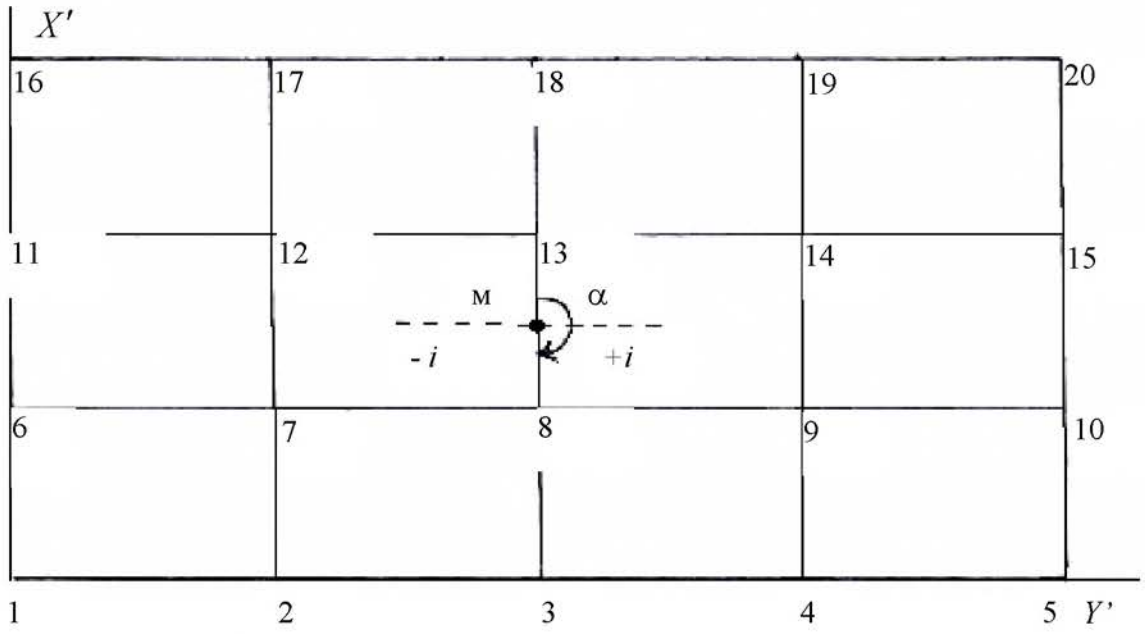


Рис. 1.5. Схема строительной сетки наклонной промплощадки

Особенностью планировки поверхности промплощадки в виде наклонной плоскости является определение проектных отметок точек сетки с учетом уклона, предусмотренного проектом или выбранного в соответствии с минимумом земляных работ.

На рис. 1.5 угол простирания равен 180°, расстояние между точками – *l*, точка *M* имеет высотную отметку H_{OM}.

Точки 1, 2, 3 ... 20 имеют высотные отметки H_1, H_2, H_3 ... H_{20}.

Проектные отметки точек H_{01}, H_{02}, H_{03} ... H_{020} определяют в соответствии с отметкой точки *M*, уклоном *i* и схемой сетки (см. рис. 1.5).

Для точек, находящихся на уровне отметки, равной H_0, будет:

$$H_0 = H_{03} = H_{08} = H_{013} = H_{018}.$$

Для точек, находящихся на уровне отметок, меньших отметки H_{0M}, будет:

$$H_{02} = H_{03} - l_i;\ H_{01} = H_{03} - 2\ l_i;\ H_{017} = H_{018} - l_i;\ H_{016} = H_{018} - 2l_i.$$

Для отметок, находящихся на уровне отметок, больших отметки H_{0M}:

$$H_{04} = H_{03}+l_i;\ H_{05} = H_{03}+2l_i;\ H_{019} = H_{018}+l_i;\ H_{020} = H_{018}+2l_i.$$

Рабочие отметки точек сетки будут: $h = H_{01} - H_1$.

Построение линии нулевых работ и определение объема земляных работ проводится так же, как и при планировке горизонтальной промплощадки.

В табл. 1.2 даны задачи на определение объема работ наклонной промплощадки. В задачах, состоящих из 20 точек, положение точки M совмещают с одной из точек сетки по указанию преподавателя.

При решении задач необходимо:

1) построить план участка;
2) определить рабочие отметки;
3) построить линию нулевых работ;
4) определить объем работ в каждом квадрате раздельно по насыпи и выемке;
5) определить общий объем работ на участке.

Таблица 1.2

Высотные отметки точек строительной сетки наклонной промплощадки

Высот-ные отметки точек, м	З А Д А Ч И								
	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	8,85	8,76	8,31	8,72	9,31	15,01	14,30	15,00	15,09
2	9,15	9,07	9,00	8,99	9,68	15,45	14,87	15,45	15,20
3	10,00	10,05	9,95	10,05	9,99	15,96	15,70	15,96	15,71
4	10,52	10,48	10,28	10,51	8,70	15,07	15,37	15,07	15,45
5	9,76	9,79	9,75	9,38	9,07	15,73	15,87	15,32	14,91
6	9,56	9,40	9,45	9,75	8,11	14,99	15,00	14,82	14,50
7	9,51	9,32	9,30	9,60	9,78	14,60	14,20	14,60	14,80
8	10,52	10,50	10,10	10,42	9,55	14,31	14,30	14,44	14,65
9	10,73	10,70	10,50	10,73	9,88	15,07	14,90	15,31	15,05
10	9,26	9,27	9,21	9,26	9,45	15,87	15,17	15,87	15,72
11	9,83	9,80	9,45	9,87	9,25	14,60	14,60	14,62	15,85
12	8,95	8,90	8,90	8,90	10,70	14,49	14,50	14,49	14,95
13	9,73	9,75	9,55	11,71	11,05	14,79	14,81	14,78	14,45
14	9,28	9,27	9,77	9,97	9,84	15,81	15,52	15,80	14,01
15	10,04	10,05	10,00	9,75	10,05	14,07	14,17	15,63	13,95
16	11,18	11,20	11,20	10,30	10,83	14,19	14,31	14,07	13,72
17	10,63	10,47	11,05	9,99	11,07	14,28	14,75	14,28	14,07
18	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00	15,00
19	9,55	9,50	9,45	9,40	9,35	15,05	15,10	15,15	15,20
20	9,00	9,10	9,20	9,30	9,40	14,95	14,90	14,85	14,80
Угол простирания	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'
Уклон Масштаб	0,001 1:500	0,001 1:1000	0,001 1:500	0,001 1:1000	0,001 1:500	0,002 1:1000	0,002 1:500	0,002 1:1000	0,002 1:500
Расстоян. между точками, м	20,0	20,0	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0	20,0

Продолжение табл. 1.2

Высотные отметки точек, м	З А Д А Ч И							
	35	36	37	38	39	40	41	42
1	14,95	19,79	20,05	19,37	20,10	19,55	25,05	25,17
2	15,00	20,01	20,37	19,27	20,45	19,78	24,75	25,73
3	15,31	20,85	20,73	19,73	20,51	19,99	25,75	25,92
4	15,95	20,63	20,63	19,95	20,92	20,01	25,37	76,01
5	14,40	20,95	20,31	20,07	19,37	20,59	25,25	25,91
6	14,70	20,17	20,27	20,38	19,57	20,17	25,17	25,17
7	14,21	21,01	20,39	20,17	20,01	20,95	24,93	24,92
8	14,00	20,93	20,01	20,93	20,55	21,07	24,85	24,71
9	15,30	20,03	20,53	20,99	20,99	20,17	24,25	24,05
10	15,60	20,72	20,18	21,44	21,10	20,01	24,10	23,91
11	15,91	20,93	20,01	20,65	21,37	19,73	23,95	24,10
12	15,07	20,65	19,85	20,16	20,99	19,25	23,81	24,51
13	14,70	20,31	19,37	19,83	20,76	19,03	23,72	24,17
14	14,50	20,05	19,52	19,57	20,91	19,00	24,00	24,18
15	15,20	19,73	19,30	19,01	20,31	19,37	24,15	24,99
16	15,35	19,52	19,01	18,95	20,07	19,86	24,75	25,08
17	15,71	19,21	19,50	19,29	19,85	20,10	24,89	25,00
18	15,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	25,00	25,00
19	15,10	20,10	20,20	20,30	20,40	20,50	25,10	25,20
20	14,90	19,90	19,80	19,70	19,60	19,50	24,90	24,80
Угол простирания	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'
Уклон Масштаб	0,002 1:1000	0,003 1:500	0,003 1:1000	0,003 1:500	0,003 1:1000	0,003 1:500	0,004 1:1000	0,004 1:500
Расстоян. между точками, м	20,0	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0	20,0

Окончание табл. 1.2

Высотные отметки точек, м	З А Д А Ч И							
	43	44	45	46	47	48	49	50
1	24,70	25,10	24,17	25,05	24,15	29,30	29,70	30,50
2	24,85	25,17	24,93	25,01	24,17	29,99	29,85	30,18
3	24,95	25,85	24,99	25,37	24,85	29,85	29,91	30,18
4	25,10	25,97	25,10	25,83	29,99	30,00	29,17	30,99
5	25,35	25,17	25,81	25,98	25,10	30,08	28,85	30,27
6	25,70	25,85	25,99	26,10	25,81	30,77	29,50	30,07
7	25,85	25,10	26,01	25,81	25,92	30,98	29,90	29,85
8	24,91	25,00	25,37	25,78	25,77	30,25	29,99	29,81
9	24,37	25,01	25,18	25,61	25,17	30,71	30,01	29,63
10	24,19	21,10	25,01	25,01	24,92	30,99	30,18	29,26
11	24,00	25,40	25,18	25,10	24,17	31,11	30,78	29,00
12	23,95	24,90	24,82	24,91	24,00	31,83	30,52	29,37
13	25,10	25,01	24,37	24,82	24,17	31,52	30,21	29,42
14	25,25	25,37	24,08	24,71	24,85	30,10	30,99	29,52
15	25,37	25,80	23,95	25,15	24,91	30,75	30,77	29,17
16	25,75	26,17	23,81	25,19	24,99	30,27	30,25	29,97
17	25,92	25,80	24,18	25,71	25,17	30,18	30,81	30,18
18	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	30,00	30,00	30,00
19	25,10	25,20	25,30	25,40	25,50	29,90	29,80	29,70
20	24,90	24,80	24,70	24,60	24,50	29,80	29,70	29,60
Угол простирания	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'	90°00'	180°00'	270°00'	0°00'
Уклон Масштаб	0,001 1:1000	0,004 1:500	0,004 1:1000	0,005 1:500	0,005 1:1000	0,005 1:500	0,005 1:1000	0,005 1:500
Расстоян. между точками, м	20,0	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0	20,0

2. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ВЫНОСА ЦЕНТРА И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОСЕЙ СООРУЖЕНИЯ С ПРОЕКТА В НАТУРУ

2.1. Общие положения

Определение и обозначение на местности точек, координаты которых заданы в проекте, является одной из наиболее часто встречающихся задач маркшейдерской службы.

Решение задачи рассмотрим на примере подготовки данных для выноса центра и строительных осей шахтного ствола, проходка которого должна быть осуществлена при условии соединения с подземной горной выработкой (рис. 2.1).

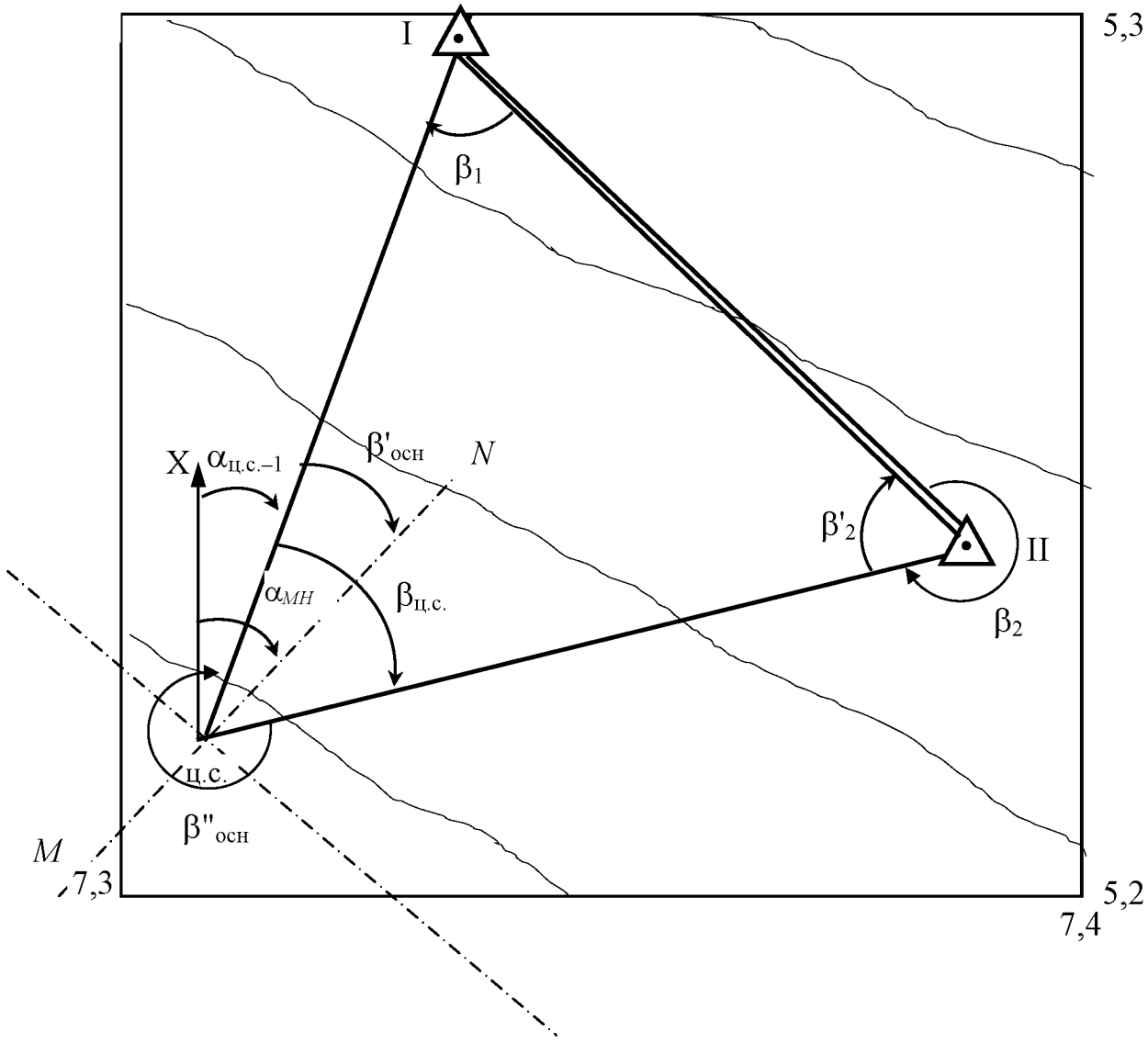


Рис. 2.1. План разбивок центра вентиляционного ствола и строительных осей

На поверхности, вблизи закладываемого шахтного ствола, имеются пункты I, II опорной сети, координаты которых X_{I}, Y_{I}, Z_{I}; X_{II}, Y_{II}, Z_{II}. В проекте даны координаты центра ствола $X_{ц.с.}$, $Y_{ц.с.}$, $Z_{ц.с.}$ и дирекционный угол главной оси (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Исходные данные координат пунктов центра ствола и дирекционного угла главной оси ствола шахты

Пункты	Координаты, м			Дирекционный угол оси ствола, α_{MN}
	X	Y	Z	
1	5298,475	7330,726	135,420	
2	5230,045	7387,521	141,560	$45^{o}30'00''$
ц. с.	5210,020	7305,080	150,700	

Для того, чтобы задание было индивидуальным, необходимо, согласно своих инициалов, в координаты устья ствола вести поправки, которые даны в табл. 2.2.

Решение задачи сводится к определению разбивочных элементов горизонтальных углов β_1, β_2, $\beta_{ц.с.}$, β'_2 и $\beta'_{оси}$, $\beta''_{оси}$, горизонтальных проложений l_1, l_2, а затем наклонных длин – L_{H1}, L_{H2}.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Составить план в масштабе 1: 1000 и по координатам нанести на него маркшейдерские пункты опорной сети, центр ствола, его главной оси и рельеф (см. рис. 2.1).

2. По координатам пунктов вычислить дирекционные направления линий и горизонтальное проложение между двумя пунктами, используя обратную геодезическую задачу.

Вычисления могут быть выполнены с помощью ЭВМ и логарифмических таблиц.

Методику расчета дирекционного направления и горизонтального проложения рассмотрим для линии I - ц.с.

Таблица 2.2

Поправки в координаты центра и дирекционный угол главной оси ствола

№ п/п	Алфавит	Ф	И	О	Ф	Примечание
		ΔX, м	ΔY, м	ΔZ, м	$\Delta\alpha°$	
1	А	-1	+7	-3	1	
2	Б	-2	+8	+1	2	Ф – фамилия
3	В	-3	+9	-1	3	И – имя
4	Г	-4	+6	+2	4	О – отчество
5	Д	-5	+5	+3	5	
6	Е	-6	+4	-3	6	Например:
7	Ё	-7	+30	-2	7	студент
8	Ж	-8	+4	-1	8	Денисов Н. С.
9	З	-9	+5	+1	9	получает
10	И	-10	+6	+2	10	поправки:
11	К	-11	+7	+3	11	ΔX = -5 м,
12	Л	-12	+8	+4	12	ΔY = +10 м,
13	М	-13	+9	-4	13	ΔZ = +2 м,
14	Н	-14	+10	-3	14	$\Delta\alpha$ = 5°.
15	О	-15	+11	-2	15	Координаты
16	П	+15	-11	-1	16	центра ствола
17	Р	+14	-10	+1	17	будут:
18	С	+13	-9	+2	18	x = 5205,020,
19	Т	+12	-8	+3	19	y=7315,080,
20	У	+11	-7	+4	20	z=152,700.
21	Ф	+10	-6	+3	21	Дирекцион-
						ный угол
22	Х	+9	-5	+2	22	оси ствола
23	Ц	+8	-4	+1	23	будет:
24	Ч	+7	-3	-1	24	α = 50°30'
25	Ш	+6	-2	-2	25	
26	Щ	+5	-1	-3	26	
27	Э	+4	+10	-4	27	
28	Ю	+3	+20	-3	28	
29	Я	+2	+3	-2	29	

Через логарифмы:

$$\lg \cdot \operatorname{tg} r_{(\text{I} - \text{ц.с.})} = \lg (Y_{\text{ц.с.}} - Y_{\text{I}}) - \lg (X_{\text{ц.с.}} - X_{\text{I}}).$$

Затем вычисляют значения $\operatorname{tg} r_{(\text{I} - \text{ц.с.})}$; $r_{(\text{I} - \text{ц.с.})}$ и $\alpha_{(\text{I} - \text{ц.с.})}$.
Через тригонометрические функции:

$$\operatorname{tg} r_{(\text{I - ц.с.})} = \frac{Y_{\text{ц.с.}} - Y_I}{X_{\text{ц.с.}} - X_I} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}.$$

По знакам приращений ΔY и ΔX определяется, в какой четверти находится румб (r) (рис. 2.2) и, соответственно, вычисляется дирекционный угол этой линии.

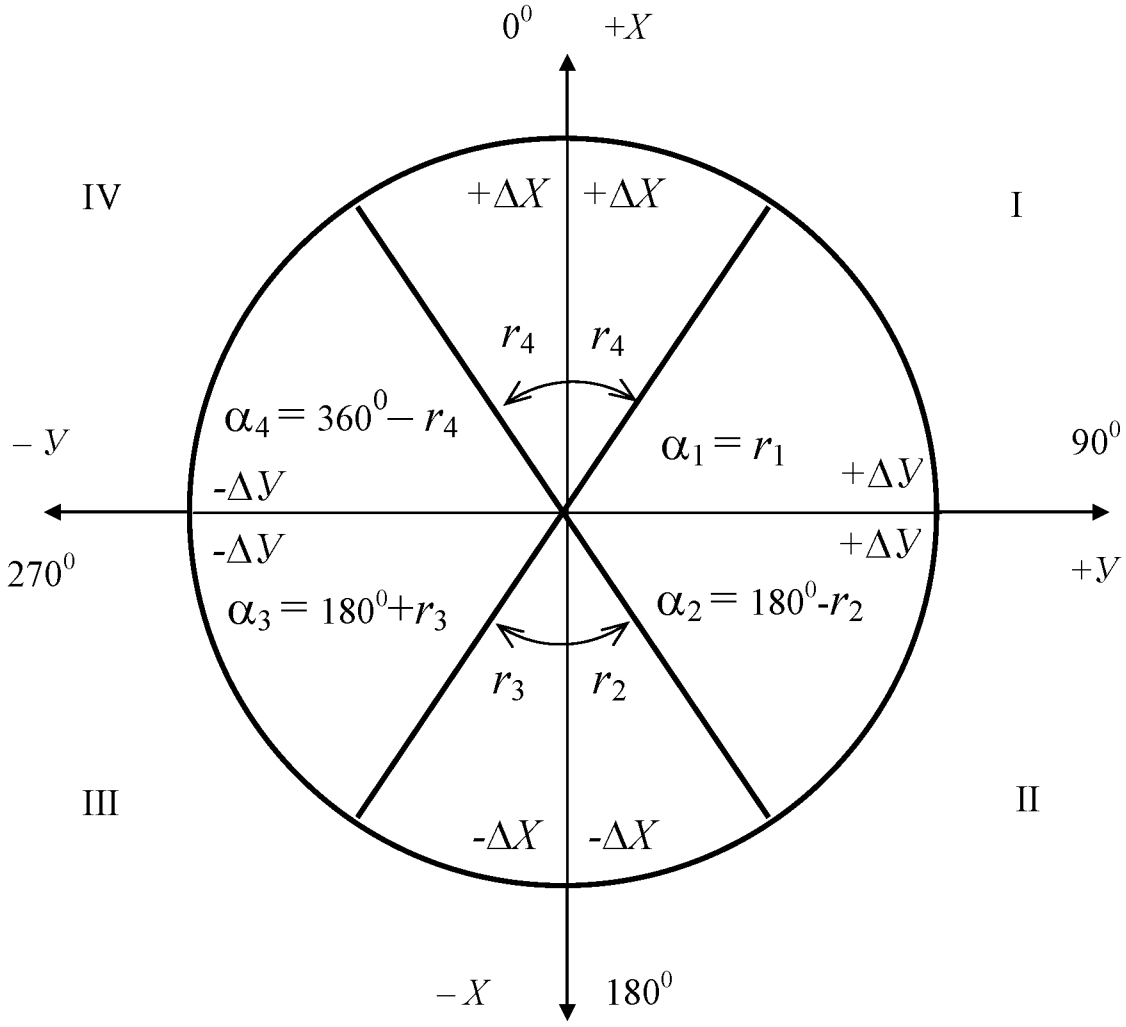


Рис. 2.2. Схема для определения дирекционных углов

Так, например, для направления I – ц.с.:

$$\alpha_{\text{I – ц.с.}} = 180^{\circ} + r_{(\text{I – ц.с.})}.$$

Аналогично вычисляются дирекционные углы линий II – ц.с., I – II.

3. По разности дирекционных углов линий определить горизонтальные углы β_1, β_2', β_3, которые необходимо отложить в натуре. Так, например, $\beta_1 = \alpha_{\text{I – ц.с.}} - \alpha_{\text{I – II}}$. Контролем вычисления углов является уравнение

$$\beta_1 + \beta_2' + \beta_{\text{ц.с.}} = 180^{\circ}.$$

4. Определить горизонтальное проложение линии I – ц.с.

$$l_{(\text{I – ц.с.})} = \frac{Y_{\text{ц.с.}} - Y_{\text{I}}}{\sin r_{(\text{I – ц.с.})}} = \frac{X_{\text{ц.с.–}} - X_{\text{I}}}{\cos r_{(\text{I – ц.с.})}}.$$

Через логарифмы

$$\lg l_{(\text{I – ц.с.})} = \lg (Y_{\text{ц.с.}} - Y_{\text{I}}) - \lg \sin r_{(\text{I – ц.с.})},$$

$$\lg l_{(\text{I – ц.с.})} = \lg (X_{\text{ц.с.}} - X_{\text{I}}) - \lg \cos r_{(\text{I – ц.с.})}.$$

Далее, по $\lg l_{(\text{I – ц.с.})}$ определяется ее длина. Расхождение в длине линии, вычисленной через $\sin r$ и $\cos r$, допускается 10 мм.

5. Определить наклонную длину линии I – ц.с.

По абсолютным отметкам z пунктов данной линии и по ее горизонтальному проложению l определяют наклонную длину $L_{\text{н}}$ (рис. 2.3).

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\Delta z}{l}; \qquad L_{\text{н}} = \frac{l}{\cos\delta},$$

где δ – угол наклона линии, град.

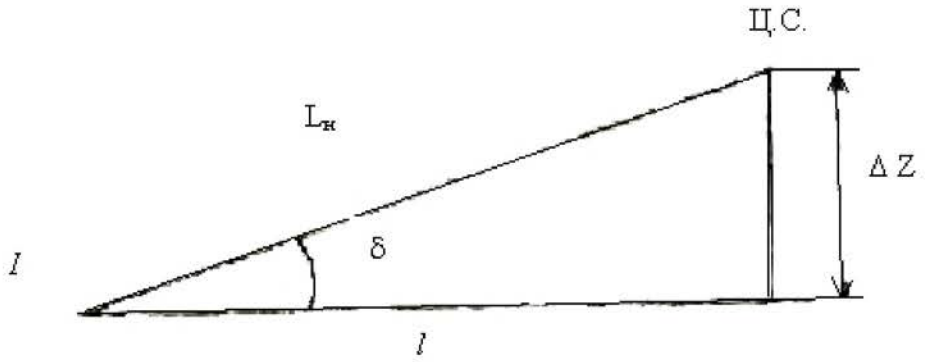


Рис. 2.3. Схема для определения наклонной длины линии

$$\delta = \operatorname{arctg}\frac{\Delta z}{l},$$

где Δz – разность высотных отметок концов определяемой линии.

Или через логарифмы

$$\lg L_н = \lg l - \lg \cos \delta ;$$
$$\lg \operatorname{tg} \delta = \lg \Delta z - \lg l.$$

Затем по антилогарифму находят δ и $L_Н$.

Или

$$L_н = \sqrt{(Y_{ц.с.} - Y_1)^2 + (X_{ц.с.} - X_1)^2 + (Z_{ц.с.} - Z_1)^2} .$$

6. После окончания всех вычислений вычерчивается план (см. рис. 2.1), на который наносятся по заданным координатам маркшейдерские пункты, центр и оси ствола.

Рекомендуется на этом же чертеже, в пределах точности графических построений, проконтролировать правильность вычислений l_1, l_2 (при помощи масштабной линейки) и разбивочных углов β_1, β_2', $\beta'_{ц.с.}$ (транспортиром), а также $\beta'_{оси}$, $\beta''_{оси}$.

7. Дать описание методики выноса центра ствола и осей на местность и оценку точности.

2.3 Оценка точности выноса в натуру центра сооружения

Способ угловой засечки

$$m_{\text{ц.с.}} = \sqrt{m_{\text{и}}^2 + m_{\text{з}}^2 + m_{\text{ц.р.}}^2 + m_{\text{ф}}^2},$$

где $m_{\text{и}}$ – ошибка исходных данных базиса; $m_{\text{ц.р.}}$ – ошибка центрирования теодолита и редукции визирования точки (цели); $m_{\text{з}}$ – ошибка собственной засечки; $m_{\text{ф}}$ – ошибка фиксирования точки ($m_{\text{ф}} = 0{,}002$ м).

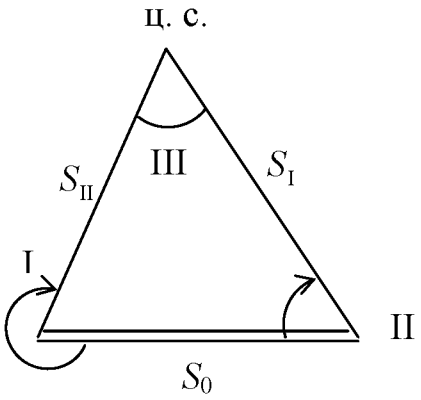


Рис. 2.4. Способ угловой засечки

Ошибка исходных данных базиса рассчитывается по формуле

$$m_{\text{и}} = \frac{S_0 \cdot \sin\beta_{\text{II}}}{\sin\beta_{\text{III}}} \sqrt{\left(\frac{m_{S_0}}{S_0}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho''}\right)^2} = S_{\text{II–ц.с.}} \sqrt{\left(\frac{m_{S_0}}{S_0}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2},$$

где m_α – ошибка определения дирекционного угла базиса; S_0 – длина базиса; m_{S_0} – ошибка определения длин базиса.

При определении длины базиса рулеткой

$$m_{S_0} = \sqrt{\mu^2 \cdot S_0 + \lambda^2 \cdot S_0^2},$$

где μ – коэффициент случайного влияния ($\mu = 0{,}0005$); λ – коэффициент систематического влияния ($\lambda = 0{,}00005$).

При использовании светодальномера или тахеометра

$$m_{S_0} = a + в \cdot S_0 \cdot 10^{-6},$$

где a – инструментальная ошибка и ошибка наблюдения; $в$ - коэффициент, учитывающий влияние ошибок, зависящих от величины измеряемого расстояния.

Ошибка собственной засечки

$$m_з = \frac{m_\beta \cdot S_0}{\rho''} \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_{II} + \sin^2 \beta_I}{\sin^4 \beta_{III}}} = \sqrt{S^2_{I-ц.с.} + S^2_{II-ц.с.}} \cdot \frac{m_\beta}{\rho'' \cdot \sin \beta_{III}},$$

где m_β – ошибка измерения горизонтального угла (для теодолитов типа Т5, $m_\beta = 5'$).

Ошибка центрирования теодолита и редукции визирования точки (цели) определяется по формуле

$$m_{ц.р.} = \frac{e}{\sin^2 \beta_{III}} \sqrt{\sin^2 \beta_I + \sin^2 \beta_{II}} = \frac{e}{S_0 \sin \beta_{III}} \sqrt{S_I^2 + S_{II}^2},$$

где e – ошибка центрирования инструмента и центрирования точки (цели), e = 0,001 м.

Способ линейной ошибки

$$m_{ц.с.} = \sqrt{m_и^2 + m_S^2 \frac{S_I S_{II}}{\sqrt{2p(p-S_{II})}(p-S_I)(p-S_0)} + m_ф^2},$$

где p – полупериметр

$$p = \frac{S_I + S_{II} + S_0}{2}.$$

$$m_{ц.с.} = \sqrt{m_и^2 + 2m_S^2 \frac{1}{\sin^2 \beta_{III}} + m_ф^2}, \text{ при } S_0 = S_I = S_{II}.$$

3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОГО МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПОЛИГОНА ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

3.1. Общие положения

Целью составления и вычисления проектного полигона является проверка правильности размеров горных выработок, указанных в проекте, и получение исходных данных для инструментального переноса в натуру характерных точек, осей проектируемых выработок и их направлений.

Составление проектного полигона начинается с вычерчивания его геометрической схемы. Исходными данными для составления проектного полигона являются проектные планы горных выработок.

В полигоне намечают точки, фиксирующие начало и конец прямолинейных и криволинейных участков. Проверяются все размеры прямолинейных участков, радиусы закруглений и проектные углы поворота.

При составлении проектного полигона оси криволинейных участков заменяют хордами. Число хорд определяется графически или вычисляют по формулам с таким расчетом, чтобы при переносе в натуру они не касались стенок выработки и при этом имели максимально возможную длину.

$$\sin\frac{\varphi}{4}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^{в}}{R}},$$

где $l^{в}$ – ширина горной выработки в свету по паспорту, м; R – радиус криволинейного участка, м.

По вычисленному значению угла φ и известному из проекта центральному углу α определяют число хорд максимальной длины, n_m

$$n_m=\frac{\alpha}{\varphi}.$$

Значение n_m округляют до целого числа всегда в большую сторону. Если n_m получилось целым числом, то увеличивают его на единицу.

Длины хорд вычисляют по формуле

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\alpha}{2n_m}.$$

Далее вычисляют углы β_i при начальной и конечной точках кривой и углы $\beta_i^{'}$ при промежуточных точках по формулам (рис. 3.1).

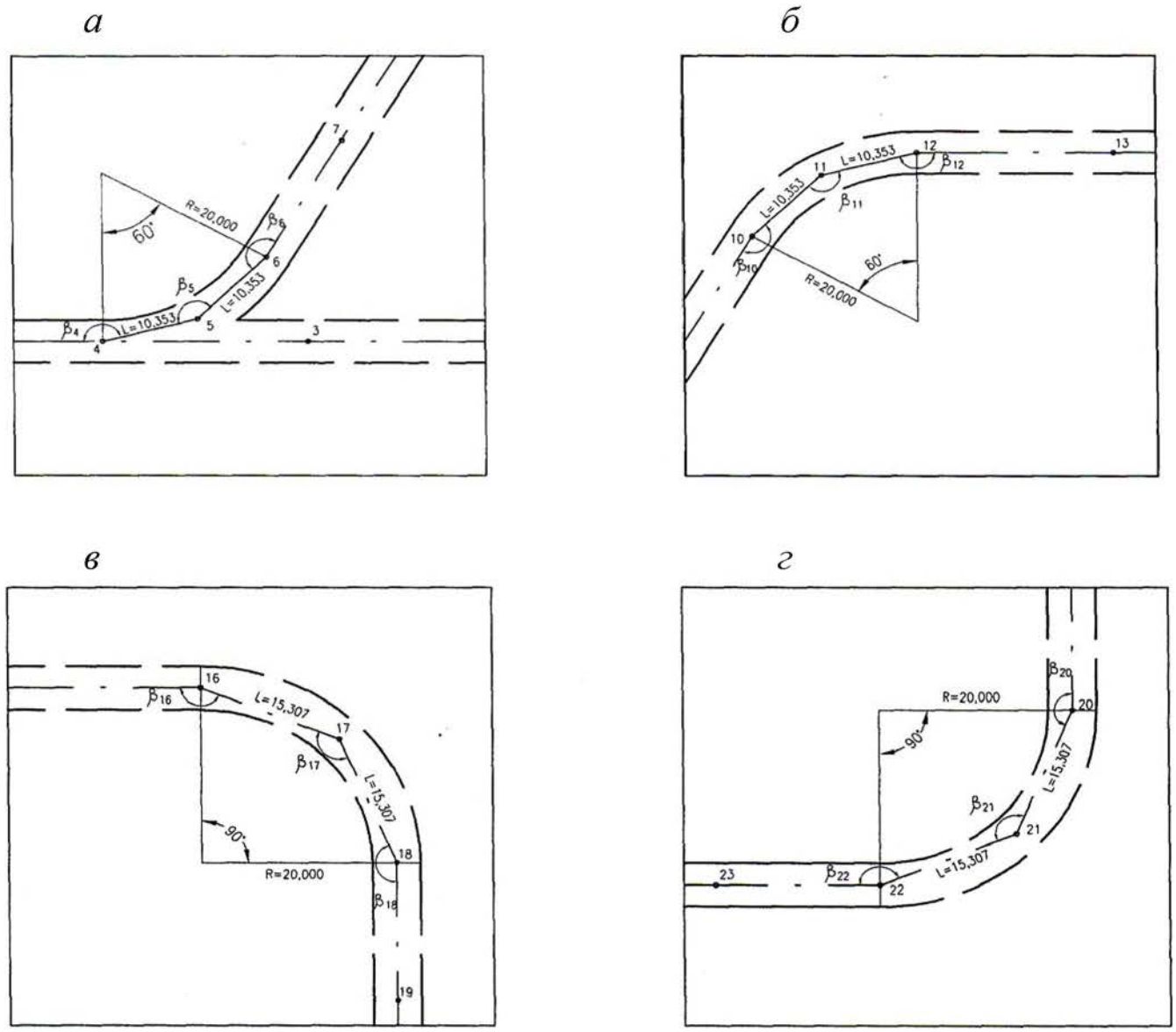


Рис. 3.1. Схемы определения параметров криволинейных участков маркшейдерского полигона:

а – расчет параметров криволинейных участков для точек 4 – 6;

б – расчет параметров криволинейных участков для точек 10 – 12;

в – расчет параметров криволинейных участков для точек 16 – 18;

г – расчет параметров криволинейных участков для точек 20 – 22

$$\beta_i = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m};$$

$$\beta_i^{'} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m}.$$

После вычисления углов проектного полигона производится их контроль по формулам:

для разомкнутого полигона

$$\sum\beta_i + \alpha_н - \alpha_к - 180^\circ \cdot n = 0;$$

для замкнутого проектного полигона

$$\sum\beta_i - 180^\circ(n \pm 2) = 0,$$

где $\sum\beta_i$ – сумма углов проектного полигона (фактическая); $180^\circ(n \pm 2)$ – теоретическая сумма углов; причем $(n + 2)$ – берется при внешних углах, а $(n - 2)$ – при внутренних углах; n – число углов в проектном полигоне; $\alpha_н$ – дирекционный угол начальной стороны; $\alpha_к$ – дирекционный угол конечной стороны.

Рассчитаем параметры криволинейных участков заданного полигона:

Для точек 4 – 6 (см. рис. 3.1, *а*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^в}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25 \qquad \varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{60^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}036\ ; \qquad n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 10{,}353$ м;

4. $\beta_4 = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00';$

$\beta_4 = 180^\circ - 165^\circ 00' = 15^\circ 00';$

$$\beta_5 = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2} = 150^\circ 00';$$

$$\beta_5 = 360^\circ - 150^\circ 00' = 210^\circ 00';$$

$$\beta_6 = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00';$$

$$\beta_6 = 360^\circ - 165^\circ 00' = 195^\circ 00'.$$

Для точек 10 – 12 (см. рис. 3.1, *б*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^в}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25;$ $\varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{60^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}036;$ $n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 10{,}353$ м;

4. $\beta_{10} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00';$

$$\beta_{11} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2} = 150^\circ 00';$$

$$\beta_{12} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{60^\circ}{2 \cdot 2} = 165^\circ 00'.$$

Для точек 16 – 18 (см. рис. 3.1, *в*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l^в}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25;$ $\varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{90^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}55;$ $n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 15{,}307$ м;

4. $\beta_{16} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30';$

$\beta_{17} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2} = 135^\circ 00';$

$\beta_{18} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30'.$

Для точек 20 – 22 (см. рис. 3.1, *г*):

1. $\sin\frac{\varphi}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{R}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{20}} = 0{,}25;$ $\varphi = 57^\circ 54';$

2. $n_m = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{90^\circ}{57^\circ 54'} = 1{,}55;$ $n_m = 2;$

3. $l_x = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2n_m} = 2 \cdot 20 \cdot \sin\frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 15{,}307$ м;

4. $\beta_{20} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30';$

$\beta_{21} = 180^\circ - \frac{\alpha}{n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2} = 135^\circ 00';$

$\beta_{22} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2n_m} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30'.$

Производим контроль вычисленных углов

$$\sum\beta_i - 180^\circ(n-2) = 1800^\circ - 180^\circ(12-2) = 0.$$

3.2. Вычисление приращения координат и увязка проектного полигона

Проектный полигон вычисляется по хордам l_i, углам β_i, β_i', длинам прямолинейных участков горных выработок (прямолинейными вставками) (рис. 3.2).

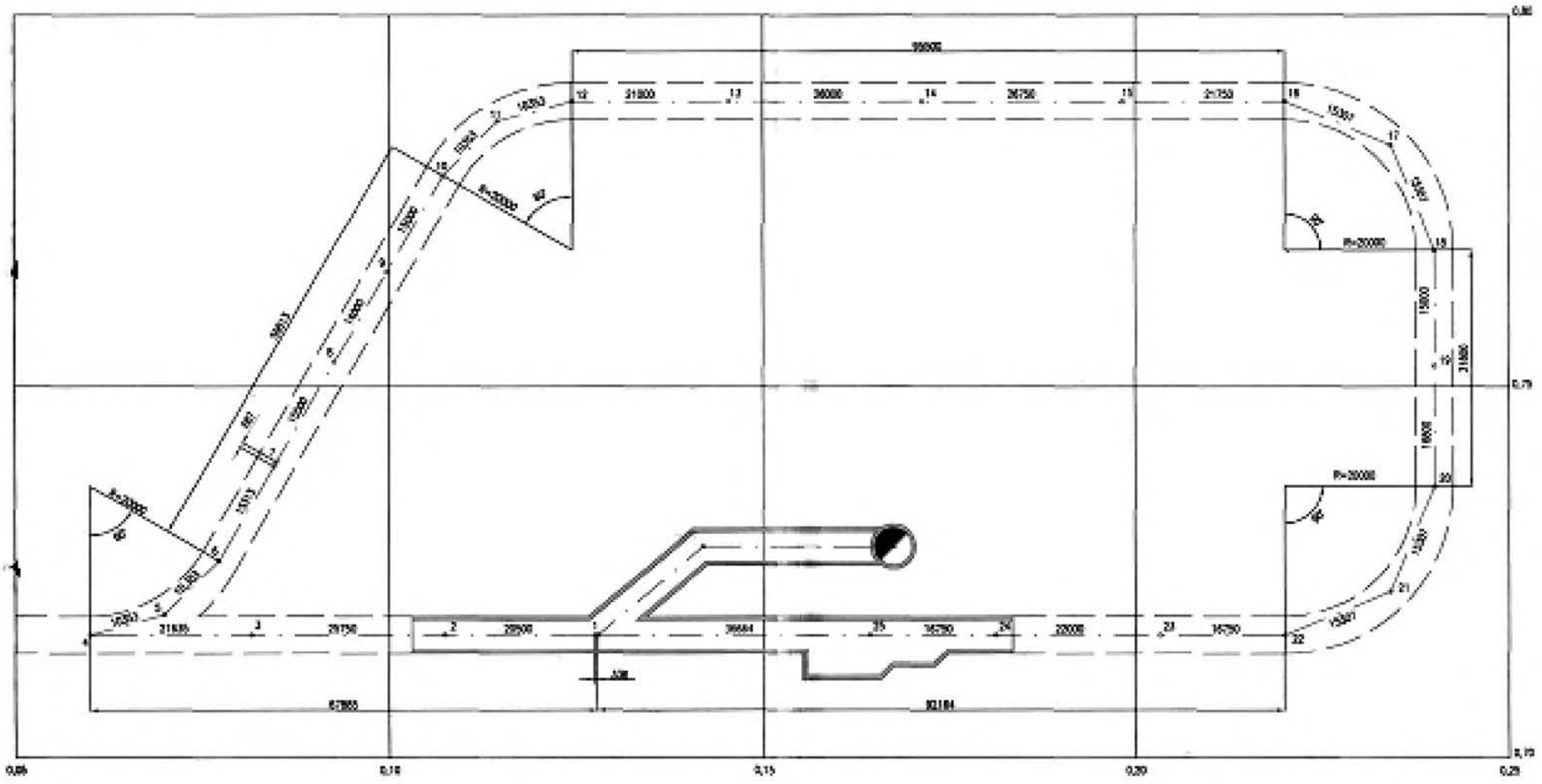


Рис. 3.2. Проектный полигон

Вычисление проектного полигона сводятся в таблицу (табл. 3.1), представляющую собой обычную ведомость вычисления приращения координат.

Таблица 3.1

Ведомость вычисления приращения координат

Точки		Длины сторон, м	Углы полигона ° ' "	Дирекционный угол, румб ° ' "	sin α, cos α	Приращения координат	
стояния	визирования					ΔY	ΔX
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	20,500		270°00'00" 90°00'00"	1 0	-20,500	0,000
2	1 3	25,750	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-25,750	0,000
3	2 4	21,635	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-21,635	0,000
4	3 5	10,353	345°00'00"	75°00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
5	4 6	10,353	150°00'00"	45°00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
6	5 7	-0,687 16,000 (15,313)	165°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	-0,343 8,000 (7,657)	-0,594 13,856 (13,262)
7	6 8	15,500	180°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	7,750	13,423
8	7 9	14,000	180°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	7,000	12,124
9	8 10	15,000	180°00'00"	30°00'00"	0,5 0,866025	7,500	12,990
10	9 11	10,353	195°00'00"	45°00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
11	10 12	10,353	210°00'00"	75°00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
12	11 13	21,000	195°00'00"	90°00'00"	1 0	21,000	0,000
13	12 14	26,000	180°00'00"	90°00'00"	1 0	26,000	0,000

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	13 15	26,750	180°00'00"	90°00'00"	1 0	26,750	0,000
15	14 16	21,750	180°00'00"	90°00'00"	1 0	21,750	0,000
16	15 17	15,307	202°30'00"	112°30'00" 67°30'00"	0,923880 0,382683	14,142	-5,858
17	16 18	15,307	225°00'00"	157°30'00" 22°30'00"	0,382683 0,923880	5,858	-14,142
18	17 19	15,000	202°30'00"	180°00'00" 0°00'00"	0 1	0,000	-15,000
19	18 20	16,800	180°00'00"	180°00'00" 0°00'00"	0 1	0,000	-16,800
20	19 21	15,307	202°30'00"	202°30'00" 22°30'00"	0,382683 0,933880	-5,858	-14,142
21	20 22	15,307	225°00'00"	247°30'00" 67°30'00"	0,923880 0,382683	-14,142	-5,858
22	21 23	16,750	202°30'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-16,750	0,000
23	22 24	22,000	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-22,000	0,000
24	23 25	16,750	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	1 0	-16,750	0,000
25	24 1	-0,336 37,000 (36,664)	180°00'00"	270°00'00" 90°00'00"	–1 0	0,336 -37,000 (-36,664)	0,000
1	25 2		180°00'00"	270°00'00"		f_Y=+0,007 f_Y=0	f_X=+0,595 f_X=+0,001

После вычисления приращений координат полигона определяются невязки f_x и f_y. Для замкнутого полигона:

$$f_X = \Sigma \Delta X,$$

$$f_Y = \Sigma \Delta Y.$$

Далее определяется абсолютная линейная невязка $f_S = \pm\sqrt{f_X^2 + f_Y^2}$. Отношение f_S к периметру проектного полигона должно соответствовать точности графической наноски.

Известно, что точность накола точки на план равна 0,2 мм, тогда линейная ошибка нанесения проектного полигона $m = 0{,}2\sqrt{n}$, где n – число точек проектного полигона.

Отношение m к периметру полигона будет характеризовать относительную точность графической наноски проектного полигона. Следовательно, должно соблюдаться условие

$$\frac{f_S}{P} \le \frac{m}{P},$$

контролирующее необходимую точность составления маркшейдерского проектного полигона.

Проверим соблюдение условия:

$$\frac{f_S}{P} \le \frac{m}{P},$$

$$f_S = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = \sqrt{0{,}595^2 + 0{,}007^2} = 0{,}595 \quad \text{м},$$

$$\frac{0{,}595}{450{,}825} = \frac{1}{758} \quad < \quad \frac{0{,}2 \cdot \sqrt{25}}{450{,}825} = \frac{1}{451}.$$

При увязке проектного полигона необходимо оставить неизменными радиусы закруглений R_i и углы α_i. Изменению подлежат всегда две непараллельные прямые вставки, имеющие наибольшую длину. Увязку проектного полигона производим векторно-графическим способом, сущность которого заключается в следующем: в крупном масштабе 1:1000 проводим оси X и Y принятой системы координат, рис. 3.3; через точку О проводим оси X' и Y', параллельные прямым вставкам, которые подлежат изменению. На этих вставках отмечаем стрелками направление хода вычисления полигона. В принятом масштабе и с соответствующим знаком от точки О откладываем по осям X и Y полученные невязки f_X и f_Y. Графически определяем абсолютную невязку f_S (OL) (см. рис. 3.2). Поправка-вектор будет иметь противоположное направление (LO). Поправку-вектор раскладываем на две составляющие LK и LM по правилу параллелограмма, стороны которого

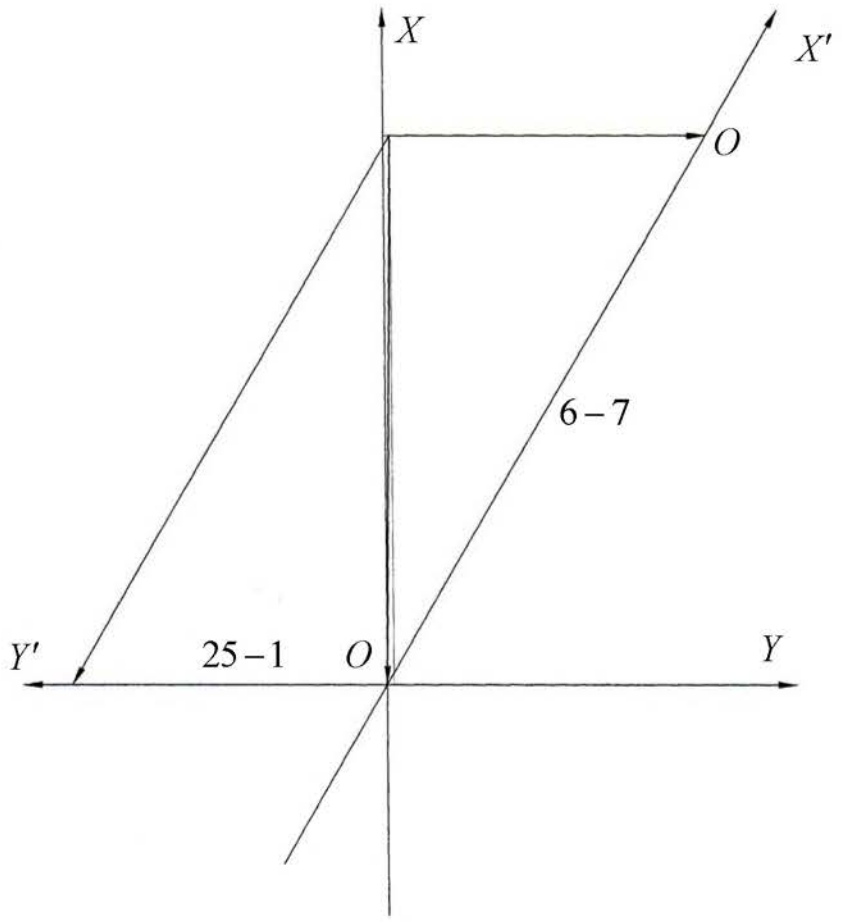


Рис. 3.3. Векторно-графический способ увязки проектного полигона

параллельны прямым вставкам OX' и OY'. В результате получаем поправки-векторы, величины которых измеряем на чертеже (см. рис. 3.3) в принятом масштабе и вводим в соответствующие длины прямых вставок. Если направление отличается на 180^0, то длина прямой вставки уменьшается на величину поправки-вектора. После этого в ведомости вычисления координат вносим исправленные длины и перевычисляем соответствующие приращения координат ΔX и ΔY. Можно также вычислить поправку сразу в приращении координат. Для этого величины поправок-векторов нужно умножить на синусы и косинусы румбов исправляемых сторон проектного полигона с соответствующими знаками в ранее вычисленные значения координат.

После увязки:

$$\sum \Delta X = +0,001,$$

$$\sum \Delta Y = 0.$$

4. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРОВЕРКА ОДНОКАНАТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА

4.1. Общие положения

В комплекс сооружений шахтного подъема входят проводники (направляющие подъемных сосудов), укрепленные на расстрелах, копер с расположенными на нем направляющими шкивами, подъемная машина с барабанами, на которые навивается канат, подъемные сосуды.

Маркшейдер должен обеспечить установку комплекса шахтного подъема с соблюдением проектных геометрических параметров его отдельных элементов.

Проверка подъемного комплекса производится при сдаче шахты в эксплуатацию и периодически в процессе ее работы. Маркшейдер проверяет соответствие величин углов отклонения канатов (девиации) на барабанах и шкивах правилам технической эксплуатации, вертикальность плоскостей симметрии шкивов, отсутствие у них «восьмерки», совпадение вертикальных проекций точек схода канатов и точек подвеса подъемных сосудов, горизонтальность главного вала подъемной машины. Этот контроль может быть выполнен как от осей ствола, закрепленных осевыми пунктами на поверхности, так и от оси главного вала подъемной машины.

4.2. Исходные данные и требования к проверке

Исходными данными для проверки подъемного механизма являются геометрические элементы подъемной установки (табл. 4.1), результаты съемки кронштейна с жалом Г, прикрепленного к реборде барабана, в двух диаметрально противоположных положениях Г и $Г_1$, в результате чего определяют их координаты $x_Г, y_Г, x_{Г_1}, y_{Г_1}$, результаты съемки элементов сечения ствола и съемки шкивов a_1, a_2, a_1', a_2' (табл. 4.2), а также др. геометрические параметры подъемного комплекса (рис. 4.1 – 4.4).

Таблица 4.1

Основные геометрические элементы подъемной установки

Номер вар.	H, м	$D_б$, м	$D_ш$, м	d_k, мм	l, м	$в$, мм	$H_{k,м}$	e, мм	$S_{ю,с}$ мм	$L_г$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,2	670/600	5	4	50,5/45	3,2	100	40,0	3	60	48,0
3,4	465/420	4	3	45/37	2,7	90	40,0	3	50	48,0
5,6	565/520	4	3	35/31	3,0	85	37,0	3	50	44,4
7,8	465/410	4	3	45/37	2,3	90	39,5	2	45	47,1
9,10	450/400	4	3	45/37	2,0	100	40,0	2	55	48,0
11,12	410/450	4	3	35/31	1,8	95	39,5	3	55	47,7
13,14	550/510	5	4	45/37	2,3	80	40,0	2	50	48,0
15,16	450/410	5	4	52/45	2,0	80	40,0	2	50	48,0
17,18	340/420	2,5	2,0	31/35	2,3	85	35,0	3	45	42,0
19,20	285/300	3,0	2,5	37/41	1,5	85	30,0	3	45	36,0
21,22	430/400	2,5	2,0	31/27	3,4	95	37,0	2	50	44,6
23,24	400/420	3	2,5	37/41	3,2	95	37,0	2	50	44,4
25,26	215/250	2,5	2,6	31/27	1,5	70	30,0	3	40	36,0
27,28	365/330	3,0	2,5	37/35	2,3	95	37,0	2	45	44,4
29,30	280/300	2,0	1,5	25/23	1,7	95	35,0	3	45	42,0
31,32	170/200	2,0	1,5	25/23	1,7	75	25,0	2	35	30,0
33,34	215/240	2,5	2,0	25/23	1,2	75	25,0	2	35	30,0
35,36	225/200	2,5	20,	31/27	1,5	80	30,0	3	45	36,0
37,38	400/350	3,4	3,0	43,5/45	2,3	95	37,0	3	45	44,4
39,40	550/500	3,5	3,0	25/31	1,8	95	40,0	2	50	48,0
41/42	300/320	3,5	3,0	42/37	1,7	95	37,0	3	35	44,4
43/44	520/500	4	305	37/35	207	95	40,0	3	45	48,0
45/46	620/600	5	4	52/50	2,3	95	39,5	2	50	47,4
47/48	700/650	6	5	52/50	2,4	100	40,0	2	45	48,0
49/50	550/500	4	3	43,5/45	2,3	95	39,5	3	50	47,4

Примечание. В графах 2 и 5 в числителе – нечетный вариант, в знаменателе – четный вариант.

Таблица 4.2

Результаты маркшейдерской съемки реборды барабана подъемной машины и шкивов

Номер вариан-та	Данные съемки шкивов				Съемки барабана машины			
	a_1, мм	a_2, мм	a_1', мм	a_2', мм	точка Г		точка $Г_1$	
					x', м	y', м	x', м	y', м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1710	1730	1710	1710	50,5	3,370	45,5	3,360
2	1710	1680	1710	1710	50,0	3,380	45,5	3,390
3	1445	1460	1445	1480	50,0	2,845	46,0	2,820
4	1445	1430	1445	1420	50,0	2,860	46,0	2,845
5	1092	1100	1092	1100	46,4	3,142	42,1	3,120
6	1092	1080	1092	1080	46,4	31,10	42,4	3,150
7	1240	1220	1240	1200	4904	2,435	45,4	2,470
8	1240	1260	1240	1260	4904	20452	45,5	2,420
9	1105	1150	1105	1100	50,0	2,160	46,0	2,180
10	1105	1050	1105	1150	50,0	2,150	46,0	2,180
11	1502	1515	1502	1480	49,4	1,957	45,4	1,900
12	1502	1495	1502	1520	49,4	1,940	45,4	1,970
13	1240	1225	1240	1210	50,0	2,440	45,5	2,490
14	1240	1255	1240	1280	50,5	2,450	45,5	2,470
15	1090	1115	1090	1100	50,5	2,140	45,5	2,120
16	1090	1035	1090	1120	50,5	2,160	45,5	2,170
17	1237	1220	1237	1200	43,25	2,432	40,75	2,400
18	1237	1270	1237	1250	43,25	2,430	40,75	2,480
19	0837	0850	0837	0850	37,5	1,632	34,5	1,680
20	0837	0820	0837	0800	37,5	1650	34,5	1,600
21	1797	1810	1897	1820	45,65	3547	43,15	3,500
22	1797	1780	1797	1770	46,65	3,560	43,15	3,600
23	1697	1710	1697	1720	45,9	3,347	42,9	3,305
24	1697	1980	1697	1680	49,9	3,330	42,9	3,380
25	0825	0800	0825	0850	37,25	1,615	34,75	1,600
26	0825	0850	0825	0800	37,25	1,600	34,75	1,620
27	1242	1220	1242	1210	45,9	2,437	42,9	2,450
28	1242	1260	1242	1270	45,9	2,420	42,9	2,480
29	0942	0960	0942	0910	43,0	1,832	41,0	1,800
30	0942	0930	0942	0960	43,0	1,850	41,0	1,800
31	0917	0930	0917	0900	31,0	1,807	29,0	1,850
32	0917	0900	0917	0930	31,0	1,825	29,0	1,80
33	0672	0700	0672	0650	31,2	1,307	28,75	1,320
34	0672	0650	0672	0700	31,25	1,330	28,75	1,300

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35	0835	0850	0835	0815	37,25	1,630	34,75	1,600
36	0835	0820	0835	0850	37,25	1,650	34,75	1,630
37	1242	1260	1242	1210	46,1	2,437	42,7	2,400
38	1242	1220	1242	1250	46,1	2,450	42,7	2,400
39	0947	0960	0947	0960	49,75	1,847	46,25	1,880
40	0947	0930	0947	0920	49,75	1,860	46,25	1,810
41	0932	0910	0932	0900	46,15	1,817	42,65	1,800
42	0932	0950	0932	0950	46,15	1,850	42,65	1,800
43	1442	1460	1442	1420	50,0	2,837	46,0	2,800
44	1442	1420	1442	1460	50,0	2,800	46,0	2,840
45	1247	1220	1247	1270	49,5	2,447	44,5	2,410
46	1274	1260	1247	1220	49,5	2,420	44,5	2,430
47	1295	1310	1295	1280	51,0	2,540	45,0	2,500
48	1295	1280	1295	1300	51,0	2,560	45,0	2,600
49	1247	1280	1247	1230	49,4	2,447	45,4	2,410
50	1247	1230	1247	1280	49,4	2,470	45,4	2,490

Проверка выполняется путем прокладки теодолитного хода от осевых пунктов к подъемной машине и стволу и съемки характерных точек органов навивки подъемной машины, шкивов, сечения ствола (см. рис. 4.1).

4.3. Порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы рассмотрим на примере одного из вариантов.

Таблица 4.3

Основные геометрические элементы подъемной машины

Высота подъема	H, м	410
Диаметр барабана	$D_б$, м	4,00
Диаметр шкива	$D_ш$, м	3,00
Диаметр каната	$d_к$, мм	37
Ширина барабана	l, м	2,40
Расстояние между барабанами	b, мм	90
Высота копра	$H_{к, м}$	38,5
Зазор между витками канатов	e, мм	2
Ширина реборды барабана	$S_{ю, с}$, мм	45
Горизонтальное расстояние от оси вала подъемной машины и оси шкива	$L_г$, м	47,4

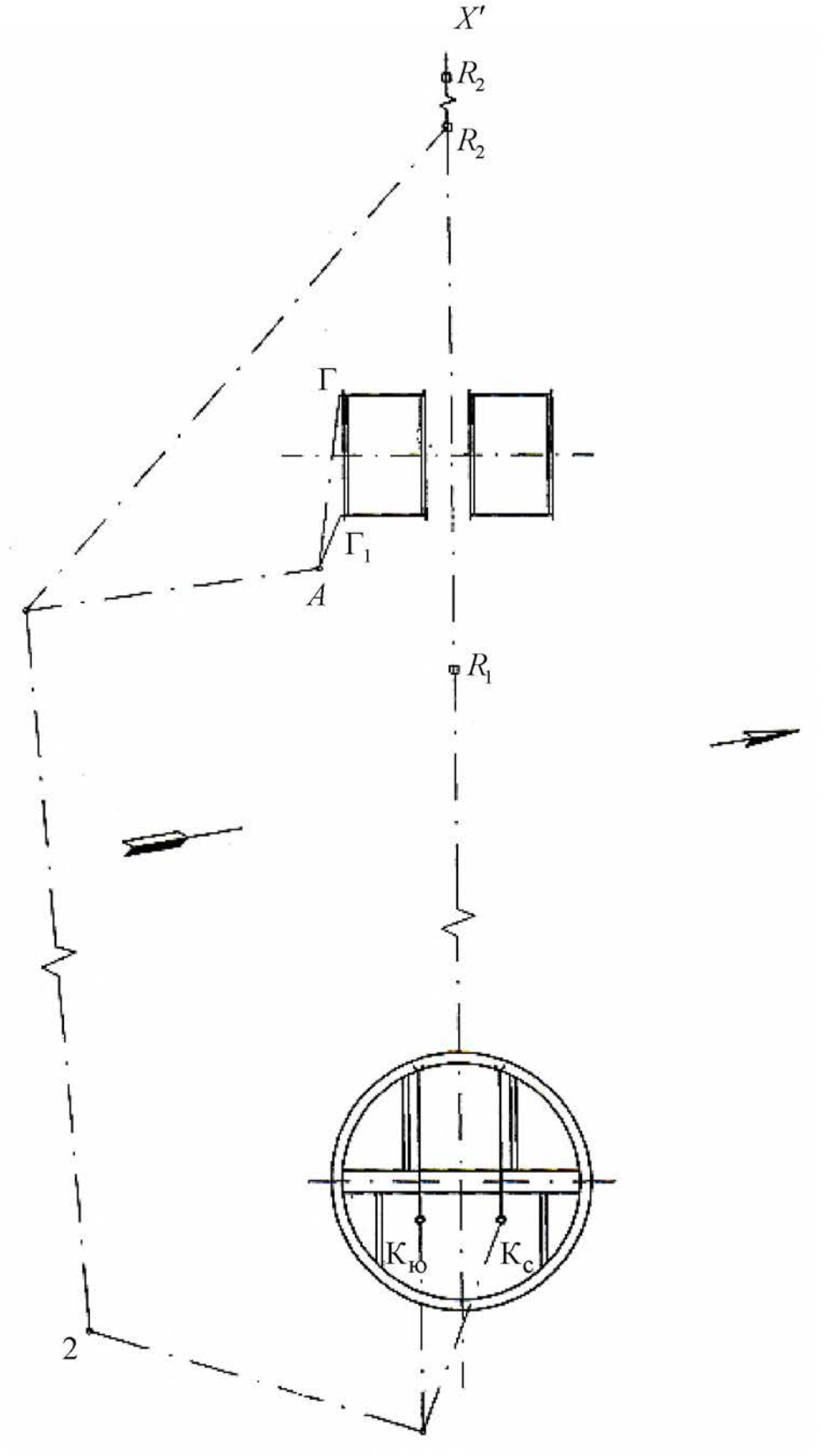


Рис. 4.1. Съемка характерных точек подъемного комплекса

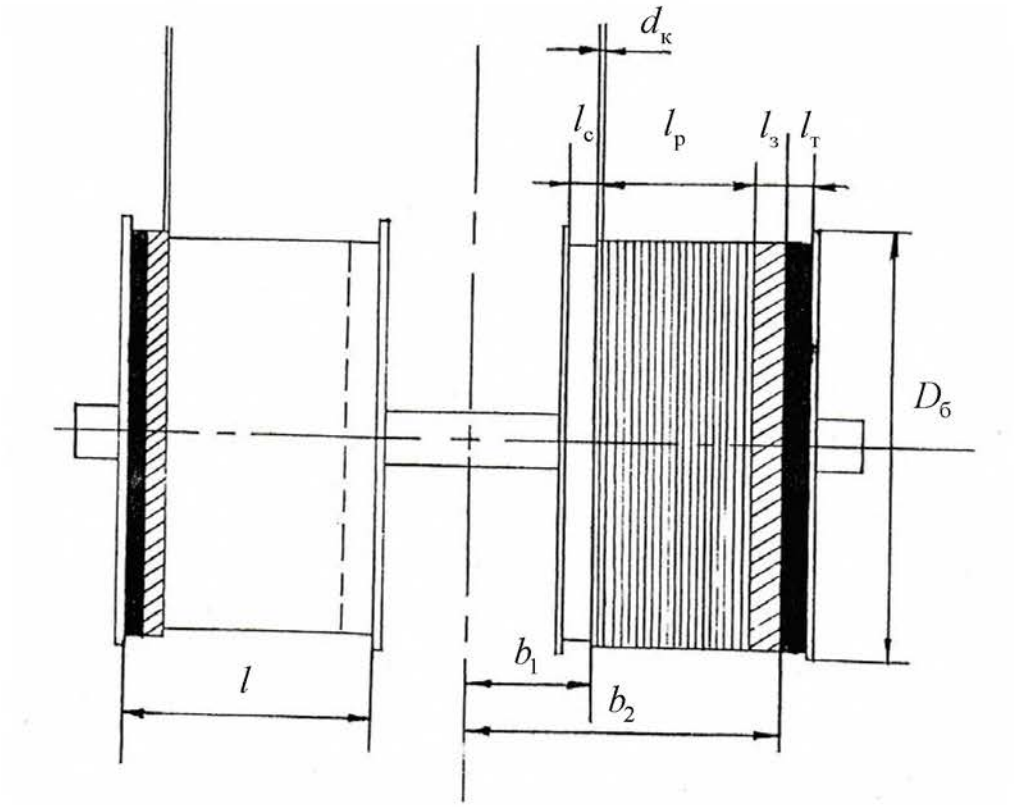


Рис. 4.2. Зоны цилиндрических барабанов

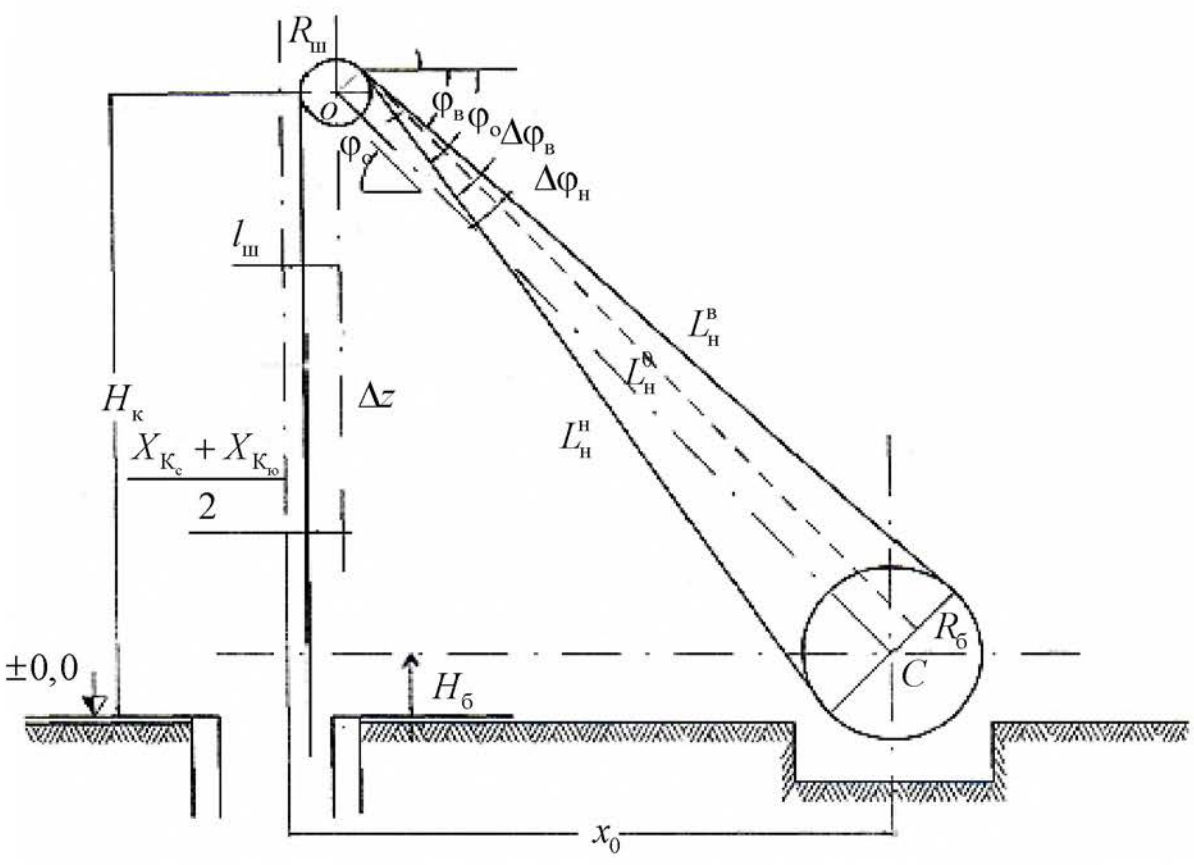


Рис. 4.3. Углы наклона подъемных канатов

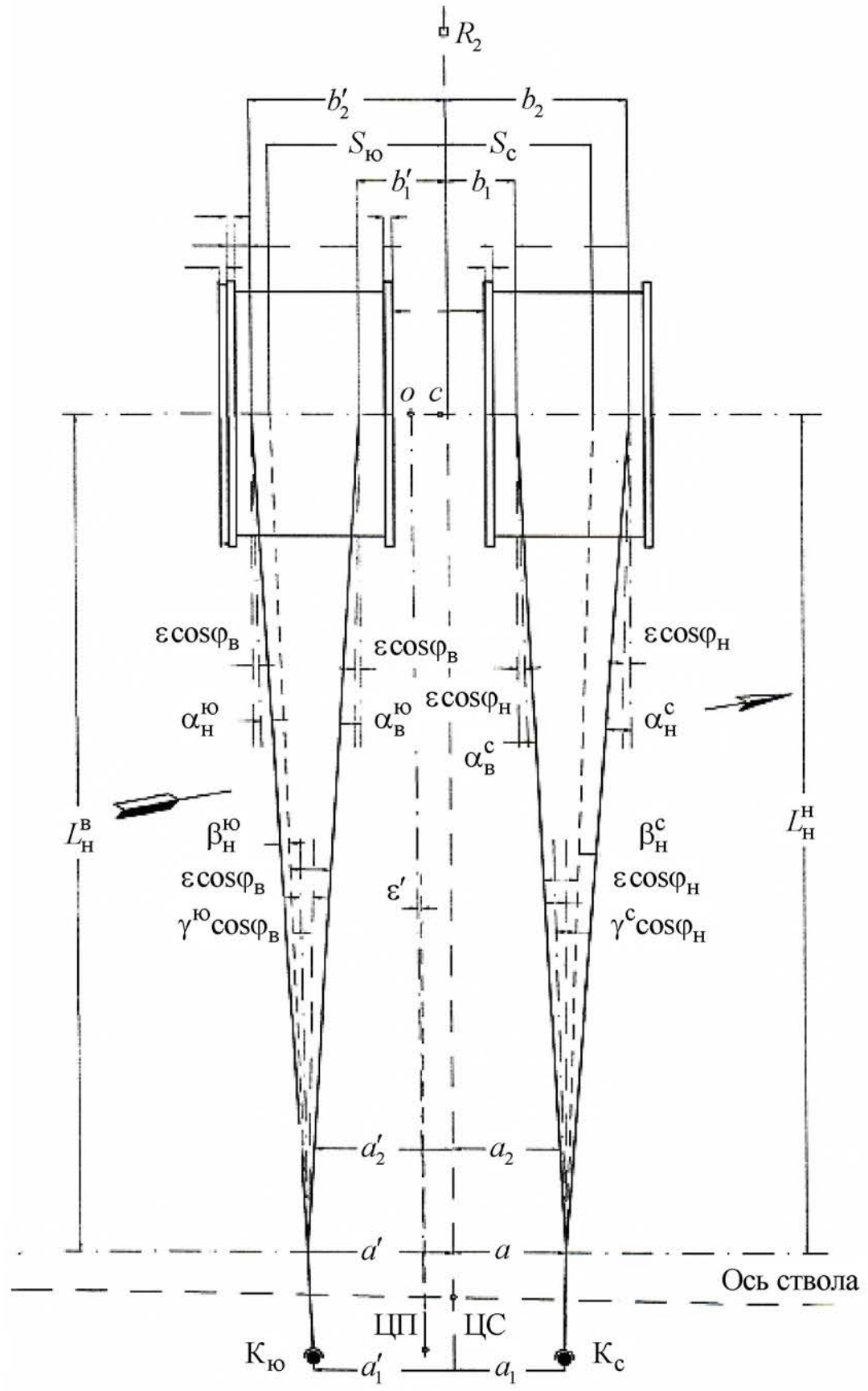


Рис. 4.4. Съемка шкивов и элементов барабанов подъемной машины

Таблица 4.4

Результаты маркшейдерской съемки реборды барабана подъемной машины и шкивов

Данные съемки шкивов				Съемки барабана машины			
				точка Г		точка $Г_1$	
a_1, мм	a_2, мм	a_1', мм	a_2', мм	x', м	y', м	x', м	y', м
1240	1260	1240	1250	49,4	2,450	45,4	2,420

4.3.1. *Вычисление элементов органов навивки для северного и южного барабанов (см. рис. 4.2)*

- Зона рабочих витков, ширина которой зависит от полной высоты подъема

$$l_{\text{р}} = \frac{H}{\pi \cdot D_{\text{б}}}\left(d_{\text{к}} + e\right) = \frac{410}{3{,}14 \cdot 4{,}0} \cdot \left(0{,}037 + 0{,}002\right) = 1{,}272 \text{ м}.$$

- Зона запасных витков необходима для наращивания рабочей части каната по мере уменьшения ее в процессе систематических испытаний каната:

$$l_{\text{з}} = \frac{30}{\pi \cdot D_{\text{б}}}\left(d_{\text{к}} + e\right) = \frac{300}{3{,}14 \cdot 4{,}0}\left(0{,}037 + 0{,}002\right) = 0{,}093 \text{ м},$$

где 30 – длина каната для испытаний.

- Зона витков трения служит для усиления закрепления каната на барабане (число витков трения n_m=3 – 5)

$$l_{\text{т}} = n_{\text{т}}\left(d_{\text{к}} + e\right) = 4\left(0{,}037 + 0{,}002\right) = 0{,}156 \text{ м}.$$

- Свободная часть барабана подъемной машины – разность между строительной шириной барабана l и суммарным размером рассмотренных выше трех зон

$$l_{\text{с}} = l - \left(l_{\text{р}} + l_{\text{з}} + l_{\text{т}}\right) = 2{,}4 - \left(1{,}272 + 0{,}093 + 0{,}156\right) = 0{,}879 \text{ м}.$$

4.3.2. Дирекционный угол фактической оси подъема (*см. рис. 4.1*)

$$\mathrm{tg}_{(\Gamma_1-\Gamma)} = \frac{Y'_{\Gamma} - Y'_{\Gamma_1}}{X'_{\Gamma} - X'_{\Gamma_1}} = \frac{2{,}450 - 2{,}420}{49{,}4 - 45{,}4} = 0{,}0075,$$

$$\alpha_{(\Gamma_1-\Gamma)} = 0^{\circ}25'47".$$

4.3.3. Величина непараллельности фактической оси подъема и оси ствола

$$\varepsilon = \alpha_{(\Gamma_1-\Gamma)} - \alpha_{R_2-R_3} = 0^{\circ}25'47",$$

где $\alpha_{R_2-R_3} = 0^{\circ}00'00"$ или $360^{\circ}00'00"$.

4.3.4. Координаты точки С, лежащей на оси главного вала подъемной машины посредине между барабанами

$$X_C = \frac{X'_{\Gamma_1} + X'_{\Gamma}}{2} = \frac{45{,}4 + 49{,}4}{2} = 47{,}4 \text{ м}.$$

$$Y_C = \frac{Y'_{\Gamma_1} + Y'_{\Gamma}}{2} - (2S + l_{\text{с}} + l_{\text{р}} + l_{\text{з}} + l_{\text{т}} + \frac{b}{2}) =$$

$$= \frac{2{,}420 + 2{,}450}{2} - (0{,}090 + 0{,}879 + 1{,}272 + 0{,}093 + 0{,}156 + 0{,}045) = -0{,}100 \text{ м}.$$

4.3.5. Углы наклонов верхнего и нижнего канатов и их наклонная длина (*см. рис. 4.3*)

- Наклонное расстояние от оси главного вала машины до оси шкивов:

$$L^0_{\text{н}} = \sqrt{L^2_{\Gamma} + \Delta Z^2},$$

где L_{Γ} – проекция искомого расстояния на горизонтальную плоскость; ΔZ – превышение оси шкива над осью вала

$$\Delta Z = H_{\text{к}} - H_{\text{б}} = 38{,}5 - 1 = 37{,}5 \text{ м},$$

$H_{\text{к}}$ – высота копра, м; $H_{\text{б}}$ – высота барабана, м

$$H_{б} = \frac{D_{б}}{2} - 1 = \frac{4,0}{2} - 1 = 1,0 \text{ м};$$

$$\Delta Z = 30 - 0,5 = 29,5 \text{ м};$$

$$L_{н}^{0} = \sqrt{47,4^2 + 37,5^2} = 60,440 \text{ м}.$$

- Углы наклонов верхнего и нижнего канатов

$$\text{tg}\varphi_0 = \frac{\Delta Z}{L_{Г}} = \frac{37,5}{47,4} = 0,79114,$$

где φ_0 – угол наклона линии, соединяющей оси вращения шкива и вала ($\varphi_0 = 38^\circ 20'56"$).

$$\Delta\varphi_{н} = \frac{R_{б} + R_{ш}}{L_{н}^{0}}\rho' = \frac{2+1,5}{60,440}3437,75 = 3^\circ 19'04";$$

$$\Delta\varphi_{в} = \frac{R_{б} - R_{ш}}{L_{Н}^{0}}\rho' = \frac{2-1,5}{60,440}3437,75 = 0^\circ 28'16";$$

$$\varphi_{в} = \varphi_0 - \Delta\varphi_{в} = 38^\circ 20'56" - 0^\circ 28'26" = 37^\circ 52'30";$$

$$\varphi_{н} = \varphi_0 + \Delta\varphi_{н} = 38^\circ 20'56" + 3^\circ 19'04" = 41^\circ 40'00".$$

- Наклонная длина верхних и нижних ветвей канатов

$$L_{н}^{в} = \frac{R_{б} - R_{ш}}{\sin\Delta\varphi_{в}} = \frac{2 - 1,5}{\sin 0^\circ 28'26"} = 60,453 \text{ м};$$

$$L_{н}^{н} = \frac{R_{б} + R_{ш}}{\sin\Delta\varphi_{н}} = \frac{2 + 1,5}{\sin 3^\circ 19'04"} = 60,476 \text{ м}.$$

4.3.6. Углы девиации на барабанах

- На северном:

$$\alpha_{в}^{с} = \frac{a - b_1}{L_{Н}^{н}}\rho' - \varepsilon\cos\varphi_{н};$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{b_2 - a}{L_{Н}^{н}}\rho' + \varepsilon\cos\varphi_{н},$$

где

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{1{,}240 + 1{,}260}{2} = 1{,}250 \text{ м},$$

$$b_1 = \frac{в}{2} - Y_C + S_C + l_c = 0{,}100 + 0{,}045 + 0{,}045 + 0{,}879 = 1{,}069 \text{ м},$$

$$b_2 = b_1 + l_р + l_з = 1{,}069 + 1{,}272 + 0{,}093 = 2{,}434 \text{ м};$$

$$\alpha_{в}^{с} = \frac{1{,}250 - 1{,}069}{60{,}476}3437{,}75 - 0^\circ 25'47''\cos 41^\circ 40' = -0^\circ 08'58'';$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{2{,}434 - 1{,}250}{60{,}476}3437{,}75 + 0^\circ 25'47''\cos 41^\circ 40' = 1^\circ 26'34''.$$

- На южном:

$$\alpha_{в}^{ю} = \frac{a' - b_1'}{L_{Н}^{в}}\rho' + \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в};$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{b_2' - a'}{L_{Н}^{н}}\rho' - \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в},$$

где

$$a' = \frac{a_1' + a_2'}{2} = \frac{1{,}240 + 1{,}2500}{2} = 1{,}245 \text{ м},$$

$$b_1' = Y_C + \frac{b}{2} + S_{ю} + l_с = -0{,}100 + \frac{0{,}09}{2} + 0{,}045 + 0{,}879 = 0{,}869 \text{ м},$$

$$b_2' = b_1' + l_р + l_з = 0{,}869 + 1{,}272 + 0{,}093 = 2{,}234 \text{ м},$$

$$\alpha_{в}^{ю} = \frac{1{,}245 - 0{,}869}{60{,}453}3437{,}75 + 0^\circ 25'47'' \cdot \cos 37^\circ 52'30'' = 0^\circ 41'44'',$$

$$\alpha_{н}^{ю} = \frac{2{,}234 - 1{,}245}{60{,}453}3437{,}75 - 0^\circ 25'47'' \cdot \cos 37^\circ 52'30'' = 0^\circ 35'53''.$$

По правилам технической эксплуатации значения углов отклонения канатов должны быть не более 1°30′. При углах отклонения выше этого предела возможно нарушение нормальной работы подъема, вызванное быстрым стиранием каната и расшатыванием копровых шкивов.

4.3.7. Углы девиации на шкивах

- На северном:

$$\gamma_{\text{с}} = \frac{\Delta a_{\text{с}}}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{a_2 - a_1}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{1{,}260 - 1{,}240}{3}3437{,}75 = 0^\circ 22'55'',$$

$$\beta_{\text{в}}^{\text{с}} = a_{\text{в}}^{\text{с}} + (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = -0^\circ 08'58'' + (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 27'25'';$$
$$\beta_{\text{н}}^{\text{с}} = a_{\text{н}}^{\text{с}} - (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 1^\circ 26'34'' - (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 50'11''.$$

- На южном:

$$\gamma_{\text{ю}} = \frac{\Delta a_{\text{ю}}}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{a_2 - a_1}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{1{,}250 - 1{,}240}{3}3437{,}75 = 0^\circ 11'28'';$$

$$\beta_{\text{в}}^{\text{ю}} = a_{\text{в}}^{\text{ю}} + (\gamma_{\text{ю}} - \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 0^\circ 41'44'' + (0^\circ 11'28'' - 0^\circ 25'47'')\cos 37^\circ 52'30'' =$$
$$= 0^\circ 30'26'';$$
$$\beta_{\text{н}}^{\text{ю}} = a_{\text{н}}^{\text{ю}} - (\gamma_{\text{ю}} - \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 0^\circ 35'53'' - (0^\circ 11'28'' - 0^\circ 25'47'')\cos 37^\circ 52'30'' =$$
$$= 0^\circ 47'11''.$$

4.3.8. Средние ошибки углов девиации на барабанах и шкивах

$$m_\alpha = \frac{\rho'}{L_{\text{н}}^0}\sqrt{\left(\frac{b_2 - a}{L_{\text{н}}^0}\right)m_{L_{\text{н}}^0}^2 + m_a^2 + m_{b_2}^2},$$

$$m_\beta = \sqrt{m_\alpha^2 + \cos^2\varphi_0 \cdot m_\gamma^2 + \gamma_c^2 \sin^2\varphi_0 \frac{m_\varphi^2}{\rho'^2}};$$

$$m_{L_н} = \pm\frac{1}{3000}60,440 = 0,020 \text{ м},$$

$$m_a = \frac{1}{3000}1,250 = 0,0004 \text{ м},$$

$$m_{b_2} = \frac{1}{3000}2,434 = 0,0008 \text{ м};$$

$$m_\alpha = \frac{206265}{60,440}\sqrt{\left(\frac{2,434-1,250}{60,440}\right)^2 0,020^2 + 0,0004^2 + 0,0008^2} = 0^\circ 00'03";$$

$$m_\gamma = 0,1^\circ; \quad m_\varphi = 5^\circ;$$

$$m_\beta^c = \sqrt{0,00083^2 + \cos^2\varphi_0 (0,1^\circ)^2 + \gamma^2 \sin^2\varphi_0 \frac{5^2}{57,3^2}} = 0^\circ 04'58";$$

$$m_\beta^{ю} = \sqrt{0,00083^2 + \cos^2\varphi_0 (0,1^\circ)^2 + \gamma^2 \sin^2\varphi_0 \frac{5^2}{57,3^2}} = 0^\circ 04'57".$$

Так как углы девиации на шкивах $\beta_в$ и $\beta_н$ не равны между собой и при большой разности этих углов будет происходить быстрое одностороннее стирание футеровки шкива и каната, это приведет к частой смене футеровки шкива и к сокращению срока службы каната, то необходимо довернуть шкив так, чтобы его плоскость была направлена на середину рабочей части барабана. Для этого определяют разность $(a_1 - a_{2\text{испр}})$.

Расстояния a_1 и a задаются проектом и изменению не подлежат, так как изменение сместит точки сходов канатов относительно центра тяжести подъемных отделений ствола.

$$a_1 - a_{2\text{испр}} = \frac{b_1 + b_2 - 2a}{2L_н^0 \cos\varphi_0} D_ш = \frac{1,069 + 2,434 - 2,500}{2 \cdot 60,440 \cos 38^\circ 20'56"}3 = 0,032 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}} = 1{,}240 - 0{,}032 = 1{,}208 \text{ м};$$

$$a_2 - a_{2\text{испр}} = 1{,}260 - 1{,}208 = 0{,}052 \text{ м};$$

$$a'_1 - a_{2\text{испр}'} = \frac{b'_1 + b'_2 - 2a'}{2L^0_{\text{н}} \cos\varphi_0} D_{\text{ш}} = \frac{1{,}869 + 2{,}234 - 2{,}490}{2 \cdot 60{,}440 \cos 38^\circ 20'56''} 3 = 0{,}019 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}'} = 1{,}240 - 0{,}019 = 1{,}221 \text{ м};$$

$$a'_2 - a_{2\text{испр}'} = 1{,}250 - 1{,}221 = 0{,}029 \text{ м}.$$

$$\Delta a_2 = 29 \text{ мм}.$$

Вывод: при вычислении углы девиации не превзошли допустимых (1°30'). Средняя ошибка углов девиации $m^c_\beta = 0^\circ 04'58''$; $m^{\text{ю}}_\beta = 0^\circ 04'57''$.

5. РАЗБИВКА ЗАКРУГЛЕННОЙ ТРАССЫ ПУТИ С ПЕРЕХОДНЫМИ КРИВЫМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

5.1. Общие положения

При перенесении проекта трассы с плана или карты в натуру выполняют вешение оси трассы и измерение углов поворота, линейные измерения, пикетаж, разбивку кривых, закрепление на местности элементов трассы и техническое нивелирование по пикетажу. Полученные материалы используют для составления рабочих чертежей проекта и при строительстве транспортного пути.

Линейные измерения по оси трассы производят стальной мерной лентой или дальномерами с относительной ошибкой 1:1000. Одновременно с линейными измерениями разбивают пикетаж, для чего на оси трассы фиксируют каждую сотню метров, отмечая её пикетажным колышком и сторожком; колышком отмечают и все точки излома профиля трассы, которые называются «плюсовыми точками».

Разбитые по трассе пикетные и плюсовые точки заносят в пикетажный журнал, в котором составляют подробный абрис ситуации вдоль трассы. В пикетажном журнале показывают также и вершины углов поворота оси трассы, измеренные значения углов и элементы закруглений (кривых) по трассе.

Понятие о переходных кривых

Известно, что при движении тела массой m по окружности радиуса R со скоростью v возникает центробежная сила F. Поэтому, когда движущийся вагон переходит с прямолинейного участка пути на круговую кривую, в начале кривой мгновенно возникает центробежная сила и осуществляет сильный толчок о рельсы, что особенно опасно при больших скоростях движения.

Для ослабления действия центробежной силы в начале и в конце круговой кривой делают вставку кривой, радиус которой изменяется от бесконечности (на прямой) до радиуса R круговой кривой, а в конце, наоборот, от R до бесконечности (рис 5.1). Такие кривые, служащие для перехода подвижного состава с прямолинейного

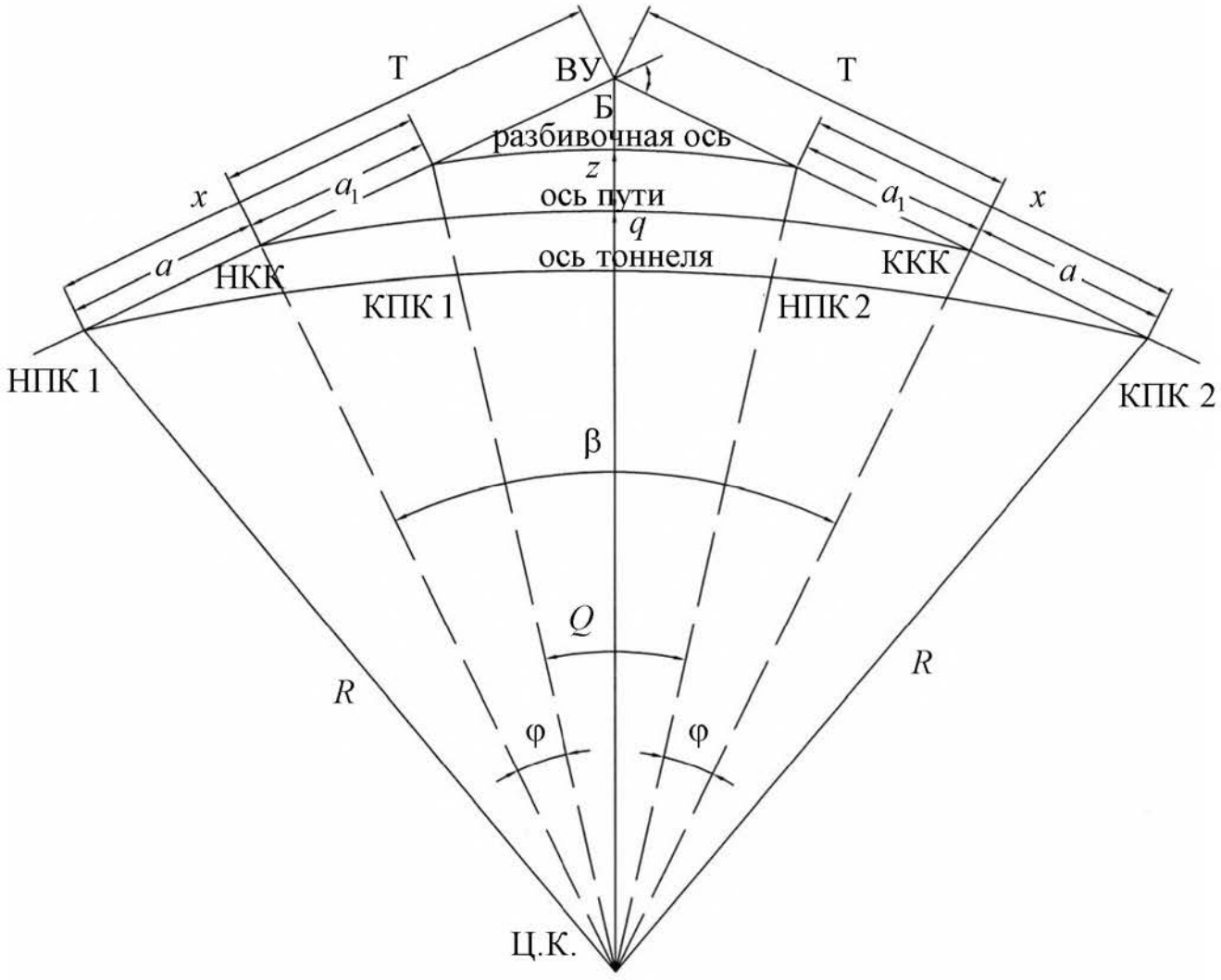


Рис. 5.1 Разбивка закругленной трассы тоннеля

участка на круговые кривые, называют **переходными кривыми**. На закруглениях дорог на их верхние строения действуют две силы: вес подвижного состава и центробежная сила. Необходимо, чтобы их равнодействующая была направлена перпендикулярно плоскости дороги. На автомобильной дороге это достигается устройством односкатного (в поперечном направлении) профиля на закруглениях вместо двускатного на прямых участках. На железных дорогах с той же целью устраивают возвышение h наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу (рис. 5.2).

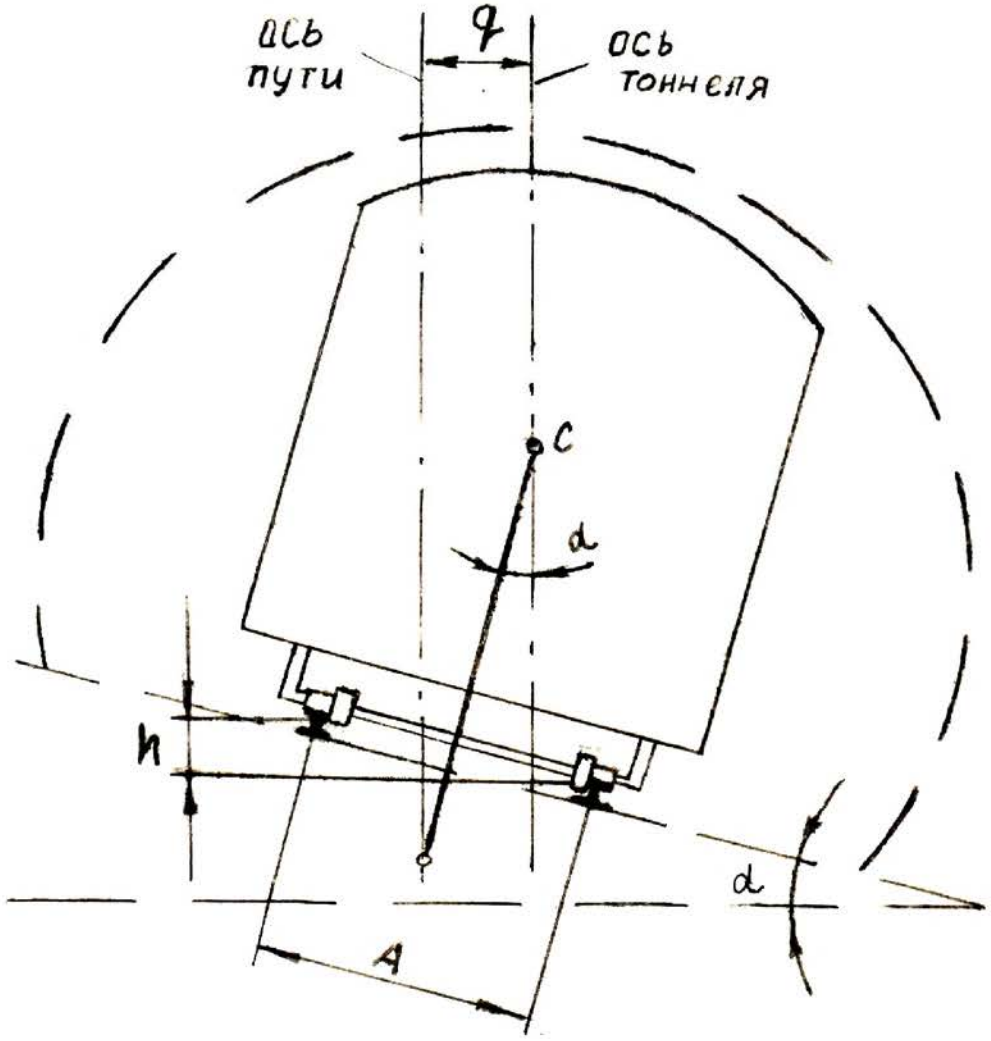


Рис. 5.2. Возвышение наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу

Для создания плавного перехода от прямых направлений к круговым кривым устраивают переходные кривые, величина радиуса которых изменяется от бесконечности до радиуса круговой кривой. В качестве переходной применяют кривую, которая выражается формулой

$$r_{\text{п}} = \frac{c}{S_{\text{п}}},$$

где $r_{\text{п}}$ – радиус кривизны; $S_{\text{п}}$ – длина переходной кривой от ее начала до текущей точки; c – постоянная величина (параметр переходной кривой).

5.2. Варианты исходных данных

Варианты исходных данных представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Определение основных элементов закруглений с переходной кривой и ее разбивка в транспортном тоннеле

Номер варианта	Варианты для группы 1			Варианты для группы 2		
	радиус круговой кривой, R, м	длина переходной кривой, L, м	угол поворота, β °	радиус круговой кривой, R, м	длина переходной кривой, L, м	угол поворота, β °
1	350	65	50°	355	90	50°
2	360	70	50°30'	365	85	50°30'
3	370	75	51°	375	80	51°
4	380	80	51°30'	385	75	51°30'
5	390	85	52°	395	70	52°
6	400	90	52°30'	405	65	52°30'
7	410	95	53°	415	60	53°
8	420	90	53°30'	425	65	53°30'
9	430	85	54°	435	70	54°
10	440	80	53°30'	445	75	53°30'
11	450	75	53°	455	80	53°
12	460	70	52°30'	465	85	52°30'
13	470	65	52°	475	90	52°
14	480	60	51°30'	485	95	51°30'
15	490	65	51°	495	90	51°
16	500	70	50°30'	505	85	50°30'
17	510	75	50°	515	80	50°
18	520	80	49°30'	525	75	49°30'
19	530	85	49°	535	70	49°
20	540	90	48°30'	545	65	48°30'
21	550	95	48°	555	60	48°
22	575	80	49°	550	70	50°
23	600	75	48°30'	545	80	55°
24	520	70	50°	325	60	52°
25	550	90	52°30'	385	70	57°

	Пикет начала круговой кривой ПК НКК	Ширина колеи, A, мм	Превышение горизонтального диаметра над головкой рельса, B, мм
Вариант для группы 1	95+50,542	1600	1700
Вариант для группы 2	97+49,844	1590	1850

Порядок выполнения работы рассмотрим на примере.

Исходные данные

Номер варианта	Радиус круговой кривой, R, м	Длина переходной кривой, L, м	Угол поворота, β, град	Пикет начала круговой кривой ПК НКК	Ширина колеи, A, мм	Превышение горизонтального диаметра над головкой рельса, B, мм
20	590	70	26°	95+50,542	1600	1700

Скорость поезда v = 60 км/ч.

a, a_1 – элементы переходной кривой;

X – абсцисса переходной кривой от начала до конца по линии тангенса;

Y – ордината от линии тангенса под углом 90° до разбивочной оси;

ВУ – вершина угла поворота;

Б – биссектриса, расстояние от вершины угла до середины кривой;

z – смещение оси пути относительно разбивочной оси;

q – смещение оси тоннеля относительно оси пути;

R – радиус круговой кривой;

β – угол поворота (центральный угол) трассы;

Θ – угол, ограниченный радиусом переходной кривой в точках $КПК_1$ и $НПК_1$;

φ – угол, заключенный между радиусами НКК и $КПК_1$ и между $НПК_2$ и ККК.

5.3. Параметры круговой кривой

1. Линия тангенса

$$T = R\mathrm{tg}\frac{\beta}{2} = 590\mathrm{tg}\frac{26^\circ}{2} = 136,212 \text{ м}.$$

2. Биссектриса

$$Б = R(\sec(\beta/2) - 1) = R\left(\frac{1}{\cos(\beta/2)} - 1\right) = 590\left(\frac{1}{\cos(26^\circ/2)} - 1\right) = 15,519 \text{ м}.$$

3. Длина круговой кривой

$$K = \frac{\pi R\beta}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 590 \cdot 26^\circ}{180^\circ} = 267,598 \text{ м}.$$

4. Домер

$$D = 2T - K = 2 \cdot 136,212 - 267,598 = 4,826 \text{ м}.$$

5.4. Параметры переходной кривой

1. Постоянная величина

$$c = RL = 590 \cdot 70 = 41300.$$

2. Текущие координаты

$$X = a + a_1 = L - \frac{L^5}{40c^2} = L\left(1 - \frac{L^2}{40 \cdot R^2}\right) = 70 - \frac{70^5}{40 \cdot 41300^2} = 69,975 \text{ м};$$

$$Y = \frac{L^3}{6c} - \frac{L^7}{336c^3} = \frac{L^2}{6R} = \frac{70^3}{6 \cdot 41300} - \frac{70^7}{336 \cdot 41300^3} = 1,384 \text{ м}.$$

3. Элементы переходной кривой

$$a = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{60c^2} = \frac{70}{2} + \frac{70^5}{60 \cdot 41300^2} = 35,016 \text{ м};$$

$$a_1 = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{24c^2} = \frac{70}{2} + \frac{70^5}{24 \cdot 41300^2} = 34,959 \text{ м}.$$

4. Смещение оси пути относительно разбивочной оси

$$z = \frac{L^3}{24c} + \frac{13L^7}{2688c^3} = \frac{70^3}{24 \cdot 41300} + \frac{13 \cdot 70^7}{2688 \cdot 41300^3} = 0,347 \text{ м}.$$

5. Смещение оси тоннеля относительно оси пути

$$q = h\frac{B}{A} = 76,271\frac{1700}{1600} = 0,081 \text{ м};$$

$$h = 12,5\frac{v^2}{R} = 12,5\frac{60^2}{590} = 76,271 \text{ мм}.$$

h – возвышение внешнего рельса над внутренним

6. Угол, заключенный между радиусами НКК и $КПК_1$, между $НПК_2$ и ККК

$$\varphi = \frac{L^2}{2c}\rho' = \frac{70^2}{2 \cdot 41300}3438' = 3^\circ 23' 57''.$$

5.5. Детальная разбивка переходной кривой

Детальная разбивка осуществляется либо от линии тангенса, либо от стягивающей эту кривую хорды.

5.5.1. Разбивка от линии тангенса

$$x_i = l_i - \frac{l_i^5}{40 \cdot c^2};$$

$$y_i = \frac{l_i^3}{6 \cdot c} - \frac{l_i^7}{336 \cdot c^3},$$

где l_i – длина кривой от начала переходной кривой до i-й точки; x_i – откладывают от пикета начала переходной кривой по линии тангенса; y_i – от линии тангенса.

$$q_i = q\frac{l_i}{L};$$

$$Y_i = y_i + q_i.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Результаты расчетов

l_i	x_i	y_i	q_i	$Y_i=y_i+q_i$
0	0	0	0	0
5	5	0,0005	0,006	0,0065
10	10	0,004	0,012	0,016
15	15	0,014	0,017	0,031
20	20	0,032	0,023	0,055
25	25	0,063	0,029	0,092
30	30	0,109	0,035	0,144
35	35	0,173	0,041	0,214
40	40	0,258	0,046	0,304
45	45	0,368	0,052	0,420
50	50	0,504	0,058	0,562
55	55	0,671	0,064	0,735
60	60	0,872	0,069	0,941
65	65	1,108	0,075	1,183
70	70	1,384	0,081	1,465

По результатам вычислений строим переходную кривую, рис. 5.3.

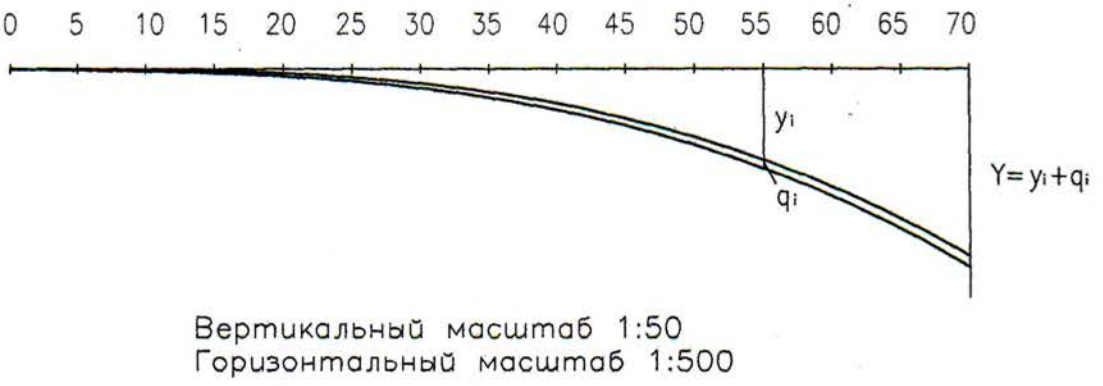


Рис. 5.3. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии тангенса

5.5.2 *Разбивка от линии хорды*

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{Y+q}{X},$$

где $Y = 1{,}384$ м, $q = 0{,}081$ м, $X = 69{,}975$ м.

$$\psi = \operatorname{arctg}\frac{1{,}384+0{,}081}{69{,}975} = 1^{\circ}11'58'';$$

$$b_i = l_i \operatorname{tg}\psi - \left(y_i + q_i\right).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Результаты расчетов

l_i	$l_i \cdot \operatorname{tg}\psi$	y_i	q_i	y_i+q_i	b_i
0	0	0	0	0	0
5	0,105	0,0005	0,006	0,0065	0,0985
10	0,209	0,004	0,012	0,016	0,193
15	0,314	0,014	0,017	0,031	0,283
20	0,419	0,032	0,023	0,055	0,364
25	0,523	0,063	0,029	0,092	0,431
30	0,628	0,109	0,035	0,144	0,484
35	0,733	0,173	0,041	0,214	0,519
40	0,837	0,258	0,046	0,304	0,533
45	0,942	0,368	0,052	0,420	0,522
50	1,047	0,504	0,058	0,562	0,485
55	1,152	0,671	0,064	0,735	0,417
60	1,256	0,872	0,069	0,941	0,315
65	1,361	1,108	0,075	1,183	0,178
70	1,466	1,384	0,081	1,465	0,001

По результатам вычислений строим переходную кривую, рис. 5.4.

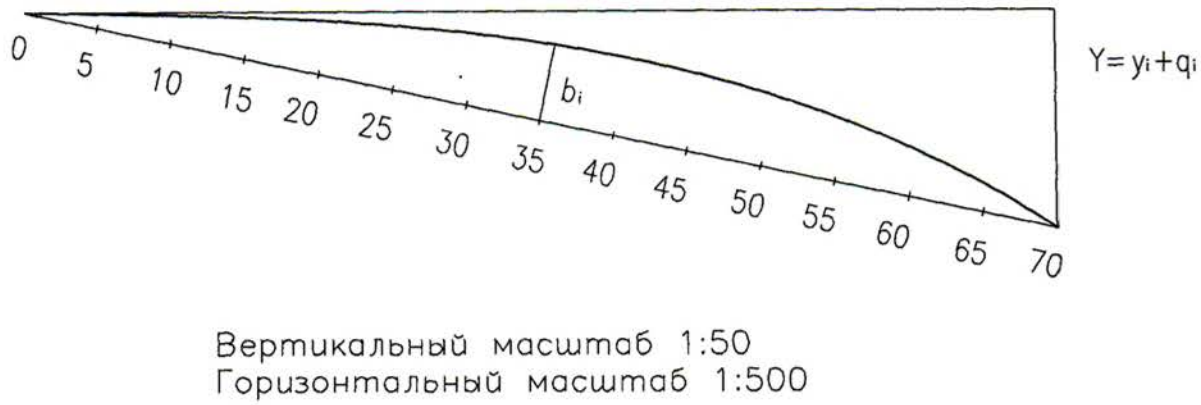


Рис. 5.4. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии хорды

5.6. Разбивка пикетажа

1. ПК НПК$_1$=ПК НКК – a = 95+50,542–35,016=95+15,526 м.
2. ПК КПК$_1$=ПК НПК$_1$ + L = 95+15,526+70=95+85,526 м.
3. ПК КПК$_1$=ПК НКК + a_1 = 95+50,542+34,959=95+85,501 м.
   ПК КПК$_1$=ПК НПК$_1$ + X = 95+15,526+69,975=95+85,501 м.
4. ПК ККК=ПК НКК + K = 95+50,542–267,598=98+18,140 м.
5. ПК КПК$_2$=ПК ККК + a = 95+18,140+35,016=98+53,156 м.
6. ПК НПК$_2$=ПК КПК$_2$ – L = 98+53,156–70=97+83,156 м.
7. ПК ВУ=ПК НКК – T = 95+50,542+136,212=96+86,754 м.

Контроль вычислений

$$\begin{array}{r} -\begin{array}{r}\text{ПК ВУ}\\ \text{Т}\end{array}\\ \hline +\begin{array}{r}\text{ПК НКК}\\ \text{К}\end{array}\\ \hline \text{ПК ККК}\end{array} \qquad \begin{array}{r} -\begin{array}{r}96+86{,}754\\ 136{,}212\end{array}\\ \hline +\begin{array}{r}95+50{,}542\\ 267{,}598\end{array}\\ \hline 98+18{,}140\end{array} \qquad \begin{array}{r} +\begin{array}{r}\text{ПК ВУ}\\ T\end{array}\\ -\begin{array}{r}D\end{array}\\ \hline \text{ПК ККК}\end{array} \qquad \begin{array}{r} +\begin{array}{r}96+86{,}754\\ 136{,}212\end{array}\\ -\begin{array}{r}4{,}826\end{array}\\ \hline 98+18{,}140\end{array}$$

Главные точки закругления с переходными кривыми разбивают в такой последовательности:

- по значениям угла поворота, радиуса и длины переходной кривой рассчитывают или выбирают из таблицы разбивки кривых длину тангенсов, кривой и биссектрисы;
- откладывают от вершины угла в обе стороны величину тангенса и получают начало НК и конец КК кривой;
- по направлению биссектрисы откладывают ее величину и находят середину кривой СК.

6. РЕШЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАДАЧ ПО ПЛАНАМ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ БУМАГИ ПЛАНА

Исходные данные (берутся с планшета М 1:2000)

Точка № 480	a = 87,2 мм b = 60,4 мм A_0 = 15,0 км	a' = 12,3 мм b' = 40,2 мм B_0 = 22,0 км
Точка № 521	a = 93,1 мм b = 56,9 мм A_2 = 15,2 км	a' = 6,4 мм b' = 42,5 мм B_0 = 22,0 км
Точка № 514	a = 84,2 мм b = 16,4 мм A_2 = 15,2 км	a' = 14,9 мм b' = 83,4 мм B_4 = 22,4 км

М 1:2000

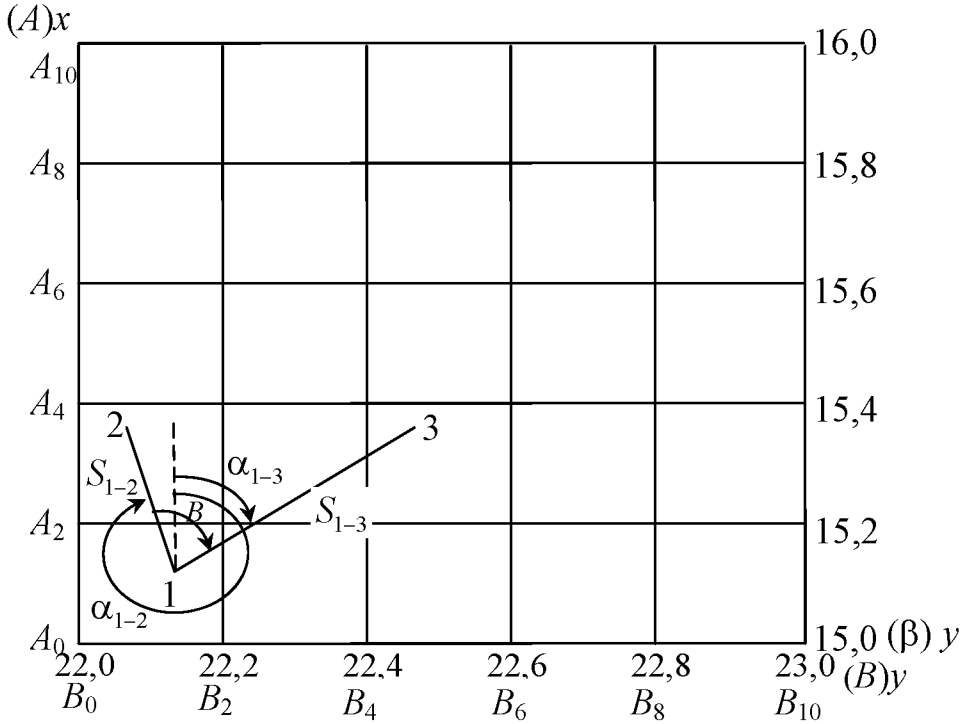


Рис. 6.1. Схема расположения скважин

Вычисляем координаты точек 1 – 3 (с точностью до миллиметра).

$$x_{\text{М}} = A + \frac{a}{\frac{1}{\text{М}}} \cdot \frac{d}{a+a}; \qquad y_{\text{М}} = B + \frac{b}{\frac{1}{\text{М}}} \cdot \frac{d}{b+b},$$

где d – размер координатной сетки (100 х 100); a, a' - берутся размеры с плана с точностью до 10 долей миллиметра по оси X; b, b' – берутся размеры с плана с точностью до 10 долей миллиметра по оси Y; $\frac{d}{a+a'} = \Delta X; \frac{d}{b+b'} = \Delta Y$ – коэффициент деформации по осям X и Y.

Вычисляем координаты точки 1:

$$x_1 = A_0 + \frac{a}{\frac{1}{M}} \frac{d}{a+a'} = 15,0 + \frac{87,2}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{87,2+12,3} = 15,175276 \text{ км};$$

$$y_1 = B_0 + \frac{b}{\frac{1}{M}} \frac{d}{b+b'} = 22,0 + \frac{60,4}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{60,4+40,2} = 22,120079 \text{ км};$$

Координаты точки 2:

$$x_2 = A_2 + \frac{a}{\frac{1}{M}} \frac{d}{a+a'} = 15,2 + \frac{93,1}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{93,1+6,4} = 15,387135 \text{ км};$$

$$y_2 = B_0 + \frac{b}{\frac{1}{M}} \frac{d}{b+b'} = 22,0 + \frac{56,9}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{56,9+42,5} = 22,114486 \text{ км};$$

Координаты точки 3:

$$x_3 = A_2 + \frac{a}{\frac{1}{M}} \frac{d}{a+a'} = 15,2 + \frac{84,2}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{84,2+14,9} = 15,369929 \text{ км};$$

$$y_3 = B_4 + \frac{b}{\frac{1}{M}} \frac{d}{b+b'} = 22,4 + \frac{16,4}{\frac{1}{2000}} \frac{100}{16,4+83,4} = 22,432865 \text{ км};$$

Вычисляем горизонтальные проложение S_3 и S_2:

$$S_2 = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} =$$

$$= \sqrt{(15{,}369929 - 15{,}175276)^2 + (22{,}432865 - 22{,}120079)^2} = 0{,}368408 \text{ км};$$

$$S_3 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} =$$

$$= \sqrt{(15{,}387135 - 15{,}175276)^2 + (22{,}114486 - 22{,}120079)^2} = 0{,}211933 \text{ км}.$$

Вычисляем угол β:

$$\beta = \alpha_{1-3} - \alpha_{1-2} = (56^\circ 06' 18'' + 360^\circ) - 358^\circ 69' 56'' = 59^\circ 37' 02'';$$

$$\alpha^r_{1-3} = \operatorname{arctg}\frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} = \operatorname{arctg} 1{,}60689 = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha_{1-3} = \alpha^r_{1-3} = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha^r_{1-2} = \operatorname{arctg}\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \operatorname{arctg} 0{,}0264 = 1^\circ 30' 44'';$$

$$\alpha_{1-2} = 360 - \alpha^r_{1-2} = 358^\circ 69' 56''.$$

Ответ: S_2= 0,368408 км; S_3= 0,211933 км; β = 59°37′02″.

7. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОКАНАТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Многоканатные подъемные машины имеют несколько подъемных канатов, каждый из которых присоединен к обоим подъемным сосудам. Многоканатные подъемные машины устанавливают, как правило, в башенных копрах высотой от 31 до 127 м. Подъемные машины изготавливаются грузоподъемностью 3 – 50 т с диаметрами приводных шкивов 2,1 – 5 м и бывают трех типов: четырех-, шести- и восьмиканатные.

На рис. 7.1. изображены геометрические элементы и параметры многоканатной подъемной установки: *а* и *б* – проекции на вертикальную плоскость; *в* – вид в плане; *1* – барабан ведущих шкивов; *2, 3* – средние точки схода канатов с ведущих и отклоняющих шкивов; *4* – отклоняющие шкивы; *5* – горизонт установки отклоняющих шкивов; *6* – номер каната; *7* – расстрел; *8* – подвесное устройство подъемного сосуда; *9* – проводник; *10* – средняя точка подвесного устройства; *11* – подъемный сосуд; l – длина промежуточной струны каната; h – превышение между осями главного вала и вала отклоняющих шкивов; h_1, h_2 – превышение осей главного вала и вала отклоняющих шкивов над горизонтом установки отклоняющих шкивов; h_3, h_4 – превышение осей главного вала и вала отклоняющих шкивов над средними точками подвесных устройств; $R_{вш}$, $R_{ош}$ – радиусы ведущих и отклоняющих шкивов.

По завершении монтажа многоканатной подъемной установки, а также в период ее эксплуатации, выполняется маркшейдерская проверка соотношения геометрических элементов установки, в результате которой следует определить: углы наклона осей главного вала δ и вала отклоняющих шкивов δ'; углы девиации оси системы промежуточных канатов на ведущих φ и отклоняющих шкивах ψ; углы отклонения от вертикали осей систем неотклоненных θ и отклоненных ω канатов; углы девиации головных канатов на ведущих α и отклоняющих β шкивах; угол поворота оси вала отклоняющих шкивов относительно оси главного вала ε; угол перегиба каната отклоняющим шкивом η.

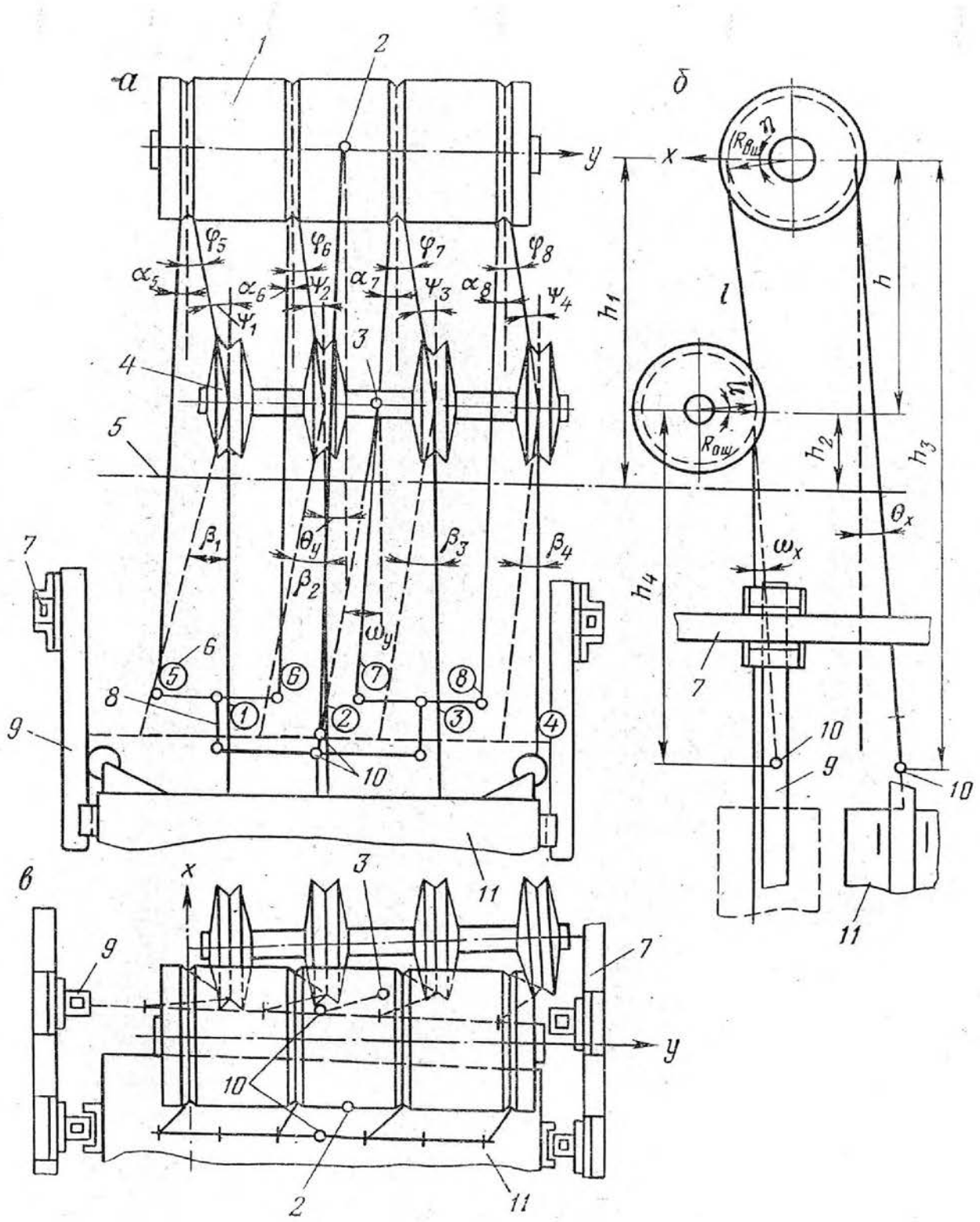


Рис. 7.1. Геометрические элементы и параметры многоканатной подъемной установки

Проверку выполняют относительно осей координат в условной системе, за ось ординат которой принимают ось главного вала, а за ось абсцисс – линию, проходящую через середину ручья одного из крайних ведущих шкивов. Способ проверки основан на допущении, что при нижнем положении подъемного сосуда головные канаты вертикальны, а при верхнем – максимально отклонены от вертикали. Работы целесообразно разделить на подготовительные и периодические.

В процессе подготовительных работ определяют радиусы ведущих шкивов, закрепляют на горизонте измерений вспомогательные оси и находят координаты пунктов этих осей, выполняют съемку вала отклоняющих шкивов, определяют высоту осей главного вала и вала отклоняющих шкивов, средних точек подвесных устройств.

При периодических проверках, не реже одного раза в год, контролируют параметры и соотношения геометрических элементов установки.

Рассмотрим виды и последовательность выполнения работ применительно к проверке четырехканатной подъемной установки в период эксплуатации.

1. Радиусы ведущих шкивов определяют для задания вспомогательных осей на горизонте измерений. Существуют несколько способов нахождения радиусов. На практике часто применяется способ определения радиусов ведущих шкивов $R_{\text{вш}}$ измерением расстояний от рейки, приложенной к ребордам барабана подъемной машины, до дна каждого из ручьев ведущих шкивов и до тормозных ободов. Первоначально определяют радиусы тормозных ободов $R_{\text{то}}$ и далее измеряют линейкой расстояния до тормозных ободов a_1 и a_2 и до ручьев шкивов $b_5 - b_8$. Радиусы ведущих шкивов

$$R_{1-6} = R_{\text{то}2} + a_2 - b_5 + r_{\text{к}}; \quad R_{2-6} = R_{\text{то}2} + a_2 - b_6 + r_{\text{к}};$$
$$R_{3-7} = R_{\text{то}1} + a_1 - b_7 + r_{\text{к}}; \quad R_{4-8} = R_{\text{то}1} + a_1 - b_8 + r_{\text{к}}.$$

2. Закрепление на горизонте измерений вспомогательных осей (рис. 7.2.). Пункты, закрепляющие вспомогательные оси *CD* и *AB,* расположены, как правило, на перекрытии копра, где установлены отклоняющие шкивы. На горизонте измерений параллельно неотклоненным канатам 5 – 7 и 8 укладывают рейку координатометра, опускают подъемный сосуд в нижнее положение и ординатометром измеряют расстояния от крайних канатов 5 и 8 до рейки. Перемещением рейки добиваются равенства этих расстояний и закрепляют опорные пункты *C* и *D*.

Пункты *A* и *B*, расположенные вдоль створа отклоненных канатов 1 – 3 и 4 определяют линейными засечками с пунктов *C* и *D* добиваясь, чтобы линия *AB* была параллельна *CD* с точностью ±10′.

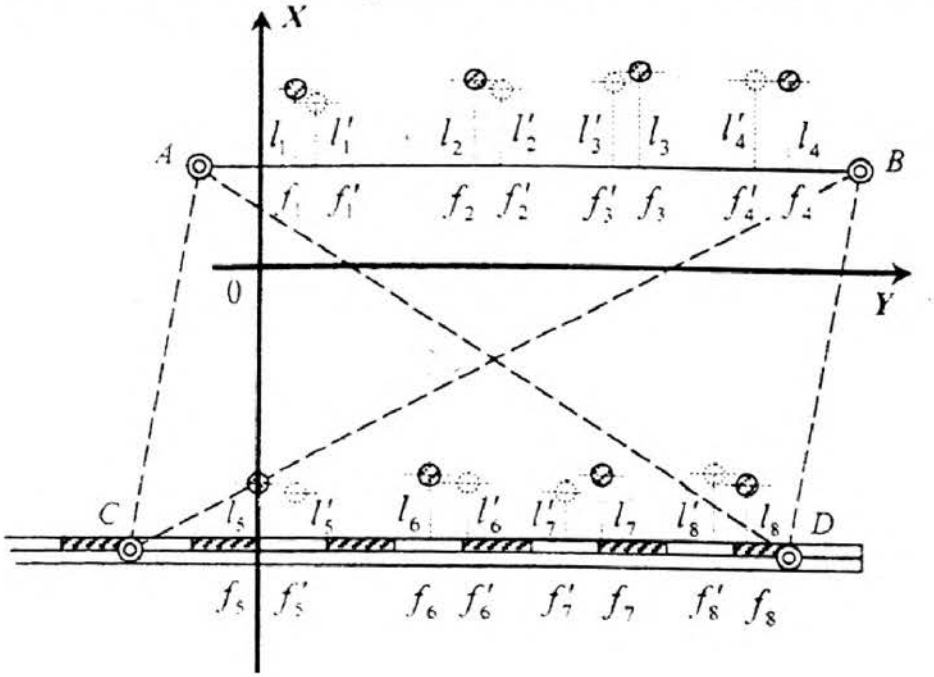


Рис. 7.2. Схема ординатной съемки канатов на горизонте измерений

3. Для определения координат пунктов *C* и *D* выполняют ординатную съемку неотклоненных канатов при нижнем положении подъемного сосуда и измеряют стороны и диагонали четырехугольника *ABCD* (см. рис. 7.2.). Вычисляют абсциссы оси рейки:

$$X_{p5} = -R_5 + l_5; \quad X_{p6} = -R_6 + l_6;$$

$$X_{p7} = -R_7 + l_7; \quad X_{p8} = -R_8 + l_8.$$

Абсциссы оси рейки уравнивают по формулам

$$X_{5\text{ур}} = \frac{2\left(X_{\text{р}5} + 2X_{\text{р}6} + X_{\text{р}7}\right) - \left(X_{\text{р}6} + 2X_{\text{р}7} + X_{\text{р}8}\right)}{4}$$

$$X_{5\text{ур}} = \frac{2\left(X_{\text{р}6} + 2X_{\text{р}7} + X_{\text{р}8}\right) - \left(X_{\text{р}5} + 2X_{\text{р}6} + X_{\text{р}7}\right)}{4}$$

Дирекционный угол стороны *CD* вычисляют по формуле

$$\alpha_{CD} = 90^\circ + \frac{\left(X_{\text{р}5\text{ур}} - X_{\text{р}8\text{ур}}\right)}{f_8 - f_5}\rho'.$$

Вычисляют координаты опорного пункта *C*:

если $\alpha_{CD} \pm 90° \le 10'$, *то*

$$X_C = X_{\text{р5ур}}; \qquad Y_C = \nu - f_5,$$

если $\alpha_{CD} \pm 90° > 10'$, *то*

$$X_C = X_{\text{р5ур}} + (\nu - f_5)\operatorname{tg}(\alpha_{CD} - 90°); \quad Y_C = \nu - f_5 + l_5 \operatorname{tg}(\alpha_{CD} - 90°),$$

где v – отсчет по рейке, соответствующий центру отверстия на пункте C.

4. Принимая за исходные данные координаты пункта C и дирекционный угол стороны CD, вычисляют координаты пунктов A, B и D. Первоначально необходимо определить внутренние углы четырехугольника $ABCD$, используя формулы

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \qquad \cos B = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac};$$

$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}; \qquad \cos D = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}.$$

Угловая невязка в четырехугольнике не должна превышать 10', а линейная – 1:2000.

5. Угол поворота оси вала отклоняющих шкивов ε относительно оси главного вала определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{d_4 - d_3}{S'}\rho' + (\alpha_{AB} - 90°),$$

где d_3 и d_4 – расстояния от оси вала отклоняющих шкивов до пунктов соответственно B и A вспомогательной оси AB на горизонте измерений; S' – расстояние между точками 3 и 4 вала отклоняющих шкивов.

6. Высоты осей главного вала и вала отклоняющих шкивов, опорных пунктов и средних точек подвесных устройств определяют геометрическим нивелированием относительно реперов, заложенных на перекрытиях. В результате вычисляют превышения: оси главного вала над горизонтом измерений h_1; оси вала отклоняющих шкивов h_2 над горизонтом измерений; оси главного вала над валом отклоняющих шкивов h.

Для определения наклона оси главного вала δ и оси вала отклоняющих шкивов δ' измеряют превышения Δh, $\Delta h'$ и расстояния S, S' между концами соответствующих валов, а затем вычисляют

$$\delta = \frac{\Delta h}{S}\rho'; \quad \delta' = \frac{\Delta h'}{S}.$$

7. Определение координат осей канатов на горизонте измерений (см. рис. 7.2). Координаты осей канатов при двух крайних положениях

подъемных сосудов (верхнем и нижнем) используют для определения углов отклонения от вертикали системы канатов θ и ω, углов девиации канатов α, β, φ, ψ и угла перегиба каната η отклоняющим шкивом. Ординатная съемка канатов выполняется от опорных пунктов *AB* и *CD* с помощью реечного координатометра. Отсчеты по координатометру приводят к оси рейки и осям канатов $(l_к, f_к)$. Затем вычисляют координаты x_i, y_i, осей неотклоненных канатов и $x_к, y_к$, осей отклоненных канатов при нижнем положении подъемного сосуда и x_i', y_i', $x_к'$, $y_к'$ – при верхнем положении сосуда:

$$x_к = x_A - l_к + (f_к - \nu)\mathrm{tg}(90° - \alpha_{AB}) = x_A - l_к + \Delta l;$$

$$y_к = y_A + (f_к - \nu) - l_к \mathrm{tg}(90^\circ - \alpha_{AB}) = y_A + (f_к - \nu) + \Delta f;$$

$$x_i = x_C - l_i + (f_i - \nu)\mathrm{tg}(90^\circ - \alpha_{CD}) = x_C - l_i + \Delta l;$$

$$y_i = y_C + (f_i - \nu) - l_i \mathrm{tg}(90^\circ - \alpha_{CD}) = y_C + (f_i - \nu) + \Delta f.$$

8. Угол перегиба η каната вычисляют по приближенной формуле

$$\eta = \mathrm{arctg}\frac{-(x_i - x_к)}{h - 0{,}5}.$$

9. Углы отклонения от вертикали осей систем канатов θ_y и θ_x, ω_y и ω_x вычисляют по формулам

$$\theta_y = \frac{\sum y'_i - \sum y_i}{n h_1}\rho'; \qquad \theta_x = \frac{\sum x'_i - \sum x_i}{n h_1}\rho';$$

$$\omega_y = \frac{\sum y'_к - \sum y_к}{n h_2}\rho'; \qquad \omega_x = \frac{\sum x'_к - \sum x_к}{n h_2}\rho',$$

где n – число канатов в системе.

10. Углы девиации головных канатов на ведущих (5 – 8) и отклоняющих (1 – 4) шкивах вычисляют по формулам

$$\alpha_i = \frac{y_i - y'_i}{h_1}\rho' + \delta; \quad \beta_к = \frac{y_к - y'_к}{h_2}\rho' + \delta'.$$

11. Углы девиации промежуточных канатов на ведущих φ_i и отклоняющих $\psi_к$ шкивах:

$$\varphi_i = \frac{y_к - y_i}{l}\rho' + \delta;\ \psi_к = \frac{y_i - y_к}{l}\rho' + \delta + \varepsilon\sin\eta,$$

где l – длина промежуточной струны каната;

$$l = \cos\eta\left[h - \left(R_{ош} + x_к\right)\mathrm{tg}\eta\right].$$

Угловые отклонения, полученные в результате проверки, сравнивают с допустимыми:

θ_y	ω_y	θ_x	ω_x	α	β	φ	ψ	δ	δ'	η	ε
0°30'	0°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'	0°30'	0°30'	0°02'	0°10'	15°	0°45'

Пример. Выполнить маркшейдерский контроль канатной подъемной установки.

Шахтный ствол оборудован двухскиповым и двухклетьевым подъемами. В машинном зале цилиндрического башенного копра высотой 72,7 м установлены две четырехканатные машины. Высота машинного зала над нулевой площадкой 61 м. Диаметр подъемных канатов 28 мм. Армировка ствола жесткая с рельсовыми проводниками. При маркшейдерской проверке скиповой подъемной установки (см. рис. 13 – 15), обслуживающей горизонт – 610 м, получили следующие данные:

• для определения радиусов ведущих шкивов: радиусы тормозных ободов $R_{то1} = 1450$ мм и $R_{то2} = 1449$ мм; расстояния от рейки до тормозных ободов $a_1 = 351$ мм и $a_2 = 352$ мм; расстояния от рейки до дна ручья шкивов $b_5 = 187$ мм, $b_6 = 186$ мм, $b_7 = 191$ мм, $b_8 = 188$ мм; диаметр каната $d_к = 28$ мм;

• для определения наклонов валов шкивов: длина вала ведущих $S = 1850$ мм и отклоняющих $S' = 1780$ мм шкивов; превышения между концами вала ведущих $\Delta h = 1{,}1$ мм и отклоняющих $\Delta h' = 2{,}0$ мм шкивов;

• для определения углов девиации канатов: превышение оси главного вала над горизонтом измерений $h_1 = 7{,}65$ м; превышение вала отклоняющих шкивов над горизонтом измерений $h_2 = 1{,}50$ м; превышение между осями валов ведущих и отклоняющих шкивов $h = 6{,}20$ м;

• для определения углов разворота оси вала отклоняющих шкивов относительно главною вала: расстояния от рейки до оси вала $d_3 = 1776$ мм и $d_4 = 1771$ мм; расстояние от нуля до точки C рейки ко-

ординатометра v = 100 мм; результаты ординатной съемки представлены в табл. 7.1;

• для определения координат опорных пунктов на горизонте измерений: AB = 2003 мм; CD = 2003 мм; BD = 2288 мм; CA = 2275 мм; AD = 2969 мм; BC = 3100 мм.

Таблица 7.1

Результаты ординатной съемки канатов

Номер каната	Отсчеты по координатометру, мм		Номер каната	Отсчеты по координатометру, мм	
	$l_к$	$f_к$		l_i	f_i
Скип в нижнем положении					
1	-157	598	5	-177	697
2	-157	905	6	-178	1007
3	-159	1203	7	-182	1301
4	-158	1508	8	-178	1608
Скип в верхнем положении					
1'	-154	600	5'	-166	702
2'	-152	908	6'	-172	1012
3'	-153	1196	7'	-173	1276
4'	-154	1505	8'	-180	1598

Решение

1. Определяем радиусы ведущих шкивов

$$R_{1-5} = 1{,}449 + 0{,}352 - 0{,}187 + 0{,}014 = 1{,}628 \text{ м};$$

$R_{2-6} = 1{,}629$ мм; $R_{3-7} = 1{,}624$ мм; $R_{4-8} = 1{,}627$ мм.

2. Вычисляем абсциссы оси рейки

$$X_{р5} = -1{,}628 - 0{,}177 = -1{,}805 \text{ м};$$

$X_{р6} = -1{,}807$ м; $X_{р7} = -1{,}806$ м; $X_{р8} = -1{,}805$ м.

Уравненные значения абсцисс оси рейки

$$X_{р5ур} = -1{,}8065 \text{ м}; \qquad X_{р8ур} = -1{,}8057 \text{ м}.$$

3. Находим дирекционный угол стороны CD

$$\alpha_{CD} = 90° + \frac{-1{,}8065 + 1{,}8057}{1{,}608 - 0{,}697} 3438' = 89°57'.$$

Поскольку $(\alpha_{CD} - 90°) < 10'$, координаты пункта C

$$X_C = -1{,}806 \text{ м}; \qquad Y_C = 0{,}100 - 0{,}697 = -0{,}597 \text{ м}.$$

4. Вычисляем внутренние углы четырехугольника $ABCD$ по формуле косинусов:

$$\cos A = \frac{(2275)^2 + (2003)^2 - (3100)^2}{9486323} = -0{,}04452; \quad A = 92°33'.$$

Аналогичным образом получаем: $B = 87°18'$; $D = 92°16'$; $C = 87°45'$. Сумма углов составит $359°52'$, тогда угловая невязка $f_\beta = 359°52' - 360°00' = -0°08'$ оказалась меньше допустимой 10'. Поправка на каждый угол составит +2'.

После уравнивания углов в четырехугольнике составляем ведомость вычисления координат и в результате получаем координаты точек (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Координаты точек и поправки, м

Координаты	C	A	B	D	$f_x = 0{,}004$
x	-1,806	0,467	0,472	-1,814	$f_y = -0{,}001$
y	-0,597	-0,509	1,408	1,318	$f_{xyp} = 1:2080$

5. Вычисляем угол поворота оси вала отклоняющих шкивов ε относительно оси вала ведущих шкивов

$$\varepsilon = \frac{1771 - 1776}{1780} 3438' + (89°35' - 90°) = 0°35'.$$

6. Определяем углы наклона оси главного вала δ и оси вала ведущих шкивов δ′

$$\delta = \frac{1{,}1}{1850} 3438' = 2'; \qquad \delta' = \frac{2{,}0}{1780} 3438' = 4'.$$

7. Вычисляем координаты осей канатов при нижнем и верхнем положениях сосудов и оформляем для удобства в виде таблицы (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Координаты осей канатов, м

Номер каната	X_A, X_C	$l_к$, l_i	Δl, Δf	$x_к, x_i$	Y_A, Y_C	$f_к - \nu$ $f_i - \nu$	Δl, Δf	$y_к, y_i$
Скип в нижнем положении								
1	0,467	–0,157	0,004	0,628	–0,509	0,498	–0,001	–0,012
2		–0,157	0,006	0,630		0,805	–0,001	0,295
3		–0,159	0,008	0,634		1,103	–0,001	0,593
4		–0,158	0,010	0,635		1,408	–0,001	0,898
	$x_к$ = 0,632		$\sum x_к$ = 2,527		$y_к$ = 0,456		$\sum y_к$ = 1,826	
5	–1,806	–0,177	0,000	–1,629	–0,597	0,597	0,000	0,000
6		–0,178	0,001	–1,628		0,907	0,000	0,310
7		–1,182	0,001	–1,624		1,201	0,000	0,604
8		–0,178	0,001	–1,628		1,508	0,000	0,911
	x_i = –1,627		$\sum x_i$ = –6,509		y_i = 0,456		$\sum y_i$ = 1,825	
1'	0,467	–0,154	0,004	0,625	–0,509	0,500	–0,001	–0,010
2'		–0,152	0,006	0,625		0,808	–0,001	0,298
3'		–0,153	0,008	0,628		1,096	–0,001	0,586
4'		–0,154	0,010	0,631		1,405	–0,001	0,895
			$\sum x_к$ = –2,509				$\sum y_к$ = 1,769	
5'	–1,806	–0,166	0,000	–1,640	–0,597	0,602	0,000	0,005
6'		–0,172	0,001	–1,633		0,912	0,000	0,315
7'		–0,173	0,001	–1,632		1,176	0,000	0,579
8'		–0,180	0,001	–1,625		1,498	0,000	0,901
			$\sum x_i$ = –6,530				$\sum y_i$ =1,800	

Примечание: $x_к$, $y_к$ и x_i , y_i – координаты центра системы канатов 1 – 4 и 5 – 8 при нижнем положении скипа $x_к = \sum x_к /4$; $x_i = \sum x_i /4$; $y_к = \sum y_к /4$; $y_i = \sum y_i /4$

8. Находим угол перегиба каната

$$\eta = \operatorname{arctg}\frac{-(-1,627+0,632)}{6,2-0,5} = 9°52',$$

длина промежуточного каната:

$$l = 0,985[6,20-(1,615+0,632)\cdot 0,174] = 5,72 \text{ м}.$$

9. Вычисляем углы отклонения от вертикали систем канатов

$$\theta_y = \frac{1800-1,825}{4\cdot 7,66}3438' = -3'; \quad \theta_x = \frac{-6,530+6,509}{4\cdot 7,66}3438' = -3';$$

$$\omega_y = \frac{1,769-1,826}{4\cdot 1,50}3438' = -30'; \quad \omega_x = \frac{2,509-2,527}{4\cdot 1,50}3438' = -10'.$$

10. Определяем углы девиации головных канатов на ведущих $\alpha_5 - \alpha_8$ и отклоняющих $\beta_1 - \beta_4$ шкивах без учета поправок за положение балансиров подвесных устройств:

$$\alpha_5 = \frac{0{,}005 - 0}{7{,}66} 3438' + 2' = 5'; \qquad \alpha_6 = 5'; \qquad \alpha_7 = -13'; \qquad \alpha_8 = -4';$$

$$\beta_1 = \frac{-0{,}010 + 0{,}012}{1{,}50} 3438' + 4' = 9'; \quad \beta_2 = 11'; \quad \beta_3 = -19'; \quad \beta_4 = -3'.$$

11. Вычисляем углы девиации промежуточных канатов на ведущих и отклоняющих шкивах:

$$\varphi_5 = \frac{-0{,}012 - 0}{5{,}72} 3438' + 2' = -5'; \quad \varphi_6 = -7'; \quad \varphi_7 = -5'; \quad \varphi_8 = -6';$$

$$\psi_1 = \frac{0 + 0{,}012}{5{,}72} 3438' + 4' + 6' = 17'; \quad \psi_2 = 19'; \quad \psi_3 = 17'; \quad \psi_4 = 18'.$$

Результаты маркшейдерской проверки четырехканатной подъемной установки показали, что фактические отклонения геометрических элементов подъема не превышают установленных допусков и, следовательно, возможна нормальная и безопасная работа шахтного подъема.

Задачи. Исходные общие данные вариантов 1 – 25 для решения задачи по маркшейдерской проверке четырехканатной подъемной установке следующие: $R_{то1} = 1450$ мм; $\alpha_1 = 351$ мм; $R_{то2} = 1449$ мм; $\alpha_2 = 352$ мм; $b_5 = 187$ мм; $b_6 = 186$ мм; $b_7 = 191$ мм; $b_8 = 188$ мм; $d_к = 28$ мм; $S = 1850$ мм; $S' = 1780$ мм; $h_1 = 7{,}65$ мм; $h_2 = 1{,}50$ мм; $h_2 = 6{,}20$ мм; $\Delta h = 1{,}1$ мм; $\Delta h = 2{,}00$ мм; $R_{ош} = 1615$ мм; $R_{вш} = 1625$ мм.

Результаты ординатой съемки приведены в табл. 7.1; схемы многоканатного подъема – на рис. 7.1, 7.2; исходные данные задачи по вариантам – в табл. 7.4.

Требуется определить отклонения геометрических элементов многоканатного подъема и сравнить их с допустимыми значениями.

Таблица 7.4

Исходные данные, мм

Номер варианта	ν	d_3	d_4	*AB*	*BD*	*DC*	*CA*	*AD*	*BC*
1	100	1775	1771	2003	2288	2003	2275	2969	3100
2	150	1650	1654	2005	2280	2003	2278	2970	3103
3	200	1890	1896	2000	2285	2000	2273	2968	9098
4	220	1920	1915	2002	2284	2005	2280	2975	3100
5	250	1525	1523	2001	2288	2003	2283	2965	3105
6	280	1438	1444	2005	2288	2000	2275	2972	3100
7	300	1570	1575	2000	2286	2003	2278	2969	3102
8	320	1690	1684	2004	2292	2001	2279	2974	3105
9	350	1980	1985	2001	2287	2000	2276	2976	3100
10	400	1234	1238	2001	2294	2005	2280	2973	3103
11	120	1545	1547	2000	2292	2003	2271	2967	3098
12	140	1923	1925	2003	2290	2003	2280	2972	3103
13	160	1813	1810	1998	2285	1999	2272	2964	3097
14	210	1730	1735	1999	2283	1998	2271	2965	3098
15	240	1575	1578	1998	2286	1998	2274	2966	3099
16	130	1532	1535	1999	2285	1999	2273	2965	3098
17	110	1924	1920	2000	286	2001	2277	2971	3102
18	270	1861	1864	2001	2288	2003	2277	2968	3100
19	330	1772	1775	2003	2285	2003	2273	2967	3100
20	370	1893	1890	2005	2289	2004	2279	2973	3103
21	290	1910	1915	2004	2287	2003	2280	2974	3104
22	360	1459	1454	2003	2285	2004	2277	2972	3102
23	230	1721	1723	1997	2288	1999	2278	2963	3094
24	350	1634	1632	2003	2284	2004	2273	2971	3101
25	410	1525	1528	2001	2288	2002	2275	2969	3100

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афанасьев В. Г., Муравьев А. В. Геодезия и маркшейдерское дело в транспортном строительстве. М., Недра, 1987. 440 с.

Маркшейдерское дело / под ред. И. Н. Ушакова. М., Недра, 1989. 437 с.

Оглоблин Д. Н. Маркшейдерское дело. М., Недра, 1981. 704 с.

Пятлин М. П. Маркшейдерские работы при шахтном строительстве: практикум. Л., ЛГИ, 1976. 54 с.

Михелев Д. Ш. Инженерная геодезия. М., Academa, 2002. 474 с.

Инструкция по производству маркшейдерских работ. М., Недра, 1987. 240 с.

Добкин И. И., Лебедев В. Б., Галинская М. Н. и др. Маркшейдерские работы при установке и эксплуатации шахтного подъемного оборудования. М., Недра, 1983. 221 с.

Чумак В. К., Гусев В. Н. Маркшейдерские работы при шахтном строительстве: практикум. СПб., С – ПГГИ, 2003. 52 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Бадулин А.П.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента 6
2. Повторение материала лекций. 6
3.Самостоятельное изучение тем курса. 6
4. Подготовка к практическим занятиям . 11
5. Подготовка к курсовой работе. 13
6. Подготовка к зачету. 14

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента составляет 249 часов или 8 зачетных единиц. Из них 91 часов (очное обучение) и 158 часов (заочное обучение) отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины: повторение материала лекций, самостоятельное изучение тем курса, подготовка к практическим занятиям, подготовка к зачету и экзамену, подготовка к опросу, подготовка к выполнению и оформление курсовой работы.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой тестовых вопросов на зачет и экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебном пособии по курсу. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины на кафедре маркшейдерского дела имеется тестовая обучающая программа и мультимедийные средства обучения. Эта программа заложена в каждый компьютер дисплейного класса и может быть скопирована студентом для использования на домашнем компьютере.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебному пособию освойте каждый структурный элемент темы.

3.Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовую обучающую программу

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Обучающийся должен пользоваться своим конспектом лекций для усвоения пройденного материала.

3. САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КУРСА

Маркшейдерские работы при строительстве горно-технологического комплекса на поверхности.

Маркшейдерские работы при строительстве сооружений шахтных стволов и подземных выработок.

Маркшейдерские работы при строительстве тоннелей различного назначения

Маркшейдерские работы при освоении подземного пространства крупных городов

В качестве источника информации по всем темам используется учебное пособие: Бадулин А.П., Жабко А.В., Алябьева О.Д. «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений» уч.-метод. пособие. Екатеринбург, УГГУ, 2019, 76 с.

4. ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Название и краткое содержание темы	Количество часов
Вертикальная планировка промышленной площадки Разбивка контура площадки и закрепление угловых точек. Разбивка и закрепление точек строительной сетки. Выбор отметки проектного горизонта. Определение рабочих отметок сетки. Определение объема земельных работ. Исполнительная съемка спланированной площадки.	4
Подготовка данных для выноса центра и строительных осей сооружения с проекта в натуру Общие положения. Составление плана в масштабе 1:1000 с нанесением по координатам опорной сети центра сооружения и направление основной оси на нем. Определение разбивочных элементов горизонтальных углов, горизонтальных проложений, наклонных линий. После окончания всех вычислений дается описание методики выноса центра сооружения и его осей на местность и оценку точности работ.	8
Маркшейдерская проверка одноканатного подъемного комплекса В комплекс сооружений шахтного подъема входят проводники (направляющие подъемных сосудов), укрепленные на расстрелах, копер с расположенными на нем направляющими шкивами, подъемная машина с барабанами, на которые навивается канат, подъемные сосуды.	8

Проверка подъемного комплекса производится при сдачи шахты в эксплуатацию и периодически в процессе ее работы. Маркшейдер проверяет соответствие величин углов отклонения канатов (девиации) на барабанах и шкивах правилам технической эксплуатации, вертикальность плоскостей симметрии шкивов, совпадение вертикальных проекций точек схода канатов и точек подвеса подъемных сосудов, горизонтальность главного вала подъемной машины.	
Составление проектного маркшейдерского полигона околоствольных горных выработок Составление и вычисление проектного полигона, является проверкой правильности размеров горных выработок, указанных в проекте, и получение исходных данных для инструментального переноса в натуру характерных точек, осей проектируемых выработок и их направлений.	8
Маркшейдерский контроль геометрических элементов многоканатной подземной установки Маркшейдерские проверки соотношения геометрических элементов подъемной установки выполняются после ее монтажа, а также в период ее эксплуатации, в результате которой следует определять: углы наклона осей главного вала и вала отклоняющих шкивов; углы девиации оси системы промежуточных канатов на ведущих и отклоняющих шкивах; углы отклонения от вертикали осей систем неотклоненных и отклоненных канатов; углы девиации главных канатов на ведущих и отклоняющих шкивах; угол поворота оси вала отклоняющих шкивов относительно оси главного вала; угол перегиба каната отклоняющим шкивом. Проверку необходимо выполнять относительно осей координат в условной системе, за ось ординат которой принимают ось главного вала, а за ось абсцисс – линию, проходящую через середину ручья одного из крайних ведущих шкивов.	12
Разбивка закругленной трассы пути переходными кривыми при строительстве транспортных тоннелей При перенесении проекта трассы с плана в натуру, выполняется провешевание оси трассы и определяются углы поворота, линейные измерения (хорды), пикетаж, разбивка кривых, на местности закрепляются элементы трассы, осуществляется техническое нивелирование по пикетажу. Полученные материалы используют	8

для составления рабочих чертежей проекта и при строительстве транспортных путей. Линейные измерения по оси трассы производят стальной мерной лентой или дальномером с относительной ошибкой 1:1000. Одновременно с линейными измерениями разбивают пикетаж, для чего на оси трассы фиксируют каждую сотню метров, отмечая ее пикетажным колышком и сторожком; колышком отмечают и все точки излома профиля трассы, которые называются «плюсовыми точками» Разбитые по трассе пикетные и плюсовые точки заносят в пикетажный журнал, в котором составляют подробный абрис ситуации вдоль трассы. В пикетажном журнале показывают также и вершины углов поворота оси трассы, вычисленные значения углов и элементы закруглений (кривых) по трассе. Для ослабления действия центробежной силы в начале и в конце круговой кривой делают вставку кривой, радиус которой изменяется от бесконечности (на прямой) до радиуса круговой кривой, а в конце наоборот. Такие кривые, служащие для перехода подвижного состава с прямолинейного участка на круговые кривые, называют переходными кривыми. На закруглениях дорог действуют две силы: вес подвижного состава и центробежная сила. Необходимо для устойчивости состава их равнодействующая была направлена перпендикулярно плоскости дороги. На железных дорогах устраивают возвышение наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу.	

В качестве источника информации по всем темам используется учебно-методическое пособие: Бадулин А.П., Жабко А.В., Алябьева О.Д. «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений» уч.-метод. пособие. Екатеринбург, УГГУ, 2019, 76 с.

ПОДГОТОВКА К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Другие виды самостоятельной работы (курсовая работа)

Информация по выполнению курсовой работы содержится в методических материалах: Бадулин А.П., Жабко А.В. «Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений»: учебно-методическое пособие к курсовой работе для студентов специальности 21.05.04. Горное дело, специализации «Маркшейдерское дело». Екатеринбург: УГГУ, 2019, 85 с.

6 ПОДГОТОВКА К ЗАЧЕТУ

1. Назовите основные сведения о порядке проектирования.
2. Укажите из каких частей состоит пояснительная записка проекта.
3. Какие существуют стадии проектирования?
4. Какие существуют способы проходки шахтных стволов и их маркшейдерское обеспечение?
5. Какие допустимые отклонения проводников вертикального ствола от проектного положения?
6. Какие основные задачи маркшейдерского обеспечения существуют при проходке шахтных стволов?
7. Какие подземные сооружения чаще всего создаются в крупных городах?
8. Указать виды инженерно-геологических и гидрогеологических исследований горного массива, проводимых в городской зоне?
9. Какие особенности проектной документации отображаются при строительстве подземных сооружений в городских условиях?
10. Изложить способы ориентирования подземных сооружений и точность ориентирования?
11. Указать принципы и особенности гироскопического способа ориентирования?
12. Указать методику исследования деформаций подземных и наземных сооружений, и построение различных графиков?
13. Дать вычисление профиля трассы и вертикальных кривых?
14. Изложить вычисление пикетажа и смещение полигонометрических знаков относительно проектной оси?
15. Разбивка проектной продольной оси в тоннеле и представить графически?
16. Кратко изложите методику составления проекта полигона околоствольных выработок?
17. Укажите какие способы проходки выработок на прямолинейных и криволинейных участках?
18. Расскажите о сущности гироскопического ориентирования горных выработок?

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Кортев Н.В., Леонтьев А.Т., Самарин А.В.

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4
1 ЖУРНАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ……5
2 ТЕКСТОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ……11
2.1Общие требования……11
2.2 Порядок брошюровки работы……12
2.3 Требования к оформлению титульного листа……12
2.4 Требования к оформлению реферата……14
2.5 Требования к оформлению содержания……15
2.6 Требования к оформлению введения……15
2.7 Требования к оформлению основных разделов документа……16
2.7.1 Построение документа……16
2.7.2 Изложение текста документов……18
2.7.3 Требования к оформлению формул……20
2.7.4 Требования к оформлению примечаний……23
2.7.5 Требования к оформлению иллюстраций……24
2.7.6 Построение таблиц……24
2.8 Требования к оформлению заключения……28
2.9 Требования к оформлению списка литературы……28
2.10 Требования к оформлению приложений……30
3 ГОРНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ……32
3.1 Виды горно-графической документации……32
3.2 Комплектность горно-графических документов……32
3.3 Общие правила выполнения горных чертежей……33
3.3.1 Форматы……33
3.3.2 Масштабы……33
3.3.3 Линии, надписи, обозначения, таблицы……34
3.3.4 Нанесение размеров……37
3.3.5 Основные надписи……39
3.4 Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей..41
3.4.1 Виды маркшейдерско-геологических чертежей……41
3.4.2 Картограммы и схемы расположения планшетов……43
3.4.3 Рамки и поля чертежей……45
3.4.4 Сетка координат……49
3.5 Правила выполнения условных обозначений……51
3.6 Чертежные материалы, инструменты и принадлежности……55
3.6.1 Чертежная бумага и пластики……55
3.6.2 Тушь, краски……58
3.6.3 Чертежные инструменты и принадлежности……60
4 ХРАНЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ……65
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА……68

ВВЕДЕНИЕ

Маркшейдерская документация включает журналы измерений, вычислительную, текстовую и графическую документацию.

К оформлению различного вида маркшейдерских документов предъявляются определенные требования в соответствии с действующими межгосударственными и федеральными стандартами, инструкциями и положениями. Таких же требований следует придерживаться при составлении отчетной документации о выполнении маркшейдерских работ в учебных целях (отчетов по практикам и лабораторным работам, курсовых проектов, рефератов, выпускных квалификационных работ и т.п.).

Данное учебное пособие содержит сведения о правилах оформления различных маркшейдерских документов, в основу которых положены требования межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 "Общие требования к текстовым документам", ГОСТ 2.850 (851, 852, 853, 854, 855, 856, 857) – 75 "Горная графическая документация", Инструкции по производству маркшейдерских работ.

1 ЖУРНАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

При выполнении работ, связанных с производством маркшейдерско-геодезических измерений, следует использовать специальные журналы измерений. Форма журналов должна соответствовать виду выполняемой работы.

При работах, на земной поверхности и открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых используются журналы:

- угловых и линейных измерений в полигонометрических ходах;
- геометрического нивелирования;
- технического нивелирования;
- угловых и линейных измерений при определении пунктов съемочной сети;
- угловых и линейных измерений в теодолитных ходах;
- съемки (мензульной, тахеометрической, стереофотограмметрической, ординатной) поверхности карьеров, складов полезного ископаемого;
- разбивочных работ;
- нивелирования транспортных путей;
- измерений по проверке соотношений геометрических элементов горнотранспортного оборудования.

При подземном способе разработки месторождений полезных ископаемых, кроме необходимых журналов из числа вышеперечисленных:

- измерений при ориентировании подземных маркшейдерских опорных сетей;
- передачи высот от реперов на земной поверхности к пунктам подземной маркшейдерской опорной сети;
- угловых и линейных измерений в подземных опорных и съемочных сетях;
- технического нивелирования;

- съемки стенок и армировки шахтных стволов;
- замеров горных выработок;
- проверки соотношений геометрических элементов подъемных установок.

При строительстве горного предприятия (кроме необходимых журналов из числа приведенных):

- определение пунктов разбивочной сети;
- проходки вертикальных шахтных стволов;
- армирования шахтных стволов;
- съемки замораживающих скважин.

Типовые формы журналов представлены на рисунках 1.1 – 1.3.

Рисунок 1.1

Рисунок 1.2

Рисунок 1.3

Основные правила ведения журналов следующие.

- Каждому журналу присваивается номер.
- Страницы журнала нумеруются, на последней странице указывается общее количество страниц.
- Записи в журналах должны быть четкими. Рекомендуемое написание цифр представлено на рисунке 1.4. Размер цифр задается высотой единицы (шириной строки). Все остальные цифры пишутся на 1/3 больше единицы. При этом четные цифры выступают на 1/3 строки вверх, а нечетные на 1/3 вниз.

Рисунок 1.4 – Написание цифр

- Ошибочные результаты зачеркивают, а повторные записывают в новых строках.
- Указывается дата и место измерений.
- Указывается тип и номер измерительного прибора.
- Указывается фамилия исполнителей.

Вычислительная документация включает журналы и ведомости для обработки результатов полевых измерений и решения различных инженерных задач.

При работах на земной поверхности и открытом способе добычи полезных ископаемых маркшейдерская вычислительная документация горного предприятия включает журналы (каталоги):

- вычисления длин сторон полигонометрических ходов;
- вычисления и уравнивания полигонометрических ходов;
- уравнивания нивелирных ходов и вычисления высот пунктов маркшейдерской опорной сети;
- подсчета объемов полезного ископаемого на складах;
- подсчета объемов выемки горной массы и полезного ископаемого;
- вычисления координат и высот пунктов маркшейдерской съемочной сети;
- подсчета объемов перемещения почв и горных пород при рекультивации земель;
- каталог координат и высот пунктов маркшейдерской опорной съемочной сети;
- каталог координат и высот устьев разведочных и технических скважин.

При подземном способе разработки месторождения полезных ископаемых маркшейдерская вычислительная документация, кроме необходимой документации из числа вышеприведенной, содержит журналы:

- вычисления ориентирования и центрирования подземной маркшейдерской опорной сети и передачи высот;
- вычисления длин сторон подземных полигонометрических ходов;
- вычисления координат пунктов подземных маркшейдерских опорных и съемочных сетей (отдельно по опорным и съемочным сетям);
- вычисления высот пунктов, определенных тригонометрическим нивелированием;

- вычисления высот пунктов, определенных геометрическим нивелированием;
- учета горных работ (прохождения очистных забоев, объемов выработанного пространства, добычи полезного ископаемого).

Основным требованием ведения вычислительной документации является четкость и однозначность, т.е. должна полностью исключаться возможность двойного толкования записанных результатов.

При оформлении вычислительных документов необходимо указывать источники исходных данных. Вычислительная документация должна быть подписана исполнителем работ и проверяющим.

Образец оформления вычислительной документации приведен на рисунке 1.5.

Рисунок 1.5

2 ТЕКСТОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Маркшейдерская документация, такая как пояснительные записи к планам развития горных работ, отчеты по выполненным научно-исследовательским или производственным работам, должна оформляться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к текстовым документам.

2.1 Общие требования

Подлинники текстовых документов выполняют одним из следующих способов:

- рукописным - с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать четко черной тушью, пастой;

- машинописным, при этом шрифт пишущей машинки должен быть четким, высотой не менее 2,5 мм, лента только черного цвета (полужирная);

- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ.

Копии документов выполняют одним из следующих способом:

- типографским;

- ксерокопированием;

- светокопированием.

Вписывать в текстовые документы, изготовленные машинописным способом, отдельные слова, формулы, условные знаки рукописным способом, а также выполнять иллюстрации следует черными чернилами, пастой пли тушью.

Текстовые документы как правило оформляются на одной стороне листа белой бумаги формата А 4. Для формата А 4 следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

Абзацы в тексте начинают отступом, равным пяти ударам пишущей машинки (15—17 мм).

Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного

текста машинописным способом или черными чернилами, пастой или тушью рукописным способом.

Повреждения листов текстовых документов, помарки и следы не полностью удаленного прежнего текста (графики) не допускаются.

После внесения исправлений документ должен удовлетворять требованиям ксерокопирования.

Нумерация страниц документа и приложений, входящих в состав этого документа, должна быть сквозная. Номера страниц следует проставлять внизу под линией правого поля с отступом на 15 мм от нижнего края листа.

Нумерация страниц до раздела "Содержание" включительно ведется римскими цифрами, остальных страниц документа – арабскими (начиная с цифры 1).

2.2 Порядок брошюровки работы

Работа брошюруется в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание на проектирование (если есть);
- реферат;
- содержание;
- введение;
-основные разделы;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

2.3 Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом документа. Титульный лист выполняют на листах формата А4 по следующей форме (рис. 2.1):

МИНОБР РОССИИ
поле 1

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»
поле 2

Кафедра маркшейдерского дела
поле 3

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.В.Жабко
"___"_____2019 г.
поле 4

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВОСТОЧНОГО БОРТА КОРКИНСКОГО РАЗРЕЗА

поле 5

Выпускная квалификационная работа
поле 6

Исполнитель
Петров И.Л.
МД – 97 – 1

Руководитель
д-р техн. наук
Туринцев Ю.И.

поле 7

Екатеринбург
2019
поле 8

Рисунок 2.1 – Образец титульного листа

поле 1 — наименование министерства;

поле 2 — полное наименование вуза;

поле 3 – наименование факультета (кафедры);

поле 4 – в левой части (поле согласования) – не заполняется, в правой части (поле утверждения) — УТВЕРЖДАЮ, Ф.И.О. с указанием ученого звания и ученой степени заведующего кафедрой;

поле 5 — наименование (строчными буквами) работы;

поле 6 – вид работы;

поле 7 - в левой части - шифр учебной группы , Ф.И.О., подпись разработчика документа;

поле 7 – в правой части -Ф.И.О. с указанием ученого звания и ученой степени руководителя работы;

поле 8 - город – год.

2.4 Требования к оформлению реферата

Слово "РЕФЕРАТ" записывают прописными буквами симметрично тексту.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример реферата.

Р Е Ф Е Р А Т

Отчет об учебной маркшейдерской практике 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

ШАХТА, ПОЛИГОН, ИЗМЕРЕНИЯ, ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА, КООРДИНАТЫ.

Целью работы являлось закрепление теоретических знаний по методике выполнения маркшейдерских работ путем выполнения комплекса маркшейдерских работ на поверхности и на горизонте 262 м шахты "Южная" ОАО "Березовский рудник".

Работы включали полевые маркшейдерско-геодезические измерения и камеральную обработку полученных результатов.

В результате работы приобретены практические навыки выполнения различных видов маркшейдерских работ.

2.5 Требования к оформлению содержания

Содержание документа включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и номера страниц.

Слово "СОДЕРЖАНИЕ" записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами.

2.6 Требования к оформлению введения

Слово "ВВЕДЕНИЕ" записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Введение должно содержать:

- основание для выполнения работы;
- исходные данные;
- цели и задачи работы.

Раздел "ВВЕДЕНИЕ" не нумеруется.

2.7 Требования к оформлению основных разделов документа

2.7.1 Построение документа

Текст документа при необходимости разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пример нумерации разделов работы:

1 Геологическая характеристика месторождения

1.1 Геологическое строение

1.2 Тектоника } ***Нумерация подразделов***

1.3 Гидрогеологические условия ***первого раздела документа***

2 Технология разработки месторождения

2.1 Система разработки

2.2 Горное оборудование

2.2.1 Буровые станки } ***Нумерация пунктов второго***

2.2.2 Погрузочное оборудование ***подраздела второго раздела***

2.2.3 Транспортное оборудование

3 Маркшейдерские работы при разработке месторождения

3.1 Опорные и съемочные сети

3.2 Методика выполнения маркшейдерских работ

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: ***2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.2.1.3 и т.д.***

Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис, а при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений, строчную букву, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

Пример.

а)_____

1)_____

2)_____

в) _____

1)_____

2)_____

Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом при выполнении документа машинописным способом должно быть равно 3, 4 интервалам, при выполнении

рукописным способом — 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела—2 интервала, при выполнении рукописным способом— 8 мм.

Каждый раздел текстового документа рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

2.7.2 Изложение текста документов

Текст документа должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных требовании в тексте должны применяться слова “должен”, “следует”, “необходимо”, “требуется, чтобы”, “разрешается только”, “не допускается”, “запрещается”, “не следует”. При изложении других положений следует применять слова - “могут быть”, “как правило”, “при необходимости”, “может быть”, “в случае” и т.п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста документа, например “применяют”, “указывают” и т. п.

В документах должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

Если в документе принята специфическая терминология, то в конце ее (перед списком литературы) должен быть перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Перечень включают в содержание документа.

В тексте документа не допускается:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

- применять произвольные словообразования;

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской

орфографии, соответствующими государственными стандартами;

- 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 документа, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается:

- применять математический знак минус (-) перед (отрицательными значениями величин (следует писать слово “минус”);

- применять знак “∅” для обозначения диаметра (следует писать слово диаметр”). При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте документа, перед размерным числом следует писать знак “∅”;

- применять без числовых значений математические знаки, например > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≤ (меньше или равно), ≠ (неравно), а также знаки № (номер), % (процент).

Если в документе приводятся поясняющие надписи, наносимые непосредственно на изготовляемое изделие (например, на планки, таблички к элементам управления и т. п.), их выделяют шрифтом (без кавычек), например ВКЛ., ОТКЛ., или кавычками - если надпись состоит из цифр и (или) знаков.

Наименования команд, режимов, сигналов и т.п. в тексте следует выделять кавычками, например, ***“Сигнал + 27 включено”***.

Перечень допускаемых сокращений слов установлен ГОСТ 2.316 и ГОСТ 2.853-75. Если в документе принята особая система сокращения слов или наименований, то в нем должен быть приведен перечень принятых сокращений, который помещают в конце документа перед перечнем терминов.

Условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах. В тексте документа перед обозначением параметра дают его пояснение, например “Средняя квадратическая

погрешность σ”.

При необходимости применения условных обозначений, изображений или знаков, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

В документе следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417,

Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению. Применение в одном документе разных систем обозначения физических величин не допускается.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти — словами.

Примеры.

1) Провести измерения длины семи линий с точность до 5 мм.

2) Отобрать 15 проб для испытаний на прочность.

Единица физической величины одного и того же параметра в пределах одного документа должка быть постоянной. Если в тексте приводится ряд числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения, например ***1,50; 1,75; 2,00 м***.

Если в тексте документа приводят диапазон числовых значений физической величины, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона.

Примеры.

1 От 1 до 5 мм.

2 От 10 до 100 кг.

3 От плюс 10 до минус 40 °С.

4 От плюс 10 до плюс 40 °С.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы), кроме единиц физических величин, помещаемых в таблицах, выполненных машинописным способом.

Приводя наибольшие или наименьшие значения величин следует применять словосочетание “должно быть не более (не менее)”.

Приводя допустимые значения отклонений от указанных норм, требований следует применять словосочетание “не должно быть более (менее)”.

Например, ***содержание полезного компонента должно быть не менее 14 %.***

Числовые значения величин в тексте следует указывать со степенью точности, которая необходима для обеспечения требований нормативных документов, при этом в ряду величин осуществляется выравнивание числа знаков после запятой.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т.д. десятичного знака для величин одного наименования должно быть одинаковым. Например***, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например 10,50; 15,75; 20,00.***

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}$).

При невозможности выразить числовое значение в виде десятичной дроби, допускается записывать его в виде простой дроби в одну строчку через косую черту, например, ***5/32***.

2.7.3 Требования к оформлению формул

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова “где” без двоеточия после него.

Пример — ***Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле***

$$\sigma = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг;

V – объём образца, м^3.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операции, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак “×”.

В документах, издаваемых нетипографским способом, формулы могут быть выполнены машинописным, машинным способами или чертежным шрифтом высотой не менее 2,5 мм. Применение машинописных и рукописных символов в одной формуле не допускается.

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают — (1).

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках,

например,

... в формуле (1), (1.1), (1.1.1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например ***формула (В.1).***

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например ***(3.1).***

Порядок изложения в документах математических уравнений такой же, как и формул.

2.7.4 Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят в документах, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания не должны содержать требований.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова “Примечание” ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

Пример.

Примечание -

Данные приведены на 1999 г.

Примечания

1_____

2_____

2.7.5 Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту документа (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и СПДС. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается ***"Рисунок 1"*** или - ***"Рисунок 1- Схема полигона"***.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например - ***Рисунок А.3***.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например - ***Рисунок 1.1***.

При ссылках на иллюстрации следует писать "... в соответствии с рисунком 2" при сквозной нумерации и "... в соответствии с рисунком 1.2" при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово "Рисунок" с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования - в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например –***" Рисунок 1 — Схема полигона".***

2.7.6 Построение таблиц

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей.

Название таблицы, при его наличии, печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на два интервала. Например - ***Таблица 1 - Сводные данные***.

При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена “Таблица 1” или “Таблица В.1”, если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово “таблица” с указанием ее номера.

Например: заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф — со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет

пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, в приложении к документу. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Таблицы с небольшим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть рядом с другой на одной странице, при этом повторяют колонку таблицы. Рекомендуется разделять части таблицы двойной линией или линией двойной толщины.

Графу “Номер по порядку” в таблицу включать не допускается. Нумерация граф арабскими цифрами допускается и тех случаях, когда в тексте документа имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

При необходимости нумерация показателей, параметров или других данных порядковые номера следует указывать в первой графе (боковике) таблицы непосредственно перед их наименованием. Перед числовыми

значениями величин и обозначением типов, марок и т.п. порядковые номера не проставляют.

Если все показатели приведенные в графах таблицы, выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части — над каждой ее частью в соответствии с приложением.

Если в большинстве граф таблицы приведены показатели, выраженные и одних и тех же единицах физических величин (например, в миллиметрах, вольтах), но имеются графы с показателями, выраженными в других единицах физических величин, то над таблицей следует писать наименование преобладающего показателя и обозначение его физической величины, например, ***“Размеры в миллиметрах”, “Напряжение в вольтах”***, а в подзаголовках остальных граф приводить наименование показателей и (или) обозначения других единиц физических величин.

Для сокращения текста заголовков и подзаголовков граф отдельные понятия заменяют буквенными обозначениями, установленными ГОСТ 2.321, или другими обозначениями, если они пояснены в тексте или приведены на иллюстрациях, например ***D — диаметр, H — высота, L — длина***.

Показатели с одним и тем же буквенным обозначением группируют последовательно в порядке возрастания индексов.

Ограничительные слова “более”, “не более”, “менее”, “не менее” и др. должны быть помещены в одной строке или графе таблицы с наименованием соответствующего показателя после обозначения его единицы физической величины, если они относятся ко всей строке или графе. При этом после наименования показателя перед ограничительными словами ставится запятая.

Пример оформления таблицы

Таблица 2.5 - Значения коэффициента $к_т$

Средняя скорость подвигания очистного забоя С, м/мес	**Глубина горных работ Н, м**		
	до 100	**до 300**	**≥ 500**
20	**1,5**	**1,2**	**1,1**

60	**1,8**	**1,5**	**1,3**
до150	**2,0**	**1,5**	**1,5**

Примечание: промежуточные значения определяются интерполяцией

2.8 Требования к оформлению заключения

Слово "ЗАКЛЮЧЕНИЕ" записывают симметрично тексту прописными буквами.

Заключение должно содержать краткое изложение результатов работы.

Раздел "ЗАКЛЮЧЕНИЕ" не нумеруется.

2.9 Требования к оформлению списка литературы

В конце текстового документа в разделе “Список литературы” следует приводить перечень литературы, которая была использована при составлении документа. Список литературы и ссылки на него в тексте выполняются по ГОСТ 7.1-76.

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т.д., материал которых использован при составлении документа. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка состоит из следующих элементов:

- заголовка описания - фамилия, инициалы автора (авторов);

- основного заглавия - название издания (книги, статьи и т.п.);

- места издания - название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М, Ленинград - Л., Санкт-Петербург - СПб.;

- издательства - наименование издательства приводят, как правило,

в сокращенной форме - Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

- года издания - обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографических ссылок:

Книга, имеющая более трех авторов и общего научного редактора

Теория тепломассообмена / С. И. Исаев, И. А. Кожинов, В. И. Кофанов и др.; Под ред. А. И. Леонтьева. - М.: Высш. школа, 1979. - 495с.

Отдельный том (или часть) из двухтомного справочника

Палей М. А., Романов А. Б., Братинский В. А. Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч. Ч. 1. - Л.: Политехника, 1991. - 576с.

Методическое пособие (разработка, указания), изданное в ВУЗе

Расчет подшипников качения: Методические указания по курсу "Детали машин" / Н. В. Шабалин; Свердловский горный ин-т им. В. В. Вахрушева. - Свердловск, 1988. - 40с.

Стандарт

ГОСТ 7.32-91 (ИСО 5966-82). Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. - М.: Изд-во стандартов, 1991. -18с.

Авторское свидетельство

А. с. 1007970 СССР, МКИ^3 В 25 ; 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин. -Опубл. 30.03.83, Бюл. №12. - 2с. .

Изобретение, запатентованное в нашей стране

Пат. 1007559 СССР, МКИ^3 Р 02 М 35/10. Впускной трубопровод для двигателей внутреннего сгорания / М. Урбинати, А. Маннини (Италия) -Опубл. 23.03.83, Бюл. №11.- 5с.

Иностранный патент

Пат. 4050242 США, МКИ^3 F 02 С 3/06. Miltiple bypass/ D.J. Dusa (США). - Опубл. 27.09.77, НКИ 60-204. - 3с.

Промышленный каталог

Центробежные консольные насосы с осевым входом для воды типов К и КМ: Каталог / ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. - М., 1985. - 20с.

Отчет о научно-исследовательской работе

Проведение испытаний и исследований теплотехнических свойств камеры КХС-2-12-ВЗ: Отчет о НИР / Всесоюз. заоч. ин-т. пишев. пром-сти (ВЗИПП); Руководитель В. М. Шавра. - ОЦО 102ТЗ; №ГР 80057138; инв. №Б119699.-М., 1981.-90с.

Диссертация

Натепров В. И. Исследование газовых пищеварочных котлов с непосредственным обогревом: Дис. ... канд. техн. наук. - М., 1969. - 133с.

Автореферат диссертации

Москвина С. И. Пути экономии металла за счет снижения потерь от коррозии в сфере обращения: Автореф. дис.... канд. экон. наук. - М., 1983. -24с.

Дипломный проект

Универсальный лабораторный стенд по курсу "Гидравлика и гидравлические машины": Дипломный проект / Немытов В. Н.; СИНХ. Кафедра МАПП. - Свердловск, 1989. -119с.

Статья из журнала

Кокурин В., Королева Н., Демидюк А. Проект базовой столовой на 500 мест для промпредприятия // Общественное питание. - 1983. - №2. - с. 28-29.

Статья из газеты

Подойницына О. Салат со стихами // Вечерний Екатеринбург. - 1995. -24 марта.

Статья из сборника научных работ

Луценко С. Д. Гибкие нагреватели для пищеварочных котлов // Процессы и аппараты пищевых производств: Межвузовский сборник / МИНХ им. Г. В. Плеханова. - М., 1985. - с. 124-128.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него) проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке и, в необходимых случаях, страницы, например:

[*18, т. I, с.75*]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[***Николаев И.Н., 1965***]

При необходимости сделать ссылки на стандарты, технические условия, инструкции и другие подобные документы ссылаются на документ в целом или его разделы с указанием обозначения и наименования документа, номера и

наименования раздела. Ссылки на отдельные подразделы, пункты и иллюстрации не допускаются. Список литературы включают в содержание документа.

2.10 Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть: графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ и т.д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Степень обязательности приложений при ссылках не указывается. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова “Приложение” и его обозначения, а под ним в скобах для обязательного приложения пишут слово “обязательное”, а для информационного — “рекомендуемое” или “справочное”.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова “Приложение” следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в документе одно приложение, оно обозначается “Приложение А”.

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4.

Допускается оформлять приложения на листах формата, А4×3, А4×4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

3 ГОРНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

3.1 Виды горно-графической документации

Горно-графические документы подразделяются на два вида: Маркшейдерско-геологические документы и Эксплуатационно-технологические документы.

Маркшейдерско-геологические документы – это документы, выполненные на стадиях детальной разведки, строительства и разработки месторождения, составляемые по результатам натурных измерений и вычислений, отражающие рельеф и ситуацию земной поверхности территории экономической заинтересованности горного предприятия, геологические условия залегания месторождения твердого полезного ископаемого, пространственное положение и конфигурацию горных выработок, технологию разработки месторождения, качественную и количественную характеристику полезного ископаемого.

Эксплуатационно-технологические документы отражают: ведение горных работ; состояние проветривания горных выработок и пылегазового режима, рудничного транспорта и подъема, электротехнического хозяйства, рудничного освещения; предупреждение и тушение рудничных пожаров;

предотвращение затоплений действующих выработок, внезапных выбросов угля и газа, горных ударов; санитарные правила и т.д.

3.2 Комплектность горно-графических документов

Комплектность горно-графических документов регламентируется ГОСТ 2.850 – 75 и включает в себя набор маркшейдерско-геологических и эксплуатационно-технологических документов.

В свою очередь оба эти комплекта документов содержат большой набор конкретных планов, картограмм, разрезов, профилей, отражающих рельеф и ситуацию земной поверхности конкретного горного предприятия, характеристику геологической и гидрогеологической ситуации месторождения, границ и запасов поля горного предприятия, а так же комплект документов выработок горных предприятий, учитывающих конкретный способ разработки месторождения (подземный, открытый). Необходимый набор комплекта документов для каждого типа горного предприятия приведены в табл. 2, 3, 4, 5 ГОСТ 2.850 – 75.

3.3 Общие правила выполнения горных чертежей

Общие правила выполнения горных чертежей регламентируются и выполняются в соответствии с ГОСТ 2.851 – 75. Данный стандарт устанавливает общие правила выполнения чертежей горной графической документации всех отраслей промышленности, ведущих разработку месторождений твердых полезных ископаемых, независимо от формы собственности.

Стандарт не распространяется на планы земной поверхности горных предприятий, выполняемые по техническим требованиям ГУГК.

3.3.1 Форматы

Форматы горных чертежей, за исключением маркшейдерских планшетов выполняются на листах чертежной бумаги стандартных размеров согласно

ГОСТ 2.301.-68 Форматы. Предпочтение отдается основным форматам А1 и А4. Дополнительные форматы используются в случае необходимости.

Чертежи профилей рельсовых путей в подземных горных выработках и продольные профили коммуникаций на земной поверхности и на открытых разработках следует выполнять на формате с размерами 210 х 594 мм.

3.3.2 Масштабы

Масштабы изображений на горных чертежах должны выбираться из следующего ряда: 1:5; 1:10; 1:20; 1:50; 1:100; 1:200; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000; 1:25000.

Разрезы, сечения, профили допускается выполнять в разных масштабах в горизонтальном и вертикальном направлениях. В таких случаях указывается вверху масштаб горизонтальный, а под ним – вертикальный.

Масштаб изображения на чертеже, отличающийся от указанного в основной или титульной (для Маркшейдерско-геологических чертежей) надписи, следует указывать непосредственно под надписью, относящейся к изображению, например:

$$\frac{Вид А}{1:500};\quad \frac{1}{1:100};\quad \frac{Профиль\ пути\ откаточного\ штрека}{\begin{matrix}1:2000\\ 1:200\end{matrix}}$$

На маркшейдерско-геологических чертежах масштаб следует указывать под титульной подписью.

3.3.3 Линии, надписи, обозначения, таблицы

Начертания и основные назначения линий, кроме маркшейдерско-геологических чертежей выполняется согласно ГОСТ 2.303-68 и табл. 1 ГОСТ 2.851-75.

На маркшейдерско-геологических чертежах допускается толщина сплошной основной линии от 0,1 до 0,8 мм. На чертежах, применяемых в качестве технических плакатов, допускается увеличивать толщину линий по

сравнению с указанными в ГОСТ 2.303-68. Примеры применения линий показаны на рисунках 3.1 –3.4.

В случаях, когда на горных чертежах, кроме фактических контуров горных выработок, указывают и проектные контуры, то их следует выделять линиями того же типа, но меньшей толщины.

В этом случае допускается выделять проектные контуры цветом.

Надписи, условные и цифровые обозначения на горных чертежах выполняются в соответствии с ГОСТ 2.304-81. Надписи на топографических планах поверхности должны выполняться шрифтами, принятыми в условных знаках ГУГК.

Названия изображаемых объектов следует указывать полностью, если места для написания полного названия недостаточно, то допускается название сокращать в соответствии с ГОСТ 2.853-75.

Рисунок 3.1

Рисунок 3.2 Рисунок 3.3

Рисунок 3.4

Надписи на горных чертежах, кроме маркшейдерско-геологических, следует располагать параллельно основной надписи – в контуре изображения, над ним или слева от него на линии – выноске (рисунок 3.5). Название или пояснительные надписи вытянутых объектов следует выполнять внутри изображения или над ним параллельно продольной оси (рисунок 3.6). Цифровые данные, поясняющие изображаемых объект, следует наносить справа от изображения (см. рисунок 3.1, 3.2, 3.3).

Рисунок 3.5

Рисунок 3.6

Надписи на геолого-маркшейдерских чертежах и условных обозначениях следует выполнять шрифтами по ГОСТ 2.853-75.

Значения горизонталей, изогибс и других изолиний наносят в разрывах, при этом цифры основаниями должны быть направлены в сторону уклона (рисунок 3.7).

Рисунок 3.7

Разрезы, сечения, профили на горных чертежах обозначаются по ГОСТ 2.305.-68. Допускается сечение, разрез, профиль сопровождать надписями, например: «Профиль рельсового пути откаточного штрека», «Геологический разрез», «Разрез в крест простирания».

Текстовую часть, помещаемую на поле чертежа, следует располагать над основной надписью (штампом) или оформлять в виде таблиц. Таблицы (подсчета объема горных выработок, подсчета объема и расхода материалов и т.д.) следует размещать на свободном месте поля чертежа справа от изображения или ниже его и выполнять по ГОСТ 2. 205.- 68 (рисунок 3.8). Если на поле чертежа размещены одна или несколько разных таблиц, то допускается их не нумеровать и слово «Таблица» не писать. Тематический заголовок следует размещать над таблицей. При переносе таблицы следует повторить

головку таблицы и указать слово «Продолжение». Перенос таблицы следует выполнять справа на лево.

Таблица 4.1. – Подсчет объемов работ и расхода материалов

Рисунок 3.8

3.3.4 Нанесение размеров

Правила нанесения размеров на горных чертежах должны соответствовать ГОСТ 2.307. – 68 и ГОСТ 2.851. – 75.

Линейные размеры на горных чертежах следует указывать в миллиметрах (рисунок 3.9). Кроме чертежей, на которых изображают большие площади и протяженные объекты, например: чертежи шахтных полей, чертежи систем разработки, схемы вскрытия, погоризонтные планы, планы горных работ, чертежи транспортных и энергетических коммуникаций, чертежи всех видов по открытым разработкам, чертежи целиков и т.д. На таких чертежах все линейные размеры следует приводить в метрах, не указывая единицы измерения (рисунок 3.10).

Рисунок 3.9

Рисунок 3.10

Высотные отметки следует указывать в метрах с точностью до сотых долей. Отчетный уровень принимается за «нулевой» и обозначается цифрой «0». Отметки уровня ниже отсчетного следует указывать со знаком « - » (минус), выше отсчетного – со знаком «+» (плюс).

3.3.5 Основные надписи

Каждый лист горного чертежа должен иметь основную надпись (угловой штамп). На маркшейдерско-геологических чертежах допускается основную надпись не помещать. Маркшейдерско-геологические чертежи должны иметь титульную надпись (раздел 3.4).

Основную надпись следует располагать в нижнем правом углу чертежа. Над основной надписью каждого листа или слева от нее следует оставлять свободное поле (около 50 мм) для указаний о применении, снятии копии, дубликата, замены и т.д.

Содержание, расположение и размеры граф основной надписи для производственно-технических чертежей должны соответствовать приведенным на рисунке 3.11.

Рисунок 3.11

В графах основной надписи (номера граф на чертеже показаны в скобках) следует указывать:

в графе 1 – наименование чертежа;

в графе 2 – наименование вышестоящей организации, которой подчиняется предприятие (министерство, главк, комбинат);

в графе 3 – конкретное содержание чертежа;

в графе 4 – обозначение чертежа (индекс, шифр, номер);

в графе 5 – наименование горного предприятия (шахта, рудник, карьер), выпускающего чертеж;

в графе 6 — сокращенное наименование отдела, разработавшего чертеж;

в графе 7—масштаб;

в графе 8—порядковый номер листа данного чертежа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);

в графе 9 — общее количество листов данного чертежа (графу заполняют только на первом листе);

в графе 10 — должности лиц, участвующих в выпуске чертежа;

в графе 11 — фамилию лица, подписывающего чертеж;

в графе 12 — подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 10;

в графе 13—дату подписания чертежа;

в графах 14—18 — отметки об изменении чертежа, заполняют их в соответствии с требованиями ГОСТ 2.503-74;

в графе 19—обозначение чертежа, повернутое на 180°;

в графе 20 — подпись лица, копировавшего чертеж;

в графе 21 — обозначение формата листа по ГОСТ 2.301—68.

Пример заполнения основной надписи приведен на рисунке 3.12.

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">Минобразования
РФ</td><td colspan="2">090100.00
ДП</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Должность</td><td>Фамилия</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td rowspan="6">Создание опорного
обоснования
на карьере “Уралруда”</td><td>Отдел</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td>Студент</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">ГТФ
Каф. МД</td><td rowspan="3">1:100</td></tr>
<tr><td>Руковод.</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Консульт.</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Н. контр.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Зав. каф.</td><td></td><td></td><td></td><td>Лист 1</td><td>Листов 1</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3"></td><td colspan="2" rowspan="3">УГГГА</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Рисунок 3.12

3.4 Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей

3.4.1 Виды маркшейдерско-геологических чертежей

Маркшейдерско-геологические чертежи в зависимости от назначения разделяют на исходные и производные. Исходные чертежи следует составлять непосредственно по результатам измерений, и они должны служить основой для составления всех маркшейдерско-геологических чертежей. Производные чертежи следует составлять на копиях исходных чертежей, дополняя их специальным содержанием в соответствии с назначением чертежа. Исходные чертежи следует составлять на стандартных планшетах. Размеры планшетов с учетом полей: 440 х 460 мм — в масштабе 1 : 5000; 540 х 560 мм — в масштабах 1 : 500—1: 2000.

Перечень исходных чертежей, составляемых на планшетах, и масштабов, должен соответствовать приведенному в таблице 3.1.

Ошибки при составлении исходных чертежей не должны превышать значений, указанных в таблице 3.2.

Исходные чертежи следует выполнять на чертежной бумаге высшего качества ручного или машинного отлива, наклеенной на жесткую или мягкую основу для обеспечения длительного срока службы и хранения, и на недеформирующихся прозрачных синтетических материалах — пленках.

Исходные чертежи должны храниться в горизонтальном или вертикальном положении. Свертывать исходные чертежи запрещается.

Производные чертежи рекомендуется выполнять на прозрачных синтетических материалах, бумажной натуральной кальке, светочувствительной позитивной, диазотипной бумаге и бумажной светочувствительной диазотипной кальке.

Производные чертежи разрешается свертывать и складывать на формат 11 или 12 по ГОСТ 2.301—68.

Таблица 3.1.

Название чертежей	Масштаб (один из указанных)	Примечание

План промышленной площадки	1:500; 1 :1000	
Подземный способ разработки		
План горных выработок по пласту, пластообразной залежи и россыпи	1:1000; 1:2000	Пласты, пластообразные залежи и россыпи зависимо от угла падения и мощности
План горных выработок по каждому слою (при выемке слоями, параллельными напластованию)	1:1000; 1:2000	Мощные пласты
Проекция горных выработок на вертикальную плоскость	1:1000; 1:2000	Пласты, пластообразные залежи, жилы, линзы с углами падения 60° и более
Разрезы вкрест простирания, приуроченные к основным вскрывающим выработкам	1:1000; 1:2000	Пласты, пластообразные залежи, россыпи, жилы, линзы, мощные рудные тела
План горных выработок по основным горизонтам горных работ	1:1000; 1:2000; 1:5000	Свита пластов крутого падения, мощные рудные залежи и жилы
Открытый способ разработки		
План горных выработок по горизонтам горных работ	1:500; 1:1000; 1:2000	Карьеры
План горных выработок полигонов	1:2000	Прииски
Разрезы, приуроченные к разведочным линиям	1:500, 1:1000;1:2000	Карьеры и прииски
Картограммы расположения планшетов, съемки земной поверхности и горных выработок	1:5000; 1:10000; 1:25000	Карьеры и прииски

Примечание –

При протяженности изображаемого объекта не более 1 км допускается составлять перечисленные исходные чертежи на листах форматов по ГОСТ 2.301—68. В этом случае координатная сетка по отношению к рамке чертежа может быть расположена с учетом наилучшего размещения изображаемого объекта.

Таблица 3.2

Название ошибок	Допустимая величина ошибки, мм
Ошибка взаимного положения точек пересечения линий сетки	± 0,2

координат	
Ошибка положения пунктов опорной и съемочной сетки по отношению к линиям сетки координат	± 0,4
Ошибка взаимного положения ближайших друг к другу пунктов опорной и съемочной сети	± 0,6
Ошибка положения четких контуров по отношению ближайшим пунктам опорной и съемочной сети	± 0,6
Ошибка взаимного положения ближайших точек четких контуров	± 0,8

3.4.2 Картограммы и схемы расположения планшетов

Чертежи горных выработок при открытом и подземном способах разработки месторождений для участков менее 20 км^2 составляют на квадратных планшетах, размеры которых указаны в п. 3.4.1. Исходным форматом для разделения на планшеты принимают лист в масштабе 1:5000, охватывающий площадь 2х2 км. Разделение листа в масштабе 1 :5000 на планшеты в масштабах 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 и составление их номенклатур показаны на рисунке 3.13.

Картограммы расположения планшетов карт и планов следует составлять для всей территории экономической заинтересованности горного предприятия, тел полезных ископаемых и горизонтов горных работ в целом; картограммы расположения планшетов с разрезами и проекциями на вертикальную плоскость следует составлять от земной поверхности до нижнего проектного горизонта горных работ.

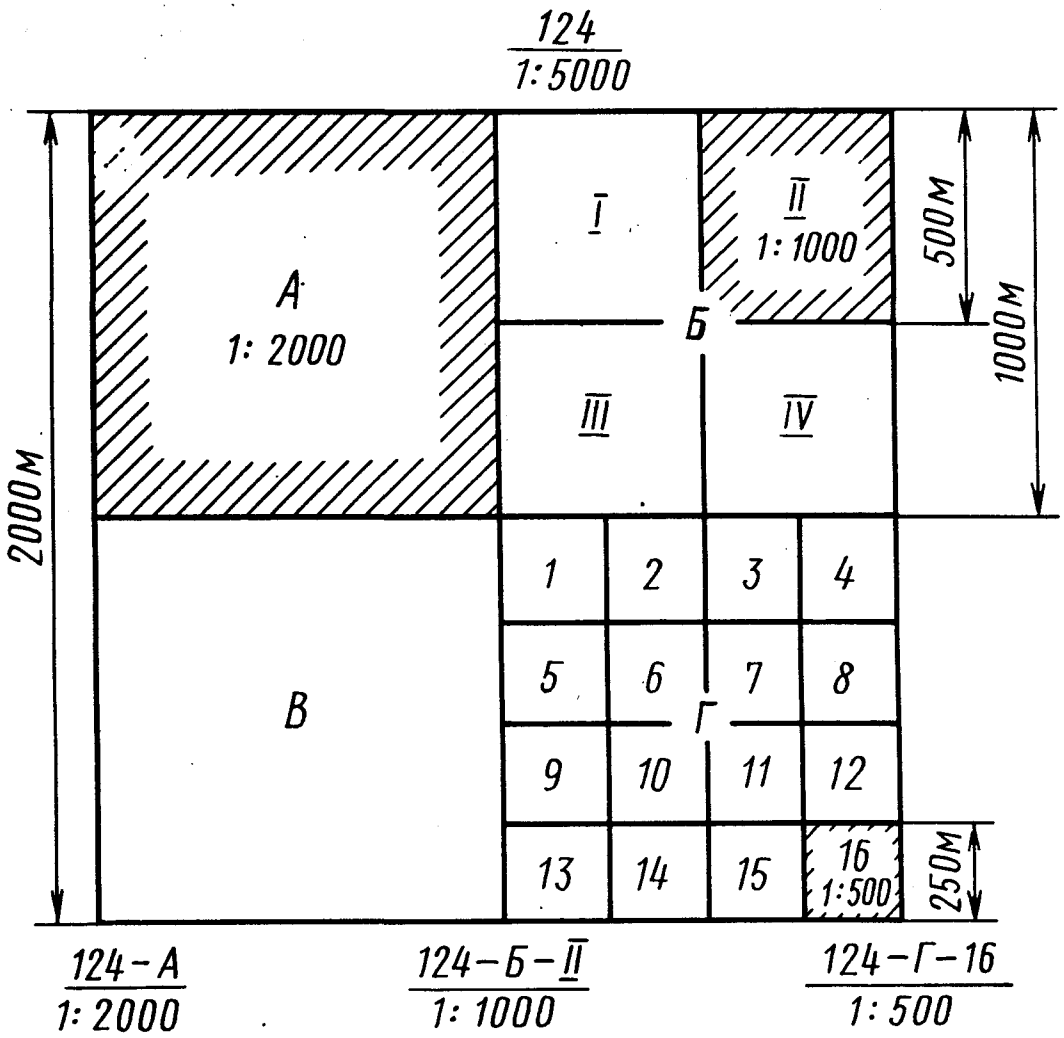


Рисунок 3.13

Каждую картограмму расположения планшетов чертежей одного и того же названия и масштаба следует составлять на отдельном планшете. Масштаб картограммы следует выбирать в зависимости от размеров горного отвода, тел полезных ископаемых, горизонтов горных работ и глубины разработок с таким расчетом, чтобы все картограммы поместились на одном планшете.

На картограмме следует показывать планшеты в виде клеток и важнейшие ориентирующие объекты ситуации земной поверхности, горные выработки или геологические нарушения. В клетках следует указывать условные номера планшетов.

Положение планшета в картограмме следует показывать на нижнем поле планшета в виде схемы, без соблюдения масштаба картограммы.

На схемах, кроме данного планшета, отмеченного штриховкой, следует изображать примыкающие к нему планшеты и указывать их условные номера по картограмме (рисунок 3.14).

При изображении схемы планшета вертикального разреза или проекции на вертикальную плоскость следует указывать высотные отметки горизонтальных линий сетки, приуроченных к горизонтам горных работ (рисунок 3.14 б).

Рисунок 3.14

3.4.3 Рамки и поля чертежей

Линии рамок чертежей, выполняемых на планшетах, следует выполнять толщиной 0,2 мм на расстоянии от линии обреза планшета по 10 мм сверху и слева, 30 мм справа и 50 мм снизу. Линии рамок чертежей проводить не следует, если они совпадают с линиями координатной сетки (рисунок 3.15). Линии рамки чертежей, выполняемых на форматах листов по ГОСТ 2.301—68, следует выполнять толщиной 0,2 мм на расстоянии 10 мм от верхнего, левого и правого края листа и 50—60 мм снизу. Если на поле чертежа помещают титульную надпись, то нижнюю линию рамки следует проводить на расстоянии 10 мм от линии обреза листа. В середине нижнего поля чертежа следует помещать титульную надпись. Титульная надпись должна содержать название вышестоящей организации и горного предприятия (комбината, шахты, карьера), название чертежа и его масштаб (рисунок 3.16) .

Рисунок 3.15

В титульной надписи следует указывать: для планов горных выработок и геологических разрезов—обозначение горизонта (например, «Горизонт—215 м»), для приисков—номер или название полигона. Вместо слова «пласт» в четвертой строке соответственно месторождению следует указывать «залежь», «линза» и т. д.



Рисунок 3.16

В левой стороне нижнего поля планшета следует помещать схему расположения планшета среди планшетов, примыкающих к нему, с указанием их условных номеров по картограмме (рисунок 3.17).

Рисунок 3.17

В правой стороне нижнего поля планшета следует помещать таблицу, в которой указывают должность, фамилию, подпись лица, начавшего составление планшета, и дату (рисунок 3.18).

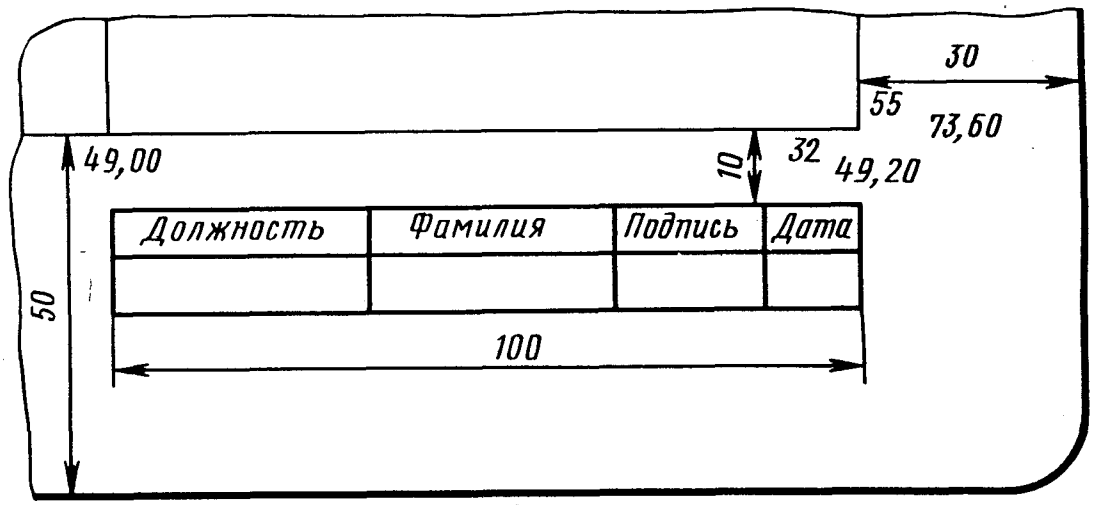


Рисунок 3.18

На левом и верхнем полях планшета по линии обреза следует наносить линии сетки и изображать объекты со смежных планшетов (рисунок 3.19).

На правом поле планшета следует изображать выноски отдельных элементов изображения в более крупном масштабе. Около выноски следует указать ее номер и масштаб (рисунок 3.20).

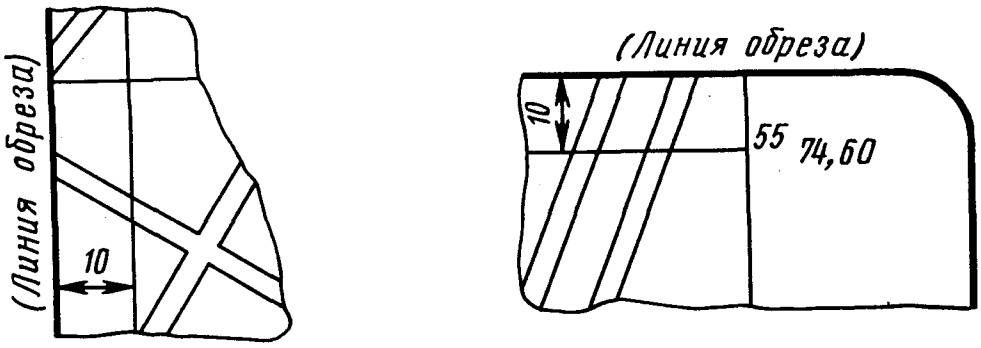


Рисунок 3.19

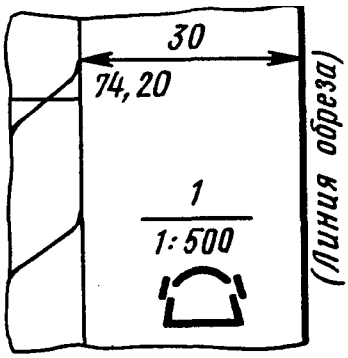


Рисунок 3.20

Размеры шрифта для надписей, выполняемых за пределами рамки чертежей, должны соответствовать приведенным в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Содержание надписи	Размер шрифта, мм
Числовые значения координаты	2,5
Названия чертежей	4,0; 5,0; 6,0: 7,0: 8,0; 10,0; 14,0
Числовые значения координат *Y и X*	1,6. 2,0; 2,5
Масштабы	3,0
Заголовки и записи в таблице подписей на чертежах	2,5
Номенклатурные номера планшетов	5,0
Условые номера планшетов на схемах расположения	3,0
Обозначения сторон света	3,0
Номера планшетов на картограммах расположения	5,0
Номера следов вертикальных разрезов, проекции на вертикальную плоскость, линий совмещения, разведочных линий, точек поворота следов и линий	2,5

3.4.4 Сетка координат

На планшеты и листы карт и планов должна быть нанесена квадратная координатная сетка со стороной 100 мм черной тушью сплошными тонкими линиями толщиной 0,1 мм (рисунок 3.15).

Координаты *Y* и *X* для линий сетки следует указывать до сотых долей километра, для линий сетки с наибольшим и наименьшим значениями координат они должны быть указаны полностью, а для всех остальных линий — начиная с десятков километров (рисунок 3.17 – 3.20).

На чертежах производной, а также производственно-технической документации вместо линий сетки допускается изображать только их пересечения длиной 6 мм через 100 мм без оцифровки координат. В этом случае координатную сетку по отношению к рамке можно располагать с учетом наилучшего размещения изображаемого объекта. При этом на чертеже следует изобразить стрелку меридиана (рисунок 3.21). Стрелку меридиана следует изображать также в случаях, когда в изображении сетки нет необходимости или для сетки, параллельной рамкам чертежа, при отсутствии координат, а также для сетки непараллельной рамкам чертежа. Длина стрелки должна быть пропорциональна размеру чертежа.

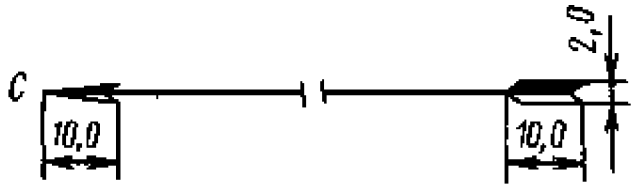


Рисунок 3.21

В случае непараллельности линий сетки линиям рамки чертежа координаты линий сетки следует указывать внутри рамки вдоль нижней и левой ее линий (рисунок 3.22).

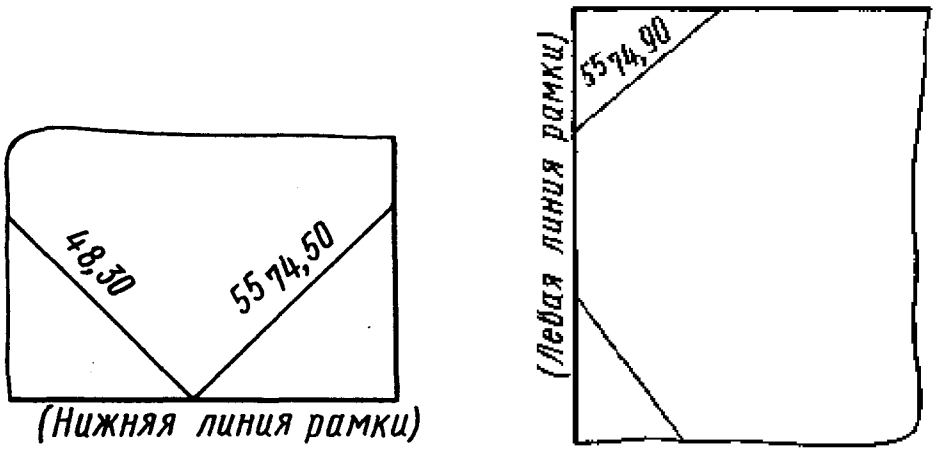


Рисунок 3.22

Сетку координат на вертикальных разрезах и проекциях на вертикальную плоскость следует изображать согласно рисунку 3.23.

Рисунок 3.23

Горизонтальные линии сетки на вертикальных разрезах и проекциях следует изображать сплошными тонкими линиями синего цвета толщиной 0,1 мм. У линий горизонтов (глубин) на правом поле планшета следует указывать числовые значения: без скобок – высотные отметки горизонтов, в скобках –

глубины от поверхности. Линии горизонтов оцифровываются кратными 10, 20 м и более в зависимости от высоты горизонтов горных работ, этажа, системы разработки и масштаба разреза или проекции.

Вертикальные линии сетки на разрезах и проекциях соответствуют положению точек пересечения следов вертикальных плоскостей с одной из линий сетки координат X и У на плане.

3.5 Правила выполнения условных обозначений

При вычерчивании горной графической документации (планы, разрезы, профили и т.д.) применяют масштабные, разномасштабные, безмасштабные и пояснительные условные обозначения. Масштабные условные обозначения применяют, когда объект может быть изображен в масштабе чертежа. Разномасштабные условные обозначения применяют для изображения вытянутых объектов, размер которых по ширине не может быть выражен в масштабе чертежа. Безмасштабные условные обозначения применяют в случаях, когда размеры объекта не возможно выразить в масштабе чертежа.

Масштабные и разномасштабные условные обозначения наносят на чертежи в соответствии с размерами и положением изображаемых объектов в натуре. Безмасштабные условные обозначения наносят так, чтобы их центры и ориентировка на чертежах соответствовали центрам и ориентировке объектов в натуре.

Размеры разномасштабных и безмасштабных условных обозначений приведены в ГОСТ 2.854. – 75 – ГОСТ 2. 857. – 75 и даны в миллиметрах. Условные обозначения в форме равносторонних фигур (квадратов, треугольников, ромбов) строят по размеру, указанному для одной из сторон. Для вычерчивания условных обозначений используют линии различной толщины и начертания (сплошные, штриховые, пунктирные) согласно ГОСТ 2. 853. – 75.

Пояснительные условные обозначения применяют как дополнительные к масштабным, разномасштабным и безмасштабным условным обозначением

при изображении геометрических элементов (осей, стрелок, стрелок направлений и др.).

Размеры шрифта для пояснительных надписей около условных обозначений должны быть высотой: 1,6; 2,0; 2,5; 3,5; 4,0 мм в зависимости от изображаемого объекта и масштаба чертежа. Конкретные размеры следует выбирать в соответствии с таблицей 4 ГОСТ 2. 853. – 75. Надписи наносят шрифтом ГОСТ 2. 304 – 68, а также наклонным узким.

Названия объектов, изображаемые масштабными, разномасштабными условными обозначениями, как правило, указывают полностью. Если места для полного названия недостаточно, то его следует указывать сокращенно. Для внемасштабных условных обозначений применяют названия объектов только в сокращенном виде.

На масштабных условных обозначениях названия и цифровые данные следует помещать на площади условных обозначений, ориентируя их вдоль длинной стороны объекта (рисунок 3.24, а). Если надписи не помещаются внутри условного обозначения, то названия следует наносить слева от условных обозначений, а цифровые данные справа, ориентируя их параллельно нижней рамки чертежа (рисунок 3.24, б). Аналогично располагают надписи и цифровые данные для безмасштабных условных обозначений (рисунок 3.24, в).

На плане горных выработок на масштабных условных обозначениях названия помещают рядом с выработкой и параллельно ей. Названия стволов следует ориентировать параллельно изображению околоствольных выработок. На безмасштабных условных обозначениях названия и номера следует указывать слева, а цифровые данные справа от условных обозначений, ориентируя их параллельно изображению выработок.

На всех чертежах для разномасштабных и пояснительных условных обозначений вытянутой формы названия и цифровые данные указывают вдоль этих обозначений, ориентируя их, как показано на рисунке 3.24,г. Для отдельных пояснительных условных обозначений указывают только цифровые данные, помещая их справа параллельно контурам (рисунок 3.24, д).

-

Рисунок 3.24

На оригиналах чертежей условные обозначения следует выполнять в основном черным цветом. Некоторые условные обозначения или их отдельные элементы дополняют цветами хроматической гаммы. При этом цвет условных обозначений должен соответствовать опорной шкале цветов ГОСТ 2. 853. – 75 табл. 2. Указания о цвете условных обозначений приведены в ГОСТ 2. 854. – 75 – ГОСТ 2. 857. – 75 в графе «Цвет».

На чертежах, предназначенных для размножения и на чертежах производной документации цветовые условные обозначения и их элементы выполняются черным цветом.

Строительные материалы и материалы крепей горных выработок показывают следующими цветами:

бетон, железобетон – зеленый 7;

металл - светлый фиолетовый 10 С;

кирпич, камень, шлакоблоки – оранжевый 3;

дерево - желтый 4.

Годовые канты по контуру очистной выработки на чертежах горных выработок (сводных планов горных работ) выполняют в зависимости от последней цифры года следующим цветом:

0 или 5 – светлый фиолетовый 10 С;

1 или 6 – светлый красный 2С;

2 или 7 – светлый зеленый 7С;

3 или 8 – оранжевый 3С;

4 или 9 – светлый синий 9С.

На всех чертежах высотные отметки объектов, расположенных на земной поверхности, изображают черным цветом, а подземных объектов – цветом синий 9.

Площадь условных обозначений горных выработок, пройденных по породе, на чертежах всех видов может быть окрашена цветом желтый 4.

Площадь условных обозначений целиков и участков полезного ископаемого, отнесенных в потери, окрашивают цветом лимонный 5.

Линии штриховки в условном обозначении выработанного пространства ориентируют произвольно, не допуская при этом штриховки, параллельной горным выработкам.

Элементы условных обозначений горных пород на геологических и маркшейдерских планах и разрезах следует размещать в шахматном порядке по сетке, параллельной рамкам чертежа. Для мощных и средней мощности пластовых и пластообразно залегающих пород элементы условных обозначений следует размещать так же в шахматном порядке, но по сетке, у которой одна система линий параллельна, а вторая перпендикулярна линиям контакта. Для пород, залегающих в виде тонких и весьма тонких пластов, жил, элементы условных обозначений размещают параллельно линиям контактов.

Условные обозначения геологической ситуации, не прослеженной горными выработками (предполагаемой), разрешается наносить на геолого-маркшейдерские чертежи карандашом.

Условные обозначения объектов, не находящихся в плоскости проекции, изображают штриховой линией размером 3,0 / 1,5 мм. При наложении условных обозначений нескольких объектов, тот который находится ниже, изображают штриховой линией размером 2,0 / 1,0 мм.

Условные обозначения конкретных объектов ситуации земной поверхности, горных выработок (при открытом и подземном способе разработке), производственно-технических объектов и т. п. – должно соответствовать ГОСТ 2.854 – 75 - ГОСТ 2.857 - 75.

3.6 Чертежные материалы, инструменты и принадлежности

3.6.1 Чертежная бумага и пластики

Чертежная бумага. Маркшейдерские чертежи служат и сохраняются многие годы, поэтому важно выбрать чертежный материал (бумагу),

удовлетворяющий требованию длительного хранения. Чертежная бумага должна иметь хорошую проклейку, быть прочной, гибкой, хорошо воспринимать тушь (не допускать разлива), после подчисток оставаться гладкой, от нескольких перегибов в одном месте не ломаться и длительное время сохранять белизну. В качестве материалов для выполнения чертежей маркшейдерской горно-графической документации применяются чертежные бумаги ручного и машинного отлива, миллиметровка, прозрачные пластинки и кальки.

В нисходящем по качеству порядке можно назвать такие сорта чертежной бумаги: бумага чертежная марки "В" (высшая), ручного отлива; бумага чертежная марки "В" ручного отлива со знаком качества; бумага чертежная марки "В" машинного отлива; бумага чертежная марки "О" (обыкновенная) машинного отлива № 1; бумага чертежная марки «О» машинного отлива № 2; бумага чертежная с прозрачностью 48-50 % марки "Д" со знаком качества (длительного хранения); бумага чертежная марки "Д" со знаком качества.

Для вычерчивания чертежей, требующих длительного хранения, применяется бумага марок "В" и "Д". Наилучшей считается бумага с водяным знаком "ГОЗНАК". Чертеж выполняется на лицевой стороне, которой соответствует нормальное расположение знака.

Бумага марки "О" предназначена для выполнения чертежей, не требующих длительного хранения. Лицевая сторона этой бумаги гладкая, оборотная слегка шероховатая.

Чертежная бумага выпускается как в листах, так и в рулонах шириной 878, 640, 440 мм и длиной 10, 20, 40 м в зависимости от марки.

Миллиметровая бумага – применяется для вычерчивания различных графиков, диаграмм, профилей и т.д. Миллиметровка представляет собой тонкую плотную бумагу с разграфкой через миллиметр по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Чтобы не затемнять чертеж, клетки

печатаются голубой, синей или коричневой краской. Миллиметровая бумага выпускается в листах или рулонами шириной 878 мм, длиной 10, 20, 40 м.

Калька – это прозрачный сорт бумаги, применяемый для изготовления копий с чертежей. Калька бывает полотняная или бумажная (восковка). Полотняная калька приготовляется из тонкого батиста, а бумажная из тонких сортов бумаги. Для придания прозрачности, кальку пропитывают специальным химическим составом.

В настоящее время для вычерчивания маркшейдерской документации широко применяются прозрачные пластики - пленки (лавсан, астролон, винипроз, хастофан и др.) благодаря их прочности, прозрачности и незначительной деформации.

Пленка лавсан обладает высокими физико-механическими свойствами. Она однородна, прозрачна, бесцветна, имеет с двух сторон глянцевую поверхность. Для придания пленке необходимых чертежных свойств ее зернят механическим способом на специальных машинах или покрывают специальным глянцевым слоем. Механическое зернение обеспечивает необходимый микрорельеф поверхности пленки, что позволяет чертить по ней карандашом и тушью. На пленках покрытых специальным глянцевым слоем чертить можно только тушью. Тушевое изображение с таких пленок может быть легко удалено путем смыва без оставления следа, что особенно важно для пополнения тушью сводных планов горных разработок.

Астролон – вид органического стекла, но имеет по сравнению с ним меньшую прозрачность, но более эластичен. Рабочая поверхность астролона перед работой предварительно обрабатывается мелкозернистой наждачной бумагой, после чего тщательно промывается и просушивается при комнатной температуре. Планы вычерчиваются карандашом или тушью. Вычерченный план покрывают защитным слоем специального лака для предохранения вычерченного изображения от смывания водой и осыпания туши. При необходимости пополнения плана лаковое покрытие в нужном месте смывают ацетоном, а после вычерчивания покрытие возобновляют.

Винипроз – данный вид пластика получают путем термической обработки виниловых смол. Рабочая поверхность винипроза обезжиривается раствором азотной кислоты или 10 % раствором уксусной эссенции, а затем промывается водой. После вычерчивания изображения тушью производится покрытие лаком. Для вычерчивания изображений применяется специальная винипрозная тушь, устойчивая к воздействию воды, спирта, кислот и щелочей. Раскраска планов при применении винипрозной туши производится на обратной глянцевой стороне листа.

3.6.2 Тушь, краски

Тушь – прозрачная краска, в которой красящим веществом является сажа или различные каменноугольные красители. Тушь бывает черного, зеленого, синего, коричневого и других цветов. Для вычерчивания оригиналов планов применяется тушь в жидком виде (во флаконах), концентрированная (в тубах) и сухая (в виде палочек).

Жидкая тушь во флаконах (Колибри, Гриф) выпускается 12 различных цветов: черная, коричневая, красная, желтая, желто-зеленая, синяя, зеленая, фиолетовая, оранжевая, лимонно-желтая, голубая и светло-розовая. Жидкая тушь удобна в работе как на бумаге так и на пленках, вычерченные ею чертежи не смываются водой, а со временем прочность изображения возрастает. Недостатком жидкой туши является то, что она довольно быстро засыхает в рейсфедере или на пере, что затрудняет работу. Исправления и подчистки на чертежах, вычерченных жидкой тушью, делать труднее, так как она глубоко проникает в бумагу.

Концентрированная тушь (в металлических тубах) имеет вид пасты. Тушь разводят водой до необходимой густоты, выдавив несколько капель туши в тушницу. Разведенную тушь проверяют: пером или рейсфедером проводят толстый штрих, после чего его смазывают кусочком бумаги. Хорошо разведенная тушь дает по площади мазка ровный интенсивный фон, слабо

разведенная - бледный фон. Очень густая тушь плохо смазывается, дает не ровный по светлоте фон.

Правильно разведенная тушь дает интенсивное, непрозрачное, матовое изображение. Чтобы сделать тушь несмываемой, в нее добавляют 1-2 капли двухромовокислого калия или уксуса. Несмываемость туши проверяют следующим образом: на листе чертежной бумаги вычерчивают пером или рейсфедером несколько линий различной толщины. На другой день, когда тушь высохнет, листок обливают водой из под крана в течении одной минуты, держа его наклонно и перемещая под струей воды влево и право. Струя воды должна падать на верхнее, чистое поле листка. Несмываемая тушь не размоется и не потечет. План (чертеж) вычерченный несмываемой тушью, облитый водой, после высыхания не боится влаги, его можно смело раскрашивать акварельными красками.

Сухая тушь изготавливается в виде палочек. Для приготовления жидкого раствора ее натирают в теплой воде в тушнице с шероховатым дном. Для того, чтобы определить, достаточно ли натерта тушь, тушницу немного наклоняют, а затем ставят в прежнее положение. Готовая тушь, стекая со стенки тушницы, оставляет черный цвет. Недостаточно натертая – серый цвет. После натирания палочку туши тщательно протирают гладкой бумагой, иначе она будет трескаться и крошиться. Во время работы тушь полагается держать закрытой. Натертая сухая тушь быстро засыхает на бумаге, не впитывается глубоко в бумагу, в результате не растекается и сравнительно легко удаляется при необходимых исправлениях чертежа. Для определения качества туши нужно намочить палец и потереть его концом палочки туши. Хорошая тушь оставляет темный след и издает своеобразный запах. Плохая тушь дает серый след и запаха не имеет.

Независимо от вида туши работать следует свежеприготовленной тушью, обычно в течение суток, иначе качество ее снижается. В процессе черчения тушь следует держать закрытой и открывать только во время набора ее на инструмент. Прежде чем зарядить чертежный инструмент тушью, ее

следует помешать. Хранить тушь следует в темном месте при температуре от $+5^0$С до $+30^0$С.

Краски. Для большей наглядности и выразительности горно-графические планы, разрезы вычерчиваются в цвете. Для этого можно пользоваться жидкой или концентрированной цветной тушью, но лучше применять краски, выпускаемые в плитках. Краски состоят из красящего вещества, связующего и различных добавок. В зависимости от связующего вещества они подразделяются на клеевые, масляные и лаковые. Для маркшейдерско-графических работ применяются клеевые краски, к ним относятся акварельные и гуашевые краски, туши темпера. Наиболее часто применяются акварельные краски, состоящие из красящего порошкообразного вещества и растительного клея (гумиарабика). Акварельные краски выпускаются в плитках (сухие) и тюбиках (пастообразные) они хорошо разводятся водой, не дают осадка, ровно и однотонно ложатся на бумагу.

Акварельные краски бывают прозрачные и непрозрачные (гуашь). В маркшейдерском черчении, для окрашивания чертежей, применяют прозрачные краски т.к. они позволяют получить новый тон повторным нанесением одной краски на другой. Непрозрачные краски этим свойством не обладают. Основными являются краски трех цветов: красная, синяя и желтая. Имея краски трех основных цветов, остальные тона можно получить их смешиванием, например: смесь красок красной и синей дает фиолетовый цвет; смесь синей и желтой дает зеленый цвет; желтая, голубая и красная краски в смеси дают коричневый цвет и т.д. Перед покраской, разведенной в воде краске, дают отстояться и сливают ее без осадка в другую посуду. Несмываемость красок водой достигается подмешиванием раствора двухромкислого калия или уксуса к жидкой краске. Для маркшейдерского черчения наиболее пригодны краски в наборе. В наборах бывает от 6 до 30 красок.

3.6.3 Чертежные инструменты и принадлежности

Карандаши. В зависимости от материала пишущего стержня карандаши делятся на черные (графитные), цветные и копировальные (чернильные). По назначению карандаши подразделяются на чертежные, канцелярские, школьные, рисовальные и др. В маркшейдерском черчении широко применяются чертежные карандаши. По своим чертежным свойствам карандаши делятся на твердые и мягкие. Твердые карандаши обозначаются буквой Т, мягкие – М, степень твердости или мягкости обозначается цифрой, стоящей перед буквой. В порядке возрастания твердость обозначается: 6М, 5М, 4М, 3М, 2М, М, ТМ, Т, 2Т, 3Т, 4Т, 5Т, 6Т, 7Т. Карандаши от 2Т до 7Т считаются твердыми, Т, ТМ, М – промежуточные и от 2М до 6М – мягкие. Твердость и мягкость зарубежных карандашей обозначены латинскими буквами Н и В. Твердые карандаши от 2Н до 9Н, мягкие от 2В до 6В и промежуточные Н, НВ, В.

Качество черчения зависит от правильного выбора карандаша. Слишком жесткий графит оставляет ложбинку на бумаге, слишком мягкий – пачкает бумагу. Для выполнения чертежных работ применяются карандаши от 2М до 6Т: 2М – 2Т – при черчении в сырую и холодную погоду на фотобумаге и бумаге низшего качества, 3Т – 6Т – на чертежной бумаге высшего качества и при работах в сухую, жаркую погоду, 2М – ТМ – для простых записей, зарисовок. Для выполнения чертежных работ на обыкновенной бумаге в обычных комнатных условиях берут карандаши твердости примерно Т – 3Т.

В правой части каждого карандаша имеется маркировка, состоящая из названия фабрики-изготовителя, названия карандаша, обозначения степени твердости и года выпуска, например: ф-ка им.Красина *Коструктор* 5Т 56.

Очинку карандаша следует выполнять с конца, противоположного маркировке. Для этого используют различные точилки, скальпели. Сначала срезают дерево на 30 мм, обнажая графит на 8-10 мм, затем на мелкозернистой наждачной бумаге или бруске затачивают графитный стержень. Окончательную шлифовку производят на чертежной бумаге. Заточенный карандаш должен иметь форму конуса.

В последнее время получили распространение механические карандаши с цанговыми держателями и убирающимся грифелем. Однако не все из них можно применять при черчении. Это зависит от конструкции держателя, наличия необходимых грифелей.

Чертежные перья и ручки. Вычерчивание маркшейдерской горно-графической документации выполняется специальными чертежными перьями, имеющими по сравнению с канцелярскими перьями меньшие размеры и тонкий рабочий конец. Чертежные перья изготавливают из стали высоких сортов под № 41, 44, 290, 291 и 2350. Для черчения на бумаге более удобны перья 44, 290 и 291, так как они имеют мягкий пружинящий конец. Тонкий конец этих перьев позволяет без заточки получать линии толщиной 0,1 мм. Перья 41 и 2350 более жесткие и с более толстым концом, поэтому их используют при черчении на пластике, фотобумаге, кальке.

Чертежные перья должны удовлетворять следующим требованиям: створки пера не должны иметь просвета; должны быть одной длины и толщины; перо не должно царапать бумагу и должно давать тонкую ровную линию.

Раздвоение пера устраняют надавливанием на внутреннюю сторону створок пера карандашом. При этом чертежную ручку слегка приподнимают, а карандаш сдвигают к концу пера. Разную длину створок пера устраняют, стачивая на бруске длинную створку до уровня короткой. Делают это с легким нажимом, держа ручку перпендикулярно к поверхности бруска. Разную ширину створок устраняют заточкой боковых граней. Для этого в разрез пера вставляют тонкий плотный кусочек бумаги и легким нажимом затачивают широкую створку. Ширина каждой створки пера должна быть не более 0,15 мм. Образовавшиеся после заточки на створках острые грани закругляют на бруске. Перед работой новое чертежное перо надо 2-3 раза пронести через пламя спички, свечи, чтобы удалить жирный налет, иначе тушь не будет смачивать перо.

Для чертежного пера предназначен специальный держатель - чертежная ручка. От канцелярской ручки она отличается меньшими размерами и тем, что кончик чертежного пера можно предохранить от повреждений, вставив перо в ручку острым концом во внутрь. Вместо чертежной ручки можно пользоваться и канцелярской, однако перо из нее после работы, например при транспортировке, следует вынимать.

Кисти. При вычерчивании маркшейдерских планов, разрезов в цвете достаточно иметь две – три кисти средних размеров (№ 5, 7 ,12), всего существует 24 номера кисти (от № 1 до № 24). Для проверки качества кисти ее смачивают водой и встряхивают. Хорошая кисть "жадно" впитывает воду, а волоски после встряхивания собираются в острый конус, плотно прилегая друг к другу. Однако, если кисть окажется зажиренной, пользуясь описанным методом проверки можно ошибочно забраковать хорошую кисть. Чтобы избежать ошибки, кисть перед проверкой следует хорошо промыть в слабом растворе питьевой соды, а затем высушить. Лучшими для чертежных работ считаются колонковые или хорьковые, в крайнем случае, беличьи кисти. После работы кисти надо тщательно промыть, высушить и хранить в сухом месте в плотно закрывающейся коробочке.

Линейки и треугольники применяют для проведения прямых линий, поэтому их ребра должны быть прямыми, а нижняя поверхность линейки (треугольника) – плотно прилегать к чертежу. Прямолинейность ребра линейки проверяют следующим образом. Линейку кладут на чистый лист бумаги и по ребру проводят линию. Затем линейку переворачивают на 180° и проводят новую линию. Если проведенные линии совпадают на всем протяжении, значит ребро линейки (треугольника) прямолинейно. Для работы с тушью, нижний край ребра линейки должен иметь скос. При этом линейку кладут на чертеж скосом вниз.

Кроме обычных линеек в маркшейдерском черчении применяют масштабные, пропорциональные линейки и линейку Дробышева.

Масштабная линейка служит для определения длин линий отрезков и откладывания их в определенных масштабах с точностью до 0,1 мм.

Пропорциональную линейку (синусную) используют для проведения параллельных линий. Пропорциональная линейка состоит из 2-х линеек. Одна из них представляет собой обычную линейку, другая – прямоугольный треугольник, острый угол которого составляет $5^{o}44'$. Синус этого угла равен 0,1. Передвигая длинный катет треугольника по линейке, можно провести по гипотенузе параллельные линии на расстоянии в 10 раз меньше тех, на которые передвигается длинный катет по линейке.

Линейка Дробышева применяется для построения координатной сетки размером 30 х 40 см и 50 х50 см с квадратами 10 х 10 см. Она представляет собой металлическую линейку с вырезами через 10 см. Длина от скошенного края первого выреза до конца линейки равна 70.71 см, что соответствует диагонали квадрата 50 х 50 см. С помощью линейки Дробышева можно построить прямоугольник со сторонами 30 х 40 см с длиной диагонали 50 см.

Рейсфедер – служит для проведения прямых линий тушью или красками. Основные его части – ручка и "линейное перо". Перо состоит из двух стальных створок с заостренными концами в виде овальных лопаточек, которые наглухо соединены с ручкой. Толщина проводимой линии устанавливается регулировочным винтом, который позволяет уменьшить или увеличить интервал между створками лопаточек. Тушь в рейсфедер заправляется полоской твердой бумаги на высоту 3- 6 мм.

Рейсфедер при работе должен быть в одной вертикальной плоскости с проводимой линией и слегка наклонен в сторону движения. Линия рейсфедером всегда проводится слева направо.

Круговой циркуль – предназначен для вычерчивания окружностей диаметром от 0,5 до нескольких сантиметров. Одна из ножек заканчивается острой иглой, другая – рейсфедером или карандашом. Разновидностью кругового циркуля является кронциркуль, который применяется для вычерчивания окружностей очень малых радиусов (0,5 – 3,0 мм).

Вращающийся рейсфедер (кривоножка) применяется для вычерчивания кривых линий на плане (горизонталей, изолиний, дорог, берега рек и т.п.).

4 ХРАНЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Сроки хранения различных видов маркшейдерской документации зависят от важности отраженной в них информации.

Документация, подлежащая хранению в течение трех лет со дня окончания отраженных в ней работ:

1. Материалы определения остатков полезного ископаемого на складах.
2. Чертежи по перенесению в натуру проектного положения главного технологического комплекса, блоков и отдельных промышленных зданий, сооружений, коммуникаций.
3. Чертежи по расчету границ безопасного ведения горных работ.
4. Контрольные профили армировки вертикальных шахтных стволов и башенных копров.
5. Контрольные продольные профили рельсовых путей в откаточных горных выработках.
6. Контрольные продольные профили железных, автомобильных и подвесных канатных дорог.
7. Контрольные профили руслоотводных, водозаводных и других капитальных траншей и канав.
8. Журналы измерений по всем видам работ.

Примечание. Три года хранят журналы вычислений, послужившие основой составления названных чертежей, а также материалы фотограмметрической съемки – снимки (негативы) и списки координат опорных точек, использованных для ориентирования (корректирования) стереомоделей.

Документация, подлежащая хранению до ликвидации отдельных объектов и до погашения горных выработок:

1. Исполнительные профили армировки вертикальных шахтных стволов.

2. Исполнительные и контрольные профили стенок вертикальных шахтных стволов.

3. Исполнительные продольные профили рельсовых путей в откаточных горных выработках.

Примечание. До этого же времени хранят журналы вычислений, послужившие основой составления названных чертежей.

Документация, подлежащая хранению до ликвидации горного предприятия:

1. Планы отвалов некондиционных полезных ископаемых, хранилищ отходов обогатительных фабрик и природных отвалов.

2. План земной поверхности с отражением результатов работ по рекультивации земель, нарушенных горными работами.

3. Схемы осевых пунктов шахтных отвалов.

4. Чертежи по изучению процесса сдвижения земной поверхности и горных работ под влиянием подземных разработок и по наблюдениям за подрабатываемыми зданиями и сооружениями.

5. Чертежи по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах.

6. Схема подземных маркшейдерских плановых опорных сетей и высотного обоснования.

7. Исполнительные продольные профили железных, автомобильных и подвесных канатных дорог.

8. Исполнительные профили руслоотводных, водозаводных и других капитальных траншей и канав.

Примечание. До этого же времени хранят журналы вычислений, послужившие основой составления чертежей.

Документация, подлежащая постоянному хранению (уничтожению не подлежит):

1. План земной поверхности территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия.
2. План застроенной части земной поверхности.
3. План горного отвода и разрезы к нему, план отвода земельного участка.
4. План промышленной площадки.
5. Картограммы расположения планшетов съемок земной поверхности и горных выработок.
6. Схема расположения пунктов маркшейдерской опорной геодезической сети на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия, абрисы и схемы конструкций реперов и пунктов.
7. Чертежи горных выработок, отражающие вскрытие, подготовку и разработку месторождения.
8. Разрезы по вертикальным и наклонным шахтным стволам.
9. Чертежи околоствольных горных выработок и приемно-отправительных площадок главных этажных уклонов и бремсбергов.
10. Чертежи по расчету предохранительных целиков под зданиями, сооружениями и природными объектами.
11. Чертежи по расчету барьерных целиков между шахтными полями.

Примечание. Постоянно хранят журналы вычислений, послужившие основой составления чертежей.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Патко В.А.

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Методические указания к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение
2. Методические указания к практическим занятиям (семинарам)
3. Организация самостоятельной работы
4. Рекомендуемая литература

1. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Маркшейдерская документация» включает в себя основные правила составления, ведения и хранения маркшейдерской документации горнодобывающих предприятий на всех стадиях недропользования: разведке, эксплуатации, ликвидации или консервации лицензируемого участка недр и тематически связана с дисциплиной «Рациональное использование и охрана недр».

Целью изучения практического курса «Маркшейдерская документация» является формирование у студентов:

- навыков практического применения теоретических знаний базовой специальности «Маркшейдерское дело» в решении вопросов государственного и корпоративного регулирования вопросов недропользования и маркшейдерского контроля;
- получение теоретических и практических знаний о нормативных требованиях и методах составления, ведения и хранения маркшейдерской документации;
- формирование теоретических и практических знаний и умений, которые дают возможность решать маркшейдерские задачи в соответствии с видами профессиональной направленности: производственно-технологической, организационно-управленческой, научно-исследовательской и проектной;
- знаний о полномочиях и функциях маркшейдерских служб горнодобывающих предприятий при выполнении установленных государственных процедур для получения недр в пользование, по проектированию и планированию горных работ, рациональному использованию и охране недр при эксплуатации месторождений полезных ископаемых, рекультивации нарушенных горными работами земель;
- владение входящими в компетенцию маркшейдерской службы правовыми, разрешительными, организационными и отчетными документами, ведение которых обеспечивается недропользователем.

Процесс изучения практического курса: ознакомление студентов с системами государственного устройства и управления в сфере недропользования, документооборота и делопроизводства при выполнении

установленных процедур – имеет целью получения представлений о роли будущей профессии в решении вопросов маркшейдерского сопровождения недропользования, а также включает практические занятия и самостоятельную работу студентов по изучению требований законодательных актов и нормативных документов к оформлению правоустанавливающей, составлению и разработке разрешительной и организационно-распорядительной документации, заполнению отчетной документации, правилах ведения полевой, вычислительной, графической горной документации, и оформления текстовых документов, условиях хранения и архивации маркшейдерских документов.

В процессе изучения дисциплины формируется следующая компетенция: способность организовывать деятельность подразделений маркшейдерского обеспечения недропользования, в том числе в режиме чрезвычайных ситуаций (ПСК-4-6).

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ (СЕМИНАРАМ)

Целью практических занятий (семинаров) по изучаемому курсу дисциплины «Маркшейдерская документация» является:

- формирование указанной выше компетенции,
- закрепление на практике и углубление знаний теоретической части дисциплины,
- получения студентами навыков раскрытия изучаемой тематики дисциплины методами доклада и письменного эссе;
- приобретение навыков работы с различными источниками информации, в том числе с применением компьютерных технологий.

Тематика семинаров:

1. Правоустанавливающая документация.
2. Разрешительная документация.
3. Организационно-распорядительная документация.
4. Горно-графическая документация.
5. Отчетная документация.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

2.1 Общие положения

Цель самостоятельной работы при изучении курса – повышение эффективности изучения теоретической части дисциплины «Маркшейдерская документация» и полноценной работы на практических занятиях, а также получения навыков сбора и анализа информации печатных источников и специализированных сайтов Интернета.

Задачами самостоятельной работы являются систематизация и закрепление теоретических знаний, реализуемых методом практического моделирования процедур недропользования с выделением ситуативных аспектов, результатом которых является формирование комплектов маркшейдерской документации.

Тематические направления для самостоятельного изучения студентом приведены ниже.

Форма представления:

- эссе по тематике, предложенной преподавателем;
- вариантный опрос

2.2 Тематика курса «Маркшейдерская документация»

1. Техническая документация горного предприятия. Устав предприятия, ЕГРЮЛ, ОКВЭД. Правовой аспект маркшейдерской документации.
2. Правоустанавливающая документация. Лицензия на недропользование. Горный и земельный отводы. Акт о ликвидации или консервации горного предприятия.
3. Разрешительная документация. Технический проект. Проект производства маркшейдерских работ.
4. План развития горных работ
5. Организационно-распорядительная документация. Положение о маркшейдерской службе. Должностные инструкции работников маркшейдерской службы.
6. Горно-графическая маркшейдерская документация. Требования ИПМР к комплекту. Стандарты и регламенты.
7. Нормативные требования ведения полевых, вычислительных и сводных журналов и чертежей. Книга маркшейдерских указаний.
8. Отчетная документация. Формы Государственной статистической отчетности 5-ГР, 70-ТП, 71-ТП, 2-ТП (рекультивация).

9. Структура полного комплекта маркшейдерской документации. Процедуры согласования и утверждения. Условия архивации различных видов маркшейдерской документации

Ниже приводится перечень вопросов, предлагаемых к самостоятельному изучению обучающимися по материалам лекционных конспектов. Непонятые вопросы выносятся на следующее лекционное занятие в форме контрольного опроса и консультации (разъяснение). В целях лучшего усвоения лекционного материала обучающимся не рекомендуется оставлять невыясненные тематические вопросы до экзамена.

Тема 1: Техническая документация горного предприятия

- содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров.
- связь курса с дисциплиной «Рациональное использование и охрана недр».
- уставная и техническая документация горнодобывающего предприятия.
- государственная регистрация и классификация предприятия – недропользователя.
- правовое значение маркшейдерской документации.

Тема 2: Правоустанавливающая документация

- получение правоустанавливающей маркшейдерской документации предприятием – недропользователем (арендатором недр) посредством участия в установленных государством процедурах:
  - лицензирования (в органах МПР РФ),
  - оформление горного отвода (в органах Ростехнадзора),
  - получение земельного отвода (в органах местного самоуправления),
  - получение лицензии на производство МР (в органах Ростехнадора).
- состав материалов комплекта правоустанавливающей документации:
  - лицензия на пользование недрами,
  - горный и земельный отводы,
  - лицензия на производство маркшейдерских работ.
- процедурное оформление документов.

Тема 3: Разрешительная документация

- комплект технической документации, приобретающей статус разрешительной после её согласования в органах государственной исполнительной власти (Ростехнадзор, Росприроднадзор, Минприроды, Департаменты субъектов федерации по недропользованию) и утверждения первым руководителем предприятия.

- состав комплекта разрешительной документации:
технический проект,
план развития горных работ,
проект производства маркшейдерских работ.

- содержание, основные положения и оформление разрешительных документов.

- обязанности пользователя недр по соблюдению технических проектов, планов развития горных работ, недопущения сверхнормативных потерь, разубоживания и выборочной отработки полезных ископаемых.

Тема 4: План развития горных работ

- понятие о планировании.
- перспективное и текущее планирование.
- план развития горных работ как документ перспективного (годового) планирования, составленный маркшейдерской службой совместно с другими технологическими подразделениями предприятия, определяющий направление развития горных работ, объемы добычи полезных ископаемых, в том числе объемы вскрышных, горно-подготовительных и рекультивационных работ.
- основание для разработки годовых планов. Правовое условие для специализированных проектных организаций.
- технический проект – документальная основа планирования.
- состав планов развития горных работ: направления и объемы производства геологоразведочных работ, переработки и обогащения минерального сырья, нормативы эксплуатационных потерь, нормативы потерь полезных ископаемых при переработке и обогащении, мероприятия по охране недр и промышленной безопасности.
- оформление материалов планов, согласование и утверждение.

Тема 5: Организационно – распорядительная документация

- маркшейдерская служба – неотъемлемая и составная часть производственного контроля системы промышленной безопасности горнодобывающего предприятия.

- положение о маркшейдерской службе – документ, регламентирующий кадровый состав, должностные права и обязанности работников маркшейдерской службы.

- должностные инструкции работников маркшейдерской службы закрепляют функциональные обязанности, декларируют производственные полномочия в рамках обязанностей маркшейдерского контроля горнодобывающих предприятий.

- книга маркшейдерских указаний - основной документ по доведению до руководителей участков, цехов и других подразделений организации обязательных для исполнения указаний по вопросам маркшейдерского обеспечения горных работ, а также по устранению нарушений требований законодательства о недрах, промышленной безопасности, охране недр и окружающей природной среды, проектной и технологической документации, годовых планов развития горных работ (годовых программ работ).

Тема 6: Горно-графическая документация

- состав маркшейдерской горно-графической документации и её классификация по назначению и содержанию: первичная (поле, забой, промплощадка), вычислительная (все виды камеральных работ), графическую (маркшейдерские чертежи).

- маркшейдерская горно-графическая документация – комплект журналов первичных вычислений, инструментальных наблюдений, журналов камеральной обработки и сводных маркшейдерских материалов (книг, журналов, актов, протоколов, справок, форм статистических наблюдений). Требования регламентов и ГОСТов.

Тема 7: Нормативные требования к документации

- законодательные и нормативные требования к составу и содержанию комплекта маркшейдерской документации.

- назначение и порядок исполнения чертежей.

- маркшейдерские чертежи (планы, разрезы и профили).

- условные знаки и ГОСТы.

- классификация и масштабы по инструктивным требованиям и условиям.

- нормативные сроки пополнения.
- условия хранения и архивации.

Тема 8: Отчетная документация

- сущность и задачи отчетной маркшейдерской.
- основные принципы построения отчетных документов (актов и справок).
- правовые нормы и правила заполнения форм государственной статистической отчетности.
- выбор отчетных форм в зависимости от специфики добываемого минерального сырья.
- погашенные балансовые запасы.
- основное уравнение отчетной формы 5-ГР.
- система отчетных форм фактического извлечения полезных ископаемых из недр.
- оценка нормативных показателей извлечения из недр в статистически измеренных величинах фактических величин потерь.
- формы государственных статистических наблюдений: 5-ГР, 70-ТП, 71-ТП, 2-ТП (рекультивация), 2-ТП (водхоз). Содержание и правила заполнения форм.
- контроль и обобщение данных маркшейдерского учета.

Тема 9: Процедурные вопросы документации в государственной системе недропользования

- правовые вопросы необходимости долговременного существования и практического использования маркшейдерской документации в практике горного производства при различных организационно-правовых формах предприятий и формах собственности на недра.
- государственный контроль недропользования, реализуемый процедурами согласования и утверждения маркшейдерской документации. Ведомственный контроль горно-графической документации.
- экспертизы: промышленной безопасности, охраны недр, строительной, экологической при разработке и производственном внедрении разрешительной документации.
- наличие полного комплекта документации как показатель эффективности работы маркшейдерской службы.

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1.Закон РФ «О недрах» от 03.03.1995 № 27-ФЗ.
2. Положение о геолого-маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охране недр, РД
3. Правила охраны недр, ПБ 07-601-03.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

КортевН.В., Леонтьев А.Т., Самарин А.В.

ДОКУМЕНТАЦИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4
1 ЖУРНАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ……5
2 ТЕКСТОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ……11
2.1Общие требования……11
2.2 Порядок брошюровки работы……12
2.3 Требования к оформлению титульного листа……12
2.4 Требования к оформлению реферата……14
2.5 Требования к оформлению содержания……15
2.6 Требования к оформлению введения……15
2.7 Требования к оформлению основных разделов документа……16
2.7.1 Построение документа……16
2.7.2 Изложение текста документов……18
2.7.3 Требования к оформлению формул……20
2.7.4 Требования к оформлению примечаний……23
2.7.5 Требования к оформлению иллюстраций……24
2.7.6 Построение таблиц……24
2.8 Требования к оформлению заключения……28
2.9 Требования к оформлению списка литературы……28
2.10 Требования к оформлению приложений……30
3 ГОРНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ……32
3.1 Виды горно-графической документации……32
3.2 Комплектность горно-графических документов……32
3.3 Общие правила выполнения горных чертежей……33
3.3.1 Форматы……33
3.3.2 Масштабы……33
3.3.3 Линии, надписи, обозначения, таблицы……34
3.3.4 Нанесение размеров……37
3.3.5 Основные надписи……39
3.4 Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей..41
3.4.1 Виды маркшейдерско-геологических чертежей……41
3.4.2 Картограммы и схемы расположения планшетов……43
3.4.3 Рамки и поля чертежей……45
3.4.4 Сетка координат……49
3.5 Правила выполнения условных обозначений……51
3.6 Чертежные материалы, инструменты и принадлежности……55
3.6.1 Чертежная бумага и пластики……55
3.6.2 Тушь, краски……58
3.6.3 Чертежные инструменты и принадлежности……60
4 ХРАНЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ……65
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА……68

ВВЕДЕНИЕ

Маркшейдерская документация включает журналы измерений, вычислительную, текстовую и графическую документацию.

К оформлению различного вида маркшейдерских документов предъявляются определенные требования в соответствии с действующими межгосударственными и федеральными стандартами, инструкциями и положениями. Таких же требований следует придерживаться при составлении отчетной документации о выполнении маркшейдерских работ в учебных целях (отчетов по практикам и лабораторным работам, курсовых проектов, рефератов, выпускных квалификационных работ и т.п.).

Данное учебное пособие содержит сведения о правилах оформления различных маркшейдерских документов, в основу которых положены требования межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 "Общие требования к текстовым документам", ГОСТ 2.850 (851, 852, 853, 854, 855, 856, 857) – 75 "Горная графическая документация", Инструкции по производству маркшейдерских работ.

1 ЖУРНАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

При выполнении работ, связанных с производством маркшейдерско-геодезических измерений, следует использовать специальные журналы измерений. Форма журналов должна соответствовать виду выполняемой работы.

При работах, на земной поверхности и открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых используются журналы:

- угловых и линейных измерений в полигонометрических ходах;
- геометрического нивелирования;
- технического нивелирования;
- угловых и линейных измерений при определении пунктов съемочной сети;
- угловых и линейных измерений в теодолитных ходах;
- съемки (мензульной, тахеометрической, стереофотограмметрической, ординатной) поверхности карьеров, складов полезного ископаемого;
- разбивочных работ;
- нивелирования транспортных путей;
- измерений по проверке соотношений геометрических элементов горнотранспортного оборудования.

При подземном способе разработки месторождений полезных ископаемых, кроме необходимых журналов из числа вышеперечисленных:

- измерений при ориентировании подземных маркшейдерских опорных сетей;
- передачи высот от реперов на земной поверхности к пунктам подземной маркшейдерской опорной сети;
- угловых и линейных измерений в подземных опорных и съемочных сетях;
- технического нивелирования;

- съемки стенок и армировки шахтных стволов;
- замеров горных выработок;
- проверки соотношений геометрических элементов подъемных установок.

При строительстве горного предприятия (кроме необходимых журналов из числа приведенных):

- определение пунктов разбивочной сети;
- проходки вертикальных шахтных стволов;
- армирования шахтных стволов;
- съемки замораживающих скважин.

Типовые формы журналов представлены на рисунках 1.1 – 1.3.

Рисунок 1.1

Рисунок 1.2

Рисунок 1.3

Основные правила ведения журналов следующие.

- Каждому журналу присваивается номер.
- Страницы журнала нумеруются, на последней странице указывается общее количество страниц.
- Записи в журналах должны быть четкими. Рекомендуемое написание цифр представлено на рисунке 1.4. Размер цифр задается высотой единицы (шириной строки). Все остальные цифры пишутся на 1/3 больше единицы. При этом четные цифры выступают на 1/3 строки вверх, а нечетные на 1/3 вниз.

Рисунок 1.4 – Написание цифр

- Ошибочные результаты зачеркивают, а повторные записывают в новых строках.
- Указывается дата и место измерений.
- Указывается тип и номер измерительного прибора.
- Указывается фамилия исполнителей.

Вычислительная документация включает журналы и ведомости для обработки результатов полевых измерений и решения различных инженерных задач.

При работах на земной поверхности и открытом способе добычи полезных ископаемых маркшейдерская вычислительная документация горного предприятия включает журналы (каталоги):

- вычисления длин сторон полигонометрических ходов;
- вычисления и уравнивания полигонометрических ходов;
- уравнивания нивелирных ходов и вычисления высот пунктов маркшейдерской опорной сети;
- подсчета объемов полезного ископаемого на складах;
- подсчета объемов выемки горной массы и полезного ископаемого;
- вычисления координат и высот пунктов маркшейдерской съемочной сети;
- подсчета объемов перемещения почв и горных пород при рекультивации земель;
- каталог координат и высот пунктов маркшейдерской опорной съемочной сети;
- каталог координат и высот устьев разведочных и технических скважин.

При подземном способе разработки месторождения полезных ископаемых маркшейдерская вычислительная документация, кроме необходимой документации из числа вышеприведенной, содержит журналы:

- вычисления ориентирования и центрирования подземной маркшейдерской опорной сети и передачи высот;
- вычисления длин сторон подземных полигонометрических ходов;
- вычисления координат пунктов подземных маркшейдерских опорных и съемочных сетей (отдельно по опорным и съемочным сетям);
- вычисления высот пунктов, определенных тригонометрическим нивелированием;

- вычисления высот пунктов, определенных геометрическим нивелированием;
- учета горных работ (прохождения очистных забоев, объемов выработанного пространства, добычи полезного ископаемого).

Основным требованием ведения вычислительной документации является четкость и однозначность, т.е. должна полностью исключаться возможность двойного толкования записанных результатов.

При оформлении вычислительных документов необходимо указывать источники исходных данных. Вычислительная документация должна быть подписана исполнителем работ и проверяющим.

Образец оформления вычислительной документации приведен на рисунке 1.5.

Рисунок 1.5

2 ТЕКСТОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Маркшейдерская документация, такая как пояснительные записи к планам развития горных работ, отчеты по выполненным научно-исследовательским или производственным работам, должна оформляться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к текстовым документам.

2.1 Общие требования

Подлинники текстовых документов выполняют одним из следующих способов:

- рукописным - с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать четко черной тушью, пастой;

- машинописным, при этом шрифт пишущей машинки должен быть четким, высотой не менее 2,5 мм, лента только черного цвета (полужирная);

- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ.

Копии документов выполняют одним из следующих способом:

- типографским;

- ксерокопированием;

- светокопированием.

Вписывать в текстовые документы, изготовленные машинописным способом, отдельные слова, формулы, условные знаки рукописным способом, а также выполнять иллюстрации следует черными чернилами, пастой пли тушью.

Текстовые документы как правило оформляются на одной стороне листа белой бумаги формата А 4. Для формата А 4 следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

Абзацы в тексте начинают отступом, равным пяти ударам пишущей машинки (15—17 мм).

Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного

текста машинописным способом или черными чернилами, пастой или тушью рукописным способом.

Повреждения листов текстовых документов, помарки и следы не полностью удаленного прежнего текста (графики) не допускаются.

После внесения исправлений документ должен удовлетворять требованиям ксерокопирования.

Нумерация страниц документа и приложений, входящих в состав этого документа, должна быть сквозная. Номера страниц следует проставлять внизу под линией правого поля с отступом на 15 мм от нижнего края листа.

Нумерация страниц до раздела "Содержание" включительно ведется римскими цифрами, остальных страниц документа – арабскими (начиная с цифры 1).

2.2 Порядок брошюровки работы

Работа брошюруется в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание на проектирование (если есть);
- реферат;
- содержание;
- введение;
-основные разделы;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

2.3 Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом документа. Титульный лист выполняют на листах формата А4 по следующей форме (рис. 2.1):

МИНОБР РОССИИ
поле 1

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»
поле 2

Кафедра маркшейдерского дела
поле 3

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.В.Жабко
"___"_____2019 г.
поле 4

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВОСТОЧНОГО БОРТА КОРКИНСКОГО РАЗРЕЗА

поле 5

Выпускная квалификационная работа
поле 6

Исполнитель
Петров И.Л.
МД – 97 – 1

Руководитель
д-р техн. наук
Туринцев Ю.И.

поле 7

Екатеринбург
2019
поле 8

Рисунок 2.1 – Образец титульного листа

поле 1 — наименование министерства;

поле 2 — полное наименование вуза;

поле 3 – наименование факультета (кафедры);

поле 4 – в левой части (поле согласования) – не заполняется, в правой части (поле утверждения) — УТВЕРЖДАЮ, Ф.И.О. с указанием ученого звания и ученой степени заведующего кафедрой;

поле 5 — наименование (строчными буквами) работы;

поле 6 – вид работы;

поле 7 - в левой части - шифр учебной группы , Ф.И.О., подпись разработчика документа;

поле 7 – в правой части -Ф.И.О. с указанием ученого звания и ученой степени руководителя работы;

поле 8 - город – год.

2.4 Требования к оформлению реферата

Слово "РЕФЕРАТ" записывают прописными буквами симметрично тексту.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример реферата.

Р Е Ф Е Р А Т

Отчет об учебной маркшейдерской практике 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

ШАХТА, ПОЛИГОН, ИЗМЕРЕНИЯ, ОРИЕНТИРНО-СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА, КООРДИНАТЫ.

Целью работы являлось закрепление теоретических знаний по методике выполнения маркшейдерских работ путем выполнения комплекса маркшейдерских работ на поверхности и на горизонте 262 м шахты "Южная" ОАО "Березовский рудник".

Работы включали полевые маркшейдерско-геодезические измерения и камеральную обработку полученных результатов.

В результате работы приобретены практические навыки выполнения различных видов маркшейдерских работ.

2.5 Требования к оформлению содержания

Содержание документа включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и номера страниц.

Слово "СОДЕРЖАНИЕ" записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами.

2.6 Требования к оформлению введения

Слово "ВВЕДЕНИЕ" записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Введение должно содержать:

- основание для выполнения работы;
- исходные данные;
- цели и задачи работы.

Раздел "ВВЕДЕНИЕ" не нумеруется.

2.7 Требования к оформлению основных разделов документа

2.7.1 Построение документа

Текст документа при необходимости разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пример нумерации разделов работы:

1 Геологическая характеристика месторождения

1.1 Геологическое строение

1.2 Тектоника } ***Нумерация подразделов***

1.3 Гидрогеологические условия ***первого раздела документа***

2 Технология разработки месторождения

2.1 Система разработки

2.2 Горное оборудование

2.2.1 Буровые станки } ***Нумерация пунктов второго***

2.2.2 Погрузочное оборудование ***подраздела второго раздела***

2.2.3 Транспортное оборудование

3 Маркшейдерские работы при разработке месторождения

3.1 Опорные и съемочные сети

3.2 Методика выполнения маркшейдерских работ

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: ***2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.2.1.3 и т.д.***

Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис, а при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений, строчную букву, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

Пример.

а)_____

1)_____

2)_____

в) _____

1)_____

2)_____

Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом при выполнении документа машинописным способом должно быть равно 3, 4 интервалам, при выполнении

рукописным способом — 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела—2 интервала, при выполнении рукописным способом— 8 мм.

Каждый раздел текстового документа рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

2.7.2 Изложение текста документов

Текст документа должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных требовании в тексте должны применяться слова “должен”, “следует”, “необходимо”, “требуется, чтобы”, “разрешается только”, “не допускается”, “запрещается”, “не следует”. При изложении других положений следует применять слова - “могут быть”, “как правило”, “при необходимости”, “может быть”, “в случае” и т.п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста документа, например “применяют”, “указывают” и т. п.

В документах должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

Если в документе принята специфическая терминология, то в конце ее (перед списком литературы) должен быть перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Перечень включают в содержание документа.

В тексте документа не допускается:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

- применять произвольные словообразования;

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской

орфографии, соответствующими государственными стандартами;

- 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 документа, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается:

- применять математический знак минус (-) перед (отрицательными значениями величин (следует писать слово “минус”);

- применять знак “∅” для обозначения диаметра (следует писать слово диаметр”). При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте документа, перед размерным числом следует писать знак “∅”;

- применять без числовых значений математические знаки, например > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≤ (меньше или равно), ≠ (неравно), а также знаки № (номер), % (процент).

Если в документе приводятся поясняющие надписи, наносимые непосредственно на изготовляемое изделие (например, на планки, таблички к элементам управления и т. п.), их выделяют шрифтом (без кавычек), например ВКЛ., ОТКЛ., или кавычками - если надпись состоит из цифр и (или) знаков.

Наименования команд, режимов, сигналов и т.п. в тексте следует выделять кавычками, например, ***“Сигнал + 27 включено”***.

Перечень допускаемых сокращений слов установлен ГОСТ 2.316 и ГОСТ 2.853-75. Если в документе принята особая система сокращения слов или наименований, то в нем должен быть приведен перечень принятых сокращений, который помещают в конце документа перед перечнем терминов.

Условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах. В тексте документа перед обозначением параметра дают его пояснение, например “Средняя квадратическая

погрешность σ”.

При необходимости применения условных обозначений, изображений или знаков, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

В документе следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417,

Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению. Применение в одном документе разных систем обозначения физических величин не допускается.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти — словами.

Примеры.

1) Провести измерения длины семи линий с точность до 5 мм.

2) Отобрать 15 проб для испытаний на прочность.

Единица физической величины одного и того же параметра в пределах одного документа должка быть постоянной. Если в тексте приводится ряд числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения, например ***1,50; 1,75; 2,00 м***.

Если в тексте документа приводят диапазон числовых значений физической величины, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона.

Примеры.

1 От 1 до 5 мм.

2 От 10 до 100 кг.

3 От плюс 10 до минус 40 °С.

4 От плюс 10 до плюс 40 °С.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы), кроме единиц физических величин, помещаемых в таблицах, выполненных машинописным способом.

Приводя наибольшие или наименьшие значения величин следует применять словосочетание “должно быть не более (не менее)”.

Приводя допустимые значения отклонений от указанных норм, требований следует применять словосочетание “не должно быть более (менее)”.

Например, ***содержание полезного компонента должно быть не менее 14 %.***

Числовые значения величин в тексте следует указывать со степенью точности, которая необходима для обеспечения требований нормативных документов, при этом в ряду величин осуществляется выравнивание числа знаков после запятой.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т.д. десятичного знака для величин одного наименования должно быть одинаковым. Например***, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например 10,50; 15,75; 20,00.***

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}$).

При невозможности выразить числовое значение в виде десятичной дроби, допускается записывать его в виде простой дроби в одну строчку через косую черту, например, ***5/32***.

2.7.3 Требования к оформлению формул

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова “где” без двоеточия после него.

Пример — ***Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле***

$$\sigma = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг;

V – объём образца, м^3.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операции, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак “×”.

В документах, издаваемых нетипографским способом, формулы могут быть выполнены машинописным, машинным способами или чертежным шрифтом высотой не менее 2,5 мм. Применение машинописных и рукописных символов в одной формуле не допускается.

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают — (1).

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках,

например,

... в формуле (1), (1.1), (1.1.1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например ***формула (В.1).***

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например ***(3.1).***

Порядок изложения в документах математических уравнений такой же, как и формул.

2.7.4 Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят в документах, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания не должны содержать требований.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова “Примечание” ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

Пример.

Примечание -

Данные приведены на 1999 г.

Примечания

1_____

2_____

2.7.5 Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту документа (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и СПДС. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается ***"Рисунок 1"*** или - ***"Рисунок 1- Схема полигона"***.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например - ***Рисунок А.3***.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например - ***Рисунок 1.1***.

При ссылках на иллюстрации следует писать "... в соответствии с рисунком 2" при сквозной нумерации и "... в соответствии с рисунком 1.2" при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово "Рисунок" с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования - в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например –***" Рисунок 1 — Схема полигона".***

2.7.6 Построение таблиц

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей.

Название таблицы, при его наличии, печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на два интервала. Например - ***Таблица 1 - Сводные данные***.

При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена “Таблица 1” или “Таблица В.1”, если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово “таблица” с указанием ее номера.

Например: заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф — со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет

пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, в приложении к документу. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Таблицы с небольшим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть рядом с другой на одной странице, при этом повторяют колонку таблицы. Рекомендуется разделять части таблицы двойной линией или линией двойной толщины.

Графу “Номер по порядку” в таблицу включать не допускается. Нумерация граф арабскими цифрами допускается и тех случаях, когда в тексте документа имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

При необходимости нумерация показателей, параметров или других данных порядковые номера следует указывать в первой графе (боковике) таблицы непосредственно перед их наименованием. Перед числовыми

значениями величин и обозначением типов, марок и т.п. порядковые номера не проставляют.

Если все показатели приведенные в графах таблицы, выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части — над каждой ее частью в соответствии с приложением.

Если в большинстве граф таблицы приведены показатели, выраженные и одних и тех же единицах физических величин (например, в миллиметрах, вольтах), но имеются графы с показателями, выраженными в других единицах физических величин, то над таблицей следует писать наименование преобладающего показателя и обозначение его физической величины, например, ***“Размеры в миллиметрах”, “Напряжение в вольтах”***, а в подзаголовках остальных граф приводить наименование показателей и (или) обозначения других единиц физических величин.

Для сокращения текста заголовков и подзаголовков граф отдельные понятия заменяют буквенными обозначениями, установленными ГОСТ 2.321, или другими обозначениями, если они пояснены в тексте или приведены на иллюстрациях, например ***D — диаметр, H — высота, L — длина***.

Показатели с одним и тем же буквенным обозначением группируют последовательно в порядке возрастания индексов.

Ограничительные слова “более”, “не более”, “менее”, “не менее” и др. должны быть помещены в одной строке или графе таблицы с наименованием соответствующего показателя после обозначения его единицы физической величины, если они относятся ко всей строке или графе. При этом после наименования показателя перед ограничительными словами ставится запятая.

Пример оформления таблицы

Таблица 2.5 - Значения коэффициента $к_т$

Средняя скорость подвигания очистного забоя С, м/мес	**Глубина горных работ Н, м**		
	до 100	**до 300**	**≥ 500**
20	**1,5**	**1,2**	**1,1**

60	**1,8**	**1,5**	**1,3**
до150	**2,0**	**1,5**	**1,5**

Примечание: промежуточные значения определяются интерполяцией

2.8 Требования к оформлению заключения

Слово "ЗАКЛЮЧЕНИЕ" записывают симметрично тексту прописными буквами.

Заключение должно содержать краткое изложение результатов работы.

Раздел "ЗАКЛЮЧЕНИЕ" не нумеруется.

2.9 Требования к оформлению списка литературы

В конце текстового документа в разделе “Список литературы” следует приводить перечень литературы, которая была использована при составлении документа. Список литературы и ссылки на него в тексте выполняются по ГОСТ 7.1-76.

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т.д., материал которых использован при составлении документа. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка состоит из следующих элементов:

- заголовка описания - фамилия, инициалы автора (авторов);

- основного заглавия - название издания (книги, статьи и т.п.);

- места издания - название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М, Ленинград - Л., Санкт-Петербург - СПб.;

- издательства - наименование издательства приводят, как правило,

в сокращенной форме - Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

- года издания - обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографических ссылок:

Книга, имеющая более трех авторов и общего научного редактора

Теория тепломассообмена / С. И. Исаев, И. А. Кожинов, В. И. Кофанов и др.; Под ред. А. И. Леонтьева. - М.: Высш. школа, 1979. - 495с.

Отдельный том (или часть) из двухтомного справочника

Палей М. А., Романов А. Б., Братинский В. А. Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч. Ч. 1. - Л.: Политехника, 1991. - 576с.

Методическое пособие (разработка, указания), изданное в ВУЗе

Расчет подшипников качения: Методические указания по курсу "Детали машин" / Н. В. Шабалин; Свердловский горный ин-т им. В. В. Вахрушева. - Свердловск, 1988. - 40с.

Стандарт

ГОСТ 7.32-91 (ИСО 5966-82). Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. - М.: Изд-во стандартов, 1991. -18с.

Авторское свидетельство

А. с. 1007970 СССР, МКИ^3 В 25 ; 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин. -Опубл. 30.03.83, Бюл. №12. - 2с. .

Изобретение, запатентованное в нашей стране

Пат. 1007559 СССР, МКИ^3 Р 02 М 35/10. Впускной трубопровод для двигателей внутреннего сгорания / М. Урбинати, А. Маннини (Италия) -Опубл. 23.03.83, Бюл. №11.- 5с.

Иностранный патент

Пат. 4050242 США, МКИ^3 F 02 С 3/06. Miltiple bypass/ D.J. Dusa (США). - Опубл. 27.09.77, НКИ 60-204. - 3с.

Промышленный каталог

Центробежные консольные насосы с осевым входом для воды типов К и КМ: Каталог / ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. - М., 1985. - 20с.

Отчет о научно-исследовательской работе

Проведение испытаний и исследований теплотехнических свойств камеры КХС-2-12-ВЗ: Отчет о НИР / Всесоюз. заоч. ин-т. пишев. пром-сти (ВЗИПП); Руководитель В. М. Шавра. - ОЦО 102ТЗ; №ГР 80057138; инв. №Б119699.-М., 1981.-90с.

Диссертация

Натепров В. И. Исследование газовых пищеварочных котлов с непосредственным обогревом: Дис. ... канд. техн. наук. - М., 1969. - 133с.

Автореферат диссертации

Москвина С. И. Пути экономии металла за счет снижения потерь от коррозии в сфере обращения: Автореф. дис.... канд. экон. наук. - М., 1983. -24с.

Дипломный проект

Универсальный лабораторный стенд по курсу "Гидравлика и гидравлические машины": Дипломный проект / Немытов В. Н.; СИНХ. Кафедра МАПП. - Свердловск, 1989. -119с.

Статья из журнала

Кокурин В., Королева Н., Демидюк А. Проект базовой столовой на 500 мест для промпредприятия // Общественное питание. - 1983. - №2. - с. 28-29.

Статья из газеты

Подойницына О. Салат со стихами // Вечерний Екатеринбург. - 1995. -24 марта.

Статья из сборника научных работ

Луценко С. Д. Гибкие нагреватели для пищеварочных котлов // Процессы и аппараты пищевых производств: Межвузовский сборник / МИНХ им. Г. В. Плеханова. - М., 1985. - с. 124-128.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него) проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке и, в необходимых случаях, страницы, например:

[*18, т. I, с.75*]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[***Николаев И.Н., 1965***]

При необходимости сделать ссылки на стандарты, технические условия, инструкции и другие подобные документы ссылаются на документ в целом или его разделы с указанием обозначения и наименования документа, номера и

наименования раздела. Ссылки на отдельные подразделы, пункты и иллюстрации не допускаются. Список литературы включают в содержание документа.

2.10 Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть: графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ и т.д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Степень обязательности приложений при ссылках не указывается. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова “Приложение” и его обозначения, а под ним в скобах для обязательного приложения пишут слово “обязательное”, а для информационного — “рекомендуемое” или “справочное”.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова “Приложение” следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в документе одно приложение, оно обозначается “Приложение А”.

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4.

Допускается оформлять приложения на листах формата, А4×3, А4×4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

3 ГОРНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

3.1 Виды горно-графической документации

Горно-графические документы подразделяются на два вида: Маркшейдерско-геологические документы и Эксплуатационно-технологические документы.

Маркшейдерско-геологические документы – это документы, выполненные на стадиях детальной разведки, строительства и разработки месторождения, составляемые по результатам натурных измерений и вычислений, отражающие рельеф и ситуацию земной поверхности территории экономической заинтересованности горного предприятия, геологические условия залегания месторождения твердого полезного ископаемого, пространственное положение и конфигурацию горных выработок, технологию разработки месторождения, качественную и количественную характеристику полезного ископаемого.

Эксплуатационно-технологические документы отражают: ведение горных работ; состояние проветривания горных выработок и пылегазового режима, рудничного транспорта и подъема, электротехнического хозяйства, рудничного освещения; предупреждение и тушение рудничных пожаров;

предотвращение затоплений действующих выработок, внезапных выбросов угля и газа, горных ударов; санитарные правила и т.д.

3.2 Комплектность горно-графических документов

Комплектность горно-графических документов регламентируется ГОСТ 2.850 – 75 и включает в себя набор маркшейдерско-геологических и эксплуатационно-технологических документов.

В свою очередь оба эти комплекта документов содержат большой набор конкретных планов, картограмм, разрезов, профилей, отражающих рельеф и ситуацию земной поверхности конкретного горного предприятия, характеристику геологической и гидрогеологической ситуации месторождения, границ и запасов поля горного предприятия, а так же комплект документов выработок горных предприятий, учитывающих конкретный способ разработки месторождения (подземный, открытый). Необходимый набор комплекта документов для каждого типа горного предприятия приведены в табл. 2, 3, 4, 5 ГОСТ 2.850 – 75.

3.3 Общие правила выполнения горных чертежей

Общие правила выполнения горных чертежей регламентируются и выполняются в соответствии с ГОСТ 2.851 – 75. Данный стандарт устанавливает общие правила выполнения чертежей горной графической документации всех отраслей промышленности, ведущих разработку месторождений твердых полезных ископаемых, независимо от формы собственности.

Стандарт не распространяется на планы земной поверхности горных предприятий, выполняемые по техническим требованиям ГУГК.

3.3.1 Форматы

Форматы горных чертежей, за исключением маркшейдерских планшетов выполняются на листах чертежной бумаги стандартных размеров согласно

ГОСТ 2.301.-68 Форматы. Предпочтение отдается основным форматам А1 и А4. Дополнительные форматы используются в случае необходимости.

Чертежи профилей рельсовых путей в подземных горных выработках и продольные профили коммуникаций на земной поверхности и на открытых разработках следует выполнять на формате с размерами 210 х 594 мм.

3.3.2 Масштабы

Масштабы изображений на горных чертежах должны выбираться из следующего ряда: 1:5; 1:10; 1:20; 1:50; 1:100; 1:200; 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000; 1:25000.

Разрезы, сечения, профили допускается выполнять в разных масштабах в горизонтальном и вертикальном направлениях. В таких случаях указывается вверху масштаб горизонтальный, а под ним – вертикальный.

Масштаб изображения на чертеже, отличающийся от указанного в основной или титульной (для Маркшейдерско-геологических чертежей) надписи, следует указывать непосредственно под надписью, относящейся к изображению, например:

$$\frac{Вид А}{1:500};\quad \frac{1}{1:100};\quad \frac{Профиль\ пути\ откаточного\ штрека}{\begin{matrix}1:2000\\ 1:200\end{matrix}}$$

На маркшейдерско-геологических чертежах масштаб следует указывать под титульной подписью.

3.3.3 Линии, надписи, обозначения, таблицы

Начертания и основные назначения линий, кроме маркшейдерско-геологических чертежей выполняется согласно ГОСТ 2.303-68 и табл. 1 ГОСТ 2.851-75.

На маркшейдерско-геологических чертежах допускается толщина сплошной основной линии от 0,1 до 0,8 мм. На чертежах, применяемых в качестве технических плакатов, допускается увеличивать толщину линий по

сравнению с указанными в ГОСТ 2.303-68. Примеры применения линий показаны на рисунках 3.1 –3.4.

В случаях, когда на горных чертежах, кроме фактических контуров горных выработок, указывают и проектные контуры, то их следует выделять линиями того же типа, но меньшей толщины.

В этом случае допускается выделять проектные контуры цветом.

Надписи, условные и цифровые обозначения на горных чертежах выполняются в соответствии с ГОСТ 2.304-81. Надписи на топографических планах поверхности должны выполняться шрифтами, принятыми в условных знаках ГУГК.

Названия изображаемых объектов следует указывать полностью, если места для написания полного названия недостаточно, то допускается название сокращать в соответствии с ГОСТ 2.853-75.

Рисунок 3.1

Рисунок 3.2 Рисунок 3.3

Рисунок 3.4

Надписи на горных чертежах, кроме маркшейдерско-геологических, следует располагать параллельно основной надписи – в контуре изображения, над ним или слева от него на линии – выноске (рисунок 3.5). Название или пояснительные надписи вытянутых объектов следует выполнять внутри изображения или над ним параллельно продольной оси (рисунок 3.6). Цифровые данные, поясняющие изображаемых объект, следует наносить справа от изображения (см. рисунок 3.1, 3.2, 3.3).

Рисунок 3.5

Рисунок 3.6

Надписи на геолого-маркшейдерских чертежах и условных обозначениях следует выполнять шрифтами по ГОСТ 2.853-75.

Значения горизонталей, изогибс и других изолиний наносят в разрывах, при этом цифры основаниями должны быть направлены в сторону уклона (рисунок 3.7).

Рисунок 3.7

Разрезы, сечения, профили на горных чертежах обозначаются по ГОСТ 2.305.-68. Допускается сечение, разрез, профиль сопровождать надписями, например: «Профиль рельсового пути откаточного штрека», «Геологический разрез», «Разрез в крест простирания».

Текстовую часть, помещаемую на поле чертежа, следует располагать над основной надписью (штампом) или оформлять в виде таблиц. Таблицы (подсчета объема горных выработок, подсчета объема и расхода материалов и т.д.) следует размещать на свободном месте поля чертежа справа от изображения или ниже его и выполнять по ГОСТ 2. 205.- 68 (рисунок 3.8). Если на поле чертежа размещены одна или несколько разных таблиц, то допускается их не нумеровать и слово «Таблица» не писать. Тематический заголовок следует размещать над таблицей. При переносе таблицы следует повторить

головку таблицы и указать слово «Продолжение». Перенос таблицы следует выполнять справа на лево.

Таблица 4.1. – Подсчет объемов работ и расхода материалов

Рисунок 3.8

3.3.4 Нанесение размеров

Правила нанесения размеров на горных чертежах должны соответствовать ГОСТ 2.307. – 68 и ГОСТ 2.851. – 75.

Линейные размеры на горных чертежах следует указывать в миллиметрах (рисунок 3.9). Кроме чертежей, на которых изображают большие площади и протяженные объекты, например: чертежи шахтных полей, чертежи систем разработки, схемы вскрытия, погоризонтные планы, планы горных работ, чертежи транспортных и энергетических коммуникаций, чертежи всех видов по открытым разработкам, чертежи целиков и т.д. На таких чертежах все линейные размеры следует приводить в метрах, не указывая единицы измерения (рисунок 3.10).

Рисунок 3.9

Рисунок 3.10

Высотные отметки следует указывать в метрах с точностью до сотых долей. Отчетный уровень принимается за «нулевой» и обозначается цифрой «0». Отметки уровня ниже отсчетного следует указывать со знаком « - » (минус), выше отсчетного – со знаком «+» (плюс).

3.3.5 Основные надписи

Каждый лист горного чертежа должен иметь основную надпись (угловой штамп). На маркшейдерско-геологических чертежах допускается основную надпись не помещать. Маркшейдерско-геологические чертежи должны иметь титульную надпись (раздел 3.4).

Основную надпись следует располагать в нижнем правом углу чертежа. Над основной надписью каждого листа или слева от нее следует оставлять свободное поле (около 50 мм) для указаний о применении, снятии копии, дубликата, замены и т.д.

Содержание, расположение и размеры граф основной надписи для производственно-технических чертежей должны соответствовать приведенным на рисунке 3.11.

Рисунок 3.11

В графах основной надписи (номера граф на чертеже показаны в скобках) следует указывать:

в графе 1 – наименование чертежа;

в графе 2 – наименование вышестоящей организации, которой подчиняется предприятие (министерство, главк, комбинат);

в графе 3 – конкретное содержание чертежа;

в графе 4 – обозначение чертежа (индекс, шифр, номер);

в графе 5 – наименование горного предприятия (шахта, рудник, карьер), выпускающего чертеж;

в графе 6 — сокращенное наименование отдела, разработавшего чертеж;

в графе 7—масштаб;

в графе 8—порядковый номер листа данного чертежа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);

в графе 9 — общее количество листов данного чертежа (графу заполняют только на первом листе);

в графе 10 — должности лиц, участвующих в выпуске чертежа;

в графе 11 — фамилию лица, подписывающего чертеж;

в графе 12 — подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 10;

в графе 13—дату подписания чертежа;

в графах 14—18 — отметки об изменении чертежа, заполняют их в соответствии с требованиями ГОСТ 2.503-74;

в графе 19—обозначение чертежа, повернутое на 180°;

в графе 20 — подпись лица, копировавшего чертеж;

в графе 21 — обозначение формата листа по ГОСТ 2.301—68.

Пример заполнения основной надписи приведен на рисунке 3.12.

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">Минобразования
РФ</td><td colspan="2">090100.00
ДП</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Должность</td><td>Фамилия</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td rowspan="6">Создание опорного
обоснования
на карьере “Уралруда”</td><td>Отдел</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td>Студент</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">ГТФ
Каф. МД</td><td rowspan="3">1:100</td></tr>
<tr><td>Руковод.</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Консульт.</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Н. контр.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Зав. каф.</td><td></td><td></td><td></td><td>Лист 1</td><td>Листов 1</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3"></td><td colspan="2" rowspan="3">УГГГА</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Рисунок 3.12

3.4 Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей

3.4.1 Виды маркшейдерско-геологических чертежей

Маркшейдерско-геологические чертежи в зависимости от назначения разделяют на исходные и производные. Исходные чертежи следует составлять непосредственно по результатам измерений, и они должны служить основой для составления всех маркшейдерско-геологических чертежей. Производные чертежи следует составлять на копиях исходных чертежей, дополняя их специальным содержанием в соответствии с назначением чертежа. Исходные чертежи следует составлять на стандартных планшетах. Размеры планшетов с учетом полей: 440 х 460 мм — в масштабе 1 : 5000; 540 х 560 мм — в масштабах 1 : 500—1: 2000.

Перечень исходных чертежей, составляемых на планшетах, и масштабов, должен соответствовать приведенному в таблице 3.1.

Ошибки при составлении исходных чертежей не должны превышать значений, указанных в таблице 3.2.

Исходные чертежи следует выполнять на чертежной бумаге высшего качества ручного или машинного отлива, наклеенной на жесткую или мягкую основу для обеспечения длительного срока службы и хранения, и на недеформирующихся прозрачных синтетических материалах — пленках.

Исходные чертежи должны храниться в горизонтальном или вертикальном положении. Свертывать исходные чертежи запрещается.

Производные чертежи рекомендуется выполнять на прозрачных синтетических материалах, бумажной натуральной кальке, светочувствительной позитивной, диазотипной бумаге и бумажной светочувствительной диазотипной кальке.

Производные чертежи разрешается свертывать и складывать на формат 11 или 12 по ГОСТ 2.301—68.

Таблица 3.1.

Название чертежей	Масштаб (один из указанных)	Примечание

План промышленной площадки	1:500; 1 :1000	
Подземный способ разработки		
План горных выработок по пласту, пластообразной залежи и россыпи	1:1000; 1:2000	Пласты, пластообразные залежи и россыпи зависимо от угла падения и мощности
План горных выработок по каждому слою (при выемке слоями, параллельными напластованию)	1:1000; 1:2000	Мощные пласты
Проекция горных выработок на вертикальную плоскость	1:1000; 1:2000	Пласты, пластообразные залежи, жилы, линзы с углами падения 60° и более
Разрезы вкрест простирания, приуроченные к основным вскрывающим выработкам	1:1000; 1:2000	Пласты, пластообразные залежи, россыпи, жилы, линзы, мощные рудные тела
План горных выработок по основным горизонтам горных работ	1:1000; 1:2000; 1:5000	Свита пластов крутого падения, мощные рудные залежи и жилы
Открытый способ разработки		
План горных выработок по горизонтам горных работ	1:500; 1:1000; 1:2000	Карьеры
План горных выработок полигонов	1:2000	Прииски
Разрезы, приуроченные к разведочным линиям	1:500, 1:1000;1:2000	Карьеры и прииски
Картограммы расположения планшетов, съемки земной поверхности и горных выработок	1:5000; 1:10000; 1:25000	Карьеры и прииски

Примечание –

При протяженности изображаемого объекта не более 1 км допускается составлять перечисленные исходные чертежи на листах форматов по ГОСТ 2.301—68. В этом случае координатная сетка по отношению к рамке чертежа может быть расположена с учетом наилучшего размещения изображаемого объекта.

Таблица 3.2

Название ошибок	Допустимая величина ошибки, мм
Ошибка взаимного положения точек пересечения линий сетки	± 0,2

координат	
Ошибка положения пунктов опорной и съемочной сетки по отношению к линиям сетки координат	± 0,4
Ошибка взаимного положения ближайших друг к другу пунктов опорной и съемочной сети	± 0,6
Ошибка положения четких контуров по отношению ближайшим пунктам опорной и съемочной сети	± 0,6
Ошибка взаимного положения ближайших точек четких контуров	± 0,8

3.4.2 Картограммы и схемы расположения планшетов

Чертежи горных выработок при открытом и подземном способах разработки месторождений для участков менее 20 км^2 составляют на квадратных планшетах, размеры которых указаны в п. 3.4.1. Исходным форматом для разделения на планшеты принимают лист в масштабе 1:5000, охватывающий площадь 2х2 км. Разделение листа в масштабе 1 :5000 на планшеты в масштабах 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 и составление их номенклатур показаны на рисунке 3.13.

Картограммы расположения планшетов карт и планов следует составлять для всей территории экономической заинтересованности горного предприятия, тел полезных ископаемых и горизонтов горных работ в целом; картограммы расположения планшетов с разрезами и проекциями на вертикальную плоскость следует составлять от земной поверхности до нижнего проектного горизонта горных работ.

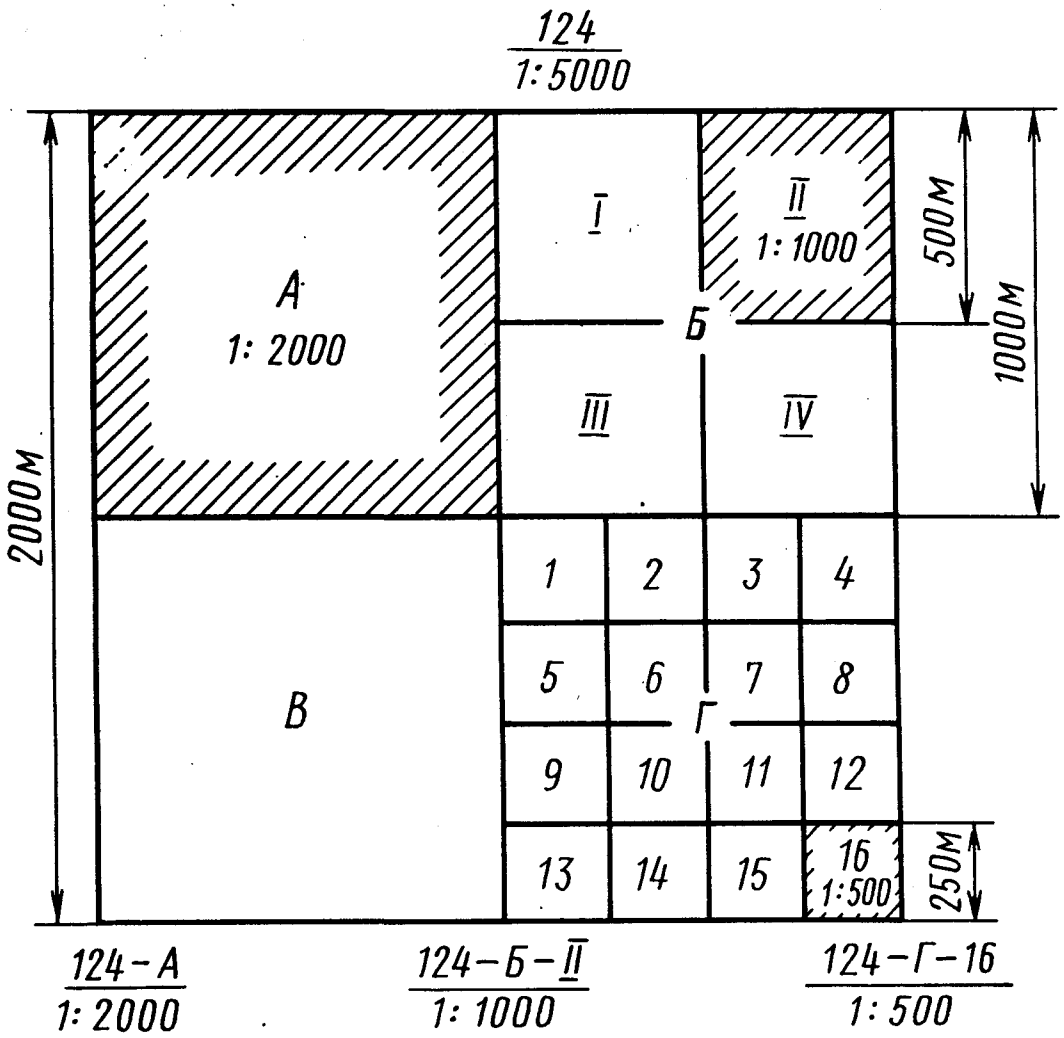


Рисунок 3.13

Каждую картограмму расположения планшетов чертежей одного и того же названия и масштаба следует составлять на отдельном планшете. Масштаб картограммы следует выбирать в зависимости от размеров горного отвода, тел полезных ископаемых, горизонтов горных работ и глубины разработок с таким расчетом, чтобы все картограммы поместились на одном планшете.

На картограмме следует показывать планшеты в виде клеток и важнейшие ориентирующие объекты ситуации земной поверхности, горные выработки или геологические нарушения. В клетках следует указывать условные номера планшетов.

Положение планшета в картограмме следует показывать на нижнем поле планшета в виде схемы, без соблюдения масштаба картограммы.

На схемах, кроме данного планшета, отмеченного штриховкой, следует изображать примыкающие к нему планшеты и указывать их условные номера по картограмме (рисунок 3.14).

При изображении схемы планшета вертикального разреза или проекции на вертикальную плоскость следует указывать высотные отметки горизонтальных линий сетки, приуроченных к горизонтам горных работ (рисунок 3.14 б).

Рисунок 3.14

3.4.3 Рамки и поля чертежей

Линии рамок чертежей, выполняемых на планшетах, следует выполнять толщиной 0,2 мм на расстоянии от линии обреза планшета по 10 мм сверху и слева, 30 мм справа и 50 мм снизу. Линии рамок чертежей проводить не следует, если они совпадают с линиями координатной сетки (рисунок 3.15). Линии рамки чертежей, выполняемых на форматах листов по ГОСТ 2.301—68, следует выполнять толщиной 0,2 мм на расстоянии 10 мм от верхнего, левого и правого края листа и 50—60 мм снизу. Если на поле чертежа помещают титульную надпись, то нижнюю линию рамки следует проводить на расстоянии 10 мм от линии обреза листа. В середине нижнего поля чертежа следует помещать титульную надпись. Титульная надпись должна содержать название вышестоящей организации и горного предприятия (комбината, шахты, карьера), название чертежа и его масштаб (рисунок 3.16) .

Рисунок 3.15

В титульной надписи следует указывать: для планов горных выработок и геологических разрезов—обозначение горизонта (например, «Горизонт—215 м»), для приисков—номер или название полигона. Вместо слова «пласт» в четвертой строке соответственно месторождению следует указывать «залежь», «линза» и т. д.



Рисунок 3.16

В левой стороне нижнего поля планшета следует помещать схему расположения планшета среди планшетов, примыкающих к нему, с указанием их условных номеров по картограмме (рисунок 3.17).

Рисунок 3.17

В правой стороне нижнего поля планшета следует помещать таблицу, в которой указывают должность, фамилию, подпись лица, начавшего составление планшета, и дату (рисунок 3.18).

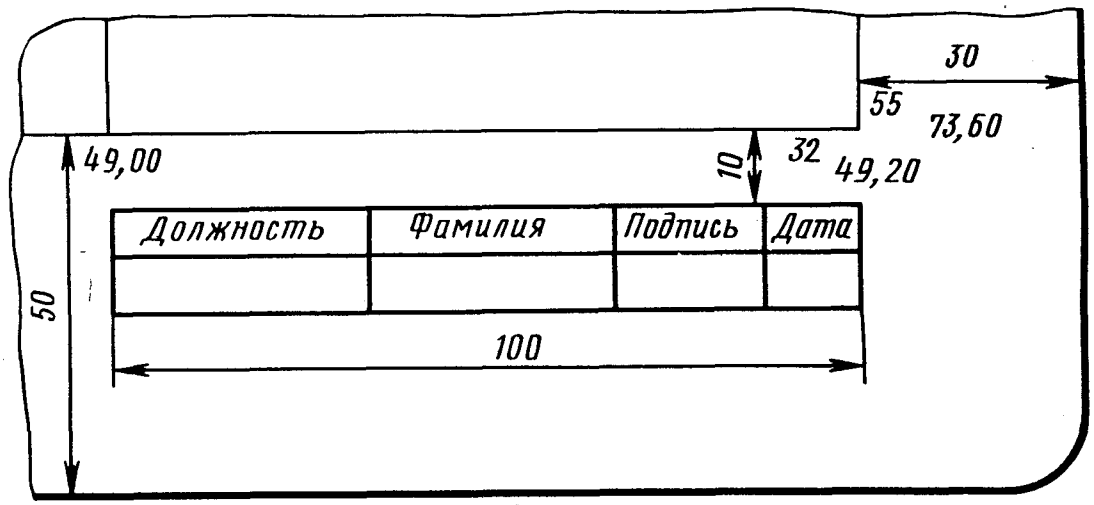


Рисунок 3.18

На левом и верхнем полях планшета по линии обреза следует наносить линии сетки и изображать объекты со смежных планшетов (рисунок 3.19).

На правом поле планшета следует изображать выноски отдельных элементов изображения в более крупном масштабе. Около выноски следует указать ее номер и масштаб (рисунок 3.20).

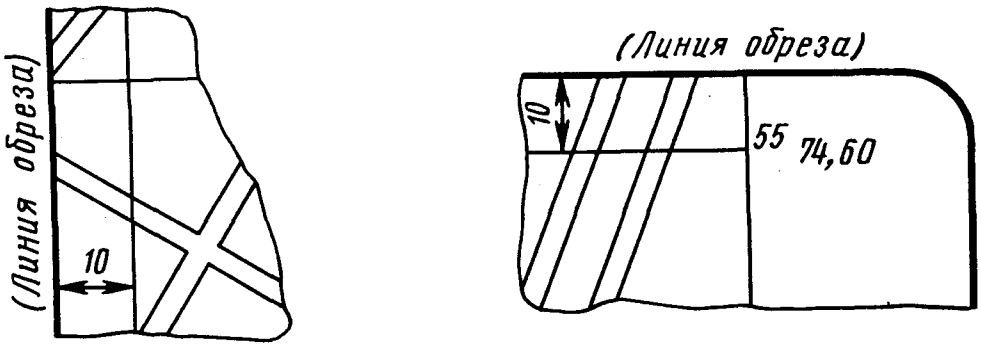


Рисунок 3.19

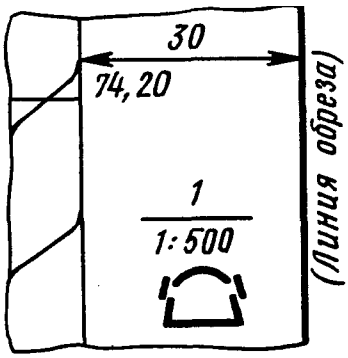


Рисунок 3.20

Размеры шрифта для надписей, выполняемых за пределами рамки чертежей, должны соответствовать приведенным в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Содержание надписи	Размер шрифта, мм
Числовые значения координаты	2,5
Названия чертежей	4,0; 5,0; 6,0: 7,0: 8,0; 10,0; 14,0
Числовые значения координат *Y и X*	1,6. 2,0; 2,5
Масштабы	3,0
Заголовки и записи в таблице подписей на чертежах	2,5
Номенклатурные номера планшетов	5,0
Условые номера планшетов на схемах расположения	3,0
Обозначения сторон света	3,0
Номера планшетов на картограммах расположения	5,0
Номера следов вертикальных разрезов, проекции на вертикальную плоскость, линий совмещения, разведочных линий, точек поворота следов и линий	2,5

3.4.4 Сетка координат

На планшеты и листы карт и планов должна быть нанесена квадратная координатная сетка со стороной 100 мм черной тушью сплошными тонкими линиями толщиной 0,1 мм (рисунок 3.15).

Координаты *Y* и *X* для линий сетки следует указывать до сотых долей километра, для линий сетки с наибольшим и наименьшим значениями координат они должны быть указаны полностью, а для всех остальных линий — начиная с десятков километров (рисунок 3.17 – 3.20).

На чертежах производной, а также производственно-технической документации вместо линий сетки допускается изображать только их пересечения длиной 6 мм через 100 мм без оцифровки координат. В этом случае координатную сетку по отношению к рамке можно располагать с учетом наилучшего размещения изображаемого объекта. При этом на чертеже следует изобразить стрелку меридиана (рисунок 3.21). Стрелку меридиана следует изображать также в случаях, когда в изображении сетки нет необходимости или для сетки, параллельной рамкам чертежа, при отсутствии координат, а также для сетки непараллельной рамкам чертежа. Длина стрелки должна быть пропорциональна размеру чертежа.

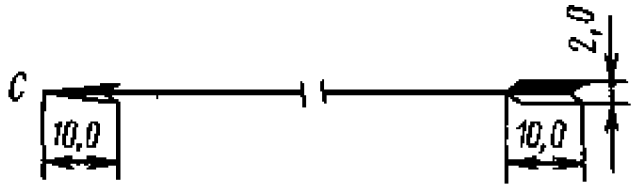


Рисунок 3.21

В случае непараллельности линий сетки линиям рамки чертежа координаты линий сетки следует указывать внутри рамки вдоль нижней и левой ее линий (рисунок 3.22).

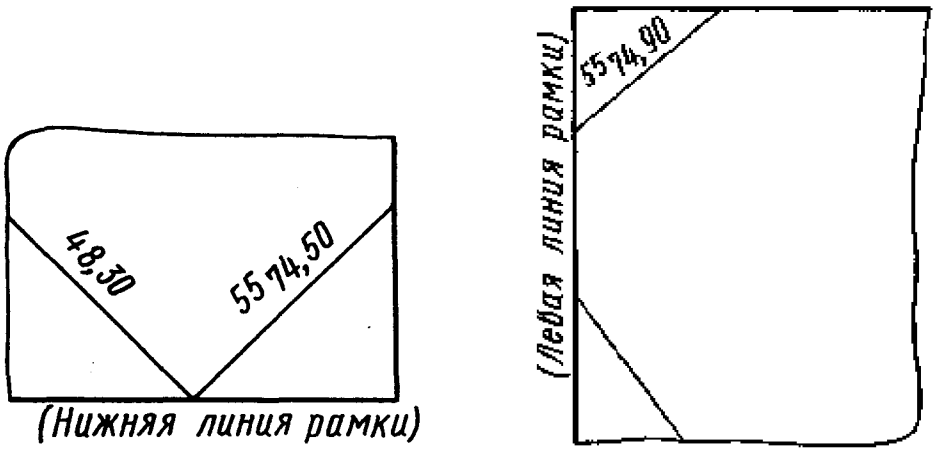


Рисунок 3.22

Сетку координат на вертикальных разрезах и проекциях на вертикальную плоскость следует изображать согласно рисунку 3.23.

Рисунок 3.23

Горизонтальные линии сетки на вертикальных разрезах и проекциях следует изображать сплошными тонкими линиями синего цвета толщиной 0,1 мм. У линий горизонтов (глубин) на правом поле планшета следует указывать числовые значения: без скобок – высотные отметки горизонтов, в скобках –

глубины от поверхности. Линии горизонтов оцифровываются кратными 10, 20 м и более в зависимости от высоты горизонтов горных работ, этажа, системы разработки и масштаба разреза или проекции.

Вертикальные линии сетки на разрезах и проекциях соответствуют положению точек пересечения следов вертикальных плоскостей с одной из линий сетки координат X и У на плане.

3.5 Правила выполнения условных обозначений

При вычерчивании горной графической документации (планы, разрезы, профили и т.д.) применяют масштабные, разномасштабные, безмасштабные и пояснительные условные обозначения. Масштабные условные обозначения применяют, когда объект может быть изображен в масштабе чертежа. Разномасштабные условные обозначения применяют для изображения вытянутых объектов, размер которых по ширине не может быть выражен в масштабе чертежа. Безмасштабные условные обозначения применяют в случаях, когда размеры объекта не возможно выразить в масштабе чертежа.

Масштабные и разномасштабные условные обозначения наносят на чертежи в соответствии с размерами и положением изображаемых объектов в натуре. Безмасштабные условные обозначения наносят так, чтобы их центры и ориентировка на чертежах соответствовали центрам и ориентировке объектов в натуре.

Размеры разномасштабных и безмасштабных условных обозначений приведены в ГОСТ 2.854. – 75 – ГОСТ 2. 857. – 75 и даны в миллиметрах. Условные обозначения в форме равносторонних фигур (квадратов, треугольников, ромбов) строят по размеру, указанному для одной из сторон. Для вычерчивания условных обозначений используют линии различной толщины и начертания (сплошные, штриховые, пунктирные) согласно ГОСТ 2. 853. – 75.

Пояснительные условные обозначения применяют как дополнительные к масштабным, разномасштабным и безмасштабным условным обозначением

при изображении геометрических элементов (осей, стрелок, стрелок направлений и др.).

Размеры шрифта для пояснительных надписей около условных обозначений должны быть высотой: 1,6; 2,0; 2,5; 3,5; 4,0 мм в зависимости от изображаемого объекта и масштаба чертежа. Конкретные размеры следует выбирать в соответствии с таблицей 4 ГОСТ 2. 853. – 75. Надписи наносят шрифтом ГОСТ 2. 304 – 68, а также наклонным узким.

Названия объектов, изображаемые масштабными, разномасштабными условными обозначениями, как правило, указывают полностью. Если места для полного названия недостаточно, то его следует указывать сокращенно. Для внемасштабных условных обозначений применяют названия объектов только в сокращенном виде.

На масштабных условных обозначениях названия и цифровые данные следует помещать на площади условных обозначений, ориентируя их вдоль длинной стороны объекта (рисунок 3.24, а). Если надписи не помещаются внутри условного обозначения, то названия следует наносить слева от условных обозначений, а цифровые данные справа, ориентируя их параллельно нижней рамки чертежа (рисунок 3.24, б). Аналогично располагают надписи и цифровые данные для безмасштабных условных обозначений (рисунок 3.24, в).

На плане горных выработок на масштабных условных обозначениях названия помещают рядом с выработкой и параллельно ей. Названия стволов следует ориентировать параллельно изображению околоствольных выработок. На безмасштабных условных обозначениях названия и номера следует указывать слева, а цифровые данные справа от условных обозначений, ориентируя их параллельно изображению выработок.

На всех чертежах для разномасштабных и пояснительных условных обозначений вытянутой формы названия и цифровые данные указывают вдоль этих обозначений, ориентируя их, как показано на рисунке 3.24,г. Для отдельных пояснительных условных обозначений указывают только цифровые данные, помещая их справа параллельно контурам (рисунок 3.24, д).

-

Рисунок 3.24

На оригиналах чертежей условные обозначения следует выполнять в основном черным цветом. Некоторые условные обозначения или их отдельные элементы дополняют цветами хроматической гаммы. При этом цвет условных обозначений должен соответствовать опорной шкале цветов ГОСТ 2. 853. – 75 табл. 2. Указания о цвете условных обозначений приведены в ГОСТ 2. 854. – 75 – ГОСТ 2. 857. – 75 в графе «Цвет».

На чертежах, предназначенных для размножения и на чертежах производной документации цветовые условные обозначения и их элементы выполняются черным цветом.

Строительные материалы и материалы крепей горных выработок показывают следующими цветами:

бетон, железобетон – зеленый 7;

металл - светлый фиолетовый 10 С;

кирпич, камень, шлакоблоки – оранжевый 3;

дерево - желтый 4.

Годовые канты по контуру очистной выработки на чертежах горных выработок (сводных планов горных работ) выполняют в зависимости от последней цифры года следующим цветом:

0 или 5 – светлый фиолетовый 10 С;

1 или 6 – светлый красный 2С;

2 или 7 – светлый зеленый 7С;

3 или 8 – оранжевый 3С;

4 или 9 – светлый синий 9С.

На всех чертежах высотные отметки объектов, расположенных на земной поверхности, изображают черным цветом, а подземных объектов – цветом синий 9.

Площадь условных обозначений горных выработок, пройденных по породе, на чертежах всех видов может быть окрашена цветом желтый 4.

Площадь условных обозначений целиков и участков полезного ископаемого, отнесенных в потери, окрашивают цветом лимонный 5.

Линии штриховки в условном обозначении выработанного пространства ориентируют произвольно, не допуская при этом штриховки, параллельной горным выработкам.

Элементы условных обозначений горных пород на геологических и маркшейдерских планах и разрезах следует размещать в шахматном порядке по сетке, параллельной рамкам чертежа. Для мощных и средней мощности пластовых и пластообразно залегающих пород элементы условных обозначений следует размещать так же в шахматном порядке, но по сетке, у которой одна система линий параллельна, а вторая перпендикулярна линиям контакта. Для пород, залегающих в виде тонких и весьма тонких пластов, жил, элементы условных обозначений размещают параллельно линиям контактов.

Условные обозначения геологической ситуации, не прослеженной горными выработками (предполагаемой), разрешается наносить на геолого-маркшейдерские чертежи карандашом.

Условные обозначения объектов, не находящихся в плоскости проекции, изображают штриховой линией размером 3,0 / 1,5 мм. При наложении условных обозначений нескольких объектов, тот который находится ниже, изображают штриховой линией размером 2,0 / 1,0 мм.

Условные обозначения конкретных объектов ситуации земной поверхности, горных выработок (при открытом и подземном способе разработке), производственно-технических объектов и т. п. – должно соответствовать ГОСТ 2.854 – 75 - ГОСТ 2.857 - 75.

3.6 Чертежные материалы, инструменты и принадлежности

3.6.1 Чертежная бумага и пластики

Чертежная бумага. Маркшейдерские чертежи служат и сохраняются многие годы, поэтому важно выбрать чертежный материал (бумагу),

удовлетворяющий требованию длительного хранения. Чертежная бумага должна иметь хорошую проклейку, быть прочной, гибкой, хорошо воспринимать тушь (не допускать разлива), после подчисток оставаться гладкой, от нескольких перегибов в одном месте не ломаться и длительное время сохранять белизну. В качестве материалов для выполнения чертежей маркшейдерской горно-графической документации применяются чертежные бумаги ручного и машинного отлива, миллиметровка, прозрачные пластинки и кальки.

В нисходящем по качеству порядке можно назвать такие сорта чертежной бумаги: бумага чертежная марки "В" (высшая), ручного отлива; бумага чертежная марки "В" ручного отлива со знаком качества; бумага чертежная марки "В" машинного отлива; бумага чертежная марки "О" (обыкновенная) машинного отлива № 1; бумага чертежная марки «О» машинного отлива № 2; бумага чертежная с прозрачностью 48-50 % марки "Д" со знаком качества (длительного хранения); бумага чертежная марки "Д" со знаком качества.

Для вычерчивания чертежей, требующих длительного хранения, применяется бумага марок "В" и "Д". Наилучшей считается бумага с водяным знаком "ГОЗНАК". Чертеж выполняется на лицевой стороне, которой соответствует нормальное расположение знака.

Бумага марки "О" предназначена для выполнения чертежей, не требующих длительного хранения. Лицевая сторона этой бумаги гладкая, оборотная слегка шероховатая.

Чертежная бумага выпускается как в листах, так и в рулонах шириной 878, 640, 440 мм и длиной 10, 20, 40 м в зависимости от марки.

Миллиметровая бумага – применяется для вычерчивания различных графиков, диаграмм, профилей и т.д. Миллиметровка представляет собой тонкую плотную бумагу с разграфкой через миллиметр по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Чтобы не затемнять чертеж, клетки

печатаются голубой, синей или коричневой краской. Миллиметровая бумага выпускается в листах или рулонами шириной 878 мм, длиной 10, 20, 40 м.

Калька – это прозрачный сорт бумаги, применяемый для изготовления копий с чертежей. Калька бывает полотняная или бумажная (восковка). Полотняная калька приготовляется из тонкого батиста, а бумажная из тонких сортов бумаги. Для придания прозрачности, кальку пропитывают специальным химическим составом.

В настоящее время для вычерчивания маркшейдерской документации широко применяются прозрачные пластики - пленки (лавсан, астролон, винипроз, хастофан и др.) благодаря их прочности, прозрачности и незначительной деформации.

Пленка лавсан обладает высокими физико-механическими свойствами. Она однородна, прозрачна, бесцветна, имеет с двух сторон глянцевую поверхность. Для придания пленке необходимых чертежных свойств ее зернят механическим способом на специальных машинах или покрывают специальным глянцевым слоем. Механическое зернение обеспечивает необходимый микрорельеф поверхности пленки, что позволяет чертить по ней карандашом и тушью. На пленках покрытых специальным глянцевым слоем чертить можно только тушью. Тушевое изображение с таких пленок может быть легко удалено путем смыва без оставления следа, что особенно важно для пополнения тушью сводных планов горных разработок.

Астролон – вид органического стекла, но имеет по сравнению с ним меньшую прозрачность, но более эластичен. Рабочая поверхность астролона перед работой предварительно обрабатывается мелкозернистой наждачной бумагой, после чего тщательно промывается и просушивается при комнатной температуре. Планы вычерчиваются карандашом или тушью. Вычерченный план покрывают защитным слоем специального лака для предохранения вычерченного изображения от смывания водой и осыпания туши. При необходимости пополнения плана лаковое покрытие в нужном месте смывают ацетоном, а после вычерчивания покрытие возобновляют.

Винипроз – данный вид пластика получают путем термической обработки виниловых смол. Рабочая поверхность винипроза обезжиривается раствором азотной кислоты или 10 % раствором уксусной эссенции, а затем промывается водой. После вычерчивания изображения тушью производится покрытие лаком. Для вычерчивания изображений применяется специальная винипрозная тушь, устойчивая к воздействию воды, спирта, кислот и щелочей. Раскраска планов при применении винипрозной туши производится на обратной глянцевой стороне листа.

3.6.2 Тушь, краски

Тушь – прозрачная краска, в которой красящим веществом является сажа или различные каменноугольные красители. Тушь бывает черного, зеленого, синего, коричневого и других цветов. Для вычерчивания оригиналов планов применяется тушь в жидком виде (во флаконах), концентрированная (в тубах) и сухая (в виде палочек).

Жидкая тушь во флаконах (Колибри, Гриф) выпускается 12 различных цветов: черная, коричневая, красная, желтая, желто-зеленая, синяя, зеленая, фиолетовая, оранжевая, лимонно-желтая, голубая и светло-розовая. Жидкая тушь удобна в работе как на бумаге так и на пленках, вычерченные ею чертежи не смываются водой, а со временем прочность изображения возрастает. Недостатком жидкой туши является то, что она довольно быстро засыхает в рейсфедере или на пере, что затрудняет работу. Исправления и подчистки на чертежах, вычерченных жидкой тушью, делать труднее, так как она глубоко проникает в бумагу.

Концентрированная тушь (в металлических тубах) имеет вид пасты. Тушь разводят водой до необходимой густоты, выдавив несколько капель туши в тушницу. Разведенную тушь проверяют: пером или рейсфедером проводят толстый штрих, после чего его смазывают кусочком бумаги. Хорошо разведенная тушь дает по площади мазка ровный интенсивный фон, слабо

разведенная - бледный фон. Очень густая тушь плохо смазывается, дает не ровный по светлоте фон.

Правильно разведенная тушь дает интенсивное, непрозрачное, матовое изображение. Чтобы сделать тушь несмываемой, в нее добавляют 1-2 капли двухромовокислого калия или уксуса. Несмываемость туши проверяют следующим образом: на листе чертежной бумаги вычерчивают пером или рейсфедером несколько линий различной толщины. На другой день, когда тушь высохнет, листок обливают водой из под крана в течении одной минуты, держа его наклонно и перемещая под струей воды влево и право. Струя воды должна падать на верхнее, чистое поле листка. Несмываемая тушь не размоется и не потечет. План (чертеж) вычерченный несмываемой тушью, облитый водой, после высыхания не боится влаги, его можно смело раскрашивать акварельными красками.

Сухая тушь изготавливается в виде палочек. Для приготовления жидкого раствора ее натирают в теплой воде в тушнице с шероховатым дном. Для того, чтобы определить, достаточно ли натерта тушь, тушницу немного наклоняют, а затем ставят в прежнее положение. Готовая тушь, стекая со стенки тушницы, оставляет черный цвет. Недостаточно натертая – серый цвет. После натирания палочку туши тщательно протирают гладкой бумагой, иначе она будет трескаться и крошиться. Во время работы тушь полагается держать закрытой. Натертая сухая тушь быстро засыхает на бумаге, не впитывается глубоко в бумагу, в результате не растекается и сравнительно легко удаляется при необходимых исправлениях чертежа. Для определения качества туши нужно намочить палец и потереть его концом палочки туши. Хорошая тушь оставляет темный след и издает своеобразный запах. Плохая тушь дает серый след и запаха не имеет.

Независимо от вида туши работать следует свежеприготовленной тушью, обычно в течение суток, иначе качество ее снижается. В процессе черчения тушь следует держать закрытой и открывать только во время набора ее на инструмент. Прежде чем зарядить чертежный инструмент тушью, ее

следует помешать. Хранить тушь следует в темном месте при температуре от $+5^0$С до $+30^0$С.

Краски. Для большей наглядности и выразительности горно-графические планы, разрезы вычерчиваются в цвете. Для этого можно пользоваться жидкой или концентрированной цветной тушью, но лучше применять краски, выпускаемые в плитках. Краски состоят из красящего вещества, связующего и различных добавок. В зависимости от связующего вещества они подразделяются на клеевые, масляные и лаковые. Для маркшейдерско-графических работ применяются клеевые краски, к ним относятся акварельные и гуашевые краски, туши темпера. Наиболее часто применяются акварельные краски, состоящие из красящего порошкообразного вещества и растительного клея (гумиарабика). Акварельные краски выпускаются в плитках (сухие) и тюбиках (пастообразные) они хорошо разводятся водой, не дают осадка, ровно и однотонно ложатся на бумагу.

Акварельные краски бывают прозрачные и непрозрачные (гуашь). В маркшейдерском черчении, для окрашивания чертежей, применяют прозрачные краски т.к. они позволяют получить новый тон повторным нанесением одной краски на другой. Непрозрачные краски этим свойством не обладают. Основными являются краски трех цветов: красная, синяя и желтая. Имея краски трех основных цветов, остальные тона можно получить их смешиванием, например: смесь красок красной и синей дает фиолетовый цвет; смесь синей и желтой дает зеленый цвет; желтая, голубая и красная краски в смеси дают коричневый цвет и т.д. Перед покраской, разведенной в воде краске, дают отстояться и сливают ее без осадка в другую посуду. Несмываемость красок водой достигается подмешиванием раствора двухромкислого калия или уксуса к жидкой краске. Для маркшейдерского черчения наиболее пригодны краски в наборе. В наборах бывает от 6 до 30 красок.

3.6.3 Чертежные инструменты и принадлежности

Карандаши. В зависимости от материала пишущего стержня карандаши делятся на черные (графитные), цветные и копировальные (чернильные). По назначению карандаши подразделяются на чертежные, канцелярские, школьные, рисовальные и др. В маркшейдерском черчении широко применяются чертежные карандаши. По своим чертежным свойствам карандаши делятся на твердые и мягкие. Твердые карандаши обозначаются буквой Т, мягкие – М, степень твердости или мягкости обозначается цифрой, стоящей перед буквой. В порядке возрастания твердость обозначается: 6М, 5М, 4М, 3М, 2М, М, ТМ, Т, 2Т, 3Т, 4Т, 5Т, 6Т, 7Т. Карандаши от 2Т до 7Т считаются твердыми, Т, ТМ, М – промежуточные и от 2М до 6М – мягкие. Твердость и мягкость зарубежных карандашей обозначены латинскими буквами Н и В. Твердые карандаши от 2Н до 9Н, мягкие от 2В до 6В и промежуточные Н, НВ, В.

Качество черчения зависит от правильного выбора карандаша. Слишком жесткий графит оставляет ложбинку на бумаге, слишком мягкий – пачкает бумагу. Для выполнения чертежных работ применяются карандаши от 2М до 6Т: 2М – 2Т – при черчении в сырую и холодную погоду на фотобумаге и бумаге низшего качества, 3Т – 6Т – на чертежной бумаге высшего качества и при работах в сухую, жаркую погоду, 2М – ТМ – для простых записей, зарисовок. Для выполнения чертежных работ на обыкновенной бумаге в обычных комнатных условиях берут карандаши твердости примерно Т – 3Т.

В правой части каждого карандаша имеется маркировка, состоящая из названия фабрики-изготовителя, названия карандаша, обозначения степени твердости и года выпуска, например: ф-ка им.Красина *Коструктор* 5Т 56.

Очинку карандаша следует выполнять с конца, противоположного маркировке. Для этого используют различные точилки, скальпели. Сначала срезают дерево на 30 мм, обнажая графит на 8-10 мм, затем на мелкозернистой наждачной бумаге или бруске затачивают графитный стержень. Окончательную шлифовку производят на чертежной бумаге. Заточенный карандаш должен иметь форму конуса.

В последнее время получили распространение механические карандаши с цанговыми держателями и убирающимся грифелем. Однако не все из них можно применять при черчении. Это зависит от конструкции держателя, наличия необходимых грифелей.

Чертежные перья и ручки. Вычерчивание маркшейдерской горно-графической документации выполняется специальными чертежными перьями, имеющими по сравнению с канцелярскими перьями меньшие размеры и тонкий рабочий конец. Чертежные перья изготавливают из стали высоких сортов под № 41, 44, 290, 291 и 2350. Для черчения на бумаге более удобны перья 44, 290 и 291, так как они имеют мягкий пружинящий конец. Тонкий конец этих перьев позволяет без заточки получать линии толщиной 0,1 мм. Перья 41 и 2350 более жесткие и с более толстым концом, поэтому их используют при черчении на пластике, фотобумаге, кальке.

Чертежные перья должны удовлетворять следующим требованиям: створки пера не должны иметь просвета; должны быть одной длины и толщины; перо не должно царапать бумагу и должно давать тонкую ровную линию.

Раздвоение пера устраняют надавливанием на внутреннюю сторону створок пера карандашом. При этом чертежную ручку слегка приподнимают, а карандаш сдвигают к концу пера. Разную длину створок пера устраняют, стачивая на бруске длинную створку до уровня короткой. Делают это с легким нажимом, держа ручку перпендикулярно к поверхности бруска. Разную ширину створок устраняют заточкой боковых граней. Для этого в разрез пера вставляют тонкий плотный кусочек бумаги и легким нажимом затачивают широкую створку. Ширина каждой створки пера должна быть не более 0,15 мм. Образовавшиеся после заточки на створках острые грани закругляют на бруске. Перед работой новое чертежное перо надо 2-3 раза пронести через пламя спички, свечи, чтобы удалить жирный налет, иначе тушь не будет смачивать перо.

Для чертежного пера предназначен специальный держатель - чертежная ручка. От канцелярской ручки она отличается меньшими размерами и тем, что кончик чертежного пера можно предохранить от повреждений, вставив перо в ручку острым концом во внутрь. Вместо чертежной ручки можно пользоваться и канцелярской, однако перо из нее после работы, например при транспортировке, следует вынимать.

Кисти. При вычерчивании маркшейдерских планов, разрезов в цвете достаточно иметь две – три кисти средних размеров (№ 5, 7 ,12), всего существует 24 номера кисти (от № 1 до № 24). Для проверки качества кисти ее смачивают водой и встряхивают. Хорошая кисть "жадно" впитывает воду, а волоски после встряхивания собираются в острый конус, плотно прилегая друг к другу. Однако, если кисть окажется зажиренной, пользуясь описанным методом проверки можно ошибочно забраковать хорошую кисть. Чтобы избежать ошибки, кисть перед проверкой следует хорошо промыть в слабом растворе питьевой соды, а затем высушить. Лучшими для чертежных работ считаются колонковые или хорьковые, в крайнем случае, беличьи кисти. После работы кисти надо тщательно промыть, высушить и хранить в сухом месте в плотно закрывающейся коробочке.

Линейки и треугольники применяют для проведения прямых линий, поэтому их ребра должны быть прямыми, а нижняя поверхность линейки (треугольника) – плотно прилегать к чертежу. Прямолинейность ребра линейки проверяют следующим образом. Линейку кладут на чистый лист бумаги и по ребру проводят линию. Затем линейку переворачивают на 180° и проводят новую линию. Если проведенные линии совпадают на всем протяжении, значит ребро линейки (треугольника) прямолинейно. Для работы с тушью, нижний край ребра линейки должен иметь скос. При этом линейку кладут на чертеж скосом вниз.

Кроме обычных линеек в маркшейдерском черчении применяют масштабные, пропорциональные линейки и линейку Дробышева.

Масштабная линейка служит для определения длин линий отрезков и откладывания их в определенных масштабах с точностью до 0,1 мм.

Пропорциональную линейку (синусную) используют для проведения параллельных линий. Пропорциональная линейка состоит из 2-х линеек. Одна из них представляет собой обычную линейку, другая – прямоугольный треугольник, острый угол которого составляет $5^{o}44'$. Синус этого угла равен 0,1. Передвигая длинный катет треугольника по линейке, можно провести по гипотенузе параллельные линии на расстоянии в 10 раз меньше тех, на которые передвигается длинный катет по линейке.

Линейка Дробышева применяется для построения координатной сетки размером 30 х 40 см и 50 х50 см с квадратами 10 х 10 см. Она представляет собой металлическую линейку с вырезами через 10 см. Длина от скошенного края первого выреза до конца линейки равна 70.71 см, что соответствует диагонали квадрата 50 х 50 см. С помощью линейки Дробышева можно построить прямоугольник со сторонами 30 х 40 см с длиной диагонали 50 см.

Рейсфедер – служит для проведения прямых линий тушью или красками. Основные его части – ручка и "линейное перо". Перо состоит из двух стальных створок с заостренными концами в виде овальных лопаточек, которые наглухо соединены с ручкой. Толщина проводимой линии устанавливается регулировочным винтом, который позволяет уменьшить или увеличить интервал между створками лопаточек. Тушь в рейсфедер заправляется полоской твердой бумаги на высоту 3- 6 мм.

Рейсфедер при работе должен быть в одной вертикальной плоскости с проводимой линией и слегка наклонен в сторону движения. Линия рейсфедером всегда проводится слева направо.

Круговой циркуль – предназначен для вычерчивания окружностей диаметром от 0,5 до нескольких сантиметров. Одна из ножек заканчивается острой иглой, другая – рейсфедером или карандашом. Разновидностью кругового циркуля является кронциркуль, который применяется для вычерчивания окружностей очень малых радиусов (0,5 – 3,0 мм).

Вращающийся рейсфедер (кривоножка) применяется для вычерчивания кривых линий на плане (горизонталей, изолиний, дорог, берега рек и т.п.).

4 ХРАНЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Сроки хранения различных видов маркшейдерской документации зависят от важности отраженной в них информации.

Документация, подлежащая хранению в течение трех лет со дня окончания отраженных в ней работ:

1. Материалы определения остатков полезного ископаемого на складах.
2. Чертежи по перенесению в натуру проектного положения главного технологического комплекса, блоков и отдельных промышленных зданий, сооружений, коммуникаций.
3. Чертежи по расчету границ безопасного ведения горных работ.
4. Контрольные профили армировки вертикальных шахтных стволов и башенных копров.
5. Контрольные продольные профили рельсовых путей в откаточных горных выработках.
6. Контрольные продольные профили железных, автомобильных и подвесных канатных дорог.
7. Контрольные профили руслоотводных, водозаводных и других капитальных траншей и канав.
8. Журналы измерений по всем видам работ.

Примечание. Три года хранят журналы вычислений, послужившие основой составления названных чертежей, а также материалы фотограмметрической съемки – снимки (негативы) и списки координат опорных точек, использованных для ориентирования (корректирования) стереомоделей.

Документация, подлежащая хранению до ликвидации отдельных объектов и до погашения горных выработок:

1. Исполнительные профили армировки вертикальных шахтных стволов.

2. Исполнительные и контрольные профили стенок вертикальных шахтных стволов.

3. Исполнительные продольные профили рельсовых путей в откаточных горных выработках.

Примечание. До этого же времени хранят журналы вычислений, послужившие основой составления названных чертежей.

Документация, подлежащая хранению до ликвидации горного предприятия:

1. Планы отвалов некондиционных полезных ископаемых, хранилищ отходов обогатительных фабрик и природных отвалов.

2. План земной поверхности с отражением результатов работ по рекультивации земель, нарушенных горными работами.

3. Схемы осевых пунктов шахтных отвалов.

4. Чертежи по изучению процесса сдвижения земной поверхности и горных работ под влиянием подземных разработок и по наблюдениям за подрабатываемыми зданиями и сооружениями.

5. Чертежи по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах.

6. Схема подземных маркшейдерских плановых опорных сетей и высотного обоснования.

7. Исполнительные продольные профили железных, автомобильных и подвесных канатных дорог.

8. Исполнительные профили руслоотводных, водозаводных и других капитальных траншей и канав.

Примечание. До этого же времени хранят журналы вычислений, послужившие основой составления чертежей.

Документация, подлежащая постоянному хранению (уничтожению не подлежит):

1. План земной поверхности территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия.
2. План застроенной части земной поверхности.
3. План горного отвода и разрезы к нему, план отвода земельного участка.
4. План промышленной площадки.
5. Картограммы расположения планшетов съемок земной поверхности и горных выработок.
6. Схема расположения пунктов маркшейдерской опорной геодезической сети на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия, абрисы и схемы конструкций реперов и пунктов.
7. Чертежи горных выработок, отражающие вскрытие, подготовку и разработку месторождения.
8. Разрезы по вертикальным и наклонным шахтным стволам.
9. Чертежи околоствольных горных выработок и приемно-отправительных площадок главных этажных уклонов и бремсбергов.
10. Чертежи по расчету предохранительных целиков под зданиями, сооружениями и природными объектами.
11. Чертежи по расчету барьерных целиков между шахтными полями.

Примечание. Постоянно хранят журналы вычислений, послужившие основой составления чертежей.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Патко В.А.

ДОКУМЕНТАЦИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Методические указания к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение
2. Методические указания к практическим занятиям (семинарам)
3. Организация самостоятельной работы
4. Рекомендуемая литература

1. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Документация недропользования в горном деле» включает в себя основные правила составления, ведения и хранения маркшейдерской документации горнодобывающих предприятий на всех стадиях недропользования: разведке, эксплуатации, ликвидации или консервации лицензируемого участка недр и тематически связана с дисциплиной «Рациональное использование и охрана недр».

Целью изучения практического курса «Документация недропользования в горном деле» является формирование у студентов:

- навыков практического применения теоретических знаний базовой специальности «Маркшейдерское дело» в решении вопросов государственного и корпоративного регулирования вопросов недропользования и маркшейдерского контроля;
- получение теоретических и практических знаний о нормативных требованиях и методах составления, ведения и хранения маркшейдерской документации;
- формирование теоретических и практических знаний и умений, которые дают возможность решать маркшейдерские задачи в соответствии с видами профессиональной направленности: производственно-технологической, организационно-управленческой, научно-исследовательской и проектной;
- знаний о полномочиях и функциях маркшейдерских служб горнодобывающих предприятий при выполнении установленных государственных процедур для получения недр в пользование, по проектированию и планированию горных работ, рациональному использованию и охране недр при эксплуатации месторождений полезных ископаемых, рекультивации нарушенных горными работами земель;
- владение входящими в компетенцию маркшейдерской службы правовыми, разрешительными, организационными и отчетными документами, ведение которых обеспечивается недропользователем.

Процесс изучения практического курса: ознакомление студентов с системами государственного устройства и управления в сфере недропользования, документооборота и делопроизводства при выполнении

установленных процедур – имеет целью получения представлений о роли будущей профессии в решении вопросов маркшейдерского сопровождения недропользования, а также включает практические занятия и самостоятельную работу студентов по изучению требований законодательных актов и нормативных документов к оформлению правоустанавливающей, составлению и разработке разрешительной и организационно-распорядительной документации, заполнению отчетной документации, правилах ведения полевой, вычислительной, графической горной документации, и оформления текстовых документов, условиях хранения и архивации маркшейдерских документов.

В процессе изучения дисциплины формируется следующая компетенция: способность организовывать деятельность подразделений маркшейдерского обеспечения недропользования, в том числе в режиме чрезвычайных ситуаций (ПСК-4-6).

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ (СЕМИНАРАМ)

Целью практических занятий (семинаров) по изучаемому курсу дисциплины «Документация недропользования в горном деле» является:

- формирование указанной выше компетенции,
- закрепление на практике и углубление знаний теоретической части дисциплины,
- получения студентами навыков раскрытия изучаемой тематики дисциплины методами доклада и письменного эссе;
- приобретение навыков работы с различными источниками информации, в том числе с применением компьютерных технологий.

Тематика семинаров:

1. Правоустанавливающая документация.
2. Разрешительная документация.
3. Организационно-распорядительная документация.
4. Горно-графическая документация.
5. Отчетная документация.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

2.1 Общие положения

Цель самостоятельной работы при изучении курса – повышение эффективности изучения теоретической части дисциплины «Документация недропользования в горном деле» и полноценной работы на практических занятиях, а также получения навыков сбора и анализа информации печатных источников и специализированных сайтов Интернета.

Задачами самостоятельной работы являются систематизация и закрепление теоретических знаний, реализуемых методом практического моделирования процедур недропользования с выделением ситуативных аспектов, результатом которых является формирование комплектов маркшейдерской документации.

Тематические направления для самостоятельного изучения студентом приведены ниже.

Форма представления:

- эссе по тематике, предложенной преподавателем;
- вариантный опрос

2.2 Тематика курса «Документация недропользования в горном деле»

1. Техническая документация горного предприятия. Устав предприятия, ЕГРЮЛ, ОКВЭД. Правовой аспект маркшейдерской документации.
2. Правоустанавливающая документация. Лицензия на недропользование. Горный и земельный отводы. Акт о ликвидации или консервации горного предприятия.
3. Разрешительная документация. Технический проект. Проект производства маркшейдерских работ.
4. План развития горных работ
5. Организационно-распорядительная документация. Положение о маркшейдерской службе. Должностные инструкции работников маркшейдерской службы.
6. Горно-графическая маркшейдерская документация. Требования ИПМР к комплекту. Стандарты и регламенты.
7. Нормативные требования ведения полевых, вычислительных и сводных журналов и чертежей. Книга маркшейдерских указаний.
8. Отчетная документация. Формы Государственной статистической отчетности 5-ГР, 70-ТП, 71-ТП, 2-ТП (рекультивация).

9. Структура полного комплекта маркшейдерской документации. Процедуры согласования и утверждения. Условия архивации различных видов маркшейдерской документации

Ниже приводится перечень вопросов, предлагаемых к самостоятельному изучению обучающимися по материалам лекционных конспектов.

Непонятые вопросы выносятся на следующее лекционное занятие в форме контрольного опроса и консультации (разъяснение). В целях лучшего усвоения лекционного материала обучающимся не рекомендуется оставлять невыясненные тематические вопросы до экзамена.

Тема 1: Техническая документация горного предприятия

- содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров.
- связь курса с дисциплиной «Рациональное использование и охрана недр».
- уставная и техническая документация горнодобывающего предприятия.
- государственная регистрация и классификация предприятия – недропользователя.
- правовое значение маркшейдерской документации.

Тема 2: Правоустанавливающая документация

- получение правоустанавливающей маркшейдерской документации предприятием – недропользователем (арендатором недр) посредством участия в установленных государством процедурах:
  - лицензирования (в органах МПР РФ),
  - оформление горного отвода (в органах Ростехнадзора),
  - получение земельного отвода (в органах местного самоуправления),
  - получение лицензии на производство МР (в органах Ростехнадора).
- состав материалов комплекта правоустанавливающей документации:
  - лицензия на пользование недрами,
  - горный и земельный отводы,
  - лицензия на производство маркшейдерских работ.
- процедурное оформление документов.

Тема 3: Разрешительная документация

- комплект технической документации, приобретающей статус разрешительной после её согласования в органах государственной исполнительной власти (Ростехнадзор, Росприроднадзор, Минприроды, Департаменты субъектов федерации по недропользованию) и утверждения первым руководителем предприятия.

- состав комплекта разрешительной документации:
технический проект,
план развития горных работ,
проект производства маркшейдерских работ.

- содержание, основные положения и оформление разрешительных документов.

- обязанности пользователя недр по соблюдению технических проектов, планов развития горных работ, недопущения сверхнормативных потерь, разубоживания и выборочной отработки полезных ископаемых.

Тема 4: План развития горных работ

- понятие о планировании.

- перспективное и текущее планирование.

- план развития горных работ как документ перспективного (годового) планирования, составленный маркшейдерской службой совместно с другими технологическими подразделениями предприятия, определяющий направление развития горных работ, объемы добычи полезных ископаемых, в том числе объемы вскрышных, горно-подготовительных и рекультивационных работ.

- основание для разработки годовых планов. Правовое условие для специализированных проектных организаций.

- технический проект – документальная основа планирования.

- состав планов развития горных работ: направления и объемы производства геологоразведочных работ, переработки и обогащения минерального сырья, нормативы эксплуатационных потерь, нормативы потерь полезных ископаемых при переработке и обогащении, мероприятия по охране недр и промышленной безопасности.

- оформление материалов планов, согласование и утверждение.

Тема 5: Организационно – распорядительная документация

- маркшейдерская служба – неотъемлемая и составная часть производственного контроля системы промышленной безопасности горнодобывающего предприятия.
- положение о маркшейдерской службе – документ, регламентирующий кадровый состав, должностные права и обязанности работников маркшейдерской службы.
- должностные инструкции работников маркшейдерской службы закрепляют функциональные обязанности, декларируют производственные полномочия в рамках обязанностей маркшейдерского контроля горнодобывающих предприятий.
- книга маркшейдерских указаний - основной документ по доведению до руководителей участков, цехов и других подразделений организации обязательных для исполнения указаний по вопросам маркшейдерского обеспечения горных работ, а также по устранению нарушений требований законодательства о недрах, промышленной безопасности, охране недр и окружающей природной среды, проектной и технологической документации, годовых планов развития горных работ (годовых программ работ).

Тема 6: Горно-графическая документация

- состав маркшейдерской горно-графической документации и её классификация по назначению и содержанию: первичная (поле, забой, промплощадка), вычислительная (все виды камеральных работ), графическую (маркшейдерские чертежи).
- маркшейдерская горно-графическая документация – комплект журналов первичных вычислений, инструментальных наблюдений, журналов камеральной обработки и сводных маркшейдерских материалов (книг, журналов, актов, протоколов, справок, форм статистических наблюдений). Требования регламентов и ГОСТов.

Тема 7: Нормативные требования к документации

- законодательные и нормативные требования к составу и содержанию комплекта маркшейдерской документации.
- назначение и порядок исполнения чертежей.
- маркшейдерские чертежи (планы, разрезы и профили).
- условные знаки и ГОСТы.

- классификация и масштабы по инструктивным требованиям и условиям.
- нормативные сроки пополнения.
- условия хранения и архивации.

Тема 8: Отчетная документация

- сущность и задачи отчетной маркшейдерской.
- основные принципы построения отчетных документов (актов и справок).
- правовые нормы и правила заполнения форм государственной статистической отчетности.
- выбор отчетных форм в зависимости от специфики добываемого минерального сырья.
- погашенные балансовые запасы.
- основное уравнение отчетной формы 5-ГР.
- система отчетных форм фактического извлечения полезных ископаемых из недр.
- оценка нормативных показателей извлечения из недр в статистически измеренных величинах фактических величин потерь.
- формы государственных статистических наблюдений: 5-ГР, 70-ТП, 71-ТП, 2-ТП (рекультивация), 2-ТП (водхоз). Содержание и правила заполнения форм.
- контроль и обобщение данных маркшейдерского учета.

Тема 9: Процедурные вопросы документации в государственной системе недропользования

- правовые вопросы необходимости долговременного существования и практического использования маркшейдерской документации в практике горного производства при различных организационно-правовых формах предприятий и формах собственности на недра.
- государственный контроль недропользования, реализуемый процедурами согласования и утверждения маркшейдерской документации. Ведомственный контроль горно-графической документации.
- экспертизы: промышленной безопасности, охраны недр, строительной, экологической при разработке и производственном внедрении разрешительной документации.

- наличие полного комплекта документации как показатель эффективности работы маркшейдерской службы.

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1.Закон РФ «О недрах» от 03.03.1995 № 27-ФЗ.
2. Положение о геолого-маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охране недр, РД
3. Правила охраны недр, ПБ 07-601-03.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Шмонин А.Б.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	
1	Методические указания к организации самостоятельной работы обучающихся	5
2	Содержание курса. Контрольные вопросы и упражнения.	6
3	Методические указания к выполнению расчётно-графических работ	13
	Рекомендуемая литература	17

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента по дисциплине «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений» составляет 108 часа или 3 зачетных единиц. Из них 67 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых практических работ; подготовка к тестированию; подготовка к зачёту.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на зачёт. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку обучающихся. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья» в данном учебно-методическом пособии. приведены контрольные вопросы по темам и образцы тестовых заданий.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны разделы и страницы учебника, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения и тестовые задания. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовые задания.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

Тема 1. Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи маркшейдерского обеспечения подводной разработки месторождений.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные практические задачи маркшейдерских работ при подводной разработке месторождений полезных ископаемых.
2. Назовите основные научно-технические задачи, решаемые при маркшейдерском обеспечении подводных разработок месторождений.
3. Какова связь данного курса с другими дисциплинами?
4. Предмет, объекты изучения и задачи курса «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений».
5. Каковы организационные и технические особенности маркшейдерских работ при подводной разработке месторождений?.

Тема 2. Общие сведения о геологии и технологиях разработки подводных месторождений полезных ископаемых

Геологическое строение месторождений полезных ископаемых на шельфе, в том числе месторождений нефти и газа. Геологическая разведка подводных месторождений.. Производственные процессы при подводной добыче полезных ископаемых.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Коллекторы нефти и газа, их характеристика?
2. Системы разработки залежей нефт на шельфе.
3. Каковы стадии разработки месторождений нефти и газа на шельфе?
4. Как производится геологическая разведка месторождений нефти и газа на шельфе?

5. Что такое пластовое давление и как оно меняется в процессе разработки месторождений нефти и газа?.

Тема 3. Инфраструктура горных предприятий при подводной добыче полезных ископаемых

Основные структурные элементы горных предприятиё при подводной добыче твёрдых полезных ископаемых. Основные структурные элементы горных предприятий при подводной добыче нефти и газа. Коммуникации промысла.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое инфраструктура буровой платформы?
2. Какова стандартная инфраструктура буровой платформы?
3. Перечислите стандартные коммуникации нефтепромысла на буровой платформе?
4. Какие вы знаете способы утилизации попутного нефтяного газа?
5. Инфраструктура горных предприятий при подводной добыче золота и марганца?

Тема 4. Создание опорных и съёмочных геодезических сетей при подводной добыче полезных ископаемых

Особенности методов построения опорных маркшейдерско-геодезических сетей при подводной добыче полезных ископаемых Закрепление опорных пунктов. Способы развития опорных сетей. Способы создания высотной сети.

Контрольные вопросы и упражнения

1. Особенности построения опорных маркшейдерско-геодезических сетей на нефтепромысле при подводной добыче?
2. Особенности привязки опорных маркшейдерских сетей к государственным геодезическим сетям на нефтепромыслах при подводной добыче.
3. Какие виды геодезических сетей используются на нефтепромыслах при подаодной добыче?

4. Какие методы построения съёмочных маркшейдерских сетей преимущественно используются при разработке подводных месторождений?
5. Какие методы построения опорных маркшейдерских сетей преимущественно используются при разработке подводных месторождений?

Тема 5. Маркшейдерское обеспечение процесса обустройства подводной разработки месторождений

Создание опорных геодезических сетей на морских платформах различных типов и в прибрежной части. Понятие о строительной сетке. Связь строительной сетки и опорной геодезической сети. Вынос в натуру строительных осей объектов при монтаже инженерных сооружений.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве буровой платформы.
2. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве предприятий при подводной добыче золота и марганца в прибрежной зоне.
3. Создание опорной и съёмочной геодезических сетей на буровой платформе.
4. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве подводных нефтепроводов.
5. Маркшейдерские работы при изысканиях, строительстве и эксплуатации морских буровых платформ?
6. Что такое геодезическая строительная сетка и каковы способы её построения?
7. Технология выноса в натуру строительных осей инженерных сооружений.
8. .Технологии детальной разбивки осей инженерных сооружений.
9. Какова связь строительной геодезической сетки и опорной маркшейдерской сети?
10. Технологии маркшейдерского контроля инженерных сооружений по высоте.

Тема 6. Маркшейдерское обеспечение строительства и эксплуатации морских платформ.

Виды морских платформ и добывающих скважин (одиночные кусты скважин, скважины с горизонтальным отходом). Маркшейдерские работы при монтаже буровой установки. Контроль траектории бурения скважины. Маркшейдерские работы при обустройстве кустовой площадки.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. 1. Виды и назначение скважин на нефтегазовых месторождениях.
2. Маркшейдерские работы при определении фактических координат и высот устьев скважин на нефтегазовых месторождениях.
3. Какие задачи должны быть решены маркшейдером при задании направления скважины?
4. Маркшейдерские работы при монтаже буровой установки?
5. Маркшейдерский контроль траектории бурения скважины?
6. Построение фактической траектории пробуренной скважины по данным инклинометрической съёмки?
7. Каковы допустимые предельные погрешности при перенесении в натуру проектного положения устьев скважин?
8. Контрольные предельные параметры при строительстве буровой вышки.
9. Какие маркшейдерские работы выполняются при обустройстве буровой платформы?
10. Как производится исполнительная съёмка буровой платформы?

Тема 7. Наблюдения за деформациями опасных производственных объектов

Понятие об опасных производственных объектах. Наблюдения за деформациями опасных производственных объектов. Возможные аварийные ситуации при эксплуатации нефтепромыслов, способы их предупреждения и ликвидации последствий. Экологические последствия эксплуатации морских платформ.

.Контрольные вопросы и упражнения:

1. Понятие об опасных производственных объектах.
2. Наблюдения за деформациями опасных производственных объектов?
3. Каковы виды деформаций опасных производственных объектов?
4. Как проектируются нивелирные сети для мониторинга осадок инженерных сооружений на нефтепромыслах?
5. В чём заключается маркшейдерский мониторинг деформаций резервуаров временного хранения нефти?
6. В чём заключается маркшейдерский мониторинг деформаций нефтепроводов?
7. Как определяются деформации поверхности буровых платформ?
8. Как осуществляется маркшейдерский контроль крена буровой вышки ?
9. Каковы возможные аварийные ситуации при эксплуатации буровых платформ, способы их предупреждения и ликвидации последствий?
10. Каковы экологические последствия эксплуатации нефтепромыслов на море?

Тема 8. Маркшейдерское обеспечение геодинамической безопасности при разработке месторождений нефти и газа

Создание геодезических сетей для наблюдений за деформациями земной поверхности и сооружений. Методы наблюдений. Наблюдения за деформациями земной поверхности на большой площади. Наблюдения за деформациями земной поверхности в зонах тектонических разломов и контактов. Наблюдения с применением дистанционных методов зондирования Земли.

***Контрольные вопросы и упражнения*:**

1. 1. Каковы маркшейдерские методы наблюдения за деформациями дна водоёмов на территориях подводных нефтегазовых месторождений?
2. Что такое геодинамический полигон и для чего он нужен?

3. Роль спутниковых координатных определений при создании геодинамического полигона на нефтегазовом месторождении.
4. . Наблюдения за деформациями поверхности дна моря на шельфе в зонах тектонических разломов и контактов.
5. Наблюдения за деформациями земной поверхности и бкровых платформ с применением дистанционных методов зондирования Земли (по спутниковым радарным снимкам).

Методические указания к выполнению расчётно-графических работ

Расчётно-графическая работа № 1

По дисциплине «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья»

Тема: РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ ИНКЛИНОМЕТРИИ

***Цель работы*:** освоить методику определения пространственного положения оси скважины по данным инклинометрических измерений. Определить координаты точки встречи скважины с пластом. Построить вертикальный разрез по скважине и план искривления скважины.

Место проведения занятия:

Лаборатория кафедры маркшейдерского дела, территория университета.

Принадлежности для выполнения лабораторной работы:

Чертежные материалы и принадлежности, инженерный калькулятор, геодезический транспортир.

Содержание задания:

По данным инклинометрической съемки скважины произвести расчет координат точек замеров, определить координаты и высотную отметку точки встречи скважины с пластом. Построить план искривления скважины в масштабе 1:1000 и проекцию траектории скважины на вертикальную плоскость.

Исходные данные:

Пространственные координаты устья скважины приведены в таблице № 1. Данные инклинометрической съемки приведены в таблице № 2. Расстояние между точками замеров принять равным **50 (100)** м. поправка для перехода от гироскопического азимута к дирекционному углу равна минус **$3^0$20”**

Таблица 1- **Координаты устья скважины (т. С)**

№ варианта	Координаты, м		Высотная отметка, м		№ варианта	Координаты, м		Высотная отметка, м
	X	Y	H			X	Y	H
1	191,816	64,186	415,0		19	93,807	219,764	402,0
2	192,186	67,812	416,0		20	264,218	232,614	404,5
3	68,821	134,164	417,0		21	224,146	69,825	406,0
4	201,713	71,807	418,0		22	267,815	243,707	405,5
5	58,822	122,618	419,0		23	245,321	58,517	407,0
6	296,307	191,406	420,0		24	164,128	278,617	407,5
7	261,128	27,316	421,0		25	89,801	157,411	408,5
8	62,108	61,406	422,0		26	126,706	288,617	409,0
9	149,206	48,311	423,0		27	224,627	217,232	410,5
10	71,307	52,618	424,0		28	72,326	218,604	411,5
11	81,623	218,322	412,0		29	161,328	64,681	404,0
12	66,213	134,617	411,0		30	193,681	68,713	402,5

13	225,164	69,815	410,0		31	69,217	45,186	400,5
14	168,518	225,707	409,0		32	232,713	72,807	398,5
15	47,113	267,715	408,0		33	159,821	63,516	396,5
16	95,811	217,716	407,0		34	297,304	272,608	397,5
17	88,118	109,141	406,0		35	262,821	108,316	398,0
18	207,607	287,716	405,0		36	103,104	122,801	394,5

Таблица № 2 **– Результаты инклинометрических измерений**

Номер точки замера	Гироскопический азимут, градус	Зенитный угол	Примечание
С	0	5	Устье скважины
1	70	10	
2	75	15	
3	80	20	
4	85	25	
5	90	30	
6	95	35	

Вычисления свести в таблицу.

Номера точек замера	Зенитный угол	Расстояние межу точками замера (по геофиз. кабелю)	Превышения межу точками замера	Горизонтальныепроложения	Гироскопический азимут	Дирекц. угол интевала	Приращения координат, м		Координаты, м		Высотные отметки, м
							Х	У	Х	У	Н

Расчётно-графическая работа № 2

По дисциплине «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ГРУНТА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ОТСЫПКИ ПЛОЩАДКИ КУСТОВОГО БУРЕНИЯ

Цель работы**:** освоить методику определения объемов отсыпки кустовых площадок с учетом просадок основания насыпи. Научиться определять объем необходимого грунта в плотном теле. Построить план кустовой площадки и поперечный вертикальный разрез насыпи.

Место проведения занятия:

Лаборатория кафедры маркшейдерского дела, территория университета.

Принадлежности для выполнения лабораторной работы:

Чертежные материалы и принадлежности, инженерный калькулятор.

Содержание задания:

Площадка для выполнения кустового бурения отсыпается скальным грунтом на горизонтальное основание из суглинков. По исходным данным (габаритам площади и заложению откосов) построить план площадки в масштабе 1:1000 или 1:2000 и поперечный разрез в масштабе 1:100. Определить прогнозную величину осадок основания насыпи. Определить объем насыпи выше исходной поверхности отсыпки и объем просадок основания насыпи, а также общий объем необходимого грунта. Перевести объем насыпанного грунта в плотное тело (объём породы в целике).

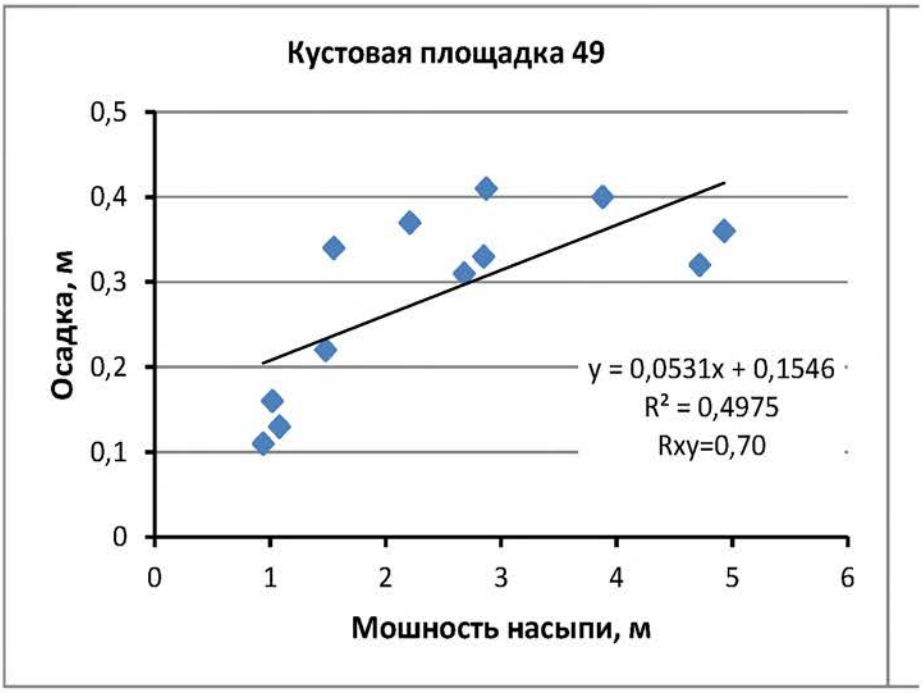
Исходные данные:

Габариты площадки. Высота насыпи. Заложение откоса. Зависимость для определения просадок основания насыпей.

***Таблица 1*- Проектные параметры кустовой площадки**

Номенр-вариан та	Длина, м	Ширина, м	Высота отсыпки, м	Заложение откоса		Номенрвариан та	Длина, м	Ширина, м	Высота отсыпки, м	Заложение откоса
1	100	50	1,2	1:1,5		20	200	120	3,0	1:2,5
2	100	50	1,4	1:1,5		21	250	150	1,2	1:3
3	100	50	1,6	1:1,5		22	250	150	1,4	1:3
4	100	50	1,8	1:1,5		23	250	150	1,6	1:3
5	100	50	2,0	1:2		24	250	150	1,8	1:3
6	100	50	2,2	1:2		25	250	150	2,0	1:3
7	100	50	2,4	1:2		26	250	150	2,2	1:3
8	100	50	2,6	1:2		27	250	150	2,4	1:3
9	100	50	2,8	1:2		28	250	150	2,6	1:3
10	100	50	3,0	1:2		29	250	150	2,8	1:3
11	200	120	1,2	1:2		30	250	150	3,0	1:3
12	200	120	1,4	1:2		31	300	160	1,6	1:2
13	200	120	1,6	1:2		32	300	160	1,8	1:2
14	200	120	1,8	1:2		33	300	160	2,0	1:2
15	200	120	2,0	1:2		34	300	160	2,2	1:2
16	200	120	2,2	1:2,5		35	300	160	2,4	1:2
17	200	120	2,4	1:2,5		36	300	160	2,6	1:2
18	200	120	2,6	1:2,5		37	300	160	2,8	1:2
19	200	120	2,8	1:2,5		38	300	160	3,0	1:2

1. Вычисление прогнозной просадки основания насыпи под действием веса насыпного грунта определяем по эмпирической зависимости, график которой представлен на рисунке.



$$h_{просадок} = 0.053m + 0.154\ (м),$$

m – мощность (высота) насыпи, м.

2. Коэффициент перехода от насыпного уплотненного грунта к объему в массиве (в плотном теле) для скальной породы составляет 0,87.

Рекомендуемая литература

1. Геодезия и маркшейдерия : учебник для вузов по специальности "Физические процессы горного или нефтегазового производства" направления подготовки дипломированных специалистов "Горное дело" В. Н. Попов [и др.]; под ред. В. Н. и др., 2010. - 452 с.

2. Кашников Ю. В., Беляев К.В., Богданец Е.С., Согорин А.А. Маркшейдерское обеспечение разработки месторождений нефти и газа. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2018. - 454 с.

3. Жаркимбаев Б.М., Калыбеков Т., Рысбеков К,Б. Маркшейдерия при разработке месторождений нефти и газа: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2005. – 223 с.

4. Загибалов А. В. Маркшейдерия. Маркшейдерское обеспечение разработки нефтегазоконденсатных месторождений : учебное пособие для вузов по направлению подготовки (специальности) "Горное дело" (специализация "Маркшейдерское дело") / А. В. Загибалов, А. В. Волохов, изд-во ИрНИУ, 2015. - 153 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Шмонин А.Б.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДВОДНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	
1	Методические указания к организации самостоятельной работы обучающихся	5
2	Содержание курса. Контрольные вопросы и упражнения.	6
3	Методические указания к выполнению расчётно-графических работ	13
	Рекомендуемая литература	17

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента по дисциплине «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений» составляет 108 часа или 3 зачетных единиц. Из них 67 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых практических работ; подготовка к тестированию; подготовка к зачёту.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на зачёт. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку обучающихся. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья» в данном учебно-методическом пособии. приведены контрольные вопросы по темам и образцы тестовых заданий.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны разделы и страницы учебника, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения и тестовые задания. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовые задания.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

Тема 1. Содержание и задачи дисциплины

Содержание и задачи дисциплины, ее теоретическое и практическое значение для маркшейдеров. Связь курса с другими дисциплинами. Предмет, объекты изучения и задачи маркшейдерского обеспечения подводной разработки месторождений.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные практические задачи маркшейдерских работ при подводной разработке месторождений полезных ископаемых.
2. Назовите основные научно-технические задачи, решаемые при маркшейдерском обеспечении подводных разработок месторождений.
3. Какова связь данного курса с другими дисциплинами?
4. Предмет, объекты изучения и задачи курса «Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений».
5. Каковы организационные и технические особенности маркшейдерских работ при подводной разработке месторождений?.

Тема 2. Общие сведения о геологии и технологиях разработки подводных месторождений полезных ископаемых

Геологическое строение месторождений полезных ископаемых на шельфе, в том числе месторождений нефти и газа. Геологическая разведка подводных месторождений.. Производственные процессы при подводной добыче полезных ископаемых.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Коллекторы нефти и газа, их характеристика?
2. Системы разработки залежей нефт на шельфе.
3. Каковы стадии разработки месторождений нефти и газа на шельфе?
4. Как производится геологическая разведка месторождений нефти и газа на шельфе?

5. Что такое пластовое давление и как оно меняется в процессе разработки месторождений нефти и газа?.

Тема 3. Инфраструктура горных предприятий при подводной добыче полезных ископаемых

Основные структурные элементы горных предприятиё при подводной добыче твёрдых полезных ископаемых. Основные структурные элементы горных предприятий при подводной добыче нефти и газа. Коммуникации промысла.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое инфраструктура буровой платформы?
2. Какова стандартная инфраструктура буровой платформы?
3. Перечислите стандартные коммуникации нефтепромысла на буровой платформе?
4. Какие вы знаете способы утилизации попутного нефтяного газа?
5. Инфраструктура горных предприятий при подводной добыче золота и марганца?

Тема 4. Создание опорных и съёмочных геодезических сетей при подводной добыче полезных ископаемых

Особенности методов построения опорных маркшейдерско-геодезических сетей при подводной добыче полезных ископаемых Закрепление опорных пунктов. Способы развития опорных сетей. Способы создания высотной сети.

Контрольные вопросы и упражнения

1. Особенности построения опорных маркшейдерско-геодезических сетей на нефтепромысле при подводной добыче?
2. Особенности привязки опорных маркшейдерских сетей к государственным геодезическим сетям на нефтепромыслах при подводной добыче.
3. Какие виды геодезических сетей используются на нефтепромыслах при подаодной добыче?

4. Какие методы построения съёмочных маркшейдерских сетей преимущественно используются при разработке подводных месторождений?
5. Какие методы построения опорных маркшейдерских сетей преимущественно используются при разработке подводных месторождений?

Тема 5. Маркшейдерское обеспечение процесса обустройства подводной разработки месторождений

Создание опорных геодезических сетей на морских платформах различных типов и в прибрежной части. Понятие о строительной сетке. Связь строительной сетки и опорной геодезической сети. Вынос в натуру строительных осей объектов при монтаже инженерных сооружений.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве буровой платформы.
2. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве предприятий при подводной добыче золота и марганца в прибрежной зоне.
3. Создание опорной и съёмочной геодезических сетей на буровой платформе.
4. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве подводных нефтепроводов.
5. Маркшейдерские работы при изысканиях, строительстве и эксплуатации морских буровых платформ?
6. Что такое геодезическая строительная сетка и каковы способы её построения?
7. Технология выноса в натуру строительных осей инженерных сооружений.
8. .Технологии детальной разбивки осей инженерных сооружений.
9. Какова связь строительной геодезической сетки и опорной маркшейдерской сети?
10. Технологии маркшейдерского контроля инженерных сооружений по высоте.

Тема 6. Маркшейдерское обеспечение строительства и эксплуатации морских платформ.

Виды морских платформ и добывающих скважин (одиночные кусты скважин, скважины с горизонтальным отходом). Маркшейдерские работы при монтаже буровой установки. Контроль траектории бурения скважины. Маркшейдерские работы при обустройстве кустовой площадки.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. 1. Виды и назначение скважин на нефтегазовых месторождениях.
2. Маркшейдерские работы при определении фактических координат и высот устьев скважин на нефтегазовых месторождениях.
3. Какие задачи должны быть решены маркшейдером при задании направления скважины?
4. Маркшейдерские работы при монтаже буровой установки?
5. Маркшейдерский контроль траектории бурения скважины?
6. Построение фактической траектории пробуренной скважины по данным инклинометрической съёмки?
7. Каковы допустимые предельные погрешности при перенесении в натуру проектного положения устьев скважин?
8. Контрольные предельные параметры при строительстве буровой вышки.
9. Какие маркшейдерские работы выполняются при обустройстве буровой платформы?
10. Как производится исполнительная съёмка буровой платформы?

Тема 7. Наблюдения за деформациями опасных производственных объектов

Понятие об опасных производственных объектах. Наблюдения за деформациями опасных производственных объектов. Возможные аварийные ситуации при эксплуатации нефтепромыслов, способы их предупреждения и ликвидации последствий. Экологические последствия эксплуатации морских платформ.

.Контрольные вопросы и упражнения:

1. Понятие об опасных производственных объектах.
2. Наблюдения за деформациями опасных производственных объектов?
3. Каковы виды деформаций опасных производственных объектов?
4. Как проектируются нивелирные сети для мониторинга осадок инженерных сооружений на нефтепромыслах?
5. В чём заключается маркшейдерский мониторинг деформаций резервуаров временного хранения нефти?
6. В чём заключается маркшейдерский мониторинг деформаций нефтепроводов?
7. Как определяются деформации поверхности буровых платформ?
8. Как осуществляется маркшейдерский контроль крена буровой вышки ?
9. Каковы возможные аварийные ситуации при эксплуатации буровых платформ, способы их предупреждения и ликвидации последствий?
10. Каковы экологические последствия эксплуатации нефтепромыслов на море?

Тема 8. Маркшейдерское обеспечение геодинамической безопасности при разработке месторождений нефти и газа

Создание геодезических сетей для наблюдений за деформациями земной поверхности и сооружений. Методы наблюдений. Наблюдения за деформациями земной поверхности на большой площади. Наблюдения за деформациями земной поверхности в зонах тектонических разломов и контактов. Наблюдения с применением дистанционных методов зондирования Земли.

***Контрольные вопросы и упражнения*:**

1. 1. Каковы маркшейдерские методы наблюдения за деформациями дна водоёмов на территориях подводных нефтегазовых месторождений?
2. Что такое геодинамический полигон и для чего он нужен?

3. Роль спутниковых координатных определений при создании геодинамического полигона на нефтегазовом месторождении.
4. . Наблюдения за деформациями поверхности дна моря на шельфе в зонах тектонических разломов и контактов.
5. Наблюдения за деформациями земной поверхности и бкровых платформ с применением дистанционных методов зондирования Земли (по спутниковым радарным снимкам).

Методические указания к выполнению расчётно-графических работ

Расчётно-графическая работа № 1

По дисциплине «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья»

Тема: РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ ИНКЛИНОМЕТРИИ

***Цель работы*:** освоить методику определения пространственного положения оси скважины по данным инклинометрических измерений. Определить координаты точки встречи скважины с пластом. Построить вертикальный разрез по скважине и план искривления скважины.

Место проведения занятия:

Лаборатория кафедры маркшейдерского дела, территория университета.

Принадлежности для выполнения лабораторной работы:

Чертежные материалы и принадлежности, инженерный калькулятор, геодезический транспортир.

Содержание задания:

По данным инклинометрической съемки скважины произвести расчет координат точек замеров, определить координаты и высотную отметку точки встречи скважины с пластом. Построить план искривления скважины в масштабе 1:1000 и проекцию траектории скважины на вертикальную плоскость.

Исходные данные:

Пространственные координаты устья скважины приведены в таблице № 1. Данные инклинометрической съемки приведены в таблице № 2. Расстояние между точками замеров принять равным **50 (100)** м. поправка для перехода от гироскопического азимута к дирекционному углу равна минус **$3^0$20”**

Таблица 1- **Координаты устья скважины (т. С)**

№ варианта	Координаты, м		Высотная отметка, м		№ варианта	Координаты, м		Высотная отметка, м
	X	Y	H			X	Y	H
1	191,816	64,186	415,0		19	93,807	219,764	402,0
2	192,186	67,812	416,0		20	264,218	232,614	404,5
3	68,821	134,164	417,0		21	224,146	69,825	406,0
4	201,713	71,807	418,0		22	267,815	243,707	405,5
5	58,822	122,618	419,0		23	245,321	58,517	407,0
6	296,307	191,406	420,0		24	164,128	278,617	407,5
7	261,128	27,316	421,0		25	89,801	157,411	408,5
8	62,108	61,406	422,0		26	126,706	288,617	409,0
9	149,206	48,311	423,0		27	224,627	217,232	410,5
10	71,307	52,618	424,0		28	72,326	218,604	411,5
11	81,623	218,322	412,0		29	161,328	64,681	404,0
12	66,213	134,617	411,0		30	193,681	68,713	402,5

13	225,164	69,815	410,0		31	69,217	45,186	400,5
14	168,518	225,707	409,0		32	232,713	72,807	398,5
15	47,113	267,715	408,0		33	159,821	63,516	396,5
16	95,811	217,716	407,0		34	297,304	272,608	397,5
17	88,118	109,141	406,0		35	262,821	108,316	398,0
18	207,607	287,716	405,0		36	103,104	122,801	394,5

Таблица № 2 **– Результаты инклинометрических измерений**

Номер точки замера	Гироскопический азимут, градус	Зенитный угол	Примечание
С	0	5	Устье скважины
1	70	10	
2	75	15	
3	80	20	
4	85	25	
5	90	30	
6	95	35	

Вычисления свести в таблицу.

Номера точек замера	Зенитный угол	Расстояние межу точками замера (по геофиз. кабелю)	Превышения межу точками замера	Горизонтальныепроложения	Гироскопический азимут	Дирекц. угол интевала	Приращения координат, м		Координаты, м		Высотные отметки, м
							Х	У	Х	У	Н

Расчётно-графическая работа № 2

По дисциплине «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ГРУНТА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ОТСЫПКИ ПЛОЩАДКИ КУСТОВОГО БУРЕНИЯ

Цель работы**:** освоить методику определения объемов отсыпки кустовых площадок с учетом просадок основания насыпи. Научиться определять объем необходимого грунта в плотном теле. Построить план кустовой площадки и поперечный вертикальный разрез насыпи.

Место проведения занятия:

Лаборатория кафедры маркшейдерского дела, территория университета.

Принадлежности для выполнения лабораторной работы:

Чертежные материалы и принадлежности, инженерный калькулятор.

Содержание задания:

Площадка для выполнения кустового бурения отсыпается скальным грунтом на горизонтальное основание из суглинков. По исходным данным (габаритам площади и заложению откосов) построить план площадки в масштабе 1:1000 или 1:2000 и поперечный разрез в масштабе 1:100. Определить прогнозную величину осадок основания насыпи. Определить объем насыпи выше исходной поверхности отсыпки и объем просадок основания насыпи, а также общий объем необходимого грунта. Перевести объем насыпанного грунта в плотное тело (объём породы в целике).

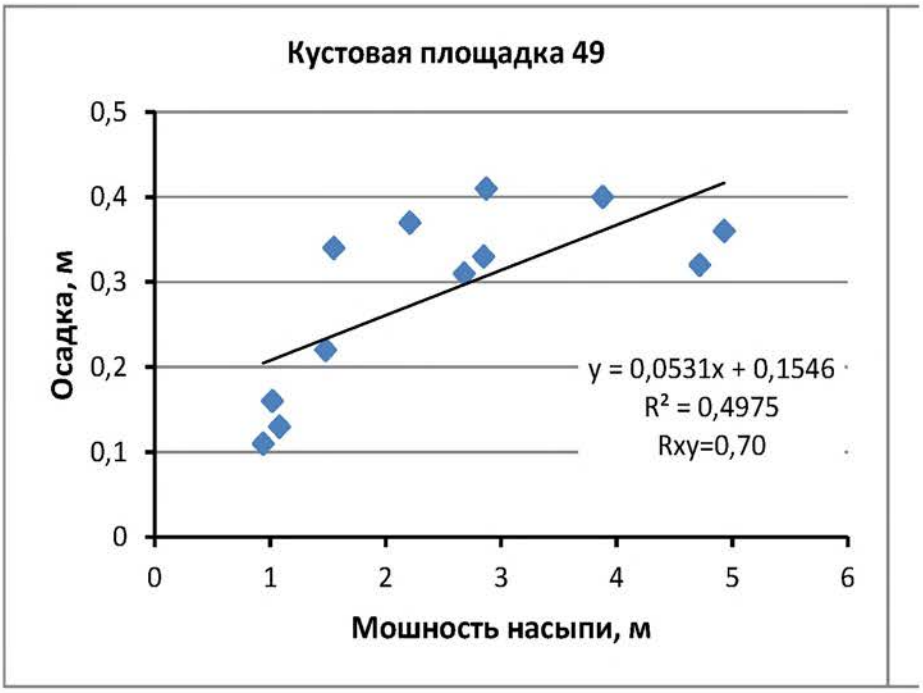
Исходные данные:

Габариты площадки. Высота насыпи. Заложение откоса. Зависимость для определения просадок основания насыпей.

***Таблица 1*- Проектные параметры кустовой площадки**

Номенр-вариан та	Длина, м	Ширина, м	Высота отсыпки, м	Заложение откоса		Номенрвариан та	Длина, м	Ширина, м	Высота отсыпки, м	Заложение откоса
1	100	50	1,2	1:1,5		20	200	120	3,0	1:2,5
2	100	50	1,4	1:1,5		21	250	150	1,2	1:3
3	100	50	1,6	1:1,5		22	250	150	1,4	1:3
4	100	50	1,8	1:1,5		23	250	150	1,6	1:3
5	100	50	2,0	1:2		24	250	150	1,8	1:3
6	100	50	2,2	1:2		25	250	150	2,0	1:3
7	100	50	2,4	1:2		26	250	150	2,2	1:3
8	100	50	2,6	1:2		27	250	150	2,4	1:3
9	100	50	2,8	1:2		28	250	150	2,6	1:3
10	100	50	3,0	1:2		29	250	150	2,8	1:3
11	200	120	1,2	1:2		30	250	150	3,0	1:3
12	200	120	1,4	1:2		31	300	160	1,6	1:2
13	200	120	1,6	1:2		32	300	160	1,8	1:2
14	200	120	1,8	1:2		33	300	160	2,0	1:2
15	200	120	2,0	1:2		34	300	160	2,2	1:2
16	200	120	2,2	1:2,5		35	300	160	2,4	1:2
17	200	120	2,4	1:2,5		36	300	160	2,6	1:2
18	200	120	2,6	1:2,5		37	300	160	2,8	1:2
19	200	120	2,8	1:2,5		38	300	160	3,0	1:2

1. Вычисление прогнозной просадки основания насыпи под действием веса насыпного грунта определяем по эмпирической зависимости, график которой представлен на рисунке.



$$h_{просадок} = 0.053m + 0.154\ (м),$$

m – мощность (высота) насыпи, м.

2. Коэффициент перехода от насыпного уплотненного грунта к объему в массиве (в плотном теле) для скальной породы составляет 0,87.

Рекомендуемая литература

1. Геодезия и маркшейдерия : учебник для вузов по специальности "Физические процессы горного или нефтегазового производства" направления подготовки дипломированных специалистов "Горное дело" В. Н. Попов [и др.]; под ред. В. Н. и др., 2010. - 452 с.

2. Кашников Ю. В., Беляев К.В., Богданец Е.С., Согорин А.А. Маркшейдерское обеспечение разработки месторождений нефти и газа. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2018. - 454 с.

3. Жаркимбаев Б.М., Калыбеков Т., Рысбеков К,Б. Маркшейдерия при разработке месторождений нефти и газа: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2005. – 223 с.

4. Загибалов А. В. Маркшейдерия. Маркшейдерское обеспечение разработки нефтегазоконденсатных месторождений : учебное пособие для вузов по направлению подготовки (специальности) "Горное дело" (специализация "Маркшейдерское дело") / А. В. Загибалов, А. В. Волохов, изд-во ИрНИУ, 2015. - 153 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Самарин А.В., Гурин А.А.

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебно-методическое пособие к курсовой работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

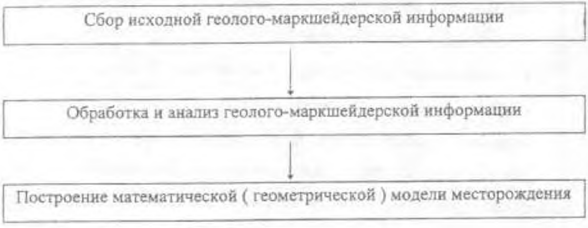
ВВЕДЕНИЕ

Для рациональной разработки месторождений полезных ископаемых необходима объективная информация о форме и условиях залегания тел полезного ископаемого, структуре массива и различных свойствах горных пород.

Вопросы изучения различных структурных и качественных показателей залежей и вмещающих пород решаются при ***геометризации месторождения***.

Комплекс работ по геометризации месторождений полезных ископаемых включает три основных этапа.

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МПИ



На первом этапе проводится изучение первичных данных разведки, опробования, геофизических измерений, геолого-маркшейдерских съемок и создаётся база данных о различных показателях месторождения.

На втором этапе исследуется вероятностное распределение значений показателей, их изменчивость и пространственное размещение; проводится анализ взаимосвязей между различными показателями.

На третьем этапе составляются горно-геометрические графики, характеризующие пространственное размещение различных показателей месторождения.

Геометризация различных типов месторождений (угольных, рудных, россыпных, нерудных строительных материалов, горно-химического сырья) имеет свои особенности. Наибольшее внимание уделяется изучению основных структурных и качественных показателей, определяющих промышленную ценность того или иного типа месторождения.

1. ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ УЧАСТКА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

1.1. Исходная геолого-маркшейдерская информация

Исходными материалами при геометризации россыпи являются:

- топографический план участка;
- расположение геологоразведочных скважин;
- абсолютные отметки постели россыпи, замеренные по скважинам;
- данные опробования объемного содержания металла по скважинам.

Данные разведки приведены в таблице 1.1. В координаты устьев геолого-разведочных скважин, отметки постели россыпи и значения объемного содержания металла вводятся поправки (табл. 1.2).

На первом этапе работы строится план разведки участка месторождения (рис. 1.1) и создаётся база данных о показателях россыпи (формуляр - табл. 1.3). План разведки строится в масштабе 1:2000 на листах формата А4. На план по координатам X и Y наносятся устья разведочных скважин, у которых подписываются номер и абсолютная отметка устья скважины, а также отметка постели россыпи H и значение объемного содержания золота C. Методом линейного интерполирования проводятся горизонтали рельефа местности.

Таблица 1.1

Каталог разведочных данных

Разведочная линия	№№ скважин	Координаты устьев скважин			Отметка постели россыпи H, м.	Объемное содержание золота C, мг/м^3
		X, км	Y, км	Z, м		
1	1	4,574	2,432	316,8	308,4	110
	2	4,560	2,499	316,3	304,4	118
	3	4,548	2,555	315,9	305,4	104
	4	4,541	2,592	316,5	307,4	81
	5	4,532	2,636	317,3	310,9	78
	6	4,523	2,677	318,0	313,3	59
2	7	4,508	2,415	318,7	309,9	104
	8	4,498	2,460	317,4	304,0	157
	9	4,486	2,514	317,4	309,3	154
	10	4,477	2,556	317,4	309,3	107
	11	4,467	2,600	318,0	309,8	104
	12	4,456	2,645	318,6	312,3	25
3	13	4,420	2,426	318,7	310,6	107
	14	4,409	2,478	318,4	306,0	154
	15	4,400	2,522	318,2	310,2	157
	16	4,392	2,565	318,2	311,0	190
	17	4,382	2,612	318,8	312,3	49
	18	4,374	2,653	319,4	315,7	58
4	19	4,342	2,424	319,8	313,0	65
	20	4,336	2,466	319,4	307,6	98
	21	4,328	2,508	319,3	310,3	121
	22	4,319	2,556	319,4	311,9	124
	23	4,310	2,615	319,7	313,7	70
	24	4,299	2,666	320,2	315,7	38
5	25	4,262	2,428	320,9	315,3	54
	26	4,254	2,488	320,5	309,7	78
	27	4,246	2,540	320,2	311,0	103
	28	4,239	2,586	320,3	311,6	97
	29	4,234	2,630	320,6	312,4	64
	30	4,227	2,672	321,0	315,8	23

Таблица 1.2

Поправки в исходные данные

№№ ПП	Алфавит	И. ΔX, м	О. ΔУ, м	Ф. ΔZ, м	Ф. ΔH, м	И. ΔC, мг/м^3
1	А	360	580	48	47,9	43
2	Б	460	640	33	33,2	59
3	В	190	850	22	21,8	32
4	Г	240	570	27	26,5	37
5	Д	530	800	40	40,3	51
6	Е	350	860	32	31,9	42
7	Е	450	630	21	20,9	58
8	Ж	170	790	26	26,1	31
9	З	520	560	47	47,4	50
10	И	270	670	39	38,7	57
11	К	340	680	31	30,6	36
12	Л	160	550	46	46,3	30
13	М	510	740	38	37,4	49
14	Н	230	620	20	19,8	56
15	О	440	780	25	24,9	41
16	П	280	660	45	45,2	48
17	Р	330	770	37	36,7	35
18	С	140	540	30	30,4	55
19	Т	260	750	24	24,4	40
20	У	610	760	44	43,7	47
21	Ф	420	530	36	35,7	54
22	Х	130	820	43	42,9	46
23	Ц	320	610	29	29,3	39
24	Ч	250	730	35	35,4	34
25	Ш	10	520	42	41,8	53
26	Щ	410	690	28	27,8	45
27	Э	120	720	23	23,5	38
28	Ю	50	590	41	41,6	52
29	Я	310	650	34	33,7	44

Примечание. Ф., И., О.- начальные буквы соответственно фамилии, имени, отчества. Например, студент П.С. Ежов имеет поправки : ΔX=+280м, ΔУ=+540м, ΔZ=+32м, ΔH=+31,9м, ΔC=+48мг/м^3.

План разведки участка россыпного месторождения золота

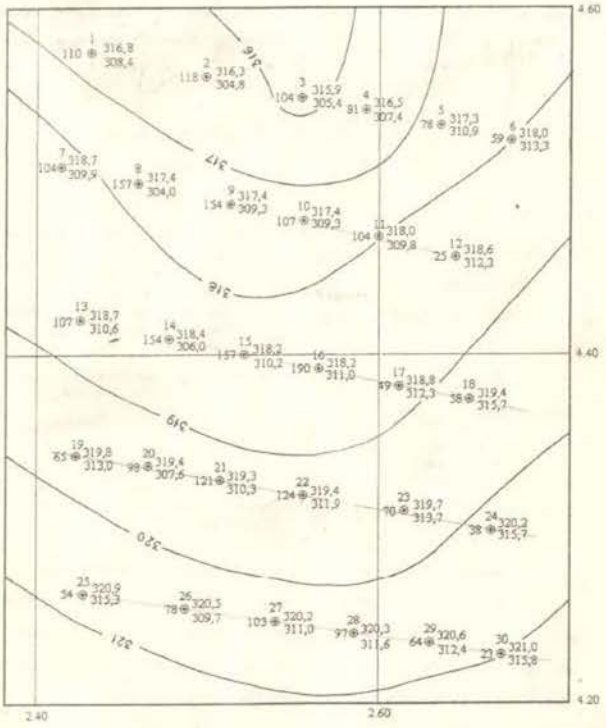


Рис. 1.1

Таблица 1.3

Показатели россыпи

Разведочная линия	№№ скважин	Координаты устья скважин			Отметка постели россыпи H, м	Мощность песков M, м	Объемное содержание золота C, мг/м³	Вертикальные запасы V, мг/м²
		X, км	У, км	Z, м				

Примечания:

1. Мощность золотосодержащих песков определяется по формуле

$$M = Z - H.$$

2. Вертикальные запасы (площадное содержание металла) определяется по формуле

$$V = M \cdot C.$$

1.2. **Обработка и анализ геолого-маркшейдерской информации**

Обработка данных разведки ведётся статистическими методами.

В работе необходимо: исследовать вероятностное распределение значений мощности песков M и объемного содержания золота C; оценить среднее значение и изменчивость показателей M, C; исследовать взаимосвязь между мощностью песков и объемным содержанием металла.

1.2.1. **Вероятностное распределение значений показателей**

При анализе вероятностного распределения значений показателей M и C производится группировка данных разведки.

Для каждого показателя определяется классовый промежуток

$$\lambda = \frac{X_{max} - X_{min}}{1+3{,}2\lg N}, \qquad (1.1)$$

где X_{max} - максимальное значение показателя в данных разведки;

X_{min} - минимальное значение показателя в данных разведки;

N - количество данных разведки.

Значение классового промежутка может округляться в большую или меньшую сторону для удобства дальнейших вычислений. Например, если величина классового промежутка для показателя C, вычисленная по формуле 1.1, составила 27,8 мг/м³, то при дальнейшей обработке λ_c можно принять равной 30 мг/м³.

Далее все множество значений исследуемых показателей делится на K равных интервалов (классов) в соответствии с величиной классового промежутка и подсчитывается число P_i значений показателей, попавших в каждый интервал. Затем производится последовательное суммирование частот P_i по классам и вычисление дискретных $W_д$ и накопленных $W_н$ частостей:

для i-го класса (i = 1...K).

$$W_{дi} = \frac{P_i}{N} \cdot 100\ \%, \qquad (1.2)$$

$$W_{нi} = \frac{\sum P_i}{N} \cdot 100\ \%. \qquad (1.3)$$

Расчеты по обработке значений показателей M и C сводятся в отдельные таблицы. Пример - таблица 1.4.

Таблица 1.4

Обработка значений объемного содержания золота

Классы (мг/м^3)	Индексы	Частоты $P_{ш}$	Накопительные классы (мг/м^3)	Накопленные частоты $\Sigma P_{ш}$	Частости	
					$W_{ш}$ (%)	$W_{н}$ (%)
0-30	:	2	0-30	2	7	7
30-60	::	5	0-60	7	17	24
60-90	⁞	6	0-90	13	20	44
90-120	⊠	10	0-120	23	33	77
120-150	:	2	0-150	25	7	84
150-180	::	4	0-180	29	13	97
180-210	·	1	0-210	30	3	100

По данным таблиц строятся графики, характеризующие вероятностное распределение значений показателей - гистограммы, полигоны и кумуляты (рис. 1.2).

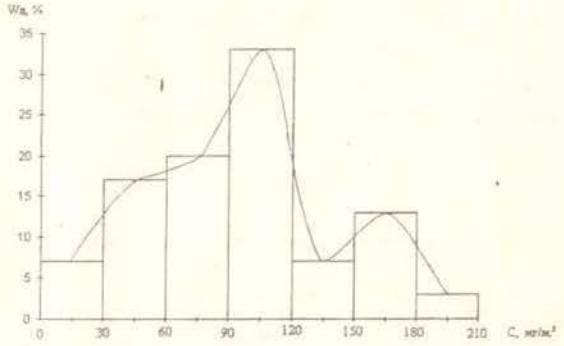
Для построения гистограммы на оси абсцисс отмечают границы интервалов (классов) и строят прямоугольники с основаниями, равными длине интервалов, и высотами, равными частостям $W_д$.

Полигон частостей - линия, соединяющая середины верхних сторон прямоугольников гистограммы.

Кумулята - линия, проходящая через точки, абсциссами которых являются правые границы классов, а ординатами - накопленные частости $W_н$.

Графики вероятностного распределения значений объемного содержания золота

Гистограмма и полигон частостей



Кумулята

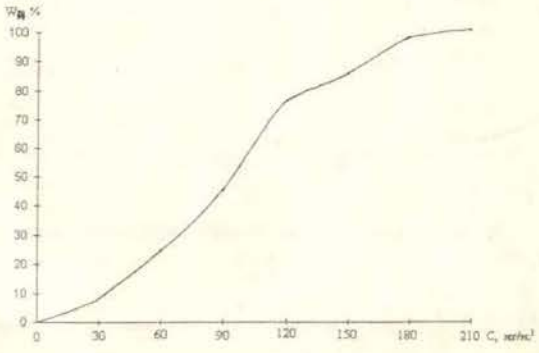


Рис.1.2.

1.2.2. **Статистическое оценивание значений показателей**

Оценивание среднего значения изучаемых величин М, С и показателей их изменчивости (стандарта, коэффициента вариации) проводится по сгруппированным данным.

Отдельно по мощности песков и объемному содержанию золота заполняются таблицы для расчета статистических оценок. Пример - таблица 1.5.

Таблица 1.5

Расчет статистических оценок объемного содержания золота

Классы ($мг/м^3$)	Частота P_{ci}	Условное значение класса a	$P_{ci}a$	$P_{ci}a^2$
0-30	2	-3	-6	18
30-60	5	-2	-10	20
60-90	6	-1	-6	6
90-120	10	0	0	0
120-150	2	1	2	2
150-180	4	2	8	16
180-210	1	3	3	9
Σ	30		-9	71

Величина условного значения класса a вычисляется по формуле

$$a = \frac{\bar{X}_{ai} - \bar{X}_0}{\lambda_x}, \qquad (1.4)$$

где $\bar{X}_{ai}$ - среднее значение показателя в классовом промежутке;

$\bar{X}_0$ - среднее значение показателя в нулевом классе;

λ_x - величина классового промежутка.

За нулевой принимается средний классовый промежуток.

Вычисление статистических оценок показателей М и С проводится по формулам:

Условный момент первого порядка

$$\gamma_{x1} = \frac{\sum P_{ci} a}{N}, \qquad (1.5)$$

Условный момент второго порядка

$$\gamma_{x2} = \frac{\sum P_{ci} a^2}{N}, \qquad (1.6)$$

Среднее значение показателя

$$\bar{X} = \bar{X}_0 + \lambda_x \gamma_{x1}, \qquad (1.7)$$

Среднее квадратическое отклонение (стандарт) значений показателя

$$\sigma_x = \lambda_x \sqrt{\gamma_{x2} - \gamma_{x1}^2}, \qquad (1.8)$$

Коэффициент вариации значений показателя

$$\upsilon = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \cdot 100\,\%, \qquad (1.9)$$

При выполнении работы в обозначениях вместо индекса X используются соответствующие индексы M или C.

1.2.3. **Анализ взаимосвязи между показателями**

Исследование взаимосвязи между мощностью золотосодержащих песков М и объемным содержанием золота С проводится методом корреляционного анализа.

При корреляционном анализе сгруппированных данных заполняется специальный формуляр - корреляционная таблица (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Корреляционная таблица

M / C	Мощность песков, м: 2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	P_c	a_c	$P_c a_c$	$P_c a_c^2$	$\sum P_i a_i a_M$	$\sum P_i M_{Ki}$	$\bar{M}_i$
0-30		•	•				2	-3	-6	18	3	12	6,0
30-60	•	••	•				5	-2	-10	20	10	25	5,0
60-90		••	••	•			6	-1	-6	6	0	42	7,0
90-120			••	••	••		10	0	0	0	0	92	9,2
120-150			•	•			2	+1	2	2	1	16	8,0
150-180			•	•		•	4	+2	8	16	14	42	10,5
180-210			•				1	+3	3	9	0	7	7,0
P_M	1	6	9	9	3	2	30	Σ	-9	71	28	236	
a_M	-2	-1	0	+1	+2	+3	Σ						
$P_M a_M$	-2	-6	0	+9	+6	+6	+13						
$P_M a_M^2$	4	6	0	9	12	18	49						
$\sum P_i a_M a_C$	4	11	0	1	0	12	28						
$\sum P_i C_{Ki}$	45	300	915	975	315	330	2880						
$\bar{C}_i$	45	50	102	108	105	165							

Примечания.

1. P_i - количество данных в i-той клетке таблицы.

2. M_{Ki} , C_{Ki} - среднее значение показателя (соответственно мощности или содержания) в i-том классовом промежутке .

3. $\bar{M}_i = \sum P_i M_{Ki} / P_c$; $\bar{C}_i = \sum P_i C_{Ki} / P_M$.

Для оценки тесноты связи используется коэффициент корреляции, который рассчитывается по формуле

$$r_{C,M} = \frac{\sum P a_C a_M - N\gamma_{Ci}\gamma_{Mi}}{N\xi_C\xi_M}, \qquad (1.10)$$

где $\xi_C = \sqrt{\gamma_{Ci} - \gamma_{Ci}^2}$; $\xi_M = \sqrt{\gamma_{Mi} - \gamma_{Mi}^2}$.

Уравнение зависимости объемного содержания металла C от мощности золотосодержащих песков находится по формуле

$$C = \bar{C} + \rho(M - \bar{M}) , \qquad (1.11)$$

где $\rho = \frac{\sigma_C}{\sigma_M} r_{C,M}$.

По результатам расчетов строится график зависимости между показателями (рис. 1.3) .

Зависимость объемного содержания золота от мощности песков

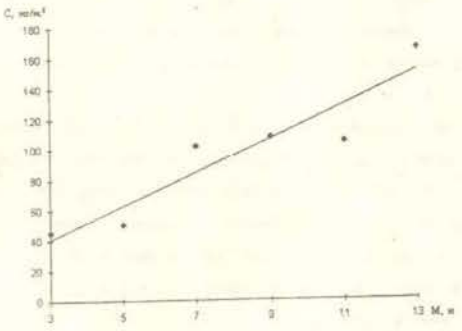


Рис. 1.3.

На графике изображается прямая линия зависимости C = f (M), вычисленная по формуле (1.11), и точки абсциссами которых являются средние значения мощности песков в классовых промежутках, а ординатами соответствующие средние значения объемного содержания золота $\overline{C}_i$ (табл. 1.6).

1.3 Построение горно-геометрических графиков

В комплект графических материалов, необходимых для рациональной разработки залежи, входят:

1. Полигоны размещения значений показателей мощности золотосодержащих песков, объемного содержания золота и вертикальных запасов по разведочным линиям.
2. План размещения значений абсолютных отметок постели россыпи
3. План размещения значений мощности песков.
4. План размещения значений объемного содержания золота.
5. План размещения значений вертикальных запасов.

При построении полигонов размещения показателей на оси абсцисс показывается расположение скважин по разведочной линии, а по оси ординат откладываются значения M, C и V. Для каждого показателя приводится шкала значений (рис. 1.4).

Размещение значений показателей H, M, C и V на планах изображается системой изолиний (рис. 1.5.). При построении графиков необходимо нанести на план разведочные скважины, подписать значения показателя и методом линейного интерполирования провести изолинии. Сечение изолиний принимается: для плана постели россыпи - 1м; для плана мощности песков - 1м; для плана объемного содержания золота - 10 мг / м^3; для плана вертикальных запасов - 100 мг/м^3.

Позитивы размещения значений показателей по разведочной линии 1-1

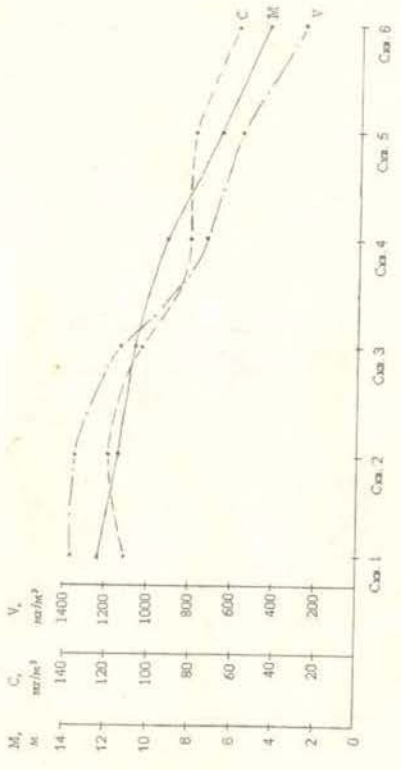
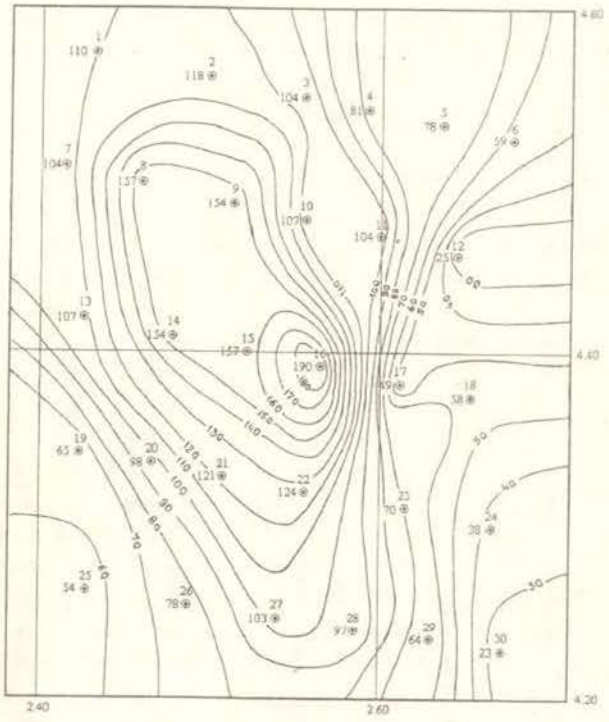


Рис. 1.4

План размещения значений объемного содержания золота



Сечение изолиний 10 мг/м^3

Рис. 1.5

В заключении по работе приводятся основные сведения о размещении показателей россыпи на участке, даются рекомендации по использованию результатов геометризации для решения производственных вопросов.

2. ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ УЧАСТКА УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Важнейшими структурными и качественными показателями, определяющими промышленную ценность угольных месторождений, являются: мощность угольных пластов, рельеф почвы и кровли пластов, тектоническая нарушенность пластов, зольность угля. Изучению этих показателей уделяется основное внимание при геометризации угольных месторождений.

2.1. Исходная геолого-маркшейдерская информация

Исходными материалами для геометризации участка угольного месторождения являются результаты геологоразведочных работ:

каталог координат разведочных скважин (табл. 2.1);

замеры мощностей вмещающих пород и угольных пластов по скважинам (табл. 2.2 - 2.6);

результаты опробования зольности угля по скважинам (табл. 2.7).

В результаты геологоразведочных работ вводятся поправки (табл. 2.8).

На первом этапе работы необходимо:

- с учетом индивидуальных поправок составить каталог разведочных скважин;
- построить план разведки участка месторождения в масштабе 1:5000 (на плане показывается расположение скважин и рельеф местности);
- составить таблицы замеров мощностей пород по скважинам (с учетом поправок);
- составить таблицу абсолютных отметок точек подсечения поверхности пласта (формуляр - табл. 2.9);
- создать базу данных о показателях мощности и зольности угольного пласта №1 или №2 по варианту (формуляр - табл. 2.10).

Таблица 2.1

Каталог координат разведочных скважин

№	РЛ	№ скважины	Координаты устьев скважин, м			№	РЛ	№ скважины	Координаты устьев скважин, м		
			X	Y	Z				X	Y	Z
1	17	24	905	60	248,6	21	19	46	612	432	245,2
2		25	930	145	247,5	22		47	631	496	244,2
3		26	968	217	246,6	23		48	654	560	243,3
4		27	977	295	245,7	24		49	675	650	241,7
5		28	1036	391	244,6	25		50	698	730	240,8
6		29	1050	487	243,3	26	20	51	283	76	248,9
7		30	1082	583	242,2	27		52	300	172	248,3
8		31	1125	676	240,7	28		53	332	253	247,4
9	18	33	696	77	248,4	29		54	382	362	246,2
10		34	727	176	246,8	30		55	393	450	243,5
11		35	765	281	245,7	31		56	422	558	243,7
12		36	814	382	244,6	32		57	446	630	242,7
13		37	820	461	243,7	33	21	58	65	93	249,4
14		38	862	533	242,7	34		59	103	186	248,4
15		39	871	620	241,6	35		60	125	275	247,5
16		40	921	700	240,4	36		61	154	363	246,4
17	19	42	496	72	249,3	37		62	173	435	245,6
18		43	527	185	247,7	38		63	200	525	244,5
19		44	541	263	246,6	39		64	236	620	243,4
20		45	576	354	245,7	40		65	266	700	242,3

Таблица 2.2

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 17.

Породы	Скважины							
	24	25	26	27	28	29	30	31
Наносы	10,0	12,0	11,2	12,0	10,0	6,0	4,0	2,1
Песчаник	-	-	-	20,1	34,0	31,0	14,2	-
Сланец песчанистый	-	5,2	22,0	20,2	18,3	19,0	24,0	28,1
Уголь	-	3,8	3,9	6,1	8,8	7,8	4,2	3,8
Глинистый сланец	14,0	21,2	20,0	19,1	16,2	13,8	6,1	14,0
Уголь	2,2	6,2	6,3	8,7	9,2	4,8	СМ	3,5
Сланец песчанистый	-	-	-	-	-	-	1,2	-
Уголь	-	-	-	-	-	-	2,1	-
Глинистый сланец	-	-	-	-	-	-	16,0	-
Уголь	-	-	-	-	-	-	4,1	-
Песчаник	3,5	4,1	3,2	2,7	3,1	5,0	3,6	-
						СМ		
Сланец глинистый	-	-	-	-	-	3,0	-	-
Уголь	-	-	-	-	-	2,3	-	-
Песчаник	-	-	-	-	-	1,8	-	-

Примечание. СМ - точка встречи со сместителем.

Таблица 2.3

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 18.

Породы	Скважины							
	33	34	35	36	37	38	39	40
Наносы	6,2	6,0	7,0	8,3	8,0	8,7	8,1	6,4
Песчаник	-	1,0	23,8	29,0	26,0	18,0	-	-
Сланец песчанистый	-	16,0	18,0	22,0	19,0	12,1	24,0	-
Уголь	-	4,9	7,6	7,9	5,3	4,5	3,8	2,8
Глинистый сланец	22,0	32,0	28,0	19,0	10,1	2,4	24,2	27,3
Уголь	6,1	7,6	7,9	2,2	-	-	4,2	5,1
Песчаник	-	-	-	8,0	-	-	-	-
				СМ	СМ	СМ		
Глинистый сланец	-	-	-	7,0	-	-	-	-
Уголь	-	-	-	6,2	-	-	-	-
Сланец песчанистый	-	-	-	-	1,5	14,0	-	-
Уголь	-	-	-	-	1,8	5,3	-	-
Глинистый сланец	-	-	-	-	22,1	23,0	-	-
Уголь	-	-	-	-	6,2	5,5	-	-
Песчаник	2,7	3,1	2,8	2,5	3,2	3,3	2,1	1,6

Таблица 2.4

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 19.

Породы	Скважины								
	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Наносы	7,0	7,8	6,7	6,3	6,2	6,0	6,2	6,0	5,8
Песчаник	-	1,3	29,0	32,3	30,0	19,0	-	-	-
Сланец песчанистый	-	16,2	16,3	20,1	20,0	18,2	42,0	14,0	-
Уголь	-	2,4	2,8	6,8	4,9	4,1	3,7	3,5	-
Глинистый сланец	26,1	32,3	28,4	21,2	40,2	3,2	25,8	22,0	2,1
						СМ			
Сланец песчанистый	-	-	-	-	-	13,0	-	-	-
Уголь	1,8	3,2	8,3	7,9	2,5	2,5	3,8	3,5	3,2
Глинистый сланец	-	-	-	-	-	24,7	-	-	-
Уголь	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-
Песчаник	3,1	3,5	4,1	10,6	2,7	1,8	1,8	3,5	2,0
				СМ					
Глинистый сланец	-	-	-	4,2	-	-	-	-	-
Уголь	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-
Песчаник	-	-	-	3,6	-	-	-	-	-

Таблица 2.5

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 20.

Породы	Скважины						
	51	52	53	54	55	56	57
Наносы	6,0	6,1	7,0	7,3	5,2	5,0	7,1
Песчаник	-	-	13,0	12,1	2,1	-	-
Сланец песчанистый	-	16,0	11,0	10,2	30,2	16,0	-
Уголь	-	5,2	6,7	3,4	5,3	5,4	-
Глинистый сланец	20,2	20,0	17,1	5,0	18,0	20,0	16,3
Уголь	4,8	7,8	5,4	-	5,8	4,6	4,2
Песчаник	-	-	5,0	-	-	-	-
			СМ	СМ			
Глинистый сланец	-	-	3,8	-	-	-	-
Уголь	-	-	4,1	-	-	-	-
Сланец песчанистый	-	-	-	10,0	-	-	-
Уголь	-	-	-	3,1	-	-	-
Глинистый сланец	-	-	-	19,0	-	-	-
Уголь	-	-	-	6,2	-	-	-
Песчаник	2,3	2,1	2,7	3,3	3,5	2,4	2,1

Таблица 2.6

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 21.

Породы	Скважины							
	58	59	60	61	62	63	64	65
Наносы	6,0	7,8	7,4	7,2	6,8	6,1	6,0	6,3
Песчаник	-	2,4	9,0	3,2	-	-	-	10,2
Сланец песчанистый	4,2	14,6	14,4	14,0	30,2	16,0	-	-
Уголь	2,3	4,2	6,4	3,8	4,1	4,3	-	-
Глинистый сланец	22,1	20,8	16,0	4,3	22,1	21,8	20,0	-
				СМ				
Сланец песчанистый	-	-	-	11,2	-	-	-	-
Уголь	6,4	5,3	4,1	5,8	5,7	5,9	4,4	-
Песчаник	-	-	2,0	-	-	-	-	-
			СМ					
Глинистый сланец	-	-	12,3	20,1	-	-	-	-
Уголь	-	-	3,2	5,6	-	-	-	-
Песчаник	3,7	4,2	2,3	1,8	3,6	4,1	1,6	-

Таблица 2.7

Результаты опробования зольности угля

РЛ	Западное крыло		Восточное крыло		РЛ	Западное крыло		Восточное крыло	
	№ скважины	Зольность, A_C, %	№ скважины	Зольность, A_C, %		№ скважины	Зольность, A_C, %	№ скважины	Зольность, A_C, %
ПЛАСТ 1 (верхний)					ПЛАСТ 2 (нижний)				
17	25	24,7	30	23,0	17	24	24,9	29	24,4
	26	25,5	31	22,7		25	26,5	30	23,7
	27	25,3	-	-		26	26,2	31	23,8
	28	24,5	-	-		27	25,3	-	-
	29	23,3	-	-		28	24,5	-	-
	30	22,2	-	-		29	23,9	-	-
18	34	26,2	37	25,6	18	33	26,1	36	26,3
	35	26,4	38	24,7		34	27,3	37	25,5
	36	24,7	39	24,6		35	25,9	38	24,8
	37	23,8	40	24,3		36	25,6	39	25,5
	38	23,4	-	-		-	-	40	25,4
19	43	27,3	47	25,9	19	42	26,7	45	28,1
	44	27,8	48	25,6		43	28,2	46	27,2
	45	26,3	49	26,1		44	27,7	47	26,6
	46	24,7	-	-		45	27,5	48	26,3
	47	24,2	-	-		-	-	49	27,4
						-	-	50	27,5
20	52	29,3	54	27,8	20	51	28,5	53	29,8
	53	29,5	55	27,2		52	28,7	54	29,2
	54	27,4	56	26,7		53	29,1	55	28,3
	-	-	57	27,5		-	-	56	27,8
						-	-	57	28,4
21	58	28,3	61	30,1	21	58	29,5	60	31,3
	59	31,4	62	28,4		59	30,3	61	30,5
	60	30,3	63	28,6		60	31,2	62	29,4
	61	28,5	64	29,1		-	-	63	28,4
	-	-	65	29,4		-	-	64	28,6

Таблица 2.8

Поправки в исходные данные разведки

№№ п.п	* Алфавит	Ф. ΔX, м	И. ΔY, м	О. ΔZ, м	Ф. Мощность наносов ΔM_n, м	И. Мощность пластов $\Delta M_п$, м	О. № пласта	Ф. ΔA_c, %
1	А	220	310	25	+2	+0,5	1 (К)	-0,3
2	Б	310	650	115	+24	+2,0	1 (П)	+0,9
3	В	50	590	152	+6	-0,2	2 (К)	+1,3
4	Г	120	720	73	+11	+2,2	2 (П)	-0,5
5	Д	410	690	172	-1	+0,6	1 (К)	+1,0
6	Е	10	520	142	+9	-0,6	1 (П)	+0,8
7	Ё	250	730	215	+21	+1,3	2 (К)	+1,4
8	Ж	320	610	46	+8	+0,4	2 (П)	-0,2
9	З	130	820	157	+20	-0,7	1 (К)	-1,3
10	И	420	530	122	-2	-1,4	1 (П)	-0,4
11	Й	610	760	222	+3	-1,0	2 (К)	+1,1
12	К	260	750	174	+19	+1,2	2 (П)	-1,1
13	Л	140	540	88	+10	-0,3	1 (К)	-0,7
14	М	330	770	231	+3	+1,0	1 (П)	+1,2
15	Н	280	660	147	+14	+1,5	2 (К)	-0,1
16	О	440	780	128	+16	+1,9	2 (П)	+0,6
17	П	230	620	197	-4	+0,1	1 (К)	+1,5
18	Р	510	740	58	+12	-0,8	1 (П)	+0,5
19	С	160	550	182	+11	+1,8	2 (К)	-1,0
20	Т	340	680	36	+18	+0,7	2 (П)	-0,6
21	У	270	670	161	+17	-1,2	1 (К)	+0,1
22	Ф	520	560	242	+5	+0,8	1 (П)	-0,9
23	Х	170	790	67	+23	-0,4	2 (К)	-0,2
24	Ц	450	630	186	+12	+0,2	2 (П)	-0,8
25	Ч	350	860	51	+26	+1,6	1 (К)	-0,7
26	Ш	530	800	134	+22	+0,8	1 (П)	-1,0
27	Щ	240	570	192	+7	-0,9	2 (К)	+0,4
28	Э	190	850	82	+13	+0,3	2 (П)	-0,8
29	Ю	460	640	168	+24	-0,5	1 (К)	1,2
30	Я	360	580	43	+15	+1,7	1 (П)	+0,1

Примечания: 1) Ф., И., О. - начальные буквы соответственно фамилии, имени, отчества; 2) Обозначения в колонке " № пласта ": 1 - верхний пласт угля; 2 - нижний пласт угля; К - кровля пласта; П - почва пласта.

Например, студент П.С.Ежов имеет поправки: Δx = +10м., Δy = +620м., Δz = +182м., ΔM_n = +9м., $\Delta M_п$ = +0,1м., ΔA_c = +0,8 %. При исследовании мощности и зольности использует данные опробования пласта №2 (нижнего) и строит гипсометрический график рельефа его кровли.

Таблица 2.9

Абсолютные отметки поверхности (**кровли** или почвы)

пласта (**№1** или №2)

Разведочная линия 17									
№№ скважин	24	25	26	27	28	29	30	31	
Отметки, м	-	×	×	×	×	×	× / ×	×	
Разведочная линия 18									
№№ скважин	33	34	35	36	37	38	39	40	
Отметки, м	-	×	×	×	× / ×	× / ×	×	×	
Разведочная линия 19									
№№ скважин	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Отметки, м	-	×	×	×	×	× / ×	×	×	-
Разведочная линия 20									
№№ скважин	51	52	53	54	55	56	57		
Отметки, м	-	×	×	× / ×	×	×	-		
Разведочная линия 21									
№№ скважин	58	59	60	61	62	63	64	65	
Отметки, м	×	×	×	× / ×	×	×	-	-	

Примечания:

1. Абсолютные отметки поверхности пласта определяются путем вычитания из отметки устья скважины мощностей всех вышезалегающих пород;

2. В скважинах, расположенных в зоне сместителя, имеется две отметки изучаемой поверхности (по западному и восточному крыльям нарушенного пласта).

Таблица 2.10

Показатели угольного пласта (**№1** или №2)

Разведочная линия 17									
№№ скважин	24	25	26	27	28	29	30	31	
Мощность, м	-	×	×	×	×	×	× / ×	×	
Зольность, %	-	×	×	×	×	×	× / ×	×	
Разведочная линия 18									
№№ скважин	33	34	35	36	37	38	39	40	
Мощность, м	-	×	×	×	× / ×	× / ×	×	×	
Зольность, %	-	×	×	×	× / ×	× / ×	×	×	

Продолжение табл. 2.10

Разведочная линия 19									
№№ скважин	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Мощность, м	-	×	×	×	×	× / ×	×	×	-
Зольность, %	-	×	×	×	×	× / ×	×	×	-
Разведочная линия 20									
№№ скважин	51	52	53	54	55	56	57		
Мощность, м	-	×	×	× / ×	×	×	-		
Зольность, %	-	×	×	× / ×	×	×	-		
Разведочная линия 21									
№№ скважин	58	59	60	61	62	63	64	65	
Мощность, м	×	×	×	× / ×	×	×	-	-	
Зольность, %	×	×	×	× / ×	×	×	-	-	

Примечание. В скважинах, расположенных в зоне сместителя, имеется по два значения каждого показателя (по западному и восточному крыльям нарушенного пласта).

2.2. Обработка и анализ геолого-маркшейдерской информации

Обработка данных геологоразведочных работ проводится статистическими методами.

В работе необходимо: исследовать вероятностное распределение значений мощности пласта M и зольности угля A_c; оценить среднее значение и изменчивость показателей M и A_c. При обработке используются данные опробования одного пласта (№1 или №2 по варианту).

Анализ вероятностного распределения и статистическое оценивание значений показателей проводятся по методике, изложенной в п.п. 1.2.1 и 1.2.2.

2.3. Построение горно-геометрических графиков

В комплект графических материалов, характеризующих угольное месторождение, входят:

1. Система геологических разрезов.
2. Гипсометрические графики поверхностей угольных пластов.
3. Планы размещения значений мощности пластов.
4. Планы размещения значений зольности угля.

В работе необходимо: построить геологические разрезы по каждой разведочной линии; построить гипсометрический план кровли или почвы одного из пластов (по варианту); построить план изомощности одного из пластов (по варианту); построить план изозольности угля одного из пластов (по варианту).

Геологические разрезы по разведочным линиям строятся в масштабах: горизонтальный 1:5000, вертикальный 1:2000. Разрезы должны иметь высотную основу, привязку в плане по координатам X и У, ориентировку по направлению. Построение разрезов производится последовательным откладыванием от устья скважин мощностей пород, подсеченных скважиной (с введенными по варианту поправками). На геологических разрезах показываются угольные пласты, вмещающие породы и тектоническое нарушение (сместитель) (рис. 2.1).

При построении гипсометрического графика поверхности кровли (почвы) пласта на план наносятся разведочные скважины и возле них подписываются абсолютные отметки поверхности. С геологических разрезов на график переносятся точки выхода пласта под наносы и точки встречи заданной поверхности со сместителем. Последовательным соединением соответствующих точек строятся линии выхода пласта под наносы и линии пересечения западного и восточного крыльев пласта со сместителем, ограничивающие два участка. По абсолютным отметкам поверхности, подписанным у скважин, методом линейного интерполирования строятся изогипсы поверхности. В зоне сместителя

Геологический разрез по разведочной линии 18

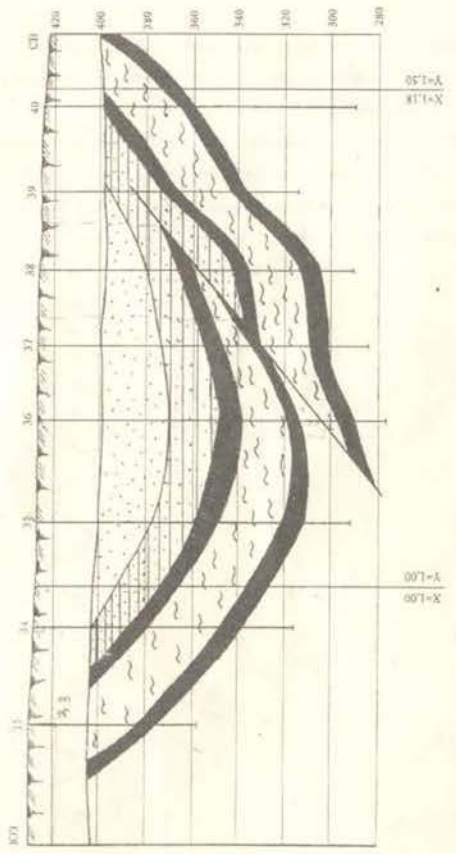


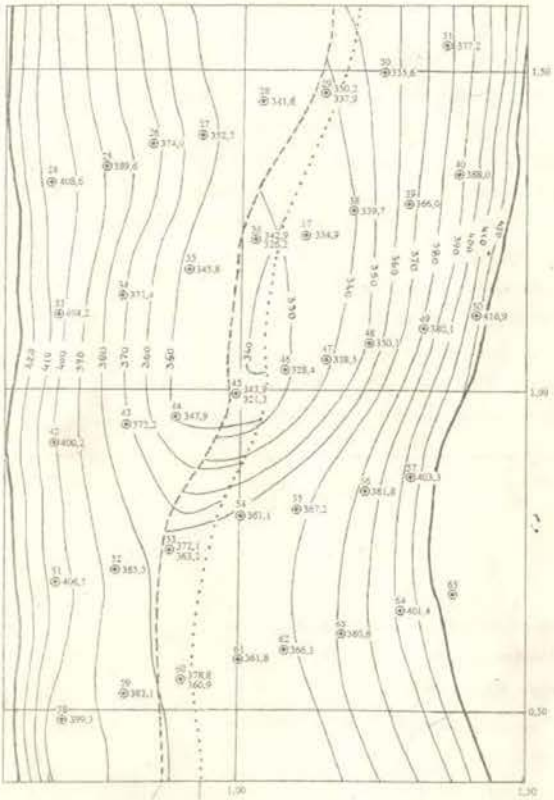
Рис. 2.1

происходит наложение изолиний двух участков. Сечение изолиний - 10 м (рис. 2.2).

Планы изомощности и изозольности угля заданного пласта строятся аналогично гипсометрическому графику. Сечение изолиний мощности пласта - 1 м, изолиний зольности угля - 1 %.

По результатам геометризации делается краткое заключение, в котором отмечаются выявленные закономерности в размещении основных структурных и качественных показателей месторождения на участке и даются рекомендации по практическому использованию полученных материалов.

Гипсометрический график поверхности кровли угольного пласта



Сечение изолиний 10 м

Рис. 2.2

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ УЧАСТКА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА 4
1.1 Исходная геолого-маркшейдерская информация.....4
1.2 Обработка и анализ геолого-маркшейдерской информации 8
1.2.1. Вероятностное распределение значений показателей.....9
1.2.2. Статистическое оценивание значений показателей.....12
1.2.3 Анализ взаимосвязей между показателями.....13
1.3. Построение горно-геометрических графиков.....16
2. ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ УЧАСТКА УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....20
2.1. Исходная геолого-маркшейдерская информация.....20
2.2. Обработка и анализ геолого-маркшейдерской информации.....27
2.3. Построение горно-геометрических графиков.....28

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Лаптев Ю.В.

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Методические указания к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента 5
2. Повторение материала лекций. 5
3.Самостоятельное изучение тем курса. 6
4. Подготовка к практическим занятиям 7
5. Подготовка к экзамену 11

Введение

Самостоятельная работа обучающегося является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки обучающегося составляет 172 часов или 8 зачетных единиц. Из них 53 часов (очное обучение) и 119 часов (заочное обучение) отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Геометризация месторождений полезных ископаемых» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины: повторение материала лекций, самостоятельное изучение тем курса, подготовка к практическим занятиям, подготовка к зачету и экзамену, подготовка к опросу, подготовка к выполнению и оформление курсовой работы.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Геометризация месторождений полезных ископаемых». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой тестовых вопросов на зачет и экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебном пособии по курсу [1]. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины на кафедре маркшейдерского дела имеется тестовая обучающая программа и мультимедийные средства обучения. Эта программа заложена в каждый компьютер дисплейного класса и может быть скопирована студентом для использования на домашнем компьютере.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебному пособию [1] освойте каждый структурный элемент темы.

3.Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовую обучающую программу

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИАЛА ЛЕКЦИЙ

Обучающийся должен пользоваться своим конспектом лекций для усвоения пройденного материала.

3. САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КУРСА

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Ознакомиться с календарно-тематическим планом самостоятельной работы обучающихся.

3. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

4. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы студента преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется проверка расчетно-графических работ, опрос, контрольная работа. Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов (СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента по данной учебной дисциплине. Объемы и виды трудозатрат по всем отдельным видам представлены в разделе 7. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы студентов, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРС, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические

зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий химии, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служат вопросы для самопроверки и тренировочные тесты, позволяющие контролировать степень успешности изучения учебного материала.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, студентам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

4. ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

1. Назовите предмет и задачи геометризации СПИ.
2. Что связывает предмет геометрии недр и геометризации МПИ?
3. В чем состоит отличие геометрии недр от геометризации МПИ?
4. Какие модели составляют в зависимости от объекта геометризации недр?
5. Какие показатели являются объектом геометризации недр?
6. Месторождения каких полезных ископаемых являются объектами геометризации?
7. Назовите отечественных ученых, проводивших исследовательские работы по геометризации месторождений полезных ископаемых.
8. Какие физико-математические методы применяются для геометризации месторождений?

Тема 2: Связь «Геометризации МПИ» с горными и геологическими науками

1. Какова информационная схема потоков на предварительной стадии геометризации МПИ?
2. Какова задача горного производства?
3. Основные задачи маркшейдерии и геометрии недр при разработке месторождений полезных ископаемых.
4. Подсчет и управление запасами при отработке месторождения.
5. Каковы задачи маркшейдерских и геологических съемок при геометризации МПИ?
6. Какие задачи геометризации МПИ решаются при помощи математической модели месторождения?
7. Для решения каких вопросов служит математическая модель месторождения?
8. Какие вопросы горного производства решаются с помощью геометризации МПИ?
9. Что входит в задачи горно-геометрического анализа?
10. Какими методами производится обработка горно-геометрических графиков?

Тема 3: Морфология месторождений полезных ископаемых

1. Назовите основные морфологические элементы залежей полезных ископаемых.
2. Что понимается под поверхностью залежи?
3. Что такое линия выклинивания?
4. Как определяется линия выклинивания залежи?
5. Что понимается под мощностью залежи?
6. Что такое срединная поверхность, ось и центр залежи?
7. Какие формы залежи Вы можете назвать?
8. Укажите длину, ширину и показатель вытянутости тела полезного ископаемого.
9. Назовите элементы залегания рудных тел.
10. Что такое простирание залежи?
11. Как определяется азимут простирания?
12. Определите угол падения залежи.
13. Какая бывает форма залежей?
14. Определите показатель сложности контура залежи.
15. Типовое строение залежей полезных ископаемых.
16. Анизотропия геологической структуры полезного ископаемого.

Тема 4: Методы изучения залежей МПИ

1. Какие виды геологоразведки производятся при открытых и подземных горных работах?
2. Какие цели и задачи у доразведки отрабатываемого месторождения?
3. Задачи и особенности эксплуатационной разведки.
4. Геологическая документация и опробование при эксплуатации.
5. Задачи детальной разведки отрабатываемого месторождения.
6. Геофизические методы исследования на горных предприятиях.
7. Геофизические методы исследования скважин (каротаж).
8. Основные виды каротажа скважин.
9. Методы подземной геофизики.
10. Инженерно-геологические исследования на горных предприятиях.
11. Гидрологические исследования на горных предприятиях.
12. Ядерно-физические методы изучения горного массива.

13. Электрометрические методы исследования массива горных пород.
14. Гравиметрические методы изучения массива горных пород.
15. Магнитометрические методы исследований горного массива.

Тема 5: Оценка изменчивости и изученности МПИ

1. Что понимают под свойством недр?
2. Какой тип изменчивости свойств является функциональным?
3. Какая изменчивость характеризует статистически независимые свойства?
4. Какая изменчивость свойств недр является наблюдаемой?
5. Назовите координируемую изменчивость свойств недр.
6. Приведите пример изменчивости кусочно-непрерывного размещения.
7. Приведите изменчивость дискретного размещения.
8. Какая составляющая изменчивости является случайной?
9. Какая составляющая изменчивости является коррелированной?
10. Назовите существующие показатели изменчивости.
11. Назовите типы реальной наблюдаемой изменчивости.
12. В чем заключается влияние решетчатости распределения результатов наблюдений и неравномерности интервала?
13. Что такое «белый шум»?
14. Что такое показатель устойчивости изменчивости?
15. Как соотносятся понятия «изменчивость» и «изученность»?
16. В чем состоят принципы информационной оценки изученности месторождения?
17. В чем состоит информационное различие детальной и эксплуатационной разведок?
18. Назовите факторы, определяющие геолого-структурную модель месторождения и методы их инженерно-геологической оценки.

Тема 6: Геометризация месторождений твердых полезных ископаемых

1. Назовите геометрические элементы залегания тел полезных ископаемых.
2. Назовите элементы залегания поверхности геологического контакта залежи с вмещающими породами.
3. В чем заключается съемка и документирование буровой скважины?
4. Как производится геометризация формы и условий залегания месторождения?
5. Как производится построение геологических разрезов?
6. Как производится построение гипсометрических планов?
7. Мощность залежи и ее виды, построение изомощностей.
8. Определите глубину залегания и постройте изоглубину.
9. В чем заключается прогнозирование морфологических показателей угольных пластов?
10. Методы измерения и опробования качественных показателей залежи.
11. Способы расположения точек отбора порций товарной пробы из вагонов.
12. Какие способы отбора проб в горных выработках?
13. Геолого-маркшейдерская документация при опробовании.
14. Методика обработки данных опробования качественных показателей полезного ископаемого.
15. Методы построения изолиний качественных свойств полезного ископаемого.

16. Районирование месторождений твердых полезных ископаемых по сортовому составу.
17. Прогнозирование разрывных нбарушений на угольных месторождениях по данным его геометризации.
18. Как производится выявление закономерностей в изменчивости качественных свойств и мощности рудных тел, а также угольных пластов?
19. Геометризация месторождения химического сырья (на примере фосфоритовой залежи).
20. Горно-геометрический анализ Босскунчакского месторождения поваренной соли.

Тема 7: Геометризация нефтяных и газовых месторождений

1. Какую роль выполняют «коллекторы» в составлении нефтяных и газовых пластов?
2. Как производится геометризация залежей нефти и газа на основе объединения коллекторов-ловушек?
3. Как провести подсчет запасов нефти и газа на основе оптимальных значений нефтеотдачи «коллекторов-ловушек».
4. Производство расчетов коэффициента продуктивности на основе произведения эффективной нефтенасыщенной мощности пласта h на коэффициент, учитывающий емкостно-фильтрационную характеристику пласта $\alpha_{сп}$ $П^{h\alpha} = h\ \alpha_{сп}/$
5. Критическая величина $П^{h\alpha}$ характеризует искомую границу кондиций пласта. Найти эту величину для разных h $\alpha_{сп}$.
6. Как производится оценка изменчивости свойств нефтяных залежей?
7. Как определить высотное положение водонефтяного контакта и оценить его точность?
8. Определите условие горизонтальности положения поверхности водонефтяного контакта.
9. Определите оценку значимости параметров негоризонталоьного водонефтяного контакта.
10. В чем заключается графоаналитический способ построения водонефтяного контакта на карте?
11. Как производится оценка точности площади нефтеносности?
12. Как определяется ошибка коэффициента нбефтеотдачи?
13. Назовите показатели, характеризующие особенности геологического строения залежей нефти?
14. Как производится выбор аналога разведываемой залежи на основе составления значений геологических показателей?
15. Принцип и методика определения оптимальной изученности нефтяного месторождения.
16. Каковы требования к степени изученности залежи и месторождения?
17. Определение оптимальной степени изученности залежей и месторождений в процессе их разведки.

Тема 8: Геометризация показателей трещиноватости и устойчивости массива

1. Что такое трещиноватость?
2. Каковы показатели и параметры трещиноватости?
3. Как определяются горно-геометрические типы трещиноватости осадочных пород?

4. Каковы геотектонические условия образования трещиноватости?
5. В чем заключаются закономерности проявления трещиноватости?
6. Прокомментируйте и объясните генетическую классификацию трещиноватости осадочных пород.
7. Как выполняется методика изучения трещиноватости?
8. Как проводится изучение трещиноватости в горных выработках?
9. Как выполняется изучение трещиноватости по результатам разведочного бурения?
10. Как производится прогнозирование трещиноватости?
11. Назовите факторы устойчивости откосов отвалов и бортов карьеров.
12. Объясните смысл коэффициента устойчивости откоса как показателя районирования.
13. В чем состоит учет влияния на устойчивость откосов поверхнбостей ослабления?
14. В чем заключается балльная система оценки устойчивости карьерных откосов?
15. В чем заключается районирование по условиям шарашечного бурения взрывных скважин?
16. Как производится районирование по трудности взрывания пород?
17. Как производится районирование по трудности экскавации пород?
18. Как производится построение прогнозных карт районирования технологических условий?

Тема 9: Геометризация процессов технологии горного производства

1. Назовите технологические процессы горного производства в карьер.
2. Укажите технологическую последовательность формирования рудных складов и отвалов пустых пород.
3. Назовите типы автотранспорта, поставляющего руду и вскрытые породы на склады и отвалы горного предприятия.
4. Какова высота отвалов и складов на горном предприятии?
5. Опишите технологию отвалообразования на горных предприятиях?
6. В чем состоит закономерность формирования внутренней структуры отвальных тел?
7. Какие геометрические зоны стоит выделить во внутренней и внешней структуре насыпного объема отвальных тел?
8. Опишите геометрические закономерности процесса сегрегации сыпучей горной массы при ее отсыпке на горизонтальное и наклонное основание отвальных тел.
9. Как изменяется коэффициент разрыхления в сечении и укладки отвальных тел?
10. Какие технологические операции для рациональной отгрузки насыпных тел Вы могли бы предложить?

5. ПОДГОТОВКА К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные задачи маркшейдерии и геометрии недр при разработке месторождений полезных ископаемых.
2. Каковы задачи маркшейдерских и геологических съемок при геометризации МПИ?

3. Какие вопросы горного производства решаются с помощью геометризации МПИ?
4. Что входит в задачи горно-геометрического анализа?
5. Какими методами производится обработка горно-геометрических графиков?
6. Что понимается под поверхностью залежи?
7. Что понимается под мощностью залежи?
8. Что такое простирание залежи?
9. Как определяется азимут простирания?
10. Какая бывает форма залежей?
11. Задачи и особенности эксплуатационной разведки.
12. Задачи детальной разведки отрабатываемого месторождения.
13. Основные виды каротажа скважин.
14. Ядерно-физические методы изучения горного массива.
15. Магнитометрические методы исследований горного массива.
16. Что понимают под свойством недр?
17. Какой тип изменчивости свойств является функциональным?
18. Приведите пример изменчивости кусочно-непрерывного размещения.
19. Назовите существующие показатели изменчивости.
20. Назовите существующие показатели изменчивости.
21. Что такое «белый шум»?
22. Назовите геометрические элементы залегания тел полезных ископаемых.
23. Мощность залежи и ее виды, построение изомощностей.
24. Методы измерения и опробования качественных показателей залежи.
25. Какие способы отбора проб в горных выработках?
26. Геолого-маркшейдерская документация при опробовании.
27. Методы построения изолиний качественных свойств полезного ископаемого.
28. Какую роль выполняют «коллекторы» в составлении нефтяных и газовых пластов?
29. Как производится оценка изменчивости свойств нефтяных залежей?
30. Назовите показатели, характеризующие особенности геологического строения залежей нефти?
31. Что такое трещиноватость?
32. Как проводится изучение трещиноватости в горных выработках?
33. Назовите факторы устойчивости откосов отвалов и бортов карьеров.
34. В чем состоит учет влияния на устойчивость откосов поверхнбостей ослабления?
35. Как производится районирование по трудности взрывания пород?
36. Укажите технологическую последовательность формирования рудных складов и отвалов пустых пород.
37. Опишите технологию отвалообразования на горных предприятиях?
38. В чем состоит закономерность формирования внутренней структуры отвальных тел?
39. Какие геометрические зоны стоит выделить во внутренней и внешней структуре насыпного объема отвальных тел?
40. Опишите геометрические закономерности процесса сегрегации сыпучей горной массы при ее отсыпке на горизонтальное и наклонное основание отвальных тел.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Букринский В.А., Геометризация недр. Практический курс: Учеб. пособие. – 2004. –333 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров
14.10.2020 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Б1.О.07 РУССКИЙ ЯЗЫК И ДЕЛОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ

Специальность
21.05.04. Горное дело

Специализация *№ 4*
Маркшейдерское дело

квалификация выпускника: специалист

формы обучения: очная, заочная

год набора: 2021

Автор: Меленскова Е. С., канд. филол. наук, доцент

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Иностранных языков и деловой коммуникации	Горно-технологического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Юсупова Л. Г.	Колчина Н. В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 22.09.2020 г.	Протокол № 2 от 12.10.2020
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2020

Методические рекомендации к практическим занятиям

Значительную роль в изучении предмета выполняют практические занятия, которые призваны, прежде всего, закреплять теоретические знания, полученные в ходе лекций, ознакомления с учебной литературой, а также выполнения самостоятельных заданий. Тем самым практические занятия способствуют более качественному усвоению знаний, помогают приобрести навыки самостоятельной работы.

Приступая к подготовке к практическому занятию необходимо изучить соответствующие конспекты лекций по заданной теме, главы учебников или учебных пособий, разобрать примеры, ознакомиться с дополнительной литературой (например, словарями). Конспектирование дополнительных источников также способствует более плодотворному усвоению учебного материала. Следует обращать внимание на основные понятия и классификации, актуальные для темы практического занятия.

Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студента. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения и проследить их логику. Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Все это находит свое отражение в процессе выполнения итогового зачетного теста.

Очевидны три структурные части практического занятия: предваряющая (подготовка к занятию), непосредственно само практического занятия (обсуждение вопросов темы в группе, выполнение упражнений по теме) и завершающая часть (последующая работа студентов по устранению обнаружившихся пробелов). Не только само практическое занятие, но и предваряющая, и заключающая части его являются необходимыми звеньями целостной системы усвоения вынесенной на обсуждение темы.

Перед очередным практическим занятием целесообразно выполнить все задания, предназначенные для самостоятельного рассмотрения, изучить лекцию, соответствующую теме практического занятия. В процессе подготовки к практическому занятию закрепляются и уточняются уже известные и осваиваются новые знания. Столкнувшись в ходе подготовки с недостаточно понятными моментами темы, необходимо найти ответы самостоятельно или зафиксировать свои вопросы для постановки и уяснения их на самом практическом занятии.

В начале занятия следует задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении, поскольку всегда сначала студенты под руководством преподавателя более глубоко осмысливают теоретические положения по теме занятия.

В ходе практического занятия каждый должен опираться на свои конспекты, сделанные на лекции или по учебникам и учебным пособиям, на самостоятельно выполненные упражнения по данной теме.

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

Значительную роль в изучении предмета выполняют практические занятия, которые призваны, прежде всего, закреплять теоретические знания, полученные в ходе прослушивания и запоминания лекционного материала, ознакомления с учебной и научной литературой, а также выполнения самостоятельных заданий. Тем самым практические занятия способствуют получению наиболее качественных знаний, помогают приобрести навыки самостоятельной работы. Планы практических занятий состоят из отдельных тем, расположенных в соответствии с рабочей программой изучаемой дисциплины. Каждая тема включает следующие элементы:

- цель проведения занятия;
- теоретические вопросы, необходимые для усвоения темы;
- задания;
- список литературы по теме для подготовки к практическому занятию.

Работа на практических занятиях направлена на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам изучаемой дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений (например, аналитических).

В ходе занятий у студентов формируются практические умения и навыки, отраженные в РПД.

Методические материалы к практическим занятиям

ТЕМА 1. СЛОВАРИ И СПРАВОЧНИКИ ПО КУЛЬТУРЕ РЕЧИ. СИСТЕМА СЛОВАРНЫХ ПОМЕТ

Цель – вспомнить классификацию словарей и проверить у студентов умение работать с ними (лексикографическая грамотность).

Основные понятия темы:

Лексикография – раздел науки о языке, занимающийся теорией и практикой составления словарей.
Энциклопедический словарь – книга, содержащая описание научных понятий и терминов, исторических событий, характеристику персоналий из разных областей или определенной области знания.
Лингвистический словарь – книга, содержащая собрание слов (морфем, фразеологизмов и т. д.), расположенных по определённому принципу (как правило, по алфавиту), и дающая сведения об их значениях, употреблении, происхождении, переводе на другой язык и т. п.
Словарная статья – отдельный текст, посвященный языковой единице (слову, морфеме и т. п.) или их группе (лексической группе, гнезду слов и т. п.).
Помета – применяемое в словарях сокращенное указание на какие-либо характерные признаки слова или его употребления.

Задание 1. *Прочитайте и сравните словарные статьи, взятые из разных словарей. Найдите общую и различающую их дополнительную информацию. Объясните, чем вызвано различие.*

ФАЗА – **1.** В геохимии: совокупность однородных частей системы, одинаковых по термодинамическим свойствам (тем, которые не зависят от количества вещества) и отграниченных от других частей поверхностью раздела. В природных процессах минералообразования могут принимать участие газовая Ф., жидкие Ф. и твердые Ф. – металлы. Системы, состоящие из одной Ф., называются однофазными, или гомогенными (напр., раствор различных солей в воде; кристалл кварца без включений; мономинеральная горная порода); состоящие из нескольких Ф. – многофазными, или гетерогенными (напр., раствор вместе с твердым осадком; кристалл кварца с газово-жидким включением; полиминеральная порода). **2.** В исторической геологии: термин, иногда употребляющийся для обозначения времени, соответствующего длительности накопления отложений, составляющих зону как часть яруса. Термин был условно принят в этом значении VIII сессией МГК в Париже в 1900 г., но не стал общепринятым. При изучении четвертичного периода иногда фазой называют время каждого отдельного оледенения и промежутков между ними (*Геологический толковый словарь*[1]).

ФА́ЗА, -ы, *ж.* [нем. Phase < греч. phasis появление (о небесных светилах)]. **1.** Момент, отдельная стадия в ходе развития и изменения чего-н., а также само положение, форма чего-н. в данный момент; то же, что фазис. *Новая ф. в развитии общества. Луна в первой фазе.* **2.**

[1] Геологический толковый словарь [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.edudic.ru/geo/

физ. Величина, характеризующая состояние какого-н. процесса в каждый момент времени. *Ф. колебания маятника. Газообразная ф. вещества.* **Фа́зовый** – относящийся к фазе (в 1-м и 2-м знач.), фазам. **3.** *эл.* Отдельная группа обмоток генератора. **Фа́зный** – относящийся к фазе, фазам. (Крысин Л. П. Толковый словарь иноязычных слов. М., 2001. С. 810).

ФА́ЗА, -ы, *ж.* **1.** Момент, отдельная стадия в ходе развития и изменения чего-н. (напр. положения планеты, формы или состояния вещества, периодического явления, общественного процесса), а также само положение, форма в этот момент (книжн.). *Первая ф. Луны. Жидкая ф. Газообразная ф. Ф. колебания маятника. Вступить в новую ф. развития.* **2.** Отдельная группа обмоток генератора (спец.). || *прил.* **фа́зовый**, -ая, -ое (к 1 знач.) *и* **фа́зный**, -ая, -ое (ко 2 знач.). ♦ **Фазовые глаголы** – в лингвистике: глаголы со значением начала, продолжения или окончания действия. (Ожегов С. И. и Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. М., 2005. С. 847).

Задание 2. *Познакомьтесь с типами помет, используемых в толковых словарях. Объясните значение всех помет, приведенных в качестве примера.*

ТИПЫ ПОМЕТ ТОЛКОВОГО СЛОВАРЯ

Типы помет	**Примеры помет**	**Значение отсутствия помет**
1. Помета, указывающая на принадлежность к функциональному стилю	*науч., газет., публиц., оф.-дел., разг., книжн.* и др.	Слово межстилевое
2. Помета, указывающая на сферу употребления слова	*обл., прост., жарг.*, *спец.* и др.	Слово общеупотребительное
3. Помета, указывающая на принадлежность к активному / пассивному запасу	*устар., ист., арх.*, *нов.* и др.	Слово принадлежит к активному запасу
4. Помета, указывающая на эмоционально-экспрессивную окраску слова	*ласк., ирон., шутл., унич., бран., пренебр., высок., неодобр.* и др.	Слово нейтральное

Задание 3. *Прочитайте словарные статьи, извлеченные из толкового словаря современного русского языка. Укажите пометы и объясните, что они означают.*

Аборигéн, -а, *м.* (книжн.) – коренной житель страны, местности. || *ж.* **аборигéнка** (разг.)

Грамотéй, -я, *м.* (устар. и ирон.) – грамотный человек.

Деяние, -я, *ср.* (высок. и спец.) – действие, поступок, свершение.

Женáтик, -а, *м.* (прост. шутл.) – женатый человек (обычно о молодожене).

Иждивéнчество, -а, *ср.* (неодобр.) – стремление во всем рассчитывать не на свои силы, а на помощь других, вообще жить за чужой счет.

Карапýз, -а, *м.* (разг. шутл.) – толстый, пухлый малыш.

Кляча, -и, *ж.* (разг. пренебр.) – плохая (обычно старая) лошадь.

Лéнчик, -а, *м.* (спец.) – деревянная основа седла.

Матéрщина, -ы, *ж., собират.* (прост. груб.) – неприличная брань.

Мúшка, -и, *м.* (разг. ласк.) – то же, что медведь.

Небезызвéстный, -ая, -ое; -тен, -тна (обычно ирон.) – достаточно, хорошо известный.

Неулыба, -ы, *м.* и *ж.* (обл. и прост.) – человек, который редко улыбается, неулыбчив.

Новоде́л, -а, *м.* (разг.) – здание, сооружение, построенное на месте уничтоженного, исчезнувшего и воспроизводящее его прежний внешний вид.

Нувори́ш, -а, *м.* (книжн. презр.) – богач, наживший свое состояние на социальных переменах или бедствиях, на разорении других.

Общепи́т, -а, *м.* (офиц.) – сокращение: общественное питание – отрасль народного хозяйства, занимающаяся производством и продажей готовой пищи и полуфабрикатов. || *прил.* **общепи́товский**, -ая, -ое (разг.).

Остоло́п, -а, *м.* (прост. бран.) – глупец, болван.

Отчи́зна, -ы, *ж.* (высок.) – отечество, родина.

Побо́ры, -ов. **1.** Чрезмерные, непосильные налоги или сборы (устар.). **2.** *перен*. Неофициальные сборы средств на что-нибудь (разг. неодобр.).

Предуве́домить, -млю, -мишь; -мленный; *сов.*, *кого-что* (устар. и офиц.) – заранее уведомить.

Риста́лище, -а, *ср.* (стар.) – площадь для гимнастических, конных и других состязаний, а также само такое состязание.

Сва́ра, -ы, *ж.* (прост.) – шумная перебранка, ссора.

Торга́ш, -а, *м.* **1.** То же, что торговец (устар. неодобр.). **2.** *перен*. Человек, который выше всего ставит свою выгоду, корысть, личный интерес (презр.).

Умка, -и, *м.* (обл.) – белый медведь.

Упова́ние, -а, *ср.* (книжн., часто ирон.) – то же, что надежда.

Ха́м, -а, *м.* (презр. и бран.) – грубый, наглый человек.

Задание 4. *Познакомьтесь с пометами, используемыми в орфоэпических словарях, словарях грамматических трудностей и т. п. Какие пометы указывают на императивную норму, а какие на диспозитивную? Запишите их в предложенную ниже таблицу.*

НОРМАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЛОВ[2]

Словарь является не просто нормативным, а ставит своей задачей показать литературную норму во всем многообразии ее проявлений. В отличие от большинства нормативных словарей, словарь отражает и такие факты речи, которые считаются неверными с точки зрения литературной нормы. Все запретительные пометы, которые характеризуют неверные варианты, снабжаются значком «восклицательный знак» (!). В Словаре используются ясные и общедоступные способы нормативной оценки вариантов.

1. Равноправные варианты соединяются союзом *и*:

ба́рхатка *и* барха́тка;

ведёрцев *и* ведёрец.

При этом на первом месте помещается обычно традиционный вариант, более частотный в употреблении.

2. Помета «допустимо» (*и доп.*) свидетельствует о том, что оба варианта соответствуют нормам литературного языка. Естественно, что предпочтителен вариант, помещённый на первом месте. Такая помета используется, как правило, применительно к

[2] Орфоэпический словарь русского языка для школьников / Сост. О. А. Михайлова. Екатеринбург: У-Фактория, 2002. С. 6-8.

новым, входящим в норму вариантам ударения, произношения и грамматическим формам. Например:

бредо́вый *и доп.* бредово́й;

белёсый *и доп.* беле́сый;

ма́шет *и доп.* маха́ет.

3. Помета «допустимо устаревшее» (*доп. устар.*) означает, что второй вариант, хотя и находится в пределах литературной нормы, всё реже встречается в речевой практике, постепенно утрачивается, переходя в пассивный языковой фонд. Например:

ворва́лся *и доп. устар.* ворвался́

вспе́ненный, -ая, -ое, *кратк. ф.* вспе́нен, вспе́нена *и доп. устар.* вспенённый, вспенён, вспенена́

бу́до[чн]ик *и доп. устар.* бу́до[шн]ик.

4. Помета «не рекомендуется» (*не рек.*) применяется в тех случаях, когда отмеченный ею вариант в данное время не признаётся нормативным. Однако его широкое употребление в современной речи и соответствие общим тенденциям языкового развития не исключают возможности признания этого варианта литературной нормой в будущем. Например:

бало́ванный ! *не рек.* ба́лованный;

вручу́т ! *не рек.* вру́чит;

гру́фели, -ей ! *не рек.* грифеля́, -е́й.

5. Помета «не рекомендуется устаревшее» (*не рек. устар.*) означает, что снабжённый ею вариант, ныне находящийся за пределами нормы, представляет собой бывшую норму. Например:

горшо́чек, горшо́чка ! *не рек. устар.* горше́чек;

да́рит ! *не рек. устар.* дару́т.

6. Помета «неправильно» (*неправ.*) служит для предупреждения распространённых речевых ошибок. Например:

вы́боры, вы́боров ! неправ. выбора́, выборо́в;

компромету́ровать, -рую, -рует ! неправ. компроме[н]ту́ровать

Рекомендательные пометы	Запретительные пометы

ТЕМА 2. ОРФОГРАФИЧЕСКИЕ И ПУНКТУАЦИОННЫЕ НОРМЫ

Цель – повторить основные правила орфографии и пунктуации русского языка.

Основные понятия темы:

Орфографические нормы – это правила написания слов.
Пунктуационные нормы – это правила расстановки знаков препинания.

Задание 1. *Повторите правописание гласных (безударных и чередующихся) и согласных в корне слова. Перепишите текст, вставив пропущенные буквы. Расставьте знаки препинания. Объясните свой выбор.*

Я р…шил в…рнуться д…мой. Быстрыми шагами я прошел зар…сли кустов. У моих ног т…нулась р…внина а дальше ст…ной возвышался мрачный лес. Я осм…трел окрес…ность и спустился с х…лма. Высокая тр…ва на дне д…лины б…лела р…вной скат…ртью. Я вышел на опушку и пошел полем. Трудно было проб…раться по у…кой тр…пинке. Кругом р…сла высокая ро…ь. Н…чная птица промчалась и к…снулась меня св…им крылом. В т…шине глухо разд…вались мои шаги. Но вот на в…чернем небе стали заж…гаться звезды. Забл…стел серп м…л…дого мес…ца. Теперь я узнал д…рогу и предпол…гал что через час буду дома.

Задание 2. *Повторите правописание приставок. Перепишите предложения, вставив пропущенные буквы. Расставьте недостающие знаки препинания при однородных членах предложения.*

Перед самым селом п…р…езжаем речку вброд. На спуске перед церковью ра…ливается море сарафанов мужицких голосов. Народ все пр…бывает мужики в пиджаках ребятишки со свистульками, на ра…пряженных телегах сидят пр…старелые пр…езжие. Над колокольнями белеют верхи палаток, а над ними – облака, и падают вьются стрелами свищут в воздухе стрижи.

Медленно пр…бираясь в ра(с, сс)тупившейся толпе, по…ъезжаем к ограде пр…вязываем лошадей. На дощатом пр…лавке ра…ложены картинки и книги, и мещанин-пр…давец по…совывает календари и книги с з…манчивыми названиями. Всё смех и ржанье лошадей крик бабы, ругающей мужика, (с, з)ливается в один ярмарочный гул. За время работы ярмарки хочется успеть (с, з)делать многое пр…смотреть липового меда п…дешевле п…торговаться в свое удовольствие пр…купить гостинцев родным.

В обед негаданно с…бирается туча, и дождь, по…нимая пыль, барабанит по усыпанной по…солнечной шелухой дороге. Но летний дождь быстро пр…ходит, и яркая радуга, упершись в реку, широким полотенцем ра…кидывается над ярмаркой. С ярмарки народ ра…ъезжается только после обеда. (По И. Соколову-Микитову)

Задание 3. *Повторите правописание Ъ и Ь (учтите разные функции Ь). Перепишите, вставив, где необходимо, пропущенные буквы.*

Пред…юбилейное мероприятие, обжеч…ся огнем, решил удалит…ся проч…, кофе был горяч…, достан…те багаж…, чувствовать гореч… неудач…, выть по-волч…и, любител…ская кинос…емка, должность камен…щика, выйти замуж… осен…ю, береч… здоров…е, сроч…ный заказ, лечить кон…юнктивит, уловить фал…ш… в голосе, трех…этажный павил…он, заменить мед…ю, назнач…те время трех встреч…, с…еш… во время лан…ча, следить за своей реч…ю, купает…ся в реке, оформиш… пен…сию, остав…те антиквару старинную брош…, четырех…ядерный процессор, волосы до плеч…, сер…езный компан…он, умнож…те полученный резул…тат, он хорош… собой, выявить из…ян, декабр…ские морозы, с…агитировать на выборы, коротко стрич…ся, сверх…естественный об…ект, боиш…ся ос…минога, неб…ющаяся вещ…, об…емный текст п…есы, не забуд…те плащ…, невтерпеж… ждать, раз…яренный бык, разрабатывать кар…ер.

Задание 4. *Повторите правописание Н и НН в причастиях, прилагательных и образованных от них формах. Перепишите текст, вставив пропущенные буквы и расставив недостающие знаки препинания при причастных оборотах. Причастные обороты подчеркните.*

Было нестерпимо холодн…о, и даже не верилось, что днем придется жариться в раскален…ом пекле. Среди потрескавшихся от зноя пород обнаруживаются словно бы отполирован…ые плиты гранита. В этом заброшен…ом неповторимом уголке необозримой пустыни существование человека – никогда не прекращающееся сражение с природой. Палатки кочевников соседствуют с домами сложен…ыми из обожжен…ого кирпича.

Снаружи жилище покрывает сетка сплетен…ая из жесткой травы. Узор наносится и на пленку, которой палатка скрепляется изнутри.

Все палатки украшен…ы под цвет камен…ых глыб. Комнаты соединен…ы переходами из плетен…ых циновок. Все разложен…о аккуратн…о, повсюду чистота. Сбоку вышел мужчина в незаменимом традицион…ом облачении. На нем накидка казавшаяся накрахмален…ой. Бросался в глаза и меч повеш…н…ый к поясу.

Геолог подходит к карте разукрашен…ой цветными пометками. Все, что нанесен…о на нее, – плод трудн…ых поисков в горах прокален…ых солнцем. Новые месторождения открывают разведчики недр. (По Б. Фетисову)

Задание 5. *Повторите правописание НЕ и НИ с разными частями речи. Перепишите текст, вставив пропущенные буквы и раскрыв скобки.*

Нет (н…)чего лучше Невского проспекта, по крайней мере в Петербурге. Чем (н…)блестит эта улица – красавица нашей столицы! Я знаю, что (н…)один из бедных чиновных ее жителей (н…)променяет на все блага Невского проспекта. Да и кому же он (н…)приятнен? Здесь единствен…ое место, где показываются люди (н…)по(н…)обходимости, куда загнала их надобность и меркантильный интерес, об…емлющий весь Петербург. Здесь житель Петербургской или Выборгской части, (н…)сколько лет (н…)бывавший у своего приятеля в Песках или у Московской заставы, может быть уверен, что встретится с ним (н…)пр…мен…о.

Можно сказать решительно, что в это время, то есть до двенадцати часов, Невский проспект (н…)составляет (н…)(для)кого цели, он служит только средством: он постепен…о заполняется лицами, имеющими свои занятия, свои заботы, свои досады, но вовсе (н…)думающими о нем. В это время, что бы вы на себя (н…)надели, хотя бы даже вместо шляпы был картуз у вас на голове, хотя воротнички слишком высунулись из вашего галстука, – (н…)кто этого (н…)заметит. (по Н. В. Гоголю)

Задание 6. *Повторите правописание наречий и частиц. Перепишите текст, вставив пропущенные буквы и раскрыв скобки. Вставьте недостающие знаки при деепричастных оборотах. Деепричастия подпишите.*

Лето выдалось знойное и сокрушило все. Земля иссохла, прокалилась до того, что ящерицы (не)боясь (ни)кого прибегали на порог с отчаянно колотящимися глотками, лиш…(бы) куда(нибудь) спрятаться. А коршуны забирались (в)высь и (на)долго умолкали в горящем мареве.

И ребят непоседливых сморила (не)померная жара. Они прятались от нее под стенами домов выглядывая (из)редк… (от)туда на проходящие мимо них пассажирские и товарные поезда. Когда у разъезда составы сбавляли ход, детям казалось, что уж… этот(то) поезд

притормозит и остановится. Они бежали за ним (в)догонку заслоняясь ручонками от солнца и (по)детски наивно надеясь укатить из пекла.

Тяжко было смотреть, с какой завистью и печалью малыши глядели (в)след уходящим в неизвестность, (на)стеж… раскрытым вагонам. Пассажиры выглядывали из открытых окон, то(же) сходили с ума от духоты и мечтали о том, что(бы) (на)утро очутиться там, где прохладные реки и зеленые леса. Вряд(ли) они задумывались о том, что жара может задержаться… (По Ч. Айтматову)

Задание 7. *Повторите правила постановки знаков препинания в сложных предложениях. Перепишите предложения, расставив знаки препинания. Обратите особое внимание на пунктуацию при однородных и обособленных членах предложения. Подчеркните грамматические основы.*

1. Сначала соседи смеялись между собою над высокомерием Троекурова и каждый день ожидали чтоб незваные гости посетили Покровское где было им чем поживиться но наконец принуждены были с ним согласиться и сознаться что и разбойники оказывали ему непонятное уважение. (А. С. Пушкин)
2. Раза три в год Финский залив и покрывающее его серое небо нарядятся в голубой цвет и млеют любуясь друг другом и северный человек едучи из Петербурга в Петергоф не насмотрится на редкое чудо млеет в непривычном зное и все заликует дерево цветок и животное. (И. А. Гончаров)
3. Я писал вам как мы гонимые бурным ветром дрожа от холода пробежали мимо берегов Европы как в первый раз пал на нас у подошвы гор Мадейры ласковый луч солнца и заплескали голубые волны засияли синие небеса как мы жадно бросились к берегу погреться горячим дыханием земли. (И. А. Гончаров)
4. Иногда бывает что облака в беспорядке толпятся на горизонте а солнце прячась за них красит их и небо во всевозможные цвета в багряный оранжевый золотой лиловый грязно-розовый. (А. П. Чехов)
5. Направо темнели холмы налево все небо было запито багровым заревом и трудно было понять был ли то пожар или же собиралась всходить луна. (А. П. Чехов)
6. Живя здесь я реже попадался на глаза отцу и его гостям и мне казалось что если я живу не в настоящей комнате и не каждый день хожу в дом то слова отца что я сижу у него на шее звучат уже как будто не так обидно. (А. П. Чехов)
7. Он пел и от каждого звука его голоса веяло чем-то родным и необозримо широким словно знакомая степь раскрывалась перед нами уходя в бесконечную даль. (И. С. Тургенев)
8. Большая низкая лампа с непрозрачным абажуром стоящая на письменном столе горела ясно но освещала только поверхность стола да часть потолка образуя на нем дрожащее круглое пятно света в остальной комнате все было в полумраке в нем можно было разглядеть только шкаф с книгами большой диван еще кое-какую мебель. (В. Гаршин)
9. Куда ни обращаешь взор всюду как будто встречаешь быстро удаляющийся образ лета которое время от времени оборачивается назад и бросает прощальную меланхолически-задумчивую улыбку. (Д. Григорович)
10. А на него посмотришь и кажется что вся эта земная деятельность для него только лишь забава и ею занят он пока а настоящие его заботы где-то впереди куда порою устремлялись его бойкие но как бы неживые оловянного блеска глаза. (Ф. Сологуб)

11. На седом фоне тумана ближайшие сосны однотонно плоско и неясно вырисовываются своими прямыми и голыми стволами и в их неподвижности среди этой голубой тишины и среди этого холодного тумана чувствуется что-то суровое печальное и покорное. (А. И. Куприн)

ТЕМА 3. АКЦЕНТОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Цель – повторить характеристику русского языка, составить собственный акцентологический словарь при выполнении упражнений[3].

Основные понятия темы:

Акцентологические нормы – это правила постановки ударения в слове.
Омонимы – слова, у которых от постановки ударения зависит значение.

Задание 1. *Расставьте ударения в следующих словах. Укажите варианты постановки ударения (например, ста́ртер и стартёр):*

1) Асимметрия, блага, кулинария, столяр, добыча, плато, диоптрия, творог, средства, шофер, туфля, эксперт, кремень, страховщик, нефтепровод, маркетинг, шасси, христианин, рассредоточение, досуг, жалюзи, танцовщица, шарфы, торты, искра, бармен, вероисповедание, квартал, симметрия, диспансер, обеспечение, склады, таможня, щебень, баржа, алкоголь, индустрия, приговор, генезис, договор, свекла, бижутерия, каталог, ходатайство, километр, пережитое, хвоя, полиграфия, ортопедия, пиццерия, стюард, овен, упрочение (*имена существительные*).

2) Асбестовый, совестливый, мизерный, оптовый, мастерски, украинский, втридорога, важно, тотчас, просмотровый, завидно, правы, давнишний, стары, одновременный, красивее, красивейший, равны, семестровый, счастливо, досыта, иначе, поутру, начерно, зубчатый (*имена прилагательные и наречия*).

3) Аранжировать, заржаветь, нормировать, убыстрить, заплесневеть, новорожденный, опошлить, баловать, балованный, расклешенный, дарит, включишь, включенный, копировать, повторишь, понял, звонит, закупорить, начался, начатый, положить, положил, вручит, врученный, доложишь, облегчить, осведомиться, премировать, черпать, ободрить, пломбировать, вогнутый, вскружит, буксировать, скрещенный, разрыхлить, плодоносить, наклоненный, окислить (*глагольные формы*).

Задание 2. *Поясните, как зависит значение от постановки ударения в следующих словах (омонимах):*

Глазки, замок, рожки, выкупать, ирис, характерный, полки, хлопок, мука, вычитать, орган, видение, острота, трусить, свойство, гвоздики, бронировать, кредит, угольный, правило, провидение, полнить, лавровый, электрик.

Например: пла́чу (1 лицо ед. число от глагола «плакать») – плачу́ (1 лицо ед. число от глагола «платить»).

[3] При выполнении заданий пользуйтесь орфоэпическим словарем или словарем трудностей при постановке ударения.

Задание 3. *Прочитайте предложения, обращая внимание на постановку ударения в подчёркнутых словах. Составьте по аналогии свои предложения, использовав любые слова из* ***задания 1*** *и / или* ***2****.*

1. В последнем квартале этого года эксперты одной из фирм заключили выгодный договор на прокладку газопровода**,** за что были премированы. 2. Для обеспечения здорового образа жизни исключите из своего рациона арахис, торты и алкоголь, а включите в него творог, свеклу и щавель. 3. В мебельном отделе нашего торгового центра вы можете приобрести красивейшие кухонные гарнитуры по оптовым ценам.

ТЕМА 4. ОРФОЭПИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Цель – повторить правила транскрибирования слов, выявить основные трудности в плане произношения, составить собственный орфоэпический словарь при выполнении упражнений[4].

Основные понятия темы:

Орфоэпические нормы – это правила произношения слов. **Транскрипция** – графическая запись того, как произносится слово (всегда в квадратных скобках).

Задание 1. *Отметьте правильное произношение сочетания ЧН в следующих словах. Распределите слова на три группы:*

[шн]	**[шн]** и **[чн]**	**[чн]**

1) Шуточный, копеечный, отличник, девичник, будничный, булочная, очечник, полуночник, нарочно, прачечная, скучно, скворечник, горчичник, Фоминична, яичница, достаточно, порядочный, горничная, Никитична, двоечник, пустячный, Ильинична, конечно, спичечный, подсвечник, Кузьминична.

2) Шапочный мастер – шапочное знакомство, сердечные капли – друг сердечный, подаренная перечница – чертова перечница.

Задание 2. *Отметьте правильное произношение согласного перед Е в следующих словах. Распределите слова на три группы:*

Твёрдое произношение	**Варианты**	**Мягкое произношение**

Автосервис, дефис, агрессия, дендрарий, бухгалтер, депрессия, гарем, термин, шинель, термос, патент, сессия, тенденция, рейд, газель, дезодорант, фанера, Одесса, академия, бизнесмен, деградация, менеджер, музей, деканат, темперамент, тезис, аксессуары, протекция, бандероль, гипотеза, детектив, кредо, бассейн, экспресс, дедукция, декада, темп, терапевт, дефицит, интервал, дебаты, рельсы, ниппель, компетентный, дезинформация, пресса, цистерна, стратегия, тренинг, сенсорный, сейф, портмоне.

[4] При выполнении заданий пользуйтесь орфоэпическим словарем или словарем трудностей произношения.

Задание 3. *Прочитайте слова, обращая внимание на произношение ударного звука, обозначенного буквой Е:*

1) Острие, поблекший, афера, хребет, оседлый, одноименный, маневренный, опека, жернов, желчь, блеклый, желоб, безнадежный, бытие, повлекший, жердочка, никчемный, гладкошерстный, гашеный, недоуменный.

2) Именительный падеж – падеж скота;

Истекший срок – истекший кровью;

Кричит как оглашенный – оглашенный приговор;

Совершенные пропорции – совершенные поступки;

Крестный ход – крестный отец.

Задание 4. *Прочитайте слова, обращая внимание на произношение выделенных согласных:*

1) Ма**сс**а, су**рр**огат, гру**пп**а, гри**пп**, те**рр**аса, а**тт**естат, ко**лл**ега, мета**лл**, су**мм**а, а**нн**отация, криста**лл**, оди**нн**адцать, и**лл**юзия, ва**нн**а, апе**лл**яция, ка**сс**а, га**лл**юцинация, не**тт**о.

2) Дро**жж**и, бу**хг**алтер, по**зж**е, во**жж**и, и**зж**арить, вы**жж**енный, пе**сч**аный, и**зж**ить, ра**зж**ать, же**стч**е, ни**зш**ий, до**жд**и, ре**зч**е, ви**зж**ать, и**зж**ога, ма**сш**таб, мо**жж**евельник, бе**зж**изненный, ра**сч**ет, съе**зж**у, прие**зж**ай.

Задание 5*. *Прочитайте следующий текст, обращая внимание на правильное произношение и постановку ударения в подчёркнутых словах:*

Примером успешного ведения бизнеса в различных отраслях экономики является деятельность фирмы «Mihail-tur». За 11 лет ее существования удалось сформировать коллектив профессионалов из высококвалифицированных менеджеров, компетентных экспертов, торговых агентов. Компании принадлежат две трети долей уставного фонда АО «Лейбл-мастер», владельца одного из крупнейших торговых центров города. Занимаясь оптовым поставкам подростковой одежды, фирма поддерживает связи с модельными агентствами, что позволяет обновлять коллекции на 15 процентов каждый квартал. С ассортиментом одежды можно познакомиться по объемному каталогу, размещенному на корпоративном интернет-сайте. Руководство фирмы заявило о намерении углубить это направление, для чего налаживаются связи с другими поставщиками, проводятся маркетинговые исследования с целью изучения конъюнктуры рынка в трех крупнейших областях региона. В планы компании входит также сосредоточение средств в области дорожного строительства. Начата подготовка к тендерным торгам, намеченным на первую декаду ноября, к участию в которых приглашаются компании, заинтересованные в строительстве современного путепровода.

ТЕМА 5. СЛОВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

Цель – вспомнить состав слова, научиться находить в предложениях ошибки, связанные с неверным образованием слова.

Основные понятия темы:

Словообразовательные нормы – это правила образования новых слов.

Задание 1. *Найдите в предложениях слова, в которых нарушена словообразовательная норма, запишите их. Выделите неправильно выбранную часть слова (приставку, суффикс). Исправьте допущенные ошибки.*

1. Завесьте, пожалуйста, килограмм помидоров с витрины. **2.** Студенты в очередной раз немного запоздали на лекцию. **3.** Уважаемые пассажиры, проходите по-быстрому в середину вагона или садитесь взади. **4.** Он был коренным курчанином и после учебы в Москве вернулся в родной Курск. **5.** Чтобы сдать зачет, важно завсегда посещать занятия. **6.** Одна из самых актуальных проблем современной России – это взятничество в государственных учреждениях. **7.** После концерта микрофоны со сцены надо будет перенести взад. **8.** Многие кавказские народы отличает их гостеприимчивость. **9.** Моя жизнь в этом году была наполнена заботами о заканчивании школы и поступлении в университет. **10.** Сегодня у первого курса была лекция по химии заместо высшей математики.

ТЕМА 6. ЛЕКСИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Цель – вспомнить основные типы речевых ошибок, связанных со значением слова.

Основные понятия темы:

Лексические нормы – это правила употребления слова в точном значении, которое закрепилось в литературном языке и зафиксировано в толковых словарях.

Паронимы – это слова однокоренные, близкие по форме, но абсолютно разные по значению.

Речевая избыточность – это употребление лишних слов (тавтология, плеоназм).

Лексическая сочетаемость – это способность слова соединяться с другими словами по значению.

Жаргонизм – слово, свойственные для речи той или иной социальной, профессиональной группы людей.

Фразеологизм – устойчивое словосочетание, смысл которого не определяется значением отдельно взятых слов

Задание 1. *Объясните разницу в значении приведенных ниже паронимов. Составьте с каждым из них словосочетание, подобрав подходящее по смыслу слово.*

Осудить – обсудить, удачливый – удачный, соседний – соседский, жилой – жилищный, поступок – проступок, опечатки – отпечатки, командированный – командировочный, усвоить – освоить, эффектность – эффективность, невежа – невежда, представить – предоставить, цельный – целый, искусный – искусственный, практический – практичный; гуманный – гуманистический – гуманитарный; плодовитый – плодовый – плодотворный, экономический – экономичный – экономный.

Задание 2. *Найдите в следующих предложениях избыточные словосочетания, выпишите их. Объясните причину избыточности, указав на лишнее слово (или лишние слова).*

1. При входе в «Копирус» висит прейскурант цен на предлагаемые услуги. **2.** Уезжая из Москвы, мы купили памятные сувениры в киоске у вокзала. **3.** Для преподавателя важно то, какие взаимоотношения друг с другом сложились между студентами в группе. **4.**

Неприятно резал слух голос, доносившийся из конференц-зала. **5.** Депутату приходится встречаться со всеми социальными слоями общества.

Задание 3. *Найдите в следующих предложениях иноязычные по происхождению слова, которые употреблены в неточном значении. Запишите свой вариант исправления.*

1. Рабочий станка допустил целый ряд дефектов при изготовлении деталей. **2.** Пейзаж Екатеринбурга за последние десять лет обогатился современными постройками, хотя многие памятники архитектуры и были реконструированы до основания. **3.** В целях профилактики основное внимание уделяется ранним проявлениям, т. е. дебюту гриппа. **4.** Для окон актового зала мы долго искали гардины длиной 4 метра, а уже потом подбирали шторы в тон стен. **5.** В январе состоялся бенефис талантливого исполнителя: он впервые выступал на профессиональной сцене.

Задание 4. *Найдите в следующих предложениях нарушения правил лексической сочетаемости слов. Запишите свой вариант исправления.*

1. Грамотный руководитель должен показывать образец своим подчиненным. **2.** Нововведения сыграли важное значение в развитии горного комбината. **3.** Красочное оформление детских книг издательства «Эгмонт» должно вызвать внимание и заинтересовать покупателей. **4.** Новогодний спектакль в Театре кукол оказал на детей большое впечатление. **5.** Первую лекцию по геологии в этом году провел молодой преподаватель.

Задание 5. *Найдите в предложениях жаргонные, просторечные, разговорные слова, замените их литературным вариантом и запишите исправленный вариант.*

1. Несколько студентов до сих пор не отнесло хвостовки в деканат. **2.** В центре Екатеринбурга забабахали очередную свечку. **3.** Я считаю, что необходимо избавляться от любой нецензурщины в нашей речи. **4.** После окончания вуза мы решили замутить свой бизнес, решив, что в этом деле нам по-любому повезет. **5.** Работяги привыкли вкалывать на заводе от зари до зари.

Задание 6. *Исправьте в следующих предложениях речевые ошибки, вызванные неправильным употреблением фразеологизма.*

1. Михаил на публике говорит очень убедительно, язык у него хорошо подвязан. **2.** Туристам кинулась в глаза красота уральской природы. **3.** Его обещания рубля ломаного не стоят. **4.** Об умельцах у нас говорят: «Они в своем деле коня подковали». **5.** К сожалению, студенты редко сейчас грызут камень науки по-настоящему.

Задание 7*. *Найдите и исправьте в следующих предложениях речевые ошибки. Запишите правильный вариант.*

1. Норвежские спортсмены по-прежнему остаются нашими самыми серьезными оппонентами в биатлоне. **2.** В своей работе руководители горных предприятий руководствуются новейшей научной и методической литературой. **3.** Многодетным семьям, чтобы жить достойно, приходится искать несколько истоков доходов. **4.** Обычно мы общаемся, не придавая важности невербальным средствам коммуникации. **5.** Екатеринбургская Епархия активно распространяет душевную литературу. **6.** Продукты Черкашинского мясокомбината пользуются авторитетом у покупателей. **7.** Исправьте

ошибки в контрольной работе так, чтобы было правильно. **8.** Все места на парковке были заняты, и поэтому много машин толпилось на обочине. **9.** К маю ветераны ВОВ получили очередную добавку к пенсии. **10.** После собеседования она сказала, что на должность промоутера брали только смазливых молодых людей. **11.** В прошлом году выдался неурожайный год в плане картошки. **12.** Ребенок с рождения имитирует поведение родителей. **13.** На Неделе первокурсника нам сразу выдали студики и зачётки. **14.** Команда нашего факультета заняла первенство в смотре художественной самодеятельности. **15.** После первых же дней изнурительной работы на Севере очень хотелось вернуться назад домой.

ТЕМА 7. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Цель – вспомнить правила определения рода у существительных и аббревиатур, особенности несклоняемых существительных, образования некоторых грамматических форм разных частей речи и научиться исправлять ошибки, связанные с их неверным образованием (все это с опорой на учебную литературу и словари[5]).

Основные понятия темы:

Морфологические нормы – это правила образования грамматических форм слова.

Задание 1. *Определите род у следующих существительных и аббревиатур. Подберите к ним подходящие по смыслу прилагательные (или причастия), учитывая правила синтаксического согласования.*

1) Атташе, авеню, адвокат, амплуа, ассорти, аэрозоль, белоручка, бра, безе, боа, боди, бродяга, видео, визави, врач, выскочка, гну, гуру, денди, доцент, евро, жалюзи, жюри, зануда, иваси, какаду, кантри, каре, кашне, кенгуру, киви, кимоно, колибри, коллега, колли, кольраби, кофе, крупье, кутюрье, лама, левша, манго, мартини, маэстро, меню, миледи, монпансье, недоросль, непоседа, ниндзя, пани, пари, педагог, пенальти, пенсне, пони, преподаватель, протеже, профессор, растяпа, резюме, рефери, сабо, салями, сирокко, спагетти, табу, такси, тамада, танго, толь, торнадо, турне, тюль, фламинго, фрау, хачапури, хиппи, цеце, цунами, шасси (*склоняемые и несклоняемые существительные*).

2) Айдахо, Бали, Борнео, Гоби, Дели, Калахари, Капри, Килиманджаро, Колорадо, Лимпопо, Мехико, Миссисипи, Онтарио, Сорренто, Тбилиси, Толедо, Чили (*имена собственные*).

3) АО, АТС, БАМ, бомж, ВТО, вуз, ГАЗ, ГОК, ГУМ, ДК, дот, ДСП, ДТП, жэк, колхоз, КПП, ЛДПР, МВД, МИД, НИИ, НХЛ, НЭП, общепит, ООН, ПК, полпред, СЕ, СМУ, СНГ, СССР, ТАУ, ТВ, ТРЦ, УЗТМ, ФГБОУ, ФМС, ФСБ, ЦУМ (*аббревиатуры*).

Задание 2. *Определите род у следующих сложносоставных существительных. Составьте с ними словосочетания* ***прил. + сущ.***

Диван-кровать, музей-квартира, генерал-губернатор, плащ-палатка, идея-фикс, конференц-зал, жар-птица, кафе-столовая, чудо-человек, матч-реванш, салон-парикмахерская, программа-максимум, женщина-космонавт, альфа-излучение, ракета-носитель, премьер-министр, кофе-пауза.

---

[5] При выполнении заданий пользуйтесь орфоэпическим словарем или словарем грамматических трудностей.

Задание 3. *Определите, какие фамилии при заполнении бланка письма или заявления будут склоняться, а какие нет. Обращайте внимание на пол человека. Запишите эти имена и фамилии в нужном падеже.*

Кому:

Сергей Левченко, Александр Живаго, Елена Сверчук, Анна Шевченко, Константин Ярош, Татьяна Чубинец, Вероника Лежава, Андрей Горенко, Борис Станкевич, Виталий Воробей, Ирина Шевчук, Иван Миклухо-Маклай, Виктор Доброво, Владислав Карамыш, Анна Диоп, Андрей Кожемяк, Мария Мицкевич, Петр Галаган, Маргарита Венда, Вадим Черных.

От кого:

Николай Черныш, Наталья Седых, Светлана Карась, Семен Фоменко, Лев Щерба, Сергей Соловьев-Седой, Александр Максимаджи, Екатерина Франюк, Леонид Березняк, Юлия Родных, Максим Жук, Алёна Ремесло, Николай Стрижак, Наталия Черных, Марат Ардзинба, Вера Ноздреватых, Виктория Приходько, Евгений Столпнер, Кирилл Шапиро, Станислав Горбачевич.

Задание 33. *Заполните таблицу следующими существительными, в зависимости от того, как у них образуется форма именительного падежа множественного числа.*

Окончание **–а/ –я**	Окончание **–ы/ –и**	Варианты **–а/ –я** и **–ы/ –и**

*Отдельно укажите существительные, у которых от выбора окончания в этой форме зависит значение (например, ордер**а** – «документы» и ордер**ы** – «элементы в архитектуре»).*

1) Брелок, бухгалтер, ветер, вексель, возраст, герб, год, директор, договор, жемчуг, инженер, инспектор, клин, колос, купол, лектор, медвежонок, небо, окорок, офицер, отпуск, пандус, паспорт, плинтус, почерк, прииск, прожектор, профессор, ребенок, редактор, сектор, семя, слесарь, столяр, сторож, табель, токарь, тополь, трактор, хозяин, цех, чудо, шило, шофёр, штемпель.

2) Корпус, лагерь, образ, повод, полоз, полутон, провод, пропуск, прут, тормоз, хлеб.

Задание 4. *Образуйте форму родительного падежа множественного числа от следующих существительных. Отметьте наличие вариантов (например, ла́сты – ла́ст**ов** и ла́ст□).*

Армяне, апельсины, басни, блюдца, болгары, ботинки, брызги, буряты, валенки, гардемарины, гектары, граммы, грузины, дела, деньги, джинсы, заморозки, казахи, калории, кастрюли, килограммы, клавиши, комментарии, макароны, мандарины, мечты, микроны, мокасины, носки, осетины, партизаны, перила, перипетии, петли, плечи, полотенца, поместья, помидоры, просьбы, развилки, рельсы, русла, сани, сапоги, сбои, свадьбы, сваи, свечи, серьги, солдаты, тапочки, тиски, турки, туфли, цыгане, чукчи, чулки, южане, юнги, яблоки, ясли.

Задание 5. *Раскройте скобки, заменяя цифровые обозначения словами, правильно определяя падеж числительных и существительных.*

1. Выборы в Государственную Думу состоялись в (358 округов). **2.** Появилась серия вспомогательных пособий с (5 735 чертежей). **3.** Теплоход с (657 отдыхающих) плыл вниз по Волге. **4.** За время последней экспедиции мы прошли свыше (2 580 километров). **5.** Нарушения техники безопасности были выявлены на (4 893 предприятия).

Задание 6. *Исправьте неверное употребление числительных в следующих предложениях:*

1. Лекция по философии будет прочитана для обоих студенческих групп. **2.** Мать-героиня воспитала семерых сыновей и четверых дочерей. **3.** Забор тянулся по обоим сторонам улицы и ограничивал движение. **4.** Двоих подруг она уже встретила по приезде в родной город. **5.** Главные достопримечательности Санкт-Петербурга расположены по обеим берегам Невы.

Задание 7. *Выпишите из предложений неправильно образованные грамматические формы. Запишите исправленный вариант.*

1. Всем стало понятно, что ейное предложение по реконструкции здания не будет одобрено. **2.** После второго матча наша команда оказалась в более лучшем положении. **3.** Староста пожаловалась преподавателю, что наша группа не влазиет в аудиторию 3519. **4.** Съездя в другой город, она поняла, как хорошо на родине. **5.** Ремонтники уже второй месяц не могли сменить треснутое стекло в окне. **6.** Он схватился за канат двумями руками. **7.** Хозяйка встретила гостей в бигудях и халате. **8.** Наши альпинисты покорили самые высочайшие вершины мира. **9.** Я надеялся, что к началу сессии выздоровлю. **10.** В этот раз студенты справились с заданием еще более хуже.

Задание 8. *Найдите нарушения морфологических норм. Запишите исправленный вариант предложений.*

1. Новый преподаватель кажется более образованнее. **2.** Студенческое общежитие находится в полтора километрах от здания университета. **3.** ФНС был создан как федеральный орган исполнительной власти. **4.** В магазине «Лео-строй» разнообразные варианты цветных жалюзей. **5.** Куратор совсем не интересовался ихними проблемами в учебе. **6.** МВФ выделило очередной транш в 1,5 миллиарда долларов. **7.** В столовой нельзя пользоваться лопнутыми стаканами. **8.** Эту сумму мы добавим к тысяче двести сорокам рублям. **9.** На конференцию молодых ученых пригласили самых умнейших студентов старших курсов. **10.** Вскоре Сергей Исаев стал популярной тамадой на свадьбах и других торжествах. **11.** На вновь открытое предприятие требуются бухгалтера, сторожи и инженера АСУП. **12.** Южнее Сочи находится солнечное Сухуми. **13.** На дипломную практику горный комбинат принял троих девушек с нашего курса. **14.** Мама традиционно купила пять килограмм мандарин и апельсин для праздничного новогоднего стола. **15.** Увидя раздраженное состояние преподавателя, студентка решила с ним не спорить.

ТЕМА 8. СИНТАКСИЧЕСКИЕ НОРМЫ

Цель – повторить основные правила построения словосочетаний и предложений

Основные понятия темы:

Синтаксические нормы – это правила, регулирующие порядок и связь слов в

словосочетании и предложении.

Задание 1. *Раскройте скобки, правильно определив падеж зависимого слова. При необходимости используйте предлоги. Запишите получившиеся словосочетания.*

Согласно (устав университета), точка зрения (события), благодаря (поддержка друга), анонс (предстоящие гастроли), вопреки (мнение большинства), наперекор (судьба), вклад (развитие науки), жажда (слава), заведующий (кафедра), по (возвращение) из отпуска, отзыв (курсовая работа), рецензия (новый фильм), оплачивать (проезд), свидетельствовать (необходимость перемен), доказывать (новая теория), поделиться (результаты исследования), апеллировать (здравый смысл), по (прибытие) поезда; предостеречь (опасность) – предупредить (опасность), обращать внимание (недостатки) – уделять внимание (подготовка к экзаменам), уверенность (свои силы) – вера (победа).

Задание 2. *Найдите предложения, в которых неверно употреблен деепричастный оборот. Предложите свой вариант исправления.*

*Образец: Подводя итог проделанной работы, мною был вдвинут ряд предложений по модернизации (**действие, названное деепричастием, не относится к подлежащему**).*

Варианты исправления: 1) Подводя итог проделанной работы, я выдвинул ряд предложений по модернизации. 2) Когда я подвел итог проделанной работы, мною был вдвинут ряд предложений по модернизации. 3) После подведения ряда итогов проделанной работы мною был вдвинут ряд предложений по модернизации.

1. Будучи ребенком, Дмитрия всегда интересовали вопросы, связанные с техникой. **2.** Читая произведения русской классики, меня охватывает чувство гордости за отечественную литературу. **3.** Не чувствуя ни усталости, ни голода, наш путь к вершине продолжался. **4.** Узнав эту прекрасную новость, радости студентов не было предела. **5.** Первым, слегка хромая, из автобуса вышел седой старик. **6.** Записываясь на практику, у студентов были очень ограничены возможности выбора места ее прохождения. **7.** Вспоминая родные места, мне видится наш маленький кирпичный домик в тени тополей. **8.** Глядя на ярко освещенные стены Зимнего дворца, у меня возникло желание приехать сюда еще раз. **9.** Позвонив в третий раз, он с грустью понял, что никого нет дома. **10.** Произведя ряд расчетов, задача была решена студентами в течение 15 минут.

Задание 3. *Найдите предложения, в которых неправильно согласовано подлежащее со сказуемым. Запишите исправленный вариант.*

1. Много знаменитых людей закончили наш университет. **2.** Немало средств были потрачены на восстановление полуразрушенного памятника архитектуры. **3.** Несколько важных дат будут отмечены в календаре помимо официальных государственных праздников. **4.** На собрание по поводу летней практики явились лишь 31 студент. **5.** Часть студентов не справились с итоговой контрольной работой. **6.** Множество горожан приняли участие в шествии «Бессмертного полка». **7.** Ряд важных вопросов не были решены во время последнего заседания Ученого совета. **8.** Половина участников соревнований были размещены в студенческом общежитии. **9.** Тысяча периодических изданий имеются в открытом доступе в электронной библиотеке. **10.** Газета «Екатеринбургские новости» опубликовали интересную статью о творчестве молодых поэтов и писателей Урала.

Задание 4. *Найдите нарушения синтаксических норм. Запишите исправленный вариант предложений.*

1. Согласно распоряжения ректора всем студентам и сотрудникам необходимо пройти флюорографический осмотр. **2.** Открыв дверь в аудиторию, перед моими глазами предстала странная картина. **3.** Важно изучать условия жизни человека и как они связаны с процессами, происходящими сегодня в нашем обществе. **4.** Молодежь всегда принимали участие в студенческой самодеятельности и спортивных мероприятиях. **5.** В своей новой статье автор исследует и размышляет о возможностях искусственного интеллекта. **6.** Приказ был подписан ректором университета, устанавливающий обязательное посещение занятий, и доведен до сведения сотрудников вуза, преподавателей и студентов. **7.** Несколько членов Ученого совета не присутствовали на очередном заседании. **8.** В район приехал инструктор для подготовки специалистов по борьбе с сельскохозяйственными вредителями из местных жителей. **9.** Ученики горного лицея поступают в престижные учебные заведения, родители которых гордятся их успехами в учебе. **10.** Можно было согласиться лишь с теми положениями доклада, где приводились статистические данные для подтверждения гипотезы. **11.** Сдав нормативы ГТО, большинству из нас был вручен золотой значок. **12.** Учебное пособие не только предназначено для преподавателей, а также и для студентов и аспирантов. **13.** Скоро будет заселен многоквартирный дом, выросший на глазах за несколько месяцев и который уже приняла комиссия. **14.** Нам предложили поселиться в номере-люкс новой гостиницы для туристов с видом на море. **15.** Преподаватель попросил студентов, чтобы они ему напомнили на следующем занятии, чтобы он им распечатал раздаточный материал к семинарскому занятию.

ТЕМА 9. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТИЛЕЙ

Цель – повторить систему функциональных стильных стилей русского языка, научиться определять стиль текста и доказывать свою точку зрения в этом вопросе.

КОНСПЕКТ следующего материала к занятию (основные понятия выделены в тексте):

Функциональный стиль – это исторически сложившаяся и социально осознанная разновидность языка, функционирующая в определенной сфере человеческой деятельности и общения, создаваемая особенностями употребления в этой сфере языковых средств и их специфической организацией.

В основе классификации стилей лежат экстралингвистические факторы: сфера применения языка, обусловленная ею тематика и цели общения. Сферы применения языка соотносятся с видами деятельности человека, соответствующими формам общественного сознания: наука, идеология, право, искусство, религия. Выделяются стили официальной речи (книжные): **научный**, **официально-деловой**, **публицистический**, **литературно-художественный**, **церковно-религиозный**. Им противопоставлен стиль неофициальной речи – **разговорный**, экстралингвистической основой которого является сфера бытовых отношений и общения (быт как область отношений людей вне их непосредственной производственной и общественно-политической деятельности).

Сферы применения языка в значительной мере влияют на тематику и содержание высказывания. Каждая из них имеет свои актуальные темы. Например, в научной сфере обсуждаются проблемы научного познания мира, в сфере бытовых отношений – бытовые

вопросы. Однако в разных сферах может обсуждаться одна и та же тема, но цели преследуются неодинаковые, вследствие чего высказывания различаются и по содержанию, и по форме (см. **Задание 1**).

Каждый стиль обладает определёнными языковыми особенностями (прежде всего лексическими и грамматическими). Можно говорить лишь об относительной замкнутости функциональных стилей: большинство языковых средств в каждом стиле нейтральные, межстилевые. Однако ядро каждого стиля образуют присущие именно ему языковые средства с соответствующей стилистической окраской и едиными нормами употребления.

Следует отбирать слова и конструкции в соответствии с выбранным стилем, особенно в письменной речи. Употребление разностилевых языковых средств в рамках одного текста ведет к появлению стилистических ошибок. Часто встречаются ошибки, связанные с неуместным употреблением канцеляризмов, а также злоупотреблением специальными терминами в ненаучном тексте и использованием разговорной и просторечной лексики в книжных текстах (см. **Задание 2**).

Можно сделать вывод, что **стилистические нормы** – это 1) правила употребления языковых средств в соответствии с выбранным стилем и 2) правила выбора стиля, соответствующего условиям общения.

Таким образом, специфические черты каждого функционального стиля можно описать, ориентируясь на целый ряд признаков, которые обознаются как **стилеобразующие факторы**, а также на его стилевые и языковые особенности. Кроме того, каждый стиль включает в себя тексты разных жанров (см. **Задание 3**).

Функциональный стиль	Стилеобразующий фактор						Жанры
	Доминирующая языковая функция	Форма общественного сознания	Основная форма речи	Типичный вид речи	Тон речи	Тип адресата	
Научный	Сообщение	Научное сознание	Письменная	Монолог	Нейтральный	Массовый (подготовленный к восприятию научной информации)	Учебник, монография лекция, научная статья, аннотация, реферат, конспект, тезисы, курсовая работа, выпускная работа, диссертация, доклад
Официально-деловой	Сообщение / воздействие	Правовое сознание	Письменная	Монолог	Нейтральный / императивный	Массовый	Конституция, закон, приказ, указ, распоряжение, положение, регламент, заявление, автобиография, резюме, характеристика
Публицистический	Сообщение + воздействие	Идеологическое сознание	Письменная и устная	Монолог и диалог	Обусловленный содержательно	Массовый	Репортаж, интервью, очерк, дискуссионное выступление, статья, информационная заметка
Литературно-художественный	Воздействие	Эстетическое сознание	Письменная	Обусловленный родом и жанром литературы	Обусловленный эстетической задачей	Массовый (подготовленный к восприятию классических произведений)	Роман, повесть, рассказ, новелла, стихотворение, поэма, баллада
Церковно-религиозный	Воздействие	Религиозное сознание	Письменная и устная	Монолог	Обусловленный ситуативно	Массовый	Исповедь, проповедь, житие, молитва
Разговорный	Общение	Обыденное сознание	Устная	Диалог и полилог	Обусловленный ситуативно	Личный (конкретный собеседник)	Дружеская беседа, семейная беседа, бытовой спор, байка

Задание 1. *Прочитайте тексты, посвященные одной теме. Определите функционально-стилевую принадлежность текстов, опираясь на стилеобразующие факторы и языковые особенности каждого из них.*

Текст 1

Гроза – атмосферное явление, заключающееся в электрических разрядах между так называемыми кучево-дождевыми (грозовыми) облаками или между облаками и земной поверхностью, а также находящимися над ней предметами. Эти разряды – молнии – сопровождаются осадками в виде ливня, иногда с градом и сильным ветром (иногда до шквала). Гроза наблюдается в жаркую погоду при бурной конденсации водяного пара над перегретой сушей, а также в холодных воздушных массах, движущихся на более теплую подстилающую поверхность.

Текст 2

Как передает наш корреспондент, вчера над центральными районами Пензенской области прошла небывалой силы гроза. В ряде мест были повалены телеграфные столбы, порваны провода, с корнем вырваны столетние деревья. В двух деревнях возникли пожары в результате удара молнии. К этому прибавилось еще одно стихийное бедствие: ливневый дождь вызвал сильное наводнение. Нанесен значительный ущерб сельскому хозяйству. Временно было прервано железнодорожное и автомобильное сообщение между соседними районами.

Текст 3

Доводим до Вашего сведения, что вчера после полуночи над районным центром – городом Нижний Ломов и прилегающей к нему сельской местностью – пронеслась сильная гроза, продолжавшаяся около получаса. Скорость ветра достигала 30-35 метров в секунду. Причинен значительный материальный ущерб жителям деревень Ивановка, Щепилово и Вязники, исчисляемый, по предварительным данным, сотнями тысяч рублей. Имели место пожары, возникшие вследствие удара молнии. Сильно пострадало здание школы в деревне Курково, для его восстановления понадобится капитальный ремонт. Вышедшая из берегов в результате проливного дождя река Вад затопила значительную площадь. Человеческих жертв нет. Образована специальная комиссия для выяснения размеров причиненного стихийным бедствием ущерба и оказания помощи пострадавшему местному населению. О принятых мерах будет незамедлительно доложено.

Текст 4

Ты не поверишь, какая гроза прошла вчера над нами! Я человек не робкого десятка, и то испугался насмерть.

Сначала все было тихо, нормально, я уже собирался было лечь, да вдруг как сверкнет молния, бабахнет гром! И с такой силищей, что весь наш домишко задрожал. Я уже подумал, не разломалось ли небо над нами на куски, которые вот-вот обрушатся на мою несчастную голову. А потом разверзлись хляби небесные... В придачу ко всему наша безобидная речушка вздулась, распухла и ну заливать своей мутной водицей все вокруг. А совсем рядом, что называется – рукой подать, загорелась школа. И стар и млад – все повысыпали из изб, толкутся, орут, скотина ревет – вот страсти какие! Здорово я перепугался в тот час, да, слава Богу, все скоро кончилось.

Текст 5

При Крещении священник крестообразно помазывает лоб христианина святым миром, говоря: «Печать дара Духа Святаго». Впоследствии всякий раз, когда христианин осеняет себя крестным знамением, он поклоняется спасительной Страсти Господней и призывает

крестную силу, иже есть сила крестной смерти нашего Христа. Говоря: «Кресте Христов, спаси нас силою твоею», мы призываем силу крестной жертвы Господа. Поэтому крест обладает великой силой. Например, началась гроза. Сверкают молнии, и в большой железный крест на колокольне тоже может ударить молния. Однако, если стоящий под этим железным крестом христианин имеет на себе вот такой маленький крестик и говорит: «Кресте Христов, спаси мя силою твоею», то молния ему не повредит. В первом случае действуют природные законы: молния попадает в крест и сбивает его на землю. Во втором случае такой вот малюсенький крестик хранит верующего человека, призвавшего на помощь силу Креста.

Текст 6

Между далью и правым горизонтом мигнула молния, и так ярко, что осветила часть степи и место, где ясное небо граничило с чернотой. Страшная туча надвигалась не спеша, сплошной массой; на ее краю висели большие, черные лохмотья; точно такие же лохмотья, давя друг друга, громоздились на правом и на левом горизонте. Этот оборванный, разлохмаченный вид тучи придавал ей какое-то пьяное, озорническое выражение. Явственно и не глухо проворчал гром. Егорушка перекрестился и стал быстро надевать пальто.

Вдруг рванул ветер и со свистом понесся по степи, беспорядочно закружился и поднял с травою такой шум, что из-за него не было слышно ни грома, ни скрипа колес. Он дул с черной тучи, неся с собой облака пыли и запах дождя и мокрой земли. Лунный свет затуманился, стал как будто грязнее, звезды еще больше нахмурились, и видно было, как по краю дороги спешили куда-то назад облака пыли и их тени.

Чернота на небе раскрыла рот и дыхнула белым огнем; тотчас же опять загремел гром.

Дождь почему-то долго не начинался... Было страшно темно. А молнии в потемках казались белее и ослепительнее, так что глазам было больно.

Вдруг над самой головой его [Егорушки] со страшным, оглушительным треском разломалось небо; он нагнулся и притаил дыхание, ожидая, когда на его затылок и спину посыпятся обломки... Раздался новый удар, такой же сильный и ужасный. Небо уже не гремело, не грохотало, а издавало сухие, трескучие, похожие на треск сухого дерева звуки. (*А. П. Чехов. Степь*)

Задание 2. *Найдите в следующих предложениях стилистические ошибки и запишите исправленный вариант.*

1. Некоторым министрам необходимо включить мозги, чтобы до них дошло, что на прожиточный минимум люди в России могут только существовать. **2.** В статье сообщается, что левые лекарства отследят по аптекам и конфискуют. **3.** Мэр города рассказал, что в настоящее время ведется возведение двух бюджетных высоток в Пионерском поселке. **4.** Новый сотрудник редакции сумел нарыть некий компромат на верхушку министерства, но опубликовать материалы ему не дали. **5.** Директор гимназии был в ауте, когда ему сообщили, что гимназия получила-таки грант в размере 1 млн. рублей. **6.** Бытие в хрущевках и интенсивные трудовые затраты скрашивала душевная атмосфера, царившая в те годы в коллективе. **7.** Благополучие родных деревень отстаивает наш председатель, который по восемнадцать часов в сутки мотается по полям, фермам, частит по делам в Екатеринбург. **8.** Трудно понять, почему ученый допустил такую промашку в расчетах. **9.** Семь школ, которые дислоцируются в нашем районе, переполнены, поэтому некоторым детям приходится ездить за тридевять земель. **10.** Избранников народа одолевает такое количество проблем, что у некоторых уже крыша поехала.

Задание 3. *Определите, к какому стилю принадлежит каждый из предложенных текстов*[6]*. Попытайтесь обосновать свою точку зрения.*

Текст 1

В психологии и этике делового общения речь пойдет не столько об абстрактных общепсихологических категориях и принципах, сколько о профессиональных психологических и в то же время практически ориентированных знаниях, которые могут обеспечить успех той или иной деятельности. Под **деловым** понимается общение, обеспечивающее успех какого-то общего дела, создающее условия для сотрудничества людей, чтобы осуществить значимые для них цели. Деловое общение содействует установлению и развитию отношений сотрудничества и партнерства между коллегами по работе, руководителями и подчиненными, партнерами, соперниками и конкурентами. Оно предполагает такие способы достижения общих целей, которые не только не исключают, но, наоборот, предполагают также и достижение лично значимых целей, удовлетворение личных интересов.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 2

Веруем в Единого Бога Отца Всемогущего, Творца неба и земли.

Веруем также в Иисуса Христа, Его Единородного Сына и Господа нашего, Который был зачат Духом Святым, рожден девой Марией, Который страдал во времена Понтия Пилата, был распят, умер и был погребен, сошел в царство смерти, на третий день воскрес из мертвых, вознесся на Небо и воссел одесную Всемогущего Бога Отца, откуда вернется судить живых и мертвых.

Веруем также во Святого Духа, Святую Соборную Церковь, собрание святых, в прощение грехов, воскресение мертвых и жизнь вечную.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 3

В Горном университете прошел День открытых дверей. На площадке перед Большим актовым залом – Залом УГМК развернулся настоящий наукоград: кроме презентации различных направлений подготовки, школьников ждали специализированные мастер-классы.

Об основах робототехники будущим абитуриентам рассказывали сотрудники кафедры горных машин и комплексов и робот Герман. О далеких экспедициях и романтике походов – студенты-геологоразведчики. У стенда **Уральского геологического музея** ребята рассматривали минералы под микроскопом, а вместе с инструкторами **студенческого патриотического центра «Святогор»** учились основам безопасного обращения с оружием.

[6] Задание может быть выполнено как тестовое.

Всего на **День открытых дверей** в **Горный университет** пришли около тысячи школьников. Многие из них уже серьезно задумались о том, чтобы стать частью дружной семьи горняков.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 4

В соответствии с Федеральным законом от 18.06.2001 N 77-ФЗ «О предупреждении распространения туберкулеза в Российской Федерации», Постановлением Правительства РФ от 25.12.2001 N 892 «О реализации Федерального закона «О предупреждении распространения туберкулеза в Российской Федерации», санитарно-эпидемиологическими правилами СП 3.1.2.3114-13 «Профилактика туберкулеза» и в целях раннего выявления заболеваний органов грудной клетки среди студентов и сотрудников университета

ПРИКАЗЫВАЮ:

Организовать с 10 апреля по 12 мая 2017 года флюорографический профилактический осмотр студентов и сотрудников университета в передвижном цифровом флюорографическом кабинете, установленном во дворе I учебного здания, с предъявлением каждым студентом и сотрудником копии полиса обязательного медицинского страхования.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 5

Страны, которые являются участниками процесса торговли минеральным сырьем, решают разные задачи, что отражается на структуре их экономики, влияет на характер воспроизводственных процессов, порождает специфические для каждой страны проблемы. Взаимодействие экспортеров и импортеров сырья накладывает отпечаток на международные отношения, являясь причиной возникновения конфликтов, создания экономических и военно-политических союзов. Стремление к поддержанию и расширению экспорта вызывает дополнительные потребности в производстве сырья внутри страны, в развитии минерально-сырьевой базы. Импорт сырья следует рассматривать как источник удовлетворения потребностей и стимулирование развития несырьевых отраслей.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 6

Отец наш шибко тада заболел // У него было очень больное сердце // А что такое больное сердце в те годы / это же неизлечимая болячка! Он работал у нас мастером в заводе / в формовочном цехе / где делались изделия для сталелитейного завода / для нижнетагильского // Ковшовые кирпичи / розетки / воронки всякие / сифоны / вообщем / всякая всячина // Всё было для фронта / всё для победы // Щас этого никто не понимает / особенно нынешняя молодёжь // Какие же тяжёлые дни пережило наше поколение! И не дай

вам Бог узнать / что такое война! Да даже твои родители ещё воспитывались в этом послевоенном духе // Ну да ладно / всё равно меня трудно понять…

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 7

Реклама работает на подсознательном уровне, обращается к иррациональному в природе человека. Ее влияние и глубже и сильнее, чем мы думаем, потешаясь над каким-нибудь слабоумным персонажем вроде пропагандиста бытовой техники. Кого и в чем может убедить этот шут гороховый? Оказалось – нас. Но не в том, что его товары дешевле и лучше, а совсем в другом – в преимуществе нового образа жизни.

От рекламы не требуется реализма. Задавая высокие нравственные стандарты, она порождает особое позитивное мышление. Задача рекламы состоит в том, чтобы потребитель подсознательно стремился отождествить себя с героем «коммершелз». Тогда он купит сковородку не для того, чтобы жарить яичницу, а для того, чтобы стать участником идеальной экранной жизни.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 8

Наутро поднявшееся яркое солнце быстро съело тонкий ледок, подернувший воды, и весь теплый воздух задрожал от наполнивших его испарений отжившей земли. Зазеленела старая и вылезающая иглами молодая трава, надулись почки калины, смородины и липкой спиртовой березы, и на обсыпанной золотым светом лозине загудела выставленная облетавшаяся пчела. Залились невидимые жаворонки над бархатом зеленей и обледеневшим жнивьем, заплакали чибисы над налившимися бурою неубравшеюся водой низами и болотами, и высоко пролетели с весенним гоготаньем журавли и гуси. Заревела на выгонах облезшая, только местами еще не перелинявшая скотина, заиграли кривоногие ягнята вокруг теряющих волну блеющих матерей, побежали быстроногие ребята по просыхающим, с отпечатками босых ног тропинкам, затрещали на пруду веселые голоса баб с холстами, и застучали по дворам топоры мужиков, налаживающих сохи и бороны. Пришла настоящая весна.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 9

К нашему большому сожалению, мы должны сообщить Вам, что партия лакокрасочных материалов, отгруженных Вами на судне «Ленинград» по контракту 27-005/40289, не соответствует по качеству нашим спецификациям, на основании которых был заключен контракт.

Согласно параграфу № 03 в договоре, мы имеем право отказаться от приемки этой партии товара. Однако, принимая во внимание наши длительные деловые отношения и то

обстоятельство, что предыдущие поставки лакокрасочных материалов в счет данного контракта были произведены в соответствии с условиями договора и надлежащего качества, мы согласны принять эту партию товара, если Вы предоставите нам скидку в 10 %.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 10

Человек должен быть широк. Из универсализма вытекает креативность, а ЕГЭ не обеспечивает ни того, ни другого. Даже те ребята, которые прекрасно сдали тесты по выбранным предметам, далеко не всегда в состоянии объяснить, откуда взялись все эти ответы, вывести их самостоятельно. А предложение «докрутить» чуть дальше и глубже вообще ставит в тупик: «Почему вы у нас спрашиваете то, что вы нам не рассказали?» Но креативность как раз и состоит в умении давать такие ответы. Учащийся – это же не шляпа, в которую положили кролика, чтобы его же и достать. Это неинтересно.

Убрать ЕГЭ нельзя. Но если оставить все как есть, мы обречены на дальнейшее отставание в науке, в любых творческих профессиях. Поэтому необходимо уточнить функционал ЕГЭ. А для этого надо все же назвать кошку кошкой и понять, что такое образование.

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

Текст 11

На религию после революции 1917 года было наложено так называемое табу. Христианское вероисповедание и все реалии, связанные с ним, воспринимались только как культурное наследие и пережиток царского режима. Соборы и церкви были лишь памятниками архитектуры, жития святых – памятниками литературы, иконы и фрески – памятниками художественного творчества. Очень многие храмы были разрушены или применялись не по своему прямому назначению; они становились складами, конторами, монастыри превращались в тюрьмы и колонии. Люди, особенно священнослужители, преследовались за свою веру. Как следствие, лексика религиозного характера со временем стала постепенно переходить в пассивный состав языка, используясь в основном в составе фразеологизмов и афоризмов (как Бог на душу положит; как у Христа за пазухой; человек предполагает, а Бог располагает). Некоторые слова изменили свою семантику (воскресение, братия), многие приобрели в современном русском языке отрицательную окраску (вертеп).

1) разговорному	4) научному
2) художественному	5) публицистическому
3) официально-деловому	6) церковно-религиозному

ТЕМА 10. НАУЧНЫЙ СТИЛЬ

Цель – познакомиться со спецификой научного стиля, научиться определять основные стилевые и языковые особенности научных текстов.

КОНСПЕКТ следующего материала к занятию (основные понятия выделены в тексте):

Научный стиль – один из важнейших функциональных стилей литературного языка, относящийся к письменно-книжному типу речи и обслуживающий сферу науки и производства. Цель текста научного стиля может заключаться в передаче объективной информации о природе, человеке и обществе, доказательстве ее новизны, истинности или ценности.

Основные стилевые черты научного стиля:

– **объективность**, которая проявляется в изложении разных точек зрения на рассматриваемую проблемы, в отсутствии субъективных оценок при передаче содержания, в безличности языкового выражения, в сосредоточенности на предмете высказывания;

– **логичность**, которая проявляется в последовательности и непротиворечивости изложения научной теории и создается с помощью особых синтаксических конструкций (сложные предложения с придаточными причины, условия, следствия; предложения с вводными словами *во-первых*, *во-вторых*, *наконец*, *итак*, *следовательно* и др.);

– **доказательность**, которая проявляется в цепочке рассуждений, аргументации определенных положений и гипотез;

– **точность**, которая достигается благодаря использованию терминов (т. е. слов и словосочетаний, обозначающих понятия особой области знания или деятельности), однозначных слов; четким оформлением синтаксических связей;

– **обобщенность** и **отвлеченность**, которые проявляются в отборе слов (преобладание имен существительных над глаголом, общенаучные слова, имена существительные с абстрактным значением, конкретные существительные в обобщенном значении), в употреблении грамматических форм (глаголы настоящего времени во «вневременном» значении, возвратные и безличные глаголы, преобладание форм 3-го лица, форм несовершенного вида), в использовании синтаксических конструкций (неопределенно-личные предложения, страдательные обороты), в существовании авторского «мы», характерного только для научного стиля;

– **насыщенность фактической информацией**;

– **отсутствие выражения эмоций** (отсутствуют разговорные элементы, эмоционально-экспрессивная лексика, неполные конструкции и т. п.).

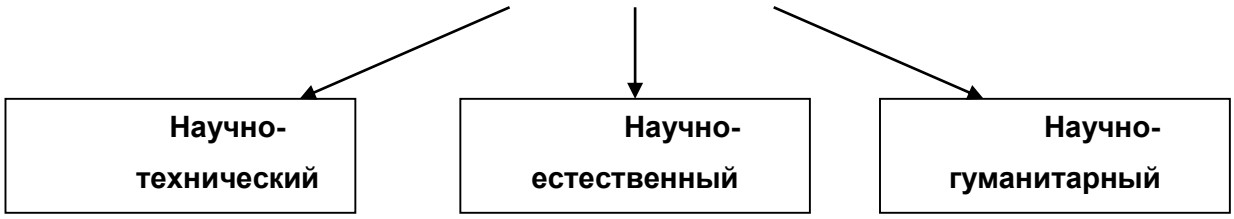
Основные языковые особенности научного стиля:

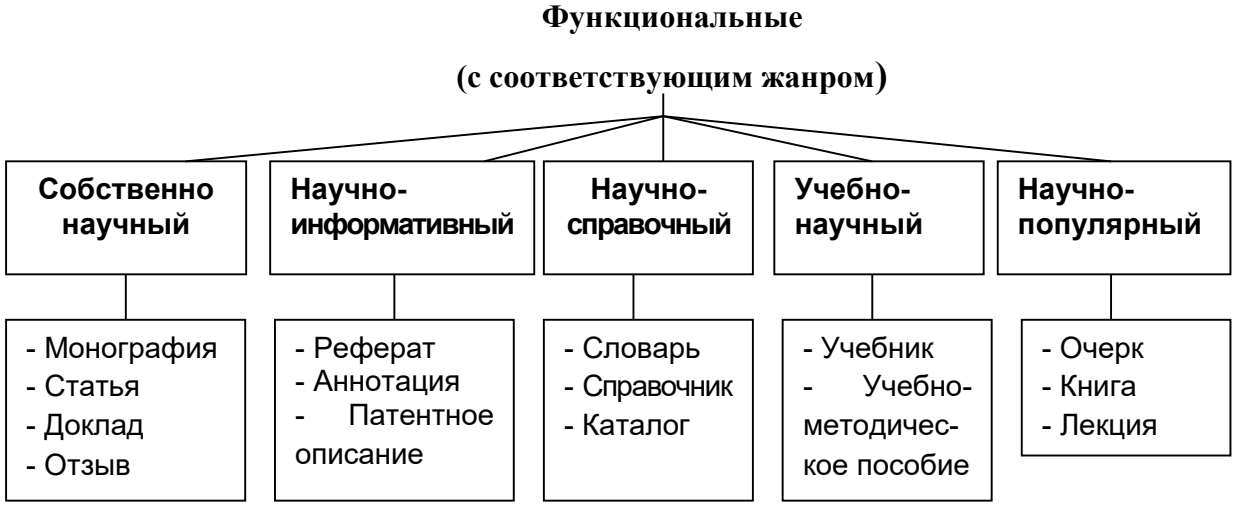
Языковые особенности	Примеры
Лексические	
1) термины	*обогащение полезных ископаемых, месторождение, осадочные породы, смешанослойный минерал, рудное тело* и др.
2) общенаучная лексика	*закон, теория, аспект, носитель, конструкция* и др.
3) книжная лексика абстрактного значения	*применение, явление, замедление, обязательство, подготовка* и др.
Морфологические	
1) частотность существительных	(Примерно 40 % существительных на единицу текста)

2) частотность форм родительного падежа существительных	*попадание в водоемы масло-смазывающих продуктов* (род. п.) *отдельных узлов* (род. п.) *механического оборудования* (род. п.) *гидротехнических сооружений* (род. п.) и т. п.
3) широкое использование существительных среднего рода	*отношение, употребление, дело, доказательство, заполнение* и др.
4) преобладание глаголов несовершенного вида настоящего времени	*равняется, оказывается, возрастает, наблюдается, составляет* и др.
5) полузнаменательные глаголы-связки	*есть, быть, являться*
6) употребление причастий и деепричастий	*подчеркнутый, обрабатываемый, соответствующий; замечая, решая, сменив* и др.
Синтаксические	
1) вводные слова и конструкции	*вероятно, возможно, таким образом; по словам ученых, по мнению большинства исследователей* и др.
2) бессубъектные конструкции	*карьер был разработан; оборудование было закуплено; проект был одобрен* и др.
3) безличные предложения	*необходимо отметить; следует подчеркнуть; можно сделать ряд выводов* и др.
4) обобщенно-личные предложения	*подчеркнем следующие положения; выделим важные особенности; отметим ряд недостатков* и др.
5) цепочки однородных членов	*Хорошие каталоги Интернета обеспечивают разнообразный дополнительный сервис: поиск по ключевым словам в базе данных, списки последних поступлений, списки наиболее интересных из них, выдачу случайной ссылки, автоматическое оповещение по электронной почте о свежих поступлениях.*
6) многокомпонентные сложные предложения с союзной связью	*Если эксперимент оправдывает надежды, то гипотеза детализируется и конкретизуется, а затем ставится новый эксперимент.*

Подстили научной речи:

Тематические





Задание 1. *Проанализируйте текст по следующей схеме:*

1. *Охарактеризуйте текст по стилеобразующим факторам научного стиля.*

2. *Докажите принадлежность текста к научному стилю с опорой на основные стилевые черты.*

3. *Определите отнесенность текста к тематическому и функциональному подстилю научного стиля.*

4. *Составьте план текста и сформулируйте главную мысль.*

5. *Выделите в тексте языковые особенности научного стиля.*

Вариант 1: ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ[7]

В геологии существует более ста различных специальностей и специализаций. Одни из них тесно связаны с химией (геохимическое направление), другие – с физикой (геофизическое направление), третьи – с биологией (палеонтологическое и палеобиологическое направления), четвертые – с математикой и кибернетикой (компьютерное моделирование геологических процессов), пятые – с астрономией и астрофизикой (космическая геология) и т. д.

В недрах Земли находятся залежи полезных ископаемых, вопросами поиска и разведки которых занимается геология. На земной поверхности протекают разнообразные геологические процессы, люди возводят здания и различные инженерные сооружения, строят транспортные магистрали. Задачей геологов является обеспечение их устойчивости и безопасного функционирования. Правильное решение этих двух основных практических задач немыслимо без глубокого знания общих закономерностей строения и развития отдельных геосфер. Раскрытие данных закономерностей и познание лежащих в их основе причин невозможны без изучения всей Земли, так как наша планета представляет собой единую природную среду и развивается так же, как и все планеты Солнечной системы.

Знание происхождения и эволюции Земли, условий образования и развития земной коры, ее строения и состава во взаимодействии с внешними оболочками – водной (гидросферой) и воздушной (атмосферой), а также с внутренними оболочками – земным ядром и мантией – составляет необходимое звено мировоззрения. Оно позволяет понять, как

[7] Геология: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н. В. Короновский, Н. А. Ясаманов. – 7-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. С. 6-7.

осуществляется постепенный переход от неживого неорганического мира к органическому, как эволюционируют живые существа и вместе с ними изменяются геологические процессы.

Велико и познавательно значение геологии как науки о Земле, ее строении, происхождении и развитии. Она затрагивает проблемы происхождения и эволюции жизни и природных условий. Геология всегда стояла в центре ожесточенной борьбы научных воззрений и научных школ против религиозных предрассудков.

Практическое значение геологии огромно и разнообразно. Весь арсенал современной науки и техники основан на использовании продуктов земных недр – нефти, угля, различных металлов, строительных материалов, подземных вод и др. Воды минеральных источников используют в лечебных и бальнеологических целях. Для поисков, разведки и извлечения разнообразного минерального сырья из земных недр требуется прежде всего разработка методов обнаружения залежей полезных ископаемых, которые необходимы для промышленности, сельского хозяйства и строительства.

Среди полезных ископаемых различают рудные, или металлические, из которых добывают различные металлы, и нерудные, или неметаллические. Из последних добывают удобрения, каменную соль, серу, строительные материалы, драгоценные (алмаз, рубин, сапфир, изумруд), полудрагоценные (аметист, циркон, топаз, цитрин, нефрит, малахит и др.) и поделочные камни (яшма, кварциты и др.), а также горючие полезные ископаемые (нефть, каменный и бурый уголь, горючие сланцы, газ). Подземные воды (пресные и минеральные) также являются полезными ископаемыми. Поисками залежей подземных вод и практическим их использованием занимается специальная отрасль геологии – гидрогеология. В особые научные дисциплины выделились геология рудных и геология нерудных месторождений, геология горючих полезных ископаемых. Без знания геологического строения территории не обходится ни одно строительство промышленных и гражданских зданий, транспортных магистралей, трубопроводов и средств связи. Эта особая отрасль геологии именуется инженерной геологией. Работами, проводимыми в районах развития многолетней мерзлоты, занимается такая наука, как мерзлотоведение.

Все перечисленные специальные научные дисциплины образуют самостоятельный раздел геологии, который называется *практической*, или *прикладной*, геологией.

ВАРИАНТ 2: ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ[8]

Современная мировая экономика характеризуется неуклонным ростом потребления минерального сырья, расширением круга используемых в промышленности элементов, вовлечением в производство новых типов месторождений полезных ископаемых. Укрепление и совершенствование минерально-сырьевой базы России – основная задача геологической службы.

Обеспечение ресурсами и запасами не только действующих отраслей горнодобывающей промышленности, но и ее перспективных направлений требует оперативного решения проблемы освоения новых видов полезных ископаемых. Успешное осуществление геолого-разведочных работ возможно лишь при условии постоянного совершенствования теории и методов поисков и разведок месторождений полезных

[8] Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / [В. В. Авдонин, В. В. Мосейкин, Г. В. Ручкин и др.]; под ред. В. В. Авдонина. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. С. 5-6.

ископаемых. Результативность геолого-разведочной отрасли определяется уровнем научных и методических разработок, степенью использования современных поисково-разведочных средств.

Научные основы поисков и разведок месторождений полезных ископаемых созданы трудами нескольких поколений отечественных геологов, среди которых в первую очередь необходимо назвать Г. Д. Ажгирея, Я. Н. Белевцева, А. Г. Бетехтина, Ю. А. Билибина, П. П. Бурова, А. Б. Каждана, В. М. Крейтера, В. А. Обручева, А. П. Прокофьева, В. И. Смирнова, С. С. Смирнова, А. А. Якжина и др.

Многими ведущими учеными были написаны замечательные учебники и методические руководства по поискам и разведкам месторождений, не утратившие своего значения до настоящего времени. Тем не менее в последние годы произошли существенные изменения в самой структуре минерально-сырьевой базы, оценке перспектив использования природных ресурсов и методов их вовлечения в промышленное использование.

В геолого-разведочной отрасли можно отметить несколько областей, в которых наблюдаются наиболее значимые изменения.

Во-первых, это касается совершенствования теории и методики поисковых работ. Во-вторых, широкое внедрение компьютерных технологий во все направления геолого-разведочного процесса качественно изменило методику подсчета запасов и оценки месторождений на всех стадиях их освоения.

Существенные изменения происходят и в методике добычных работ, в особенности в связи с требованиями экологической безопасности.

Наконец, необходимо учитывать еще одно важное обстоятельство. Наряду с неуклонно возрастающей потребностью в различных видах минерального сырья отчетливо проявляется тенденция истощения минерально-сырьевой базы, снижения открываемости новых месторождений, вовлечения в промышленное производство неблагоприятных по геологической позиции месторождений и руд более низкого качества. Эти причины стимулируют повышенный интерес к минерально-сырьевому потенциалу Мирового океана. Вследствие интенсификации научно-исследовательских и поисково-разведочных работ в океане в последние годы сложилась качественно новая ситуация – возникла необходимость решения проблем освоения минерально-сырьевых ресурсов океана в практической плоскости, что ознаменовалось интенсивными усилиями по разработке теоретических основ, методики и технических средств морских геолого-разведочных работ.

Авторский коллектив настоящего учебника постарался отразить в нем все важнейшие достижения, касающиеся поисков, разведки и эксплуатации месторождений и характеризующие современное состояние геолого-разведочной отрасли.

Вариант 3: ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА[9]

Полезные ископаемые, располагающиеся в земной коре в пределах территории страны, образуют ее минерально-сырьевую базу. Эти природные ресурсы называют богатством недр государства.

---

[9] Городниченко В. И., Дмитриев А. П. Основы горного дела: учебник для вузов. М.: Издательство «Горная Книга», Издательство московского государственного горного университета, 2008. С. 7-8.

Добычу полезных ископаемых обеспечивают горно-добывающие отрасли промышленности, перспективы развития которых зависят прежде всего от состояния природных ресурсов. Их освоение играет важнейшую роль в развитии экономики России.

В нашей стране выявлены в промышленных концентрациях все виды минерального сырья, используемого в мировой практике.

Оценка прогнозных ресурсов, которую сегодня осуществляют в основном до глубины освоенных промышленностью недр, составляющей для твердых полезных ископаемых около 1 км, свидетельствует о том, что в России в обозримом будущем исчерпания минеральных ресурсов не предвидится, тем более что результаты исследований сверхглубоких скважин подтверждают наличие промышленных концентраций полезных компонентов на глубинах до 10 км.

По данным Министерства природных ресурсов России, в нашей стране 60–70 % запасов важнейших видов полезных ископаемых сосредоточено в ограниченном числе крупных месторождений. В настоящее время сохраняют свое значение освоенные крупные месторождения полезных ископаемых и имеют большие перспективы развития месторождения в регионах Сибири, Дальнего Востока и Севера.

В Сибири находится около 84 % разведанных запасов угля России (категории А, В, Сi), из них бурых и каменных углей примерно поровну. В этих запасах сосредоточено до 90 % коксующихся углей России и около 85 % особо ценных для коксования углей марок ГЖ, Ж, КЖ, К, ОС.

В настоящее время в Сибири, включая республику Саха, добывается около 70 % углей России. Как считают эксперты, этот показатель будет возрастать в связи с сокращением добычи угля в европейской части страны, а также на Урале и Дальнем Востоке. Можно предположить, что основная роль в обеспечении потребностей страны в углях в будущем будет принадлежать Кузбассу.

Повышение эффективности производства имеет особое значение для горно-добывающих отраслей промышленности, которые обеспечивают топливом, минеральным сырьем и материалами многие отрасли экономики страны: черную и цветную металлургию, энергетику, химическую, строительных материалов, сельское хозяйство и др.

Результаты работы горных предприятий в значительной степени определяют уровень эффективности производства во всех других отраслях, потребляющих их продукцию.

Так, в общих затратах на производство цветных металлов затраты на добычу руды составляют более 50 %. В затратах на производство электроэнергии 60–70 % составляют затраты на топливо.

Повышение эффективности горного производства должно осуществляться путем его технического перевооружения, обеспечивающего снижение затрат на производство продукции, повышение качества продукции, экономное и рациональное использование трудовых и материальных ресурсов, комплексное освоение богатства земных недр.

Задание 2. *Отредактируйте предложения таким образом, чтобы они соответствовали научному стилю, запишите исправленный вариант. Определите, с чем связаны допущенные ошибки.*

1. В своей курсовой работе я хотел бы ответить на очень актуальные в наше нелегкое время вопросы. **2.** Авторы этих статей абсолютно неправильно думают, что только их точка зрения имеет право на существование. **3.** Выводы оказались неожиданными, на первый взгляд просто сумасшедшими. **4.** Однако вначале необходимо разобраться, есть ли угроза

энергетического голода. **5.** Мне кажется, что первый способ решения проблемы более целесообразный. **6.** Стоит представить, а какой будет польза от этого изобретения. **7.** Компьютерный вирус – это сильный паразит! **8.** Современное состояние экономики, энергетики и экологии выдвигает необходимость проведения интердисциплинарных исследований. **9.** Это приводит к необходимости изыскания и выделения огромных усилий общества, чтобы противостоять результатам экологически опасных действий. **10.** В настоящее время сетевые технологии претерпевают бурное развитие. **11.** Свобода в современной России – это не столько свобода сотрудничества и доброжелательного диалога, как своевольное навязывание своего понимания свободы ради сокрушения чужой. **12.** Математическая модель включала в себя систему уравнений, описывающая течение газа около криволинейной поверхности. **13.** Земля должна рассматриваться как некая квазизамкнутая система, ресурс жизнеобеспечения которой большой, но ограничен. **14.** Изучение новых материалов дает свои плоды. **15.** Используя метод аналогий, на кафедре систем управления разработан комплекс программных средств для изучения систем путем их моделирования.

ТЕМА 11. ОФИЦИАЛЬНО-ДЕЛОВОЙ СТИЛЬ

Цель – познакомиться со спецификой официально-делового стиля, научиться определять основные стилевые и языковые особенности документов, их жанр, видеть реквизиты.

КОНСПЕКТ следующего материала к занятию (основные понятия выделены в тексте):

Официально-деловой стиль – это стиль, который обслуживает правовую и административно-общественную сферы деятельности. Он используется при написании документов, деловых бумаг и писем в государственных учреждениях, суде, а также в разных видах делового устного общения.

Среди книжных стилей официально-деловой стиль выделяется относительной устойчивостью и замкнутостью. С течением времени он, естественно, подвергается некоторым изменениям, но многие его черты: исторически сложившиеся жанры, специфическая лексика, морфология, синтаксические обороты – придают ему в целом консервативный характер.

Основные стилевые черты официально-делового стиля:

– **объективный**, **абстрагированный (неличный) характер изложения**, который проявляется в отсутствии субъективных оценок при передаче содержания, в безличности языкового выражения (отсутствуют местоименные и глагольные формы 2-го лица, ограничены – 1-го лица);

– **точность и детальность изложения**, которые не допускают каких-либо разночтений; быстрота понимания не является важной, так как заинтересованный человек в случае необходимости прочитает документ несколько раз, стремясь к полному пониманию;

– **стандартизированность**, **стереотипность изложения**, которая проявляется в том, что разнородные явления жизни в официально-деловом стиле укладываются в ограниченное количество стандартных форм (*анкета*, *справка*, *инструкция*, *заявление*, *деловое письмо* и т. д.);

– **долженствующе-предписующий характер изложения**, т. е. **волюнтативность** (выражение воли), которая в текстах выражается семантически (подбором слов) и грамматически (формы первого лица глагола – *предлагаю*, *приказываю*, *поздравляю*; формами долженствования – *надлежит*, *необходимо*, *следует*, *предлагается*);

– **отсутствие выражения эмоций и оценок** (не употребляются эмоционально-экспрессивные средства).

Эти черты находят свое выражение 1) в отборе языковых средств (лексических, морфологических и синтаксических); 2) в оформлении деловых документов.

Основные языковые особенности официально-делового стиля:

Языковые особенности	Примеры
Лексические	
1) языковые штампы (канцеляризмы, клише)	*ставить вопрос, на основании решения, по собственному желанию, по семейным обстоятельствам, входящие-исходящие документы, контроль за исполнением возложить, по истечении срока* и др.
2) профессиональная терминология	*недоимка, алиби, черный нал, теневой бизнес, жилищный найм, прокурорский надзор, единовременное пособие* и др.
3) архаизмы	*оным удостоверяю, сей документ, в надлежащем виде, во избежание* и др.
4) тяготение к использованию родовых понятий с широкой и бедной семантикой	*прибыть* (вместо *приехать, прилететь, прийти* и т. д.), *транспортное средство* (вместо *автобус, самолет, «Волга»* и т. д.), *населенный пункт* (вместо *деревня, город, село* и т. д.), *помещение (вместо: квартира, цех, ангар, вестибюль, кров, обитель, апартаменты и т. д.)*
Морфологические	
1) существительные-названия людей по признаку, обусловленному действием	*налогоплательщик, ответчик, арендатор, свидетель* и др.
2) существительные, обозначающие должности и звания в форме мужского рода	*сержант полиции Ушакова, инспектор Неверова, ответчик Прошина* и др.
3) отглагольные существительные с частицей *не-*	*нелишение, неявка, несоблюдение, непризнание* и др.
4) производные предлоги	*в связи, в течение, за счет, в силу, по мере, в отношении, на основании* и др.
5) инфинитивные конструкции	*провести осмотр, оказать помощь, доказать невиновность* и др.
6) глаголы настоящего времени в значении обычно производимого действия	*обвиняемому обеспечивается право на защиту, за неуплату взимается штраф* и др.

7) сложные слова, образованные от двух и более основ	*бракосочетание, правонарушение, налогообложение, землепользование, пассажироперевозки, дачевладелец, нетрудоспособность, работодатель, квартиросъемщик, материально-технический, осенне-зимний, ремонтно-эксплуатационный, вышеуказанный, нижепоименованный* и др.
8) нанизывание существительных с суффиксом *-ние*	*Приготовлением к преступлению признается приискание и приспособление средств или орудий или умышленное создание условий для совершения преступлений....*
9) гигантский пласт официальных наименований номенклатуре учреждений, профессий, должностей и т. п.	*Российское акционерное общество «Единая энергетическая система России», Открытое акционерное общество «Нефтяная компания «Лукойл», Всероссийский научно-исследовательский институт документоведения и архивного дела, главный научный сотрудник, заместитель командира полка по инженерной службе, главный специалист сектора делопроизводства компании, председатель Военной коллегии Верховного Суда Российской Федерации, депутат Государственной Думы РФ и др.*
10) широкое использование аббревиатур	*РФ, МИД, МЧС, ФСБ, РЖД, Сбербанк, МОК, СМИ, РПЦ, УГГУ, ЕГЭ, ОСАГО, ТРЦ, ТК, УФМС, МОУ, ФГБОУ, ГТО, ГОСТ, ФГОС, КамАЗ, Роспечать и др.*
11) употребление цепочки имен существительных в родительном падеже	*Для применения (род. п.) мер (род. п.) общественного воздействия (род. п.); в целях широкой гласности (род. п.) работы (род. п.) Министерства (род. п.) высшего образования (род. п.); результаты деятельности (род. п.) органов (род. п.) налоговой полиции (род. п.)* и др.
Синтаксические	
1) употребление простых предложений с однородными членами, причем ряды этих однородных членов могут быть весьма распространенными (до 8–10)	*Объектами общей собственности крестьянского хозяйства является имущество: земельный участок, насаждения, хозяйственные или иные постройки, мелиоративные и другие сооружения, продуктивный и рабочий скот, птица, сельскохозяйственная и иная*

	техника, оборудование, транспортные средства, инвентарь и другое имущество и др.
2) наличие пассивных конструкций	*платежи вносятся в указанное время, сроки выплат установлены на год* и др.
3) преобладание сложных предложений, в особенности сложноподчиненных, с придаточными условия	*При наличии спора о размерах причитающихся уволенному работнику сумм администрация обязана уплатить указанное в настоящей статье возмещение в том случае, если спор решен в пользу работника*.

Документ – зафиксированная на материальном носителе информация с реквизитами, позволяющими её идентифицировать.

Форма документа (схема, отражающая семантико-информативную структуру текста) предоставляет в распоряжение его составителя определенный набор **реквизитов** (необходимые элементы оформления документа) и определенную их **композицию** (последовательность и порядок их размещения в тексте). Состав реквизитов, требования к реквизитам и бланкам документов устанавливаются ГОСТом. В настоящее время это ГОСТ Р 6.30-2003 «Унифицированные системы документации. Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов».

	Состав реквизитов документа
1.	Государственный герб Российской Федерации
2.	Герб субъекта Российской Федерации
3.	Эмблема организации или товарный знак
4.	Код организации
5.	Основной государственный регистрационный номер юридического лица (ОГРН)
6.	Идентификационный номер налогоплательщика / код причины постановки на учет (ИНН / КПП)
7.	Код формы документа
8.	Наименование организации
9.	Справочные данные об организации
10.	Наименование вида документа (жанр документа)
11.	Дата составления документа
12.	Регистрационный номер документа
13.	Ссылка на регистрационный номер или дату документа
14.	Место составления или издания документа
15.	Адресат
16.	Гриф утверждения документа
17.	Резолюция
18.	Заголовок к тексту
19.	Отметка о контроле
20.	Текст документа
21.	Отметка о наличии приложения
22.	Подпись

23.	Гриф согласования документа
24.	Визы согласования документа
25.	Оттиск печати
26.	Отметка о заверении копии
27.	Отметка об исполнителе
28.	Отметка об исполнении документа и направлении его в дело
29.	Отметка о поступлении документа в организацию
30.	Идентификатор электронной копии документа

Состав реквизитов конкретного документа определяется его видом и назначением. К наиболее частотным реквизитам можно отнести: **адресата**, **адресанта**, **название жанра документа**, **основной текст документа**, **список приложений**, **дату** и **подпись**. Логическому делению текста способствует его рубрикация, деление на части с помощью внутренних заголовков, подзаголовков, нумерация или графически единообразное выделение всех однотипных частей.

Способы классификации документов:

1. ***По месту составления***: *внутренние* и *внешние* документы. **Внутренний** документ создаётся в рамках одной организации, где работают и составитель, и адресат текста (*приказы администрации предприятия, служебные записки, должностные инструкции* и др). **Внешние** документы предназначаются адресатам, работающим на других предприятиях (*все виды деловых писем, приказы и распоряжения вышестоящих организаций* и др.).

2. ***По содержанию***: *простые* и *сложные*. **Простые** документы посвящены решению одного вопроса (*заявление*, *объяснительная записка* и другие виды личной документации), **сложные** – двух и более (*приказы*, *письма*, *инструкции*).

3. ***По форме***: *индивидуальные* и *типовые*. **Индивидуальные** документы предполагают некоторую самостоятельность текста и элементы творческого подхода, что не исключает их стандартизованности (*отдельные виды писем, служебных и докладных записок*). **Типовые** документы строятся на базе заранее заданного текста путём видоизменения его отдельных элементов; чаще всего эти документы одинаковы для групп однородных предприятий (*штатное расписание, положение о персонале* и др.). Если в типовом документе постоянные элементы отпечатаны типографским способом, а для переменных предусмотрены пробелы, которые заполняются при его составлении, то такой документ называют **трафаретным** (*анкеты, некоторые виды справок, трудовые договоры*).

4. ***По срокам исполнения***: *срочные* и *бессрочные*. В **срочных** документах содержится указание на выполнение некоторых действий в ограниченный временной период (*распоряжения, указания* и др.). Действие **бессрочных** документов не ограничено временными рамками (*указы, законы, некоторые виды инструкций*).

5. ***По происхождению***: *служебные* и *личные*. **Служебные** документы направлены на реализацию интересов организации (*приказы, деловые письма, контракты*). **Личные** документы, как правило, отражают взаимодействие отдельного физического лица с официальными органами или другими лицами (*заявление, доверенность, расписка, объяснительная записка* и др.).

6. ***По виду оформления***: *подлинник* (подписанный и надлежащим образом оформленный экземпляр документа, составленный в первый раз), *копия* (абсолютно точно

воспроизводит подлинник, но имеет ограниченную юридическую силу, за исключением нотариально заверенных.), *дубликат* (копия, имеющая одинаковую силу с подлинником, выдающаяся в случае его утери) и *выписки* (воспроизведение только одной из частей подлинника).

7. ***По функции***: **организационные** документы, направленные на регламентацию деятельности организации или предприятия (*устав, положение, штатное расписание, положение о персонале, должностную инструкцию*), **распорядительные** документы, содержащие конкретные распоряжения (*приказы, распоряжения, указания, решения*)., **информационно-справочные** документы, документы **по персоналу предприятия** (*трудовой договор, личные карточки, учётные карточки, анкеты*), **письма**, **договоры**.

Задание 1. *Проанализируйте текст официально-делового стиля:*

1. *Укажите характеристику данного текста с точки зрения классификации документов.*

2. *Обозначьте реквизиты и композиционные элементы государственного документа.*

3. *Опишите стилевые и языковые особенности текста*[10].

Федеральный закон от 1 июня 2005 г. N 53-ФЗ
«О государственном языке Российской Федерации»

С изменениями и дополнениями от: 2 июля 2013 г., 5 мая 2014 г.
Принят Государственной Думой 20 мая 2005 года
Одобрен Советом Федерации 25 мая 2005 года

Настоящий Федеральный закон направлен на обеспечение использования государственного языка Российской Федерации на всей территории Российской Федерации, обеспечение права граждан Российской Федерации на пользование государственным языком Российской Федерации, защиту и развитие языковой культуры.

Статья 1. Русский язык как государственный язык Российской Федерации

1. В соответствии с Конституцией Российской Федерации государственным языком Российской Федерации на всей ее территории является русский язык.

2. Статус русского языка как государственного языка Российской Федерации предусматривает обязательность использования русского языка в сферах, определенных настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами, Законом Российской Федерации от 25 октября 1991 года N 1807-I «О языках народов Российской Федерации» и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, его защиту и поддержку, а также обеспечение права граждан Российской Федерации на пользование государственным языком Российской Федерации.

3. Порядок утверждения норм современного русского литературного языка при его использовании в качестве государственного языка Российской Федерации, правил русской орфографии и пунктуации определяется Правительством Российской Федерации.

4. Государственный язык Российской Федерации является языком, способствующим взаимопониманию, укреплению межнациональных связей народов Российской Федерации в едином многонациональном государстве.

---

[10] Возможна работа по вариантам: 1 вариант – анализ Статьи 1; 2 вариант – анализ Статьи 3; 3 вариант – анализ статьи 4.

5. Защита и поддержка русского языка как государственного языка Российской Федерации способствуют приумножению и взаимообогащению духовной культуры народов Российской Федерации.

6. При использовании русского языка как государственного языка Российской Федерации не допускается использование слов и выражений, не соответствующих нормам современного русского литературного языка (в том числе нецензурной брани), за исключением иностранных слов, не имеющих общеупотребительных аналогов в русском языке.

7. Обязательность использования государственного языка Российской Федерации не должна толковаться как отрицание или умаление права на пользование государственными языками республик, находящихся в составе Российской Федерации, и языками народов Российской Федерации.

<…>

Статья 3. Сферы использования государственного языка Российской Федерации

1. Государственный язык Российской Федерации подлежит обязательному использованию:

1) в деятельности федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, иных государственных органов, органов местного самоуправления, организаций всех форм собственности, в том числе в деятельности по ведению делопроизводства;

2) в наименованиях федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, иных государственных органов, органов местного самоуправления, организаций всех форм собственности;

3) при подготовке и проведении выборов и референдумов;

4) в конституционном, гражданском, уголовном, административном судопроизводстве, судопроизводстве в арбитражных судах, делопроизводстве в федеральных судах, судопроизводстве и делопроизводстве у мировых судей и в других судах субъектов Российской Федерации;

5) при официальном опубликовании международных договоров Российской Федерации, а также законов и иных нормативных правовых актов;

6) во взаимоотношениях федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, иных государственных органов, органов местного самоуправления, организаций всех форм собственности и граждан Российской Федерации, иностранных граждан, лиц без гражданства, общественных объединений;

7) при написании наименований географических объектов, нанесении надписей на дорожные знаки;

8) при оформлении документов, удостоверяющих личность гражданина Российской Федерации, за исключением случаев, предусмотренных законодательством Российской Федерации, изготовлении бланков свидетельств о государственной регистрации актов гражданского состояния, оформлении документов об образовании и (или) о квалификации установленного в соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2012 года N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» образца, а также других документов, оформление которых в соответствии с законодательством Российской Федерации осуществляется на государственном языке Российской Федерации, при оформлении адресов

отправителей и получателей телеграмм и почтовых отправлений, пересылаемых в пределах Российской Федерации, почтовых переводов денежных средств;

9) в продукции средств массовой информации;

9.1) при показах фильмов в кинозалах;

9.2) при публичных исполнениях произведений литературы, искусства, народного творчества посредством проведения театрально-зрелищных, культурно-просветительных, зрелищно-развлекательных мероприятий;

10) в рекламе;

11) в иных определенных федеральными законами сферах.

1.1. В сферах, указанных в пунктах 9, 9.1, 9.2 и 10 части 1 настоящей статьи, и в иных предусмотренных федеральными законами случаях наряду с государственным языком Российской Федерации могут использоваться государственные языки республик, находящихся в составе Российской Федерации, другие языки народов Российской Федерации, а в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, также иностранные языки.

<…>

Статья 4. Защита и поддержка государственного языка Российской Федерации

В целях защиты и поддержки государственного языка Российской Федерации федеральные органы государственной власти в пределах своей компетенции:

1) обеспечивают функционирование государственного языка Российской Федерации на всей территории Российской Федерации;

2) разрабатывают и принимают федеральные законы и иные нормативные правовые акты Российской Федерации, разрабатывают и реализуют направленные на защиту и поддержку государственного языка Российской Федерации соответствующие федеральные целевые программы;

3) принимают меры, направленные на обеспечение права граждан Российской Федерации на пользование государственным языком Российской Федерации;

4) принимают меры по совершенствованию системы образования и системы подготовки специалистов в области русского языка и преподавателей русского языка как иностранного языка, а также осуществляют подготовку научно-педагогических кадров для образовательных организаций с обучением на русском языке за пределами Российской Федерации;

5) содействуют изучению русского языка за пределами Российской Федерации;

6) осуществляют государственную поддержку издания словарей и грамматик русского языка;

7) осуществляют контроль за соблюдением законодательства Российской Федерации о государственном языке Российской Федерации, в том числе за использованием слов и выражений, не соответствующих нормам современного русского литературного языка, путем организации проведения независимой экспертизы;

8) принимают иные меры по защите и поддержке государственного языка Российской Федерации.

<…>

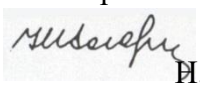
Президент Российской Федерации В. Путин

Задание 2. *Проанализируйте следующий текст*[11]*:*

1. *Обозначьте реквизиты и структурно-содержательные элементы документа.*

2. *Опишите стилевые и языковые особенности.*

3. *Имеются ли в тексте документа средства, не соответствующие требованиям официально-делового стиля? Докажите свою точку зрения.*

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор УГГУ**,** профессор

_____ Н.П. Косарев

РЕГЛАМЕНТ
ношения форменной одежды преподавателями,
сотрудниками и студентами УГГУ

1. Общие положения

Форменная одежда УГГУ – важнейший наряду с флагом и гербом символ корпоративной чести и достоинства, принадлежности преподавателей, сотрудников и студентов к высшему учебному заведению – Уральскому государственному горному университету.

Ношение форменной одежды в установленных случаях является почетным правом и обязанностью (моральным долгом) всех преподавателей, сотрудников и студентов УГГУ, облегченных этим доверием. По решению ректора почетное право ношения форменной одежды предоставляется заслуженным выпускникам.

Отказ от форменной одежды рассматривается как пренебрежение горняцким единством и неуважение к корпоративной символике Уральского государственного горного университета.

2. Руководящий состав университета: члены Ученого совета, включая ректорат, деканов, заведующих кафедрами, представителей студенческого, ветеранского и профсоюзного актива, а также руководителя управления отделов и служб, не входящие в Ученый совет, обязаны носить форму в следующих случаях:

– на всех рабочих совещаниях, проводимых ректором, первым проректором и проректором по научной работе;
– на заседаниях Ученого совета и Президиума Ученого совета университета, ученых советах факультетов;
– на торжественных собраниях сотрудников и студентов, митингах, конференциях, проводимых по планам ректората и деканатов;
– при участии в совещаниях, конференциях, торжественных собраниях и других официальных мероприятиях, проводимых органами власти, а также политическими, общественными и научными организациями.

3. Преподаватели университета, имеющие форму, обязаны быть в форменной одежде в следующих случаях:

– во время лекционных занятий;
– при участии в собраниях студентов, преподавателей, конференциях и митингах;

---

[11] Текст Регламента приводится без изменений и исправлений.

– при посещениях ректората и деканатов.

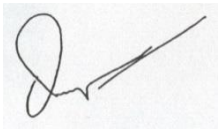
4. Сотрудники из числа административно-управленческого персонала (помощники ректора, проректоров, референты, секретари) обязаны быть в форменной одежде в следующих случаях:

– при нахождении на рабочем месте в дни проведения крупных общеуниверситетских мероприятий, при приеме делегаций, гостей и в иных случаях по распоряжению ректора;
– при участии, в том числе при орг. техническом обеспечении заседании Ученого совета и ректорских совещаний;
– при сопровождении ректора, проректоров во время официальных мероприятий вне университета.

5. Студенты – представители студенческого актива, имеющие форму, обязаны быть в форменной одежде:

– при посещении ректората, деканатов;
– на всех официальных мероприятиях, проводимых в университете;
– при участии в официальных мероприятиях, проводимых вне стен университета органами власти, политическими, общественными, научными и образовательными учреждениями.

6. По собственной инициативе студенты, сотрудники и преподаватели университета могут находиться в форменной одежде во всех случаях, если это не наносит ущерба почетному статусу формы и ее функциональному назначению.



Ученый секретарь совета, профессор О. В. Ошкордин
28.09.2005 г.

Задание 3. *Проанализируйте текст[12] с точки зрения использованных языковых средств, характерных для официально-делового стиля. Опишите средства, с помощью которых в тексте реализуется такая стилевая черта, как волюнтативность.*

Есть ли в Правилах отступления от требований официально-делового стиля? Подтвердите свою точку зрения, опираясь на текст документа.



Правила внутреннего распорядка обучающихся
в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»
Дата введения 01 сентября 2014 года

<…>

5. Основные права и обязанности обучающихся

[12] Текст Правил внутреннего распорядка приводится без изменений и исправлений.

5.1 Права обучающихся

Обучающиеся в университете имеют право:

– получать образование в соответствии с ГОС и ФГОС (в т. ч. актуализированными ФГОС) обучаться в пределах этих стандартов по индивидуальным учебным планам, ускоренным курсам обучения;

– бесплатно пользоваться библиотечно-информационными ресурсами, получать дополнительные (в том числе платные) образовательные услуги;

– участвовать в управлении университетом;

– свободно выражать собственные мнения и убеждения;

– выбирать факультативные (необязательные для данного направления подготовки (специальности) и элективные (избираемые в обязательном порядке) курсы, предлагаемые факультетом и кафедрой;

– участвовать в формировании содержания своего образования при условии соблюдения требований ГОС и ФГОС (в т. ч. актуализированными ФГОС) среднего профессионального и высшего образования; указанное право может быть ограничено условиями договора, заключенного между студентом и физическим или юридическим лицом, оказывающим ему содействие в получении образования и последующем трудоустройстве;

– осваивать помимо учебных дисциплин по избранным направлениям подготовки (специальностям) любые другие учебные дисциплины, преподаваемые в университете, в порядке, предусмотренном Уставом, а также преподаваемые в других высших учебных заведениях (по согласованию между их руководителями);

– определять по согласованию с деканатом и кафедрами набор дисциплин по специальности в пределах, установленных учебным планом, а также посещать дополнительно любые виды учебных занятий, проводимых в университете;

– ставить перед деканом и ректором, руководителем территориально обособленного учебного подразделения вопрос о замене преподавателей, не обеспечивающих должное качество учебного материала, нарушающих расписание занятий, иные правила организации учебно-воспитательного процесса;

– участвовать в обсуждении и решении важнейших вопросов деятельности университета и его обособленных структурных подразделений, в том числе через общественные организации и органы управления;

– бесплатно пользоваться услугами учебных, научных, лечебных и других подразделений университета в порядке, установленном Уставом;

– принимать участие во всех видах научно-исследовательских работ, конференциях, симпозиумах;

– совмещать учебу с профессиональной деятельностью и иной работой;

– представлять свои работы для публикации, в том числе в изданиях университета;

– обжаловать приказы и распоряжения администрации высшего учебного заведения в установленном законодательством РФ порядке;

– переходить с платного договорного обучения на бесплатное обучение в порядке, предусмотренном Уставом университета;

– получать от университета информацию о положении дел в сфере занятости населения и возможностях трудоустройства по специальности в соответствии с заключенными договорами и законодательством о занятости выпускников образовательных учреждений.

Обучающиеся в университете по заочной форме, выполняющие учебный план, имеют право на дополнительный оплачиваемый и не оплачиваемый отпуск по месту работы, на сокращенную рабочую неделю и на другие льготы, которые предоставляются в порядке, устанавливаемом законодательством РФ (ст. 173-176 ТК РФ).

Обучающиеся в университете имеют право на свободное посещение мероприятий, не предусмотренных учебным планом.

Обучающиеся в университете имеют право на перевод в другое образовательное учреждение, реализующее образовательную программу соответствующего уровня, при согласии этого образовательного учреждения и успешном прохождении ими аттестации.

Обучающиеся в университете по очной форме обучения имеют право на получение отсрочки от призыва на военную службу в соответствии с Федеральным законом «О воинской обязанности и военной службе».

5.2 Обязанности обучающихся

Обучающиеся в университете обязаны:

– добросовестно посещать учебные занятия, глубоко овладевать теоретическими знаниями, практическими навыками и современными методами для работы по избранной специальности;

– выполнять в установленные сроки все виды заданий, предусмотренных соответствующими учебными планами и программами обучения;

– постоянно повышать общую культуру, нравственность и физическое совершенство;

– нетерпимо относиться к недостаткам в учебно-воспитательном процессе и быту;

– бережно и аккуратно относиться к учебным и иным помещениям, оборудованию, учебным пособиям, литературе, приборам, другому имуществу университета; без соответствующего разрешения студентам запрещается выносить предметы и оборудование из лабораторий, кабинетов, аудиторий, учебных, бытовых корпусов и других помещений;

– нести материальную ответственность за ущерб, причиненный имуществу университета в соответствии с нормами действующего законодательства;

– незамедлительно сообщать в администрацию университета о возникновении ситуации, представляющей угрозу жизни и здоровью людей, сохранности имущества университета;

– соблюдать требования Устава университета, настоящие Правила и Правила проживания в общежитиях;

– поддерживать деловую репутацию, честь и престиж университета.

Обучающиеся в территориально обособленном учебном подразделении университета (филиале) помимо указанных выше правомочий пользуются правами и исполняют обязанности, предусмотренные Положением о соответствующем структурном подразделении или договорами о профессиональной подготовке, включая договоры на индивидуальную подготовку специалиста.

При неявке на занятия по уважительным причинам обучающийся ставит об этом в известность декана факультета, руководителя (уполномоченного работника) иного учебного структурного подразделения и в первый день явки на учебу представляет данные о причине неявки и документы установленного образца (справки, письма, телеграммы и т. п.), содержащие сведения оправдательного характера.

5.3 Требования к ношению формы

Обучающиеся в университете должны быть дисциплинированными и опрятными, вести себя достойно в университете, на улице, в общественном месте и в быту. В соответствии с решением Ученого совета университета от 25.06.2004 года, обучающиеся обязаны носить форменную одежду в ниже перечисленных случаях:

– на всех совещаниях, проводимых ректором, проректорами и деканами факультетов;

– на торжественных собраниях коллектива, митингах и конференциях;

– при участии в совещаниях, конференциях, торжественных собраниях и иных официальных мероприятиях, проводимых органами власти, а также общественными и научными организациями, на которых обучающиеся университета являются его представителями;

– при участии, в т. ч. организационно-техническом обеспечении заседаний Ученого совета университета и ректорских совещаний; при сопровождении ректора, проректоров во время официальных мероприятий вне университета.

– в иных случаях по распоряжению ректора.

По собственной инициативе обучающиеся университета могут находиться в форменной одежде в иных случаях, если это не наносит ущерба почетному статусу формы и её функциональному назначению.

Запрещается ношение предметов формы одежды измененных или неустановленных образцов, а также знаков различия, не предусмотренных Положением о форменной одежде.

<…>

ТЕМА 12. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕЛОВЫХ БУМАГ

Цель – научиться оформлять основные жанры деловых бумаг.

КОНСПЕКТ следующего материала к занятию (требуется записать определение, основные реквизиты и образец):

Заявление – это документ, содержащий просьбу, предложение или жалобу какого-либо лица.

Заявление, как и большинство деловых бумаг, составляется в произвольной форме от руки или печатается на листе бумаги формата А4.

Основные реквизиты заявления:

1. Сведения об адресате (должность, фамилия, инициалы).

2. Сведения об адресате (должность, ФИО полностью, в некоторых случаях адрес или другая контактная информация).

3. Наименование жанра документа.

4. Основной текст заявления с точным изложением просьбы, предложения или жалобы.

5. Опись приложений к документу, если они имеются.

6. Дата.

7. Подпись.

Образец оформления заявления

Декану ФГиГ
проф. Талалаю А. Г.
от студента группы МПГ-16
Волкова Михаила Владимировича

Заявление

Прошу отпустить меня с занятий на 3 дня с 25 по 27 октября 2018 года в связи с участием в областных соревнованиях по футболу.

Копию справки-вызова прилагаю.

01.10.2018 г.

Доверенность – это документ, выдаваемый одним лицом (доверителем) другому лицу (доверенному) для представительства перед третьими лицами и дающий право доверенному лицу действовать от имени доверителя.

Доверенность предоставляет полномочия доверенному лицу предпринимать за доверителя какое-либо действие. В зависимости от вида полномочий различают три вида доверенности: 1) **разовая** (дает право на совершение одного конкретного действия), 2) **специальная** (дает право на совершение однородных действий), 3) **генеральная** (дает право на общее управление имуществом доверителя).

Основные реквизиты разовой доверенности:

1. Наименование жанра документа.

2. Наименование доверителя (ФИО полностью, должность, паспортные данные, адрес регистрации или проживания).

3. Наименование доверенного лица (ФИО полностью, должность, паспортные данные, адрес регистрации или проживания).

4. Формулировка доверяемой функции.

5. Дата.

6. Подпись.

Образец оформления разовой доверенности

Доверенность

Я, Зорянова Евгения Михайловна, студентка группы ВД-16 (паспорт: серия 3209 № 345177, выдан Отделом УФМС России по Свердловской области в Чкаловском районе гор. Екатеринбурга 09.06.2009 г., проживающая по адресу: г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 104, кв. 190), доверяю Соловчуку Сергею Станиславовичу, студенту группы ГМО-17 (паспорт: серия 5404 № 654321, выдан Железнодорожным РУВД г. Ульяновска 13.09. 2008 г., проживающему по адресу: г. Екатеринбург, ул. Сулимова, д. 63, кв. 77), получить в кассе УГГУ мою стипендию за март 2017 года.

25.02.2017 г. 

Расписка – это документ, подтверждающий произведенное кем-либо определенное действие (получение ценных предметов).

Расписка всегда составляется от руки. Если она имеет особо важное значение, ее необходимо заверить.

Основные реквизиты расписки:

1. Наименование жанра документа.

2. Наименование лица, получившего ценности (ФИО полностью, должность, паспортные данные, адрес регистрации или проживания).

3. Наименование лица, выдавшего ценности (ФИО полностью, должность, паспортные данные, адрес регистрации или проживания).

4. Точное наименование полученных ценностей с указанием количества (цифрами и прописью).

5. Дата, до которой необходимо вернуть полученные ценности.

6. Дата.

7. Подпись.

Образец оформления расписки

Расписка

Я, Воробьева Наталия Александровна, студентка группы УП-17 (паспорт: серия 5009 № 2435672, выдан отделом УФМС Ленинского района г. Новосибирска 25.09.2005 г., проживающая по адресу: Свердловская область, г. Первоуральск, ул. Горького, д. 7, кв. 5), получила от Штиппеля Артемия Павловича, инженера кафедры ГД (паспорт: серия 6507 № 575849, выдан Отделом УФМС России по Свердловской области в Кировском районе г. Екатеринбурга 05.10.2004 г., проживающего по адресу: г. Екатеринбург, пер. Красный, д. 34, кв. 33), 10 000 (десять тысяч) рублей.

Обязуюсь вернуть указанную сумму до 31 декабря 2017 г.

07 ноября 2017 г. 

Докладная записка – это документ, информирующий адресата о сложившейся ситуации, а также содержащий выводы и предложения составителя.

Основной текст докладной записки делится на две части:

- в первой излагаются причины, послужившие поводом для ее написания;
- во второй анализируется сложившаяся ситуация, содержатся выводы и предложения о действиях, которые необходимо предпринять.

Основные реквизиты докладной записки:

1. Сведения об адресате (должность, фамилия, инициалы).

2. Наименование жанра документа.

3. Основной текст, состоящий из двух смысловых частей.

4. Опись приложений к документу, если они имеются.

5. Подпись автора документа, состоящая из трех частей (должность, собственно личная подпись и расшифровка подписи).

6. Дата.

Образец оформления докладной записки

Ректору УГТУ
проф. Душину А. В.

Докладная записка

24 декабря 2018 г. примерно в 12.30 я сдал свой пуховик в гардероб 4 учебного корпуса. Через два часа (после окончания праздничных мероприятий) я попытался получить пуховик по бирке, но его не оказалось на вешалке. Студенты, дежурившие в гардеробе в тот день, отказались объяснять, что произошло и куда пропала моя одежда.

Прошу разобраться в сложившейся ситуации и помочь с поисками пуховика.

Описание прилагается.

Студент группы ТБ-17 *Вутенко Б. Н.*

25 декабря 2018 г.

Объяснительная записка – это документ, объясняющий причины какого-либо события, факта, поступка (нарушения трудовой или учебной дисциплины, невыполнение задания, поручения и т. д.).

Основной текст объяснительной записки делится на две части:

- в первой излагаются, констатируются факты нарушения;
- во второй объясняются причины нарушения.

Основные реквизиты объяснительной записки:

1. Сведения об адресате (должность, фамилия, инициалы).

2. Наименование жанра документа.

3. Основной текст, состоящий из двух смысловых частей.

4. Опись приложений к документу, если они имеются.

5. Подпись автора документа, состоящая из трех частей (должность, собственно личная подпись и расшифровка подписи).

6. Дата.

Образец оформления объяснительной записки

Зав. кафедрой ИЯДК
доц. Юсуповой Л. Г.

Объяснительная записка

05.03.2018 г. я опоздала на практическое занятие по иностранному языку по причине транспортной аварии на перекрестке улиц Малышева и Гагарина.

Выданную транспортным предприятием справку прилагаю.

Студентка группы МЭ-15  */Вайслер Ю. М./*

07.03.2018 г.

Задание 1. *Напишите от своего имени следующие жанры деловых бумаг:*

а) заявление с просьбой продлить Вам сессию на неделю;

б) заявление с просьбой принять Вас на работу;

в) доверенность на получение Вашей стипендии в этом месяце;

г) расписку в получении Вами образцов минералов для выполнения лабораторной работы;

д) докладную записку о пропаже Ваших личных вещей из аудитории;

е) объяснительную записку о пропуске Вами занятий в течение недели;

ж) объяснительную записку о неявке на экзамен.

Задание 2. *Исправьте допущенные ошибки в оформлении и содержании следующих документов. Обратите внимание на нарушение разного типа языковых норм (орфографических, пунктуационных, лексических и грамматических). Запишите исправленный вариант.*

Текст 1

Декану УГТУ
От студента III курса очной формы обучения факультета гражданской защиты
Волк Василия Васильевича

заявление

В связи с отъездом на лидерские сборы очень прошу разрешить не посещать мне занятия на следующей неделе.

09.09.18 г. 

Текст 2

Ректору УГТУ

Н. П. Косареву

доверенность.

Я, Задорин Виктор, студент УГТУ, даю право на получение получаемой мной стипендии студенту Гудину Александру Геннадьевичу (паспорт 6509 номер 124338, ул. Мира, 90-1).

1.5.18 г.  */Задорин В. З./*

Текст 3

Кафедре ИЯДК

расписка

Я – Пустник Валентин Тимурович, прошу выдать мне учебные пособия для практических занятий. Автор – Мясникова Юлия Марковна в размере одной штуки. Паспортные данные – серия 6102, номер 879521, УФМС России, дата рождения – 19.02.2000 года, проживаю в городе Лангепас на улице Парковая, 7.

Обязуюсь вернуть в срок.

25 сентября 

Текст 4

Декану ГМФ
Козину Владимиру
Зиновьевичу

Докладная

Уважаемый Владимир Зиновьевич!

Сегодня я, Курпатова Вера, студентка ГМФ, оставила без присмотра свои вещи в учебной аудитории 2240. При возвращении моих вещей в аудитории не было. Я очень расстроилась.

Пропали: куртка черная кожанная, красная сумка в цветочек, белый платок.



1 октября 2018 года

Текст 5

Зав. кафедры ТТФ Волкову М. Н.
От студента Хлебникова Семена.

Объяснительная о прогуле

Я, Семен Хлебников, отсутствовал на занятиях два месяца всвязи болезни. Справку из 6 городской больницы прилогаю.

01.11.18 *Хлебников С.*

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

№ п/п	*Наименование*
1	*Веселкова Т. В.* Культура устной и письменной коммуникации: учебное пособие / Т. В. Веселкова, И. С. Выходцева, Н. В. Любезнова. – Саратов: Вузовское образование, ИЦ «Наука», 2020. – 264 с. – ISBN 978-5-4487-0707-0. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/94281.html
2	*Культура устной и письменной речи делового человека*: Справочник. Практикум. М.: Флинта: Наука, 2012 (и другие издания).
3	*Меленскова Е. С.* Культура речи и стилистика русского языка: учебное пособие для студентов специальностей 21.05.02 – «Прикладная геология», 21.05.03 –«Технология геологической разведки», 21.05.04 – «Горное дело». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 87 с.
4	*Меленскова Е. С.* Русский язык делового общения: учебное пособие для студентов всех специальностей и направлений подготовки. Екатеринбург: УГГУ, 2018. 80 с.
5	*Меленскова Е. С.* Русский язык и культуре речи: учебное пособие с тестовыми заданиями для студентов специальностей 21.05.02 – «Прикладная геология», 21.05.03 – «Технология геологической разведки», 21.05.04 – «Горное дело» / Е. С. Меленскова. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 98 с.

Дополнительная литература

№ п/п	*Наименование*
1.	*Введенская Л. А., Павлова Л. Г., Кашаева Е. Ю.* Русский язык и культура речи: учебное пособие для вузов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 544 с. (и другие стереотипные издания)
2.	*Введенская Л. А., Павлова Л. Г., Кашаева Е. Ю.* Русский язык и культура речи для инженеров: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. 384 с.
3.	*Голуб И. Б.* Русский язык и культура речи: учебное пособие / И. Б. Голуб. – Москва: Логос, 2014. – 432 с. – ISBN 978-5-98704-534-3. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/39711.html
4.	*Зверева Е. Н.* Русский язык и культура речи в профессиональной коммуникации: учебное пособие / Е. Н. Зверева, С. С. Хромов. – Москва: Евразийский открытый институт, 2012. – 432 с. – ISBN 978-5-374-00575-2. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/14648.html
5.	*Культура научной и деловой речи*: учебное пособие для студентов-иностранцев / М. Б. Будильцева, И. Ю. Варламова, Н. С. Новикова, Н. Ю. Царёва. – Москва: Российский университет дружбы народов, 2013. – 240 с. – ISBN 978-5-209-05463-4. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/22186.html

6.	*Курганская М. Я.* Деловые коммуникации: курс лекций / М. Я. Курганская. – Москва: Московский гуманитарный университет, 2013. – 121 с. – ISBN 978-5-98079-935-9. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/22455.html
7.	*Лапынина Н. Н.* Русский язык и культура речи: курс лекций / Н. Н. Лапынина. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. – 161 с. – ISBN 978-5-89040-431-2. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/22667.html
8.	*Меленскова Е. С.* Культура речи и деловое общение: тестовые задания для студентов всех специальностей. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 78 с.
9.	*Меленскова Е. С.* Русский язык и культура речи: учебное пособие с упражнениями и контрольными работами для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 80 с.
10.	*Меленскова Е. С.* Стилистика русского языка: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 86 с.
11.	*Петрова Ю. А.* Культура и стиль делового общения: учебное пособие / Ю. А. Петрова. – Москва: ГроссМедиа, 2007. – 190 с. – ISBN 5-476-003-476. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/1129.html
12.	*Решетникова Е. В.* Русский язык в деловых коммуникациях: учебное пособие / Е. В. Решетникова. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2018. – 99 с. – ISBN 2227-8397. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/84078.html
13.	*Скворцов Л. И.* Большой толковый словарь правильной русской речи / Л. И. Скворцов. – Москва: Мир и Образование, Оникс, 2009. – 1104 с. – ISBN 978-5-94666-556-8. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/14555.html
14.	*Усанова О. Г.* Культура профессионального речевого общения: учебно-методическое пособие / О. Г. Усанова. – Челябинск: Челябинский государственный институт культуры, 2008. – 93 с. – ISBN 5-94839-062-4. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: http://www.iprbookshop.ru/56426.html
15.	*Федосюк М. Ю., Ладыженская Т. А., Михайлова О. А., Николина Н. А.* Русский язык для студентов-нефилологов: учебное пособие. М.:Флинта: Наука, 2014 (и другие стереотипные издания)

ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. *ГОСТ 6.30-2003.* «Унифицированные системы документации. Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов» (электронная публикация http://docs.cntd.ru/document/1200031361).

2. *Грамота (сайт).* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gramota.ru.
3. *Культура письменной речи (сайт)* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gramma.ru.
4. *Русский язык*: *энциклопедия русского языка (сайт).* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://russkiyyazik.ru.
5. *Словари и энциклопедии по русскому языку на Академике (сайт).* [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://dic.academic.ru.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.08 ОСНОВЫ ПРАВОВЫХ ЗНАНИЙ И ФИНАНСОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ

Направление подготовки
Горное дело

Направленность (профиль)
Маркшейдерское дело

квалификация выпускника: специалитет

формы обучения: **очная, заочная**

год набора: 2021

Авторы: к.ф.н. Слукин С.В

Одобрена на заседании кафедры Антикризисного управления и оценочной деятельности	Рассмотрена методической комиссией инженерно-экономического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Мальцев Н.В.	Мочалова Л.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 03.09. 2020 г.	Протокол № 2 от 12.10.2020 г.
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Аннотация рабочей программы дисциплины
«Основы правовых знаний и финансовая грамотность»

Трудоемкость дисциплины: 2 з. е., 72 часа.

Цель дисциплины: формирование теоретических знаний о правовых основах предпринимательской деятельности, практических умений и навыков применения норм предпринимательского права в профессиональной деятельности.

Место дисциплины в структуре ОПОП: Дисциплина «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» является дисциплиной вариативной части Блока 1 Дисциплины учебного плана по направлению подготовки Горое дело, профиль Маркшейдерское дело.

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

универсальные

- способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности (УК-10);
- способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению (УК-11).

Результат изучения дисциплины:

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.

ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» состоит в приобретении студентами необходимых знаний, умений в области теории государства, права и основ российского законодательства для развития нетерпимого отношения к коррупционному поведению в повседневной и профессиональной деятельности, повышение финансовой грамотности студентов.

Для достижения указанной цели необходимо:

- приобретение знаний о существующих в России финансовых институтах и финансовых продуктах, а также о способах получения информации об этих продуктах и институтах из различных источников;
- развитие умения использовать полученную информацию в процессе принятия решений о сохранении и накоплении денежных средств, при оценке финансовых рисков, при сравнении преимуществ и недостатков различных финансовых услуг в процессе выбора;
- формирование знания о таких способах повышения благосостояния, как инвестирование денежных средств, использование пенсионных фондов, создание собственного бизнеса.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Результатом освоения дисциплины «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» является формирование у обучающихся следующих компетенций:

- способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности (УК-10);
- способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению (УК-11).

Таблица 2.1 Формируемые компетенции и результаты обучения

Код и наименование компетенции	Результаты обучения		Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	2		3
УК-10: способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	Знать	- общие закономерности возникновения, развития и функционирования рыночных отношений; - источники регулирования рыночных отношений. - принципы и правовые нормы лежащие в основе регулирования современных рыночных отношений. - поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства - цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики	УК-10.1. Понимает основные проблемы, базовые принципы и законы функционирования экономики, роль государства в экономическом развитии УК-10.2. Понимает поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства УК-10.3. Понимает цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики УК-10.4. Применяет методы личного финансового планирования, использует финансовые инструменты для управления собственным бюджетом, контролирует личные финансовые риски
	Уметь	– применять правовые нормы регулирующие современные отношения в обществе; – используя правовые способы устранять неблагоприятные последствия возникающие в современном обществе;	

		- обеспечивать экономическую безопасность реализуя гражданско-правовые методы воздействия на участников рынка - контролировать личные финансовые риски	
	Владеть	– навыками применения нормы права для обеспечения собственной экономической безопасности и безопасности предприятия; – навыками привлечения к юридической ответственности лиц причиняющих угрозу личной материальной безопасности и безопасности предприятия. - создавать базовые условия для эффективного разрешения споров в судебном порядке. - навыками применения методов личного финансового планирования, использования финансовых инструментов для управления собственным бюджетом.	
способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению (УК-11)	Знать	- правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - основы механизмов противодействия коррупционному поведению	УК-11.1. Проявляет нетерпимое отношение к коррупционному поведению в повседневной и профессиональной деятельности УК-11.2. Понимает правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности УК-11.3. Имеет общее представление о социальной значимости антикоррупционного законодательства
	Уметь	- применять правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - осуществлять противодействие коррупционному поведению	
	Владеть	- навыками применения правовых норм, обеспечивающих борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - навыками осуществления противодействия коррупционному поведению	

3 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» является дисциплиной вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана по направлению подготовки 21.05.04 Горное дело, профиль «Горные машины и оборудование».

4 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Трудоемкость дисциплины								контрольные, расчетно-графические работы, ре-	курсовые работы (проекты)
кол-во з.е.	Часы								
	Общая	лекции	практ.зан.	лабор.	СР	зачет	экз.		

								фераты	
очная форма обучения									
2	72	16	16		31	9			
заочная форма обучения									
2	72	6	6		56	4			

5 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

5.1 Тематический план изучения дисциплины

Для студентов очной формы обучения:

№	*Тема, раздел*	*Контактная работа обучающихся с преподавателем*			*Практическая подготовка*	*Самостоятельная работа*
		лекции	*практич. занятия и др. формы*	*лаборат. занят.*		
1	Теория сочетания и взаимодействия современного права и экономики	2	2			4
2	Основы конституционного и гражданского права	2	2			4
3	Основы трудового права и права социального обеспечения	2	2			4
4	Основы финансового и налогового права	2	2			4
5	Правовое регулирование рынка финансовых услуг в РФ	2	2			4
6	Права потребителя и связанные с ними основы предпринимательского права	4	4			8
7	Основы антикоррупционного законодательства в РФ	2	2			3
8	Подготовка к зачету					9
	ИТОГО	**16**	**16**			**31+9=40**

Для студентов заочной формы обучения:

№	*Тема, раздел*	*Контактная работа обучающихся с преподавателем*			*Практическая подготовка*	*Самостоятельная работа*
		лекции	*практич. занятия и др. формы*	*лаборат. занят.*		
1	Теория сочетания и взаимодействия современного права и экономики	1				8
2	Основы конституционного и гражданского	1	1			8

№	Тема, раздел	Контактная работа обучающихся с преподавателем			Практическая подготовка	Самостоятельная работа
		лекции	практич. занятия и др. формы	лаборат. занят.		
	права					
3	Основы трудового права и права социального обеспечения	1	1			8
4	Основы финансового и налогового права	1	1			8
5	Правовое регулирование рынка финансовых услуг в РФ	1	1			8
6	Права потребителя и связанные с ними основы предпринимательского права.	1	1			8
7	Основы антикоррупционного законодательства в РФ		1			8
8	Подготовка к зачету					4
	ИТОГО	**6**	**6**			**4+56=60**

5.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Теория сочетания и взаимодействия современного права и экономики

Понятие и основные функции права. Источники российского права. Закон и подзаконные акты. Система и отрасли российского права. Основные правовые системы современности. Международное право, как особая система права. Правонарушение и юридическая ответственность.

Рыночная экономика и отношения собственности. Сущность и развитие категорий собственности. Содержание экономической и юридической категорий собственности. Отношения собственности в природопользовании. Формы собственности в рыночной экономике. Ценообразование в условиях рынка. Цена и ее роль в рыночном хозяйстве. Виды цен и ценообразующие факторы.Государственное регулирование цен в России. Сущность денег. Функции и роль денег в рыночной экономике.

Тема 2. Основы конституционного и гражданского права.

Конституция Российской Федерации - базовый закон государства. Этапы конституционного развития России. Основные принципы конституционного строя РФ. Права и свободы человека и гражданина. Особенности федеративного устройства России. Система органов государственной власти в Российской Федерации. Местное самоуправление в Российской Федерации.

Принципы гражданского права. Источники гражданского права. Юридические лица и их организационно-правовые нормы. Объекты гражданских прав. Сделки в гражданском праве. Право собственности: приобретение и прекращение.

Понятие и виды имущества, используемого в предпринимательской деятельности. Право собственности как основа осуществления предпринимательской деятельности. Право оперативного управления и право хозяйственного ведения как ограниченные вещные права на имущество. Правовой режим основных средств. Правовой режим оборотных средств. Приватизация государственного и муниципального имущества.

Обязательства в гражданском праве: понятие и виды, сроки действия. Договор: понятие, виды, заключение и применение договоров. Защита гражданских прав: право на защиту, самозащита гражданских прав.

Посреднические и финансово-кредитные договоры в гражданском праве.

Понятие и признаки банкротства. Правовой статус субъектов банкротства. Особенности банкротства субъектов предпринимательской деятельности. Наблюдение как процедура банкротства. Финансовое оздоровление как процедура банкротства. Внешнее управление как процедура банкротства.

Особенности банкротства физического лица и связанные с этим правовые последствия.

Тема 3. Основы трудового права и права социального обеспечения

Понятие, юридическое и экономическое и социальное значение трудового стажа. Основные принципы трудового права и права социального обеспечения. Трудовые правоотношения: общие и специальные основания возникновения, изменения и прекращения. Труд и социальная политика государства. Основы пенсионного законодательства и пенсионного обеспечения в России.

Тема 4. Основы финансового и налогового права

Источники и основные принципы финансового и налогового права. Финансовая система России. Социально-экономическая сущность и функции финансов. Финансовая система и характеристика ее звеньев. Налоги и налогообложение в рыночной экономике в рыночной экономике.

Виды налогов и принципы налогообложения. Налогообложение малого бизнеса.

Тема 5. Правовое регулирование рынка финансовых услуг в РФ

Финансово кредитное предпринимательство в России. Понятие рынка финансовых услуг. Особенности банковской деятельности в России. Договор кредита, договор займа, договор финансирования под уступку денежного требования. Правовое положение коммерческих банков. Правовое регулирование биржевой деятельности. Правовое регулирование страховой деятельности. Центральный Банк России. Правовое регулирование деятельности профессиональных участников рынка ценных бумаг.

Тема 6. Права потребителя и связанные с ними основы предпринимательского права.

Понятие и основные источники потребительского права. Закон о защите прав потребителя и основные сферы его применения. Права потребителя при приобретении товаров работ и услуг. Реализация права на образование в России.

Понятие защиты прав и интересов предпринимательских структур. Органы, осуществляющие защиту прав и интересов предпринимательских структур. Способы защиты прав и интересов коммерческих организаций и индивидуальных предпринимателей. Защита прав и интересов в претензионном порядке. Сроки предъявления и рассмотрения претензий. Последствия нарушения претензионного порядка. Разрешение споров, вытекающих из предпринимательской деятельности в судебном порядке. Административная форма защиты прав и интересов коммерческих организаций. Уголовно-правовая защита прав и интересов предпринимательских структур.

Понятие и правовые формы государственного регулирования. Контроль за осуществлением предпринимательской деятельности. Лицензирование отдельных видов предпринимательской деятельности. Понятия и принципы технического регулирования. Стандартизация. Понятие и виды. Сертификация товаров и услуг. Государственное регулирование ценообразования в торговом обороте.

Тема 7. Основы антикоррупционного законодательства в РФ

Основные источники антикоррупционного законодательства. Формы и методы противодействия коррупции в России и мире.

Понятие защиты прав и интересов предпринимательских структур от необоснованного вмешательства в хозяйственную деятельность.

Органы, осуществляющие защиту прав и интересов предпринимательских структур.

Способы защиты прав и интересов коммерческих организаций и индивидуальных предпринимателей.

Источники антимонопольного законодательства. Понятие конкуренции и доминирующего положения. Понятие и виды монополий. Понятие и виды недобросовестной конкуренции. Естественная и государственная монополия. Полномочия антимонопольных органов. Ответственность за нарушение антимонопольного законодательства

6 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение дисциплины предпринимательское право предусматривает репродуктивные (информационные лекции, опросы, работа с книгой и т.д.); активные (доклады, работа с информационными ресурсами, решение задач, кейсов и проч.); интерактивные (бизнес-кейсы, групповые дискуссии, тренинги, анализ ситуаций, деловые и ролевые игры, круглые столы, иные) технологии обучения.

7 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для организации самостоятельной работы обучающихся по изучению дисциплины «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» кафедрой подготовлены *Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся направления Горное дело* .

Для выполнения контрольной работы по дисциплине «Основы правовых знаний и финансовая грамотность» кафедрой подготовлены *Методические рекомендации и задания к контрольной работе для студентов направления Горное дело.*

8 ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Оценка результатов обучения осуществляется в ходе текущего и промежуточного контроля формирования заявленных компетенций на этапе освоения данной дисциплины.

Текущий контроль знаний, умений, владений как результат формирования компетенций осуществляется в ходе аудиторных занятий, проводимых по расписанию.

Формы такого контроля (оценочные средства): доклад, практико-ориентированное задание, дискуссия, контрольная работа.

№ п/п	*Раздел, тема*	*Шифр компетенции*	*Конкретизированные результаты обучения*	*Оценочные средства*
1	Теория сочетания и взаимодействия современного права и экономики	УК-10	Знать: - общие закономерности возникновения, развития и функционирования рыночных отношений; - источники регулирования рыночных отношений. - принципы и правовые нормы лежащие в основе регулирования современных рыночных отношений. - поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства - цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики Уметь: – применять правовые нормы регулирующие современные отношения в обществе; – используя правовые способы устранять неблагоприятные последствия возникающие в современном обществе; - обеспечивать экономическую безопасность реализуя гражданско-правовые методы воздействия на участников рынка Владеть: - контролировать личные финансовые риски – навыками применения нормы права для обеспечения собственной экономической безопасности и безопасности предприятия; – навыками привлечения к юридической ответственности лиц причиняющих угрозу личной материальной безопасности и безопасности предприятия. - создавать базовые условия для эффективного разрешения споров в судебном порядке. - навыками применения методов личного финансового планирования, использования финансовых инструментов для управления собственным бюджетом.	Тест, практико-ориентированное задание.

2	Основы конституционного и гражданского права	УК-11	Знать: - правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - основы механизмов противодействия коррупционному поведению Уметь: - применять правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - осуществлять противодействие коррупционному поведению Владеть: - навыками применения правовых норм, обеспечивающих борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - навыками осуществления противодействия коррупционному поведению	Тест, практико-ориентированное задание, контрольная работа (реферат)
3	Основы трудового права и права социального обеспечения	УК-10	Знать: - общие закономерности возникновения, развития и функционирования рыночных отношений; - источники регулирования рыночных отношений. - принципы и правовые нормы лежащие в основе регулирования современных рыночных отношений. - поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства - цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики Уметь: – применять правовые нормы регулирующие современные отношения в обществе; – используя правовые способы устранять неблагоприятные последствия возникающие в современном обществе; - обеспечивать экономическую безопасность реализуя гражданско-правовые методы воздействия на участников рынка Владеть: - контролировать личные финансовые риски – навыками применения нормы права для обеспечения собственной экономической безопасности и безопасности предприятия; – навыками привлечения к юридической ответственности лиц причиняющих угрозу личной материальной безопасности и безопасности предприятия. - создавать базовые условия для эффективного разрешения споров в судебном порядке. - навыками применения методов личного финансового планирования, использования финансовых инструментов для управления собственным бюджетом.	Тест, практико-ориентированное задание.
4	Основы финансового и налогового права	УК-10, УК-11	Знать: - правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - основы механизмов противодействия коррупционному по-	Тест, практико-ориентированное задание.

			ведению Уметь: - применять правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - осуществлять противодействие коррупционному поведению Владеть: - навыками применения правовых норм, обеспечивающих борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - навыками осуществления противодействия коррупционному поведению	
5	Правовое регулирование рынка финансовых услуг в РФ	УК-10	Знать: - общие закономерности возникновения, развития и функционирования рыночных отношений; - источники регулирования рыночных отношений. - принципы и правовые нормы лежащие в основе регулирования современных рыночных отношений. - поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства - цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики Уметь: – применять правовые нормы регулирующие современные отношения в обществе; – используя правовые способы устранять неблагоприятные последствия возникающие в современном обществе; - обеспечивать экономическую безопасность реализуя гражданско-правовые методы воздействия на участников рынка Владеть: - контролировать личные финансовые риски – навыками применения нормы права для обеспечения собственной экономической безопасности и безопасности предприятия; – навыками привлечения к юридической ответственности лиц причиняющих угрозу личной материальной безопасности и безопасности предприятия. - создавать базовые условия для эффективного разрешения споров в судебном порядке. - навыками применения методов личного финансового планирования, использования финансовых инструментов для управления собственным бюджетом.	Тест, практико-ориентированное задание.
6	Основы предпринимательского права.	УК-10, УК-11	Знать: - общие закономерности возникновения, развития и функционирования рыночных отношений; - источники регулирования рыночных отношений. - принципы и правовые нормы лежащие в основе регулирования современных рыночных отношений. - поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства - цели, виды и инструменты государственной экономической политики и их влияние на субъектов экономики Уметь: – применять правовые нормы регулирующие современные отношения в обществе; – используя правовые способы устранять неблагоприятные последствия возникающие в современном обществе; - обеспечивать экономическую безопасность реализуя гражданско-правовые методы воздействия на участников рынка Владеть: - контролировать личные финансовые риски	Тест, практико-ориентированное задание.

			– навыками применения нормы права для обеспечения собственной экономической безопасности и безопасности предприятия; – навыками привлечения к юридической ответственности лиц причиняющих угрозу личной материальной безопасности и безопасности предприятия. - создавать базовые условия для эффективного разрешения споров в судебном порядке. - навыками применения методов личного финансового планирования, использования финансовых инструментов для управления собственным бюджетом.	
7	Основы антикоррупционного законодательства в РФ	УК-11	Знать: - правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - основы механизмов противодействия коррупционному поведению Уметь: - применять правовые нормы, обеспечивающие борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - осуществлять противодействие коррупционному поведению Владеть: - навыками применения правовых норм, обеспечивающих борьбу с коррупцией в различных областях жизнедеятельности; - навыками осуществления противодействия коррупционному поведению	Тест, практико-ориентированное задание.

9 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Алгоритм работы студентов для качественного усвоения дисциплины включает в себя следующие действия:

1. Изучение рабочей программы дисциплины, что позволит правильно сориентироваться в системе требований, предъявляемых к студенту со стороны преподавателя.

2. Посещение и конспектирование лекций.

3. Обязательная подготовка к практическим (семинарским) занятиям.

4. Изучение основной и дополнительной литературы, нормативных правовых актов, интернет-источников выбрать нужное.

5. Выполнение всех видов самостоятельной работы.

10 ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1 Основная литература

№ п/п	Наименование	Кол-во экз.
1	Ашмарина Е. М., Васильева О. Н., Гречуха В. Н., Дахненко С. С., Добровинская А. В., Доронина Н. Г., Закупень Т. В., Ключникова Я. А., Ромашкова И. И., Ручкина Г. Ф.. Предпринимательское право. Правовое регулирование отдельных видов предпринимательской деятельности . Ч. 1 [Электронный ресурс]:учебник и практикум для бакалавриата и маги-	Эл. ресурс

	стратуры: для студентов вузов, обучающихся по юридическим направлениям: [в 2 частях]. - Москва: Юрайт, 2019. - 320 с. – Режим доступа: https://www.biblio-online.ru/bcode/437170	
2.	Правоведение: учебник/С.В. Артемников [и др.] : под ред. О.Е. Кутафина. -4-е изд., перераб. доп. – Москва: Проспект, 2013.- 48 с	19
3.	Основы права: учебник для неюридических вузов и факультетов / под ред. В. Б. Исакова. - М. : Норма : ИНФРА-М, 2015.	Эл. ресурс
4	Губин Е.П., Лахно П.Г.. Предпринимательское право Российской Федерации [Электронный ресурс]:ВО - Бакалавриат. - Москва: ООО "Юридическое издательство Норма", 2020. - 992 с. – Режим доступа: https://new.znanium.com/catalog/product/1058081	Эл. ресурс

10.2 Дополнительная литература

№ п/п	Наименование	Кол-во экз.
1	Зенькович У.И. Правоведение. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / У.И. Зенькович, С.Ю. Белоногов. — Электрон. текстовые данные. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 88 с. — 978-5-89289-473-9. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/14386.html	Эл. ресурс
2	Правоведение [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов неюридического профиля / С.С. Маилян [и др.]. — 3-е изд. — Электрон. текстовые данные. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. — 414 c. — 978-5-238-01655-9. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/74905.html	Эл. ресурс

10.3 Нормативные правовые акты

1. Конституция Российской Федерации[Электронный ресурс]: Принята всенародным голосованием 12.12.1993 (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ). - Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс».

2. Гражданский кодекс Российской Федерации, часть 1 [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 13.11.1994 № 51(ред. от 03.08.2018, с изм. от 01.09.2018).). – Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс».

3. Гражданский кодекс Российской Федерации, часть 2 [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 13.11.1994 № 51(ред. от 03.08.2018, с изм. от 01.09.2018).). – Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс».

4. Гражданский кодекс Российской Федерации, часть 4 [Электронный ресурс] Федеральный закон от 13.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 03.08.2018, с изм. от 01.09.2018).). – Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс».

5. Федеральный закон от 8 августа 2001 г. № 129-ФЗ «О государственной регистрации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей»;

6. Федеральный закон "О лицензировании отдельных видов деятельности" от 04.05.2011 N 99-ФЗ

7. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;

8. Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля»;

9. Закон РФ от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ «О защите конкуренции» в ред. от 29.11.2010 г.;

Федеральный закон «О валютном регулировании и валютном контроле» от 10.12.2003 N 173-ФЗ

10. Федеральный закон «О защите прав и законных интересов инвесторов на рынке ценных бумаг» от 05.03.1999 N 46-ФЗ

11. Федеральный закон "О несостоятельности (банкротстве)" от 26.10.2002 N 127-ФЗ

12. Федеральный закон "Об организованных торгах" от 21.11.2011 N 325-ФЗ

13. Федеральный закон от 22 апреля 1996 г. № 39-ФЗ «О рынке ценных бумаг»

14.О недрах [Электронный ресурс]: Закон Российской Федерации от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 03.08.2018). – Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс».

15.Закон РФ от 07.02.1992 N 2300-1 (ред. от 08.12.2020) "О защите прав потребителей"

16. Федеральный закон от 26 декабря 1995 г. № 208-ФЗ «Об акционерных обществах»;

17. Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ (последняя редакция)

18. Федеральный закон от 8 февраля 1998 г. № 14-ФЗ «Об обществах с ограниченной ответственностью»;

19. Федеральный закон «Об инвестиционных фондах» от 29.11.2001 N 156-ФЗ.

20. Федеральный закон «О кредитных историях» от 30.12.2004 N 218-ФЗ

21. Федеральный закон «О негосударственных пенсионных фондах» от 07.05.1998 N 75-ФЗ

22. Федеральный закон от 8 мая 1996 г. № 41-ФЗ «О производственных кооперативах»;

23. Федеральный закон от 14 ноября 2002 г. № 161-ФЗ «О государственных и муниципальных унитарных предприятиях».

24. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Закон Российской Федерации от 21.07.1997 № 116-ФЗ. – Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс».

25. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Закон Российской Федерации от 10.01.2002 № 7-ФЗ . – Режим доступа: ИПС «КонсультантПлюс

11 ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. http://www.juristlib.ru/ЮристЛиб. - Электронная юридическая библиотека. На сайте представлена коллекция работ российских ученых-юристов, комментарии к кодексам, статьи из периодических изданий по праву, учебники.

2. http://www.tarasei.narod.ru/uchebniki.html- Правовая библиотека: учебники, учебные пособия, лекции по юриспруденции. В библиотеке представлено около 300 полнотекстовых источников юридической литературы. Основные разделы: Теория и история государства и права, Памятники правовой литературы, Судебная медицина, Экологическое право, Уголовное право, Авторское право и др.

3. http://www.allpravo.ru/library/ Все о праве: компас в мире юриспруденции. Собрание юридической литературы правовой тематики. Всего в ней более 300 полноценных источников. Библиотека состоит из трех категорий источников: учебные пособия, монографии, статьи. Особую ценность представляют монографии и труды русских юристов конца 19 - начала 20 века.

4. http://www.pravoteka.ru/Правотека. На этом сайте в разделе "Библиотека юриста" содержится коллекция книг, посвященных различным отраслям права. Есть также "Юридическая энциклопедия".

5. Сайт Банка России http://www.cbr.ru/

6. Сайт информационного агентства Росбизнесконсалтинг http://www.rbc.ru/

7. Сайт «Всё о страховании в России» http://www.insur.ru/

8. Сайт «Страховая информация» http://strahovik.info/

9. Всероссийский союз страхования http://ins-union.ru. /

10. Официальный сайт Федеральной антимонопольной службы http://www.fas.gov.ru/

11. http://civil.consultant.ru Классика Российского права. Проект компании "Консультант Плюс". Предоставлены переизданные классические монографии, для которых известные современные юристы специально подготовили свои комментарии и предисловия.

12 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

Программное обеспечение

1. Microsoft Windows 8 Professional
2. Microsoft Office Professional 2010
3. FineReader 12 Professional

Информационные справочные системы

ИПС «КонсультантПлюс»

Базы данных

Scopus: база данных рефератов и цитирования https://www.scopus.com/customer/profile/display.uri
E-library: электронная научная библиотека: https://elibrary.ru

13 ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Реализация данной учебной дисциплины осуществляется с использованием материально-технической базы, обеспечивающей проведение всех видов учебных занятий и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных программой учебной дисциплины, соответствующей действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам, включающей:

специальные помещения, укомплектованные специализированной мебелью, и представляющие собой:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для текущего контроля и промежуточной аттестации;
- аудитории для самостоятельной работы.
- помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

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

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета

«___» _____ 2018 г.
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

Брагин В. Г., Волков Е. Б., Казаков Ю. М.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебное пособие

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018

УДК 531
Б 87

Рецензент: *Н. М. Суслов*, д-р техн. наук, заведующий кафедрой ГМК
Уральского государственного горного университета.

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры технической механики от «07» июня 2018 г. (протокол № 7) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Печатается по решению Учебно-методического совета Уральского государственного горного университета.

Брагин В. Г., Волков Е. Б., Казаков Ю. М.

Б 87 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА: Учебное пособие / Ю. М. Казаков, В. Г. Брагин, Е. Б. Волков. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 250 с.
ISBN 978-5-8019-0460-3

Учебное пособие содержит краткие методические указания, примеры решений задач и упражнения для самостоятельной работы по основным темам курса теоретической механики: статика, кинематика точки и простейшие движения твёрдых тел, сложное движение точки, динамика точки и механической системы. Учебное пособие для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения.

ISBN 978-5-8019-0460-3

©Брагин В. Г., Волков Е. Б.,
Казаков Ю. М., 2018
©Уральский государственный горный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СТАТИКА 4
1.1. Основные понятия статики 4
1.2. Система сходящихся сил. Условия равновесия 9
1.3. Произвольная плоская система сил 16
1.4. Равновесие систем тел 26
1.5. Произвольная пространственная система сил 34
1.6. Равновесие тел при наличии сил трения 44
2. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ И ТВЁРДОГО ТЕЛА 55
2.1. Криволинейное движение точки 55
2.2. Поступательное движение и вращение твердого тела 62
вокруг неподвижной оси 62
2.3. Скорости точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела 73
2.4. Ускорения точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела 84
3. СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ 100
3.1. Основные понятия и определения сложного движения точки 100
4. ДИНАМИКА ТОЧКИ 114
4.1. Дифференциальные уравнения движения точки 114
4.2. Колебания материальной точки 124
4.3. Теорема об изменении кинетической энергии точки 134
5. ОБЩИЕ ТЕОРЕМЫ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ 146
5.1. Теорема о движении центра масс системы 146
5.2. Теорема об изменении кинетического момента системы
относительно оси 148
5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы 153
5.4. Применение общих теорем динамики системы к описанию
движений твёрдого тела 162
6. ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ 177
6.1. Принцип Даламбера для системы 177
6.2. Принцип возможных перемещений 182
6.3. Общее уравнение динамики 189
6.4. Уравнения Лагранжа II рода 201
7. ОТВЕТЫ И КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ 220
7.1. Ответы к упражнениям главы 1 220
7.2. Ответы к упражнениям главы 2 226
7.3. Ответы к упражнениям главы 3 231
7.4. Ответы к упражнениям главы 4 233
7.5. Ответы к упражнениям главы 5 236
7.6. Ответы к упражнениям главы 6 241
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 249

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия статики

Статика представляет раздел теоретической механики, в котором освещаются условия равновесия тел под действием систем сил.

Материальной точкой называют простейшую модель материального тела, размерами которого можно пренебречь и которое можно принять за геометрическую точку, имеющую массу, равную массе тела. Совокупность материальных точек называется **системой материальных точек**. Если система материальных точек такова, что движение каждой точки зависит от положения и движения остальных точек системы, то система называется **механической системой материальных точек**. Любое материальное тело представляет собой механическую систему материальных точек. Если точки системы связаны между собой так, что расстояния между любыми двумя точками не изменяются, то система называется **неизменяемой системой**, а тело – **абсолютно твердым телом**.

Силой в механике называют меру механического действия одного материального объекта (например, твердого тела) на другой. Единицей измерения силы в системе СИ является ньютон (Н). Совокупность сил, действующих на механическую систему (в частности, на твёрдое тело), называют **системой сил.**

Если система сил, приложенная к твердому телу, оставляет его в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, то такая система сил называется **уравновешенной,** или **системой сил, эквивалентной нулю**.

Если одну систему сил, действующих на твердое тело или материальную точку, можно заменить другой системой, не изменяя при этом состояния покоя или движения, в котором находится тело или материальная точка, то такие две системы сил называются **эквивалентными**. Если система сил эквивалентна одной силе, то эта сила называется **равнодействующей** данной системы сил.

Основные виды связей и их реакции

Всякое твердое тело, которое может занимать произвольное положение в пространстве, называется свободным. Если на тело наложены внешние связи, стесняющие (ограничивающие) свободу его перемещений, то тело является несвободным. Сила, с которой данная связь действует на тело, препятствуя его перемещениям, называется **реакцией связи**. Всякое несвободное твердое тело можно рассматривать как свободное, если освободить тело от связей и заменить действие связей их реакциями. **Реакция связи направлена в сторону, противоположную тому направлению, вдоль которого связь препятствует перемещению тела.**

Опора тела на гладкую плоскость (поверхность) без трения. Реакция $\vec{R}$ абсолютно гладкой поверхности приложена в точке касания и направлена перпендикулярно к общей касательной соприкасающихся поверхностей (рис. 1.1, *a*). Такая реакция называется **нормальной реакцией**.

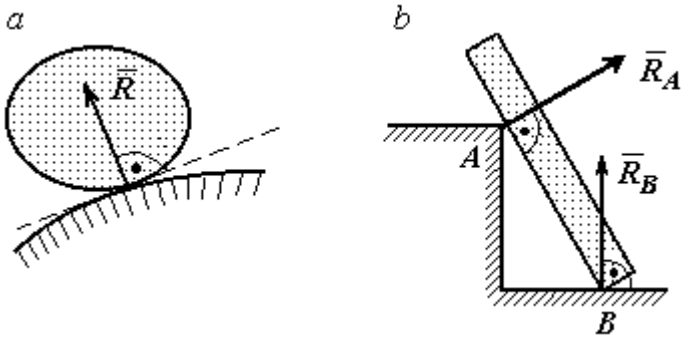


Рис. 1.1. Реакция опоры:

Брус с гладкой поверхностью (рис. 1.1, *b*), опирающийся в точке *B* на гладкий пол и в точке *A* на ребро (точечную опору), имеет реакциями опор $\vec{R}_B$ – реакцию пола и $\vec{R}_A$ – реакцию ребра (точечной опоры). Реакции приложены к брусу и направлены по нормалям к поверхности пола и поверхности бруса.

Цилиндрический шарнир и подвижная опора (каток). Цилиндрический шарнир (на рис. 1.2, *a* обозначен буквой *A*) представляет собой устройство, которое допускает поворот тела в плоскости, перпендикулярной оси шарнира (например, цилиндрическая втулка, надетая на неподвижный цилиндр).

Реакция цилиндрического шарнира $\vec{R}_A$ лежит в плоскости, перпендикулярной оси шарнира. При решении задач неизвестную по величине и направлению реакцию цилиндрического шарнира представляют в виде составляющих, $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, направленных вдоль координатных осей (см. рис. 1.2, *a*). Величина реакции $\vec{R}_A$ определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$, где $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$ – составляющие реакции.

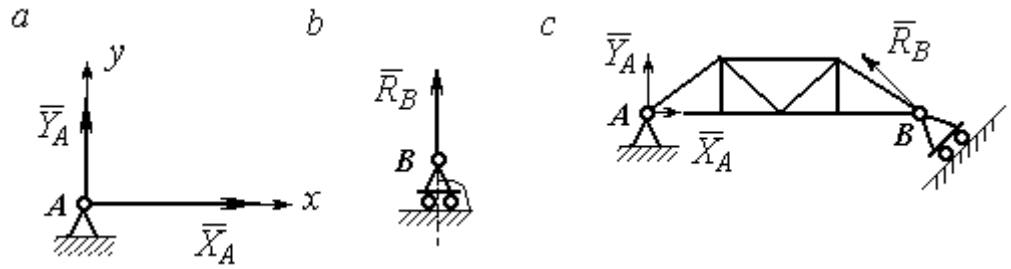


Рис. 1.2. Реакции шарнирных опор:
a – цилиндрический шарнир; *b* – каток; *c* – мостовая конструкция с цилиндрической шарнирной опорой и опорой на каток

Реакция $\vec{R}_B$ опоры на каток (подвижной опоры) (рис. 1.2, *b*) перпендикулярна опорной поверхности.

На рис. 1.2, *c* показаны реакции связей мостовой конструкции с цилиндрической шарнирной опорой и подвижной опорой (катком). Реакция цилиндрического шарнира в точке *A* изображена в виде разложения на взаимно перпендикулярные составляющие $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, реакция $\vec{R}_B$ катка в точке *B* перпендикулярна наклонной плоскости, на которой стоит каток.

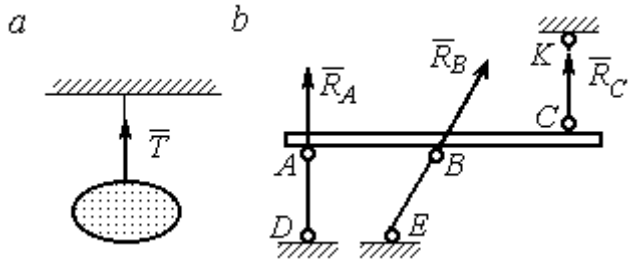


Рис. 1.3. Реакция гибкой нити и невесомого стержня

Гибкая связь и жесткий невесомый стержень. Связь в виде гибкой нерастяжимой нити (каната, троса) препятствует удалению тела от точки подвеса. (рис. 1.3, *a*). Реакция связи $\vec{T}$,

равная натяжению нити, приложена к телу и направлена вдоль нити в сторону противоположную направлению, вдоль которого нить препятствует перемещению тела

Если опорой тела служит невесомый стержень с шарнирами на концах, то реакция прямолинейного стержня приложена к телу и направлена вдоль стержня. Направление реакции стержня противоположно направлению, по которому стержень препятствует перемещению тела.

Реакции невесомых стержней, удерживающих балку, изображённую на рис. 1.3, *b*, направлены исходя из предположения, что балка может перемещаться вниз. При этом стержни *AD* и *BE* сжаты, а стержень *CK* растянут.

Сферический шарнир. Связь в виде сферического шарнира не позволяет перемещать тело в пространстве, но допускает поворот в пространстве вокруг неподвижной точки. Реакция сферического шарнира может иметь любое направление в пространстве. При решении задач реакцию изображают ее составляющими. На рис. 1.4 реакция $\vec{R}_A$ сферического шарнира A разложена на составляющие $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Z}_A$ по направлениям координатных осей. Величина реакции сферического шарнира определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}$.

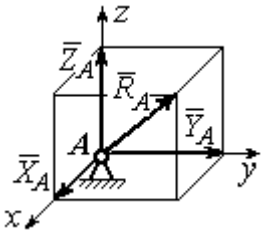


Рис. 1.4. Реакция сферического шарнира

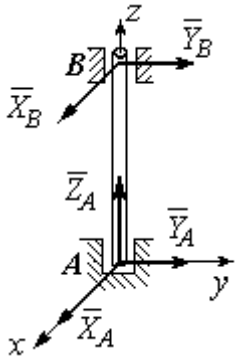


Рис. 1.5. Реакции подшипника и подпятника

Подшипник и подпятник. Подшипник представляет собой цилиндрический шарнир (рис. 1.5, подшипник *B*). Его реакция может иметь любое направление в плоскости, перпендикулярной оси шарнира. При решении задач реакция подшипника раскладывается на две составляющие. Например, на рис. 1.5 реакция $\vec{R}_B$ подшип-

ника *B* разложена на составляющие $\vec{X}_B, \vec{Y}_B$, параллельные координатным осям. Величина реакции подшипника определяется по формуле: $R_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2}$.

Подпятник является цилиндрическим шарниром с упором. В задачах реакция подпятника обычно изображается векторами $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Z}_A$, представляющими разложение силы реакции подпятника по заданным направлениям координатных осей (см. рис. 1.5, подпятник *A*). Величина реакции подпятника определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}$.

Проекция силы на ось и на плоскость

Проекция силы на ось есть алгебраическая величина, равная произведению модуля силы на косинус угла между силой и положительным направлением оси. Если этот угол острый, проекция положительна, если тупой – отрицательна. Если сила перпендикулярна оси, её проекция на ось равна нулю.

Проекции сил $\vec{F}$, $\vec{Q}$, $\vec{P}$, изображённых на рис. 1.6, *a*, на ось *x*: $F_x = F\cos\alpha$, $Q_x = Q\cos\alpha_1 = -Q\cos\varphi$, $P_x = P\cos 90^\circ = 0$.

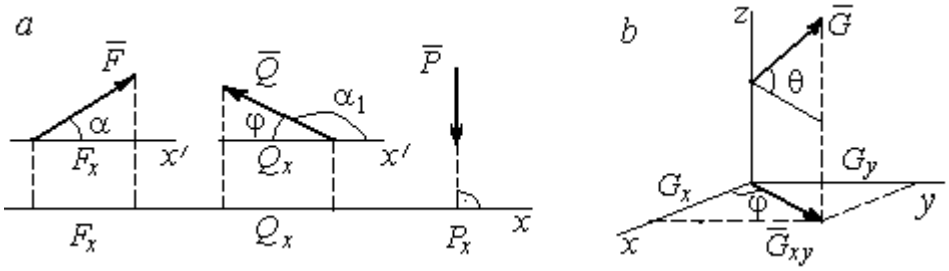


Рис. 1.6. Проекция силы на ось и на плоскость:
a – проекция силы на ось; *b* – проекция силы на плоскость

Проекцией силы на плоскость называется вектор, заключённый между проекциями начала и конца силы $\vec{G}$ на эту плоскость.

На рис. 1.6, *b* вектор $\vec{G}_{xy}$ является проекцией силы $\vec{G}$ на плоскость *xy*. По величине $G_{xy} = G\cos\theta$, где θ – угол между направлением силы $\vec{G}$ и её проек-

ции $\vec{G}_{xy}$. Проекции силы $\vec{G}$ на оси xyz: $G_x = G_{xy}\cos\varphi = G\cos\theta\cos\varphi$, $G_y = G_{xy}\sin\varphi = G\cos\theta\sin\varphi$, $G_z = G\sin\theta$.

1.2. Система сходящихся сил. Условия равновесия

Для равновесия **пространственной системы сходящихся сил** необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на каждую из трёх осей прямоугольной системы координат были равны нулю:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum F_{kz} = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси.

Для равновесия **плоской системы сходящихся сил** необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на каждую из двух осей прямоугольной системы координат, расположенной в плоскости действия сил, были равны нулю: $\sum F_{kx} = 0$, $\sum F_{ky} = 0$, где F_{kx}, F_{ky} – проекции всех сил на координатные оси.

Примеры решения задач на равновесие сходящейся системы сил

Задача 1. Каток весом 20 кН удерживается на гладкой наклонной плоскости тросом, который одним концом закреплён на поверхности шара, а другим – на вертикальной стене (рис. 1.7). Угол наклона троса к вертикальной стене $\beta = 120°$. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 45°$. Определить силу давления катка на плоскость и натяжение троса.

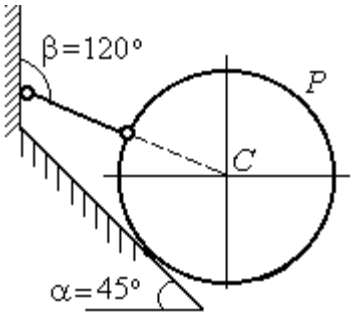


Рис. 1.7. Равновесие шара

Решение

При равновесии на каток действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция троса $\vec{N}$ и реакция опоры $\vec{R}$. Линии действия всех сил находятся в одной плоскости и пересекаются в центре шара. Направления реакций показаны на рис. 1.8.

Условия равновесия плоской сходящейся системы сил:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0.$$

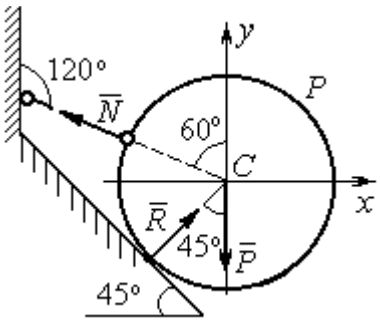


Рис. 1.8. Силы, действующие на каток, при его равновесии

Проведя оси координат, как показано на рис. 1.8, выразим условия равновесия в виде системы уравнений:

$$\sum F_{kx} = -N\cos 30^\circ + R\cos 45^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = N\cos 60^\circ + R\cos 45^\circ - P = 0.$$

Подставляя в уравнения исходные данные задачи, найдем: $N = 14{,}64$ кН, $R = 17{,}93$ кН.

Натяжение троса равно модулю его реакции. Сила давления катка на плоскость равна реакции опоры гладкой плоскости, но направлена в противоположную сторону.

Задача 2. Кронштейн состоит из невесомых стержней *AC* и *BC*, скрепленных друг с другом и с вертикальной стеной шарнирами, как показано на рис. 1.9. Стержень *BC* горизонтален, стержень *AC* составляет с горизонталью угол $\beta = 60^\circ$. К шарниру *C* прикреплены два троса, удерживающие грузы 1 и 2 весом $G_1 = 10$ кН и $G_2 = 12$ кН. Трос, удерживающий груз 1, вертикален, а другой перекинут через блок *D* так, что угол наклона участка троса *CD* к вертикали $\alpha = 60^\circ$. Определить реакции стержней *BC* и *AC*.

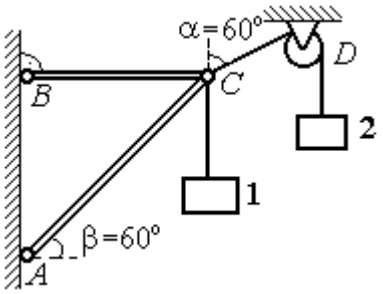


Рис. 1.9. Равновесие кронштейна

Решение

Рассмотрим равновесие узла *C*, в котором закреплены стержни и тросы. На узел *C* действуют реакции $\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$ тросов, натянутых грузами 1 и 2, и реакции $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$ стержней *BC* и *AC* (рис. 1.10). Модули реакций тросов $\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$ равны весу грузов: $T_1 = G_1$, $T_2 = G_2$.

Плоская система сил ($\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$, $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$) является сходящейся. Условия равновесия: $\sum F_{kx} = 0$, $\sum F_{ky} = 0$. Проведя оси координат xCy, как показано на рис. 1.10, и определяя проекции сил на оси, получим систему уравнений:

$$N_1 + N_2\cos 60^\circ - T_2\cos 30^\circ = 0;$$

$$N_2\cos 30^\circ + T_1 - T_2\cos 60^\circ = 0.$$

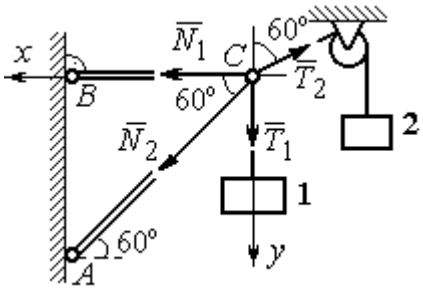


Рис. 1.10. Силы, действующие на узел *C* при его равновесии

Подставим в уравнения исходные данные задачи. С учётом того, что $T_1 = G_1 = 10$ кН, $T_2 = G_2 = 12$ кН, найдём значения реакций: $N_1 = 12{,}7$ кН, $N_2 = -4{,}62$ кН. Отрицательная величина N_2 означает, что вектор $\vec{N}_2$ реакции стержня *AC* направлен в противоположную сторону.

Задача 3. Груз весом $P = 20$ кН поднимается стержневым краном *ABC* посредством каната, перекинутого через блоки *B* и *D* (рис. 1.11). Блок *B* установлен в месте шарнирного соединения невесомых стержней *AB* и *BC*, блок *D* укреплён так, что участок троса *DB* составляет с вертикалью угол $\beta = 60^\circ$. Стержни *AB* и *BC* соединены со стенками шарнирами. Конец троса, несущий груз *P*, переброшен через блок *E* и на отрезке *BE* составляет с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Пренебрегая трением в блоке и размерами блока *B*, определить усилия в стержнях *AB* и *BC* при равновесии груза.

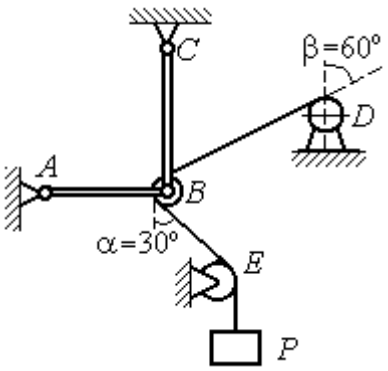


Рис. 1.11. Равновесие стержневой конструкции

Решение

Рассмотрим равновесие блока *B* вместе с отрезками нити *BE* и *BD*. Освободим блок *B* от связей и заменим их реакциями.

Рассматривая блок и отрезок нити как одно целое, можно не учитывать силы взаимного давления нити и блока. На блок действует реакция $\vec{T}$ нити *BD*, приложенная в точке *D*, численно равная весу груза *P*, реакция $\vec{T}'$ нити *BE*, приложенная в точке *E* и также численно равная весу груза *P* и реакции стержней $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$ (см. рис. 1.12).

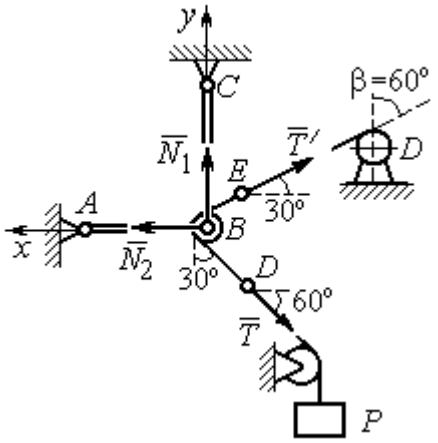


Рис. 1.12. Силы, действующие на блок *B*, при его равновесии

Пренебрегая размерами блока, можно считать систему сил сходящейся. Проведём координатные оси, как показано на рис. 1.12, и выразим условия равновесия плоской сходящейся системы сил в виде системы уравнений:

$$\sum F_{kx} = N_2 - T'\cos 30^\circ - T\cos 60^\circ = 0;\ \sum F_{ky} = N_1 + T'\cos 60^\circ - T\cos 30^\circ = 0.$$

Решая полученную систему уравнений с учётом, что $T' = T = P$ = 20 кН, получим: N_1 = 7,32 кН, N_2 = 27,32 кН.

Задача 4. Шахта ориентируется в вертикальной плоскости с помощью несвободного проволочного отвеса *CBDP*, натянутого грузом весом *P* = 50 Н (рис. 1.13).

Определить натяжения частей отвеса *CB*, *BD*, *DP* и натяжения оттяжек *BA* и *DE*, если угол отклонения оттяжки *BC* от горизонтали $\alpha = 60^\circ$, а отклонение средней части отвеса *BD* от вертикали $\beta = 4^\circ$. Весом проволоки отвеса пренебречь.

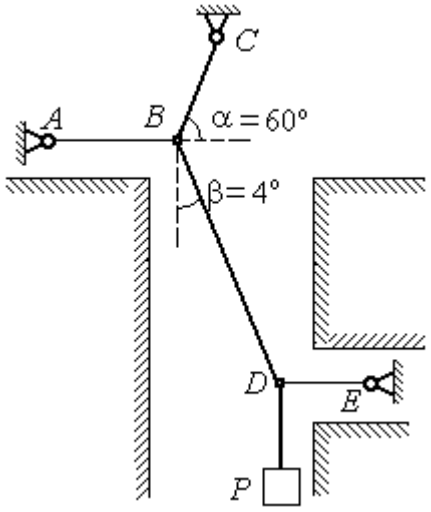


Рис. 1.13. Схема отвеса

Решение

Рассмотрим равновесие узла *D*, в котором сходятся три силы – реакция $\vec{S}$ средней части отвеса, реакция $\vec{T}_E$ оттяжки *DE* и реакция $\vec{T}_P$ отвеса на участке

DP, равная весу груза $T_P = P$ (рис. 1.14). Выберем оси координат *xDy*, как показано на рис. 1.14, и составим уравнения равновесия узла *D:*

$$\sum F_{kx} = S\cos 86^\circ - T_E = 0\,; \;\; \sum F_{ky} = S\cos 4^\circ - T_P = 0\,.$$

Из второго уравнения с учётом, что натяжение отвеса на участке *DP* $T_P = P =$ 50 Н, находим натяжение S на среднем участке отвеса: $S = \dfrac{T_P}{\cos 4^\circ} = 50{,}12$ Н. Из первого уравнения находим натяжение $T_E = S\cos 86^\circ = 3{,}49$ Н.

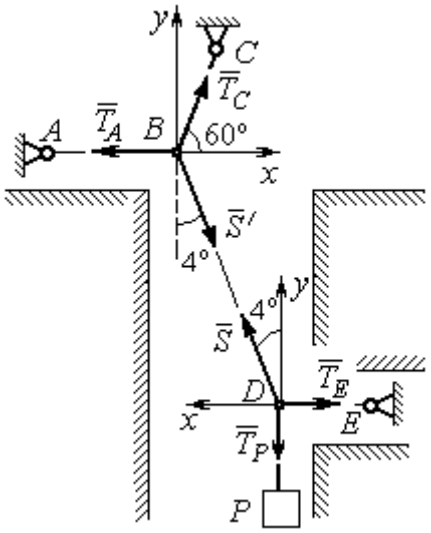


Рис.1.14. Силы, действующие в узлах *B* и *D* при равновесии отвеса

Теперь рассмотрим равновесие узла *B*, на который действуют реакция $\vec{T}_A$ оттяжки *BA*, реакция $\vec{T}_C$ верхней части отвеса *BC* и реакция $\vec{S}'$ средней части отвеса. Вектор силы $\vec{S}'$ противоположен направлению вектора $\vec{S}$: $\vec{S}' = -\vec{S}$, а численно (по принципу равенства действия и противодействия) они равны $S' = S$ (см. рис. 1.14). Выберем оси координат *xBy*, как показано на рис. 1.14, и составим уравнения равновесия узла *B:*

$$\sum F_{kx} = T_C\cos 60^\circ + S'\cos 86^\circ - T_A = 0\,; \quad \sum F_{ky} = T_C\cos 30^\circ - S'\cos 4^\circ = 0\,.$$

Находим натяжение отвеса на верхнем участке *BC* и натяжение T_A оттяжки *BA*: $T_C = \dfrac{S'\cos 4^\circ}{\cos 30^\circ} = 57{,}73$ Н; $T_A = T_C\cos 60^\circ + S'\cos 86^\circ = 32{,}36$ Н.

Задача 5. Груз *P* = 20 кН удерживается двумя стержнями *AC*, *AD* одинаковой длины и цепью *AB*, скреплённых в точке *A*, так, что плоскость треугольника *ADC* горизонтальна (рис. 1.15). Цепь *BA* отклонена от вертикальной стены на угол $\beta = 60^\circ$ и расстояние *CE* = *ED.* Трос закреплён одним концом в точке *A*, а другой его конец, несущий груз, переброшен через блок *K* так, что отрезок

троса AK находится в плоскости, параллельной плоскости стены, и составляет с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Крепления стержней шарнирные. Углы у оснований стержней $\angle DCA = \angle CDA = 60^\circ$. Определить реакции стержней и натяжение цепи. Весами стержней пренебречь.

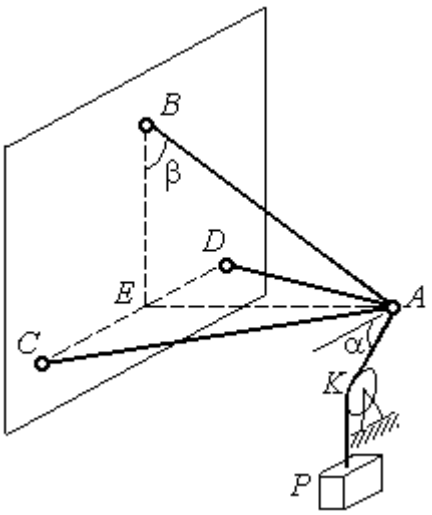


Рис. 1.15. Конструкция пространственного кронштейна

Решение

Рассмотрим равновесие узла A. Освобождаем узел от связей, заменяя действие связей реакциями. Реакции стержней $\vec{S}_D$ и $\vec{S}_C$ направлены по стержням, реакция цепи $\vec{S}_B$ направлена вдоль линии натянутой цепи (рис. 1.16). Реакция троса $\vec{T}$ направлена вдоль троса по линии AK и численно равна весу груза: $T = P$. Направления реакций выбраны в предположении, что стержни и цепь растянуты.

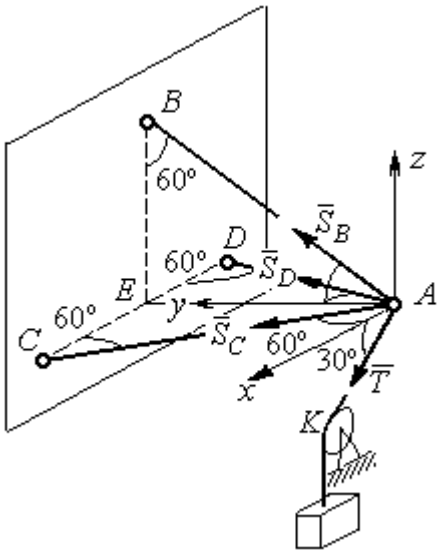


Рис. 1.16. Силы, действующие на узел A, при его равновесии

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.16. На узел A действует пространственная сходящаяся система сил.

Условия равновесия пространственной сходящейся системы сил $\sum F_{kx} = 0$, $\sum F_{ky} = 0$, $\sum F_{kz} = 0$, где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси. Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = S_C \cos 60^\circ - S_D \cos 60^\circ + T \cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = S_C \cos 30^\circ + S_D \cos 30^\circ + S_B \cos 30^\circ = 0; \quad \sum F_{kz} = S_B \cos 60^\circ - T \cos 60^\circ = 0.$$

Решая эту систему, находим $S_B = T = P = 20$ кН; $S_C = -27{,}32$ кН; $S_D = 7{,}32$ кН. Знак минус величины S_C показывает, что реакция стержня AC имеет обратное направление. Натяжение цепи равно модулю реакции $\vec{S}_B$.

Задача 6. Подъёмное устройство (рис. 1.17) состоит из двух стержневых опор DB и DA и растяжки DC, соединённых в точке D. В точке D к устройству прикреплена вертикальная нить, удерживающая груз весом $P = 50$ кН.

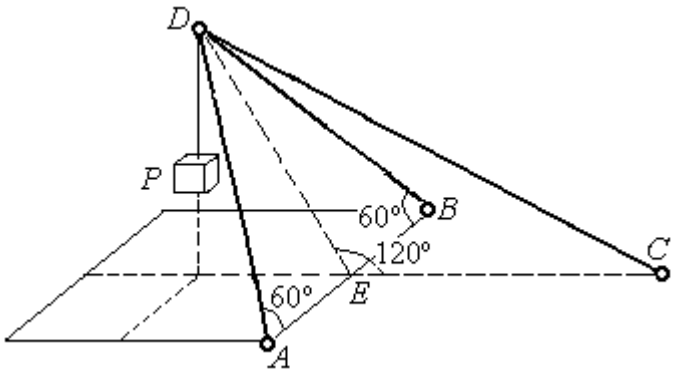


Рис. 1.17. Конструкция подъёмного устройства

Определить реакцию стержневых опор и усилие в растяжке подъёмного устройства, если крепления стержней шарнирные, угол $\angle DEC = 120^\circ$, $AE = EB$, $DE = EC$, а углы в основании опор $\angle DAB = \angle DBA = 60^\circ$.

Решение

Рассматриваем равновесие узла D. Освобождаем узел от связей, заменяя действие связей реакциями. Реакции стержней $\vec{S}_A$, $\vec{S}_B$, $\vec{S}_C$ направлены по стержням, реакция нити $\vec{T}$, численно равная весу тела, направлена вдоль нити (рис. 1.18). Направление реакций выбрано в предположении, что все стержни растянуты.

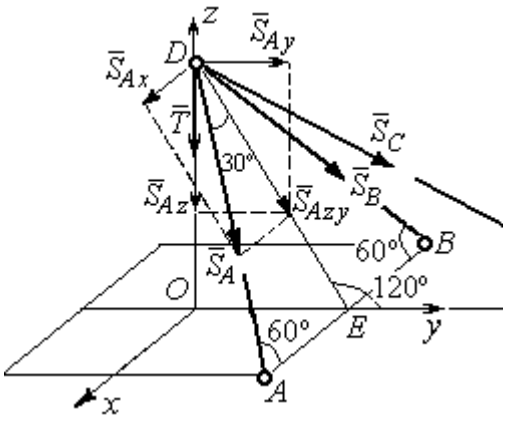


Рис. 1.18. Силы, действующие на узел D, при его равновесии

На узел D действует пространственная сходящаяся система сил. Выберем систему координат $Oxyz$, как показано на рис. 1.18, и составим уравнения равновесия. Заметим, что при определении проекции си-

лы $\vec{S}_A$ на оси координат следует вначале получить её проекции $\vec{S}_{Ax}$ на ось Ox и $\vec{S}_{Azy}$ – на плоскость Oyz, а затем найти проекции силы $\vec{S}_{Azy}$ на оси Oy и Oz. На рис. 1.18 показана последовательность вычисления проекций силы $\vec{S}_A$ на оси координат: $S_{Ax} = S_A \cos 60^\circ$, $S_{Ay} = S_{Azy} \cos 60^\circ = S_A \cos 30^\circ \cos 60^\circ$, $S_{Az} = -S_{Azy} \cos 30^\circ = -S_A \cos^2 30^\circ$. Определение проекций силы $\vec{S}_B$ производится аналогично. Сила $\vec{S}_C$ расположена в плоскости Oyz и имеет своими проекциями $S_{Cy} = S_C \cos 30^\circ$, $S_{Cz} = -S_C \cos 60^\circ$. В результате уравнения равновесия узла D принимают вид

$$\sum F_{ky} = S_A \cos 30^\circ \cos 60^\circ + S_B \cos 30^\circ \cos 60^\circ + S_C \cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kx} = S_A \cos 60^\circ - S_B \cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kz} = - S_A \cos^2 30^\circ - S_B \cos^2 30^\circ - S_C \cos 60^\circ - T = 0.$$

Решая систему, получим: $S_A = S_B = -50$ кН, $S_C = 50$ кН.

Отрицательные значения S_A и S_B означают, что реакций стержней AD и DB направлены в противоположную сторону. В результате стержни AD и DB сжаты, а стержень DC растянут.

1.3. Произвольная плоская система сил

Система сил, расположенных в одной плоскости, называется **плоской системой сил.**

Алгебраическим моментом $M_O(\vec{F})$ силы $\vec{F}$ относительно центра O, или просто **моментом силы** $\vec{F}$ относительно центра, называют взятое с соответствующим знаком произведение модуля силы $\vec{F}$ и кратчайшего расстояния h от центра до линии действия силы (рис. 1.19, *а*): $M_O(\vec{F}) = \pm Fh$. Величину h называют **плечом силы.** Единица измерения момента – Н·м. Момент считается положительным, если сила $\vec{F}$ стремится повернуть тело вокруг центра в

направлении против хода часовой стрелки, и отрицательным – в обратном случае.

На рис. 1.19, *b* показаны знаки моментов сил $\vec{F}$ и $\vec{Q}$ относительно центра *O*: $M_O(\vec{F}) = +Fh_2$, $M_O(\vec{Q}) = -Qh_1$. Момент силы $\vec{R}$ относительно центра *O* равен нулю: $M_O(\vec{R}) = 0$, так как плечо силы равно нулю.

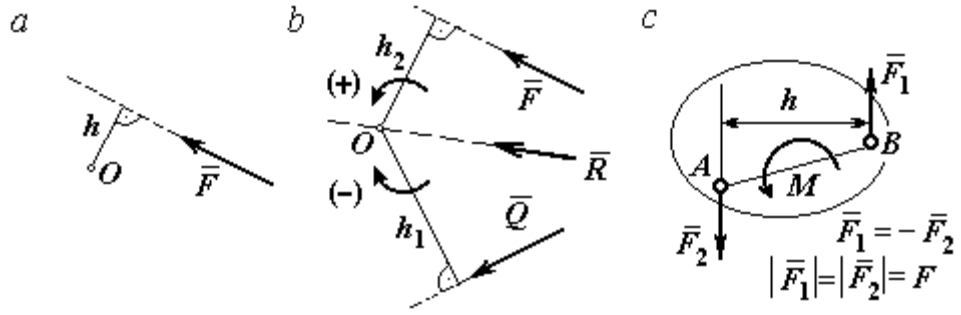


Рис. 1.19. Схемы к вычислению момента силы:
a, *b* – момент силы относительно центра; *c* – момент пары сил

Парой сил, или просто парой (рис.1.19, *c*), называют систему двух равных по модулю сил, параллельных, направленных в противоположные стороны и не лежащих на одной прямой. **Плечом пары** называют кратчайшее расстояние между линиями действия ее сил. Алгебраическим моментом пары сил, или **моментом пары,** называют взятое со знаком плюс или минус произведение модуля одной из сил пары и плеча пары. Правило знаков такое же, как и для момента силы. Пара сил, показанная на рис. 1.19, *c*, имеет плечо *h* и момент *M*: $M = F_1 h = F_2 h$. Поскольку пара сил характеризуется только ее моментом, на схемах пару часто изображают дуговой стрелкой, показывающей направление поворота твердого тела под действием пары (см. *M* на рис. 1.19, *c*).

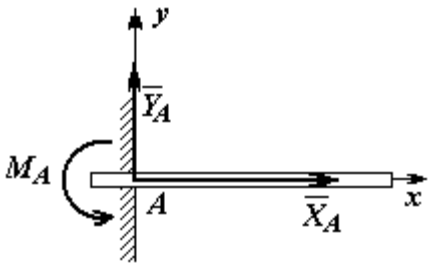


Рис. 1.20. Реакция жесткой заделки

Жесткая заделка. Такая связь (рис. 1.20) препятствует не только линейным перемещениям тела, но и повороту. Реакция жесткой заделки состоит из силы

реакции $\vec{R}_A$ и пары сил с моментом M_A. Силу реакции жесткой заделки $\vec{R}_A$ изображают ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленными вдоль координатных осей (см. рис. 1.20). Величина силы реакции $\vec{R}_A$ определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$.

При вычислении моментов сил часто применяют **теорему Вариньона** о том, что момент равнодействующей системы сил относительно любого центра равен сумме моментов всех сил этой системы относительно того же центра. На рис. 1.21 показана схема применения теоремы Вариньона. Силу $\vec{F}$ раскладываем на составляющие $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, направленные вдоль координатных осей так, что имеет место равенство $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Численно составляющие $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равны проекциям силы $\vec{F}$ на координатные оси: $F_1 = F\cos\alpha$, $F_2 = F\sin\alpha$. Для каждой из составляющих находим плечи h_1 и h_2 относительно центра *O*. Тогда (с учётом знаков) момент силы $\vec{F}$ относительно центра *O*: $M_O(\vec{F}) = M_O(\vec{F}_1) + M_O(\vec{F}_2) = F_1 h_1 + F_2 h_2$.

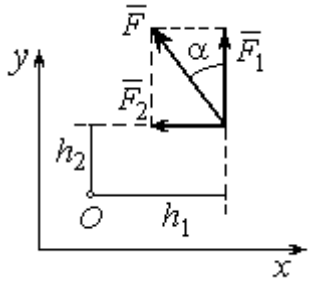


Рис.1.21. Применение теоремы Вариньона

Распределённая нагрузка. Силы, приложенные непрерывно вдоль некоторой поверхности, называются **распределенными**. Распределённая нагрузка характеризуется интенсивностью *q*. Интенсивность нагрузки, равномерно распределённой вдоль прямой, измеряется в Н/м. На рис. 1.22 приведена плоская система сил, равномерно распределённых вдоль прямой. Равнодействующая $\vec{Q}$ сил, равномерно распределённых вдоль прямой, приложена в середине отрезка действия распределённой нагрузки и по модулю равна про-

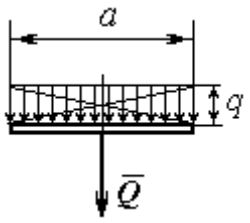


Рис. 1.22. Нагрузка, равномерно распределённая по прямой

изведению интенсивности нагрузки на длину её действия: $Q = qa$, где a – длина отрезка действия распределённой нагрузки.

Основная форма условий равновесия плоской системы сил. Для равновесия плоской системы сил необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на каждую из двух осей прямоугольной системы координат, расположенной в плоскости действия сил, были равны нулю и сумма моментов сил относительно любого центра, находящегося в плоскости действия сил, была равна нулю:

$$\sum F_{kx} = 0, \ \sum F_{ky} = 0, \ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky} – проекции всех сил на координатные оси; $M_A(\vec{F}_k)$ – моменты всех сил относительно произвольно выбранного центра A.

Примеры решения задач на равновесие произвольной плоской системы сил

Задача 7. Однородная балка AB весом P = 100 кН прикреплена к стене шарниром A (рис.1.23). Балка удерживается под углом 60° к вертикали при помощи троса, прикреплённого к балке в точке B, перекинутого через блок D и несущего груз Q. Участок троса DB образует с вертикалью угол 30°. В точке C к балке подвешен груз G весом G = 200 кН. Определить вес груза Q, удерживающий балку в равновесии, и реакцию шарнира A, пренебрегая трением в блоке, если расстояние $BC = 0{,}25BA$.

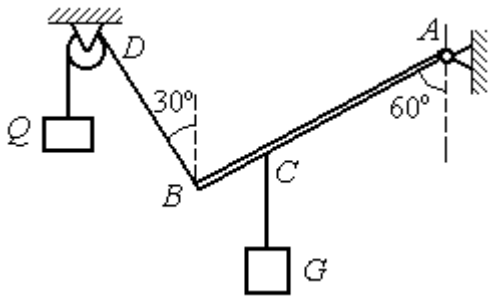


Рис. 1.23. Равновесие балки

Решение

Объектом равновесия является балка AB. На балку действуют сила тяжести $\vec{P}$, приложенная в середине отрезка AB, реакция шарнира A, представлен-

ная в виде двух составляющих $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленных вдоль координатных осей, реакция $\vec{T}_1$ нити, удерживающей груз *Q*, и реакция $\vec{T}_2$ нити, удерживающей груз *G*. Направления сил и реакций связей показаны на рис. 1.24.

Силы – $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$, $\vec{P}$, $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, действующие на балку, составляют произвольную плоскую систему. Условия равновесия произвольной плоской системы сил:

$$\sum F_{kx} = 0\,;\ \sum F_{ky} = 0\,;\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0\,.$$

Выберем систему координат *xAy,* как показано на рис. 1.24.

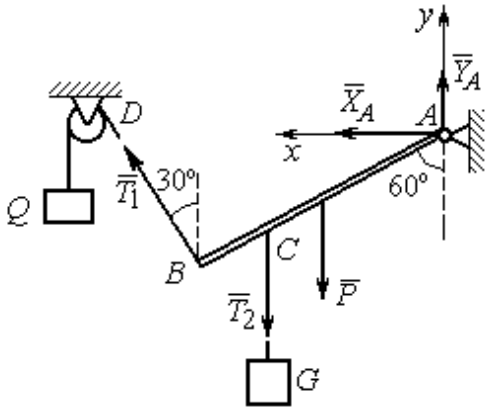


Рис. 1.24. Внешние силы и реакции связей при равновесии балки

Первые два уравнения равновесия имеют вид

$$\sum F_{kx} = X_A + T_1\cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A + T_1\cos 30^\circ - T_2 - P = 0.$$

Выберем центром точку *A* и будем вычислять моменты сил относительно этого центра. Обозначим (для удобства записи) длину $AB = \ell$. Условие равновесия балки в форме равенства нулю суммы моментов сил относительно центра *A* имеет вид

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -T_1\ell + T_2\frac{3}{4}\ell\cos 30^\circ + P\frac{1}{2}\ell\cos 30^\circ = 0.$$

Подставим данные из условия задачи, с учётом, что реакция нити, удерживающей груз *Q*, по модулю равна весу этого груза: $T_1 = Q$, а реакция нити, удерживающей груз *G*, численно равна весу груза *G*: $T_2 = G$.

Получим систему уравнений:

$$X_A + Q\cdot 0{,}5 = 0,\ \ Y_A + Q\cdot 0{,}866 - 300 = 0,\ \ -Q + 173{,}2 = 0.$$

Решая систему, найдём $Q = 173{,}2$ кН, $X_A = -86{,}6$ кН, $Y_A = 150{,}01$ кН.

Задача 8. Рама *ACE* (рис. 1.25, *a*) в точке *A* закреплена на цилиндрической шарнирной опоре, а в точке *B* поддерживается вертикальным невесомым стержнем *BK*. На раму действуют: пара сил с моментом $M = 8$ кН·м, сила $\vec{F}$, равная по модулю $F = 10$ кН, приложенная в точке *D* под углом 60° к раме, и равномерно распределенная на отрезке *AB* нагрузка интенсивностью $q = 2$ кН/м. В точке *E* под прямым углом к отрезку *CE* рамы прикреплен трос, перекинутый через блок и несущий груз $P = 20$ кН.

Пренебрегая весом балки, определить реакцию шарнира *A* и реакцию стержневой опоры *BK*, если $a = 2$ м.

Решение

Рассмотрим равновесие рамы *ACE*. Выбираем систему координат *xAy*, например, как показано на рис. 1.25, *b*.

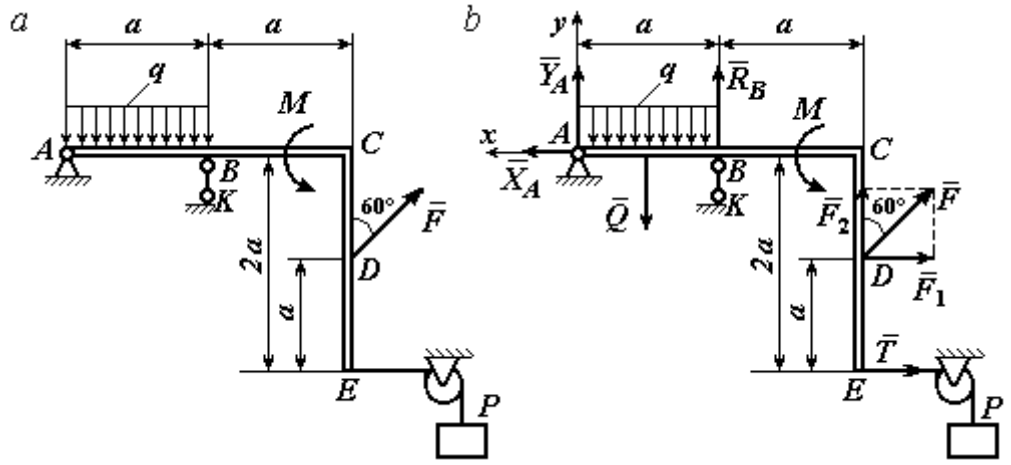


Рис. 1.25. Равновесие рамы:
a – конструкция и нагрузка рамы; *b* – внешние силы и реакции связей при равновесии рамы

Заменяем действие связей их реакциями. Изображаем реакцию $\vec{R}_A$ шарнира *A* двумя ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленными, соответственно, вдоль горизонтальной оси *Ax* и вертикальной *Ay*. Реакция $\vec{R}_B$ невесомой стержневой опоры *BK* приложена в точке *B* и направлена вдоль стержня *BK*. Действие груза *P* на раму изображается реакцией троса $\vec{T}$, модуль которой ра-

вен весу груза $T = P$. Заменяем распределенную нагрузку её равнодействующей $\vec{Q}$. Сила $\vec{Q}$ приложена в середине отрезка AB и численно равна: $Q = qa = 2 \cdot 2 = 4$ кН. На рис. 1.25, *b* показано направление внешних сил и реакций при равновесии рамы. Направление реакции стержневой опоры *BK* выбрано в предположении, что стержень сжимается.

При равновесии рамы *ACE* действующие на неё силы составляют уравновешенную произвольную плоскую систему сил ($\vec{Q}, \vec{F}, \vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{R}_B, \vec{T}, M$) ~ 0. Условия равновесия имеют вид $\sum F_{kx} = 0$; $\sum F_{ky} = 0$; $\sum M_A(\vec{F}_k) = 0$. Вычисляя проекции сил на оси *Ax*, *Ay*, первые два уравнения из условий равновесия получим в виде:

$$\sum F_{kx} = X_A - F\cos 30^\circ - T = 0; \quad \sum F_{ky} = Y_A - Q + R_B + F\cos 60^\circ = 0. \qquad (1.1)$$

При составлении третьего уравнения моменты сил будем вычислять относительно центра *A*. В этом случае линии действия сил $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, составляющих реакцию шарнира *A*, проходят через центр *A*, плечи сил равны нулю, и, следовательно, моменты этих сил относительно данного центра равны нулю: $M_A(\vec{X}_A) = 0$, $M_A(\vec{Y}_A) = 0$.

При определении момента силы $\vec{F}$ удобнее воспользоваться теоремой Вариньона. С этой целью представим вектор силы $\vec{F}$ как равнодействующую двух сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, параллельных осям *Ax* и *Ay*: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ (см. рис. 1.25, *b*). Величины сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ определяются как проекции силы *F* на оси координат: $F_1 = F\cos 30^\circ$, $F_2 = F\cos 60^\circ$. По теореме Вариньона момент силы $\vec{F}$ относительно центра *A* равен сумме моментов сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ относительно того же центра *A*: $M_A(\vec{F}) = M_A(\vec{F}_1) + M_A(\vec{F}_2) = F_1 \cdot a + F_2 \cdot 2a$.

В результате уравнение равновесия в форме моментов имеет вид

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -Q \cdot 0{,}5a + R_B a + M + F\cos 60^\circ \cdot 2a + F\cos 30^\circ \cdot a + T2a = 0. \qquad (1.2)$$

Подставляя в уравнения равновесия (1.1), (1.2) численные значения из условий задачи, получим систему уравнений относительно неизвестных X_A, Y_A, R_B. Решая эту систему, найдем: X_A= 28,66 кН; Y_A= 59,66 кН; R_B = – 60,66 кН.

Отрицательное значение величины R_B означает, что фактическое направление реакции $\vec{R}_B$ стержневой опоры BK противоположно направлению, показанному на рис. 1.25, *b*, т. е. стержень BK растягивается. Реакция шарнирной опоры *A* – сила $\vec{R}_A$ – находится как геометрическая (векторная) сумма сил $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$. Величина реакции $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = \sqrt{28{,}66^2 + 59{,}66^2} = 66{,}18$ кН.

Задача 9. Прямоугольная рама *ABCED* (рис. 1.26) в точке *A* закреплена жёсткой заделкой. В точке *E* к раме прикреплена нить, составляющая угол 60º к горизонту. Другой конец нити, переброшенный через невесомый блок, несёт груз весом *P* = 15 кН. На раму действуют: пара сил с моментом M = 12 кН·м, сила $\vec{F}$, равная по модулю *F* = 10 кН, приложенная в точке *C* под углом 30° к горизонтальному участку рамы *BE*, и равномерно распределенная на отрезке *BC* нагрузка интенсивностью *q* = 2 кН/м. В точке *D* под углом 60° к горизонту на раму действует сила $\vec{G}$, численно равная 20 кН.

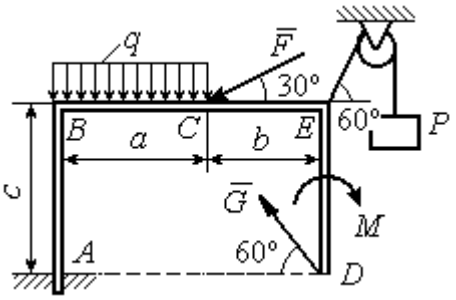


Рис. 1.26. Конструкция рамы

Пренебрегая весом рамы, определить реакцию жесткой заделки в точке *A*, если размеры рамы: *a* = 2 м, *b* = 1 м, *c* = 5 м.

Решение

Объектом равновесия является рама *ABCED.* Связями в данной конструкции являются жесткая заделка рамы в точке *A* и нить, натянутая грузом *P.* Заменяем действие связей их реакциями. Изображаем реакцию жесткой заделки в точке *A* в виде силы, которую представим двумя ее составляющими $-\vec{X}_A$ и

$\vec{Y}_A$, и парой сил с моментом M_A (рис. 1.27). Реакция нити $\vec{T}$, приложенная к раме в точке *E*, направлена вдоль нити и численно равна весу груза $T = P$. Заменяем распределенную нагрузку её равнодействующей $\vec{Q}$. Сила $\vec{Q}$ приложена в середине отрезка *AB* и численно равна: $Q = qa = 4$ кН.

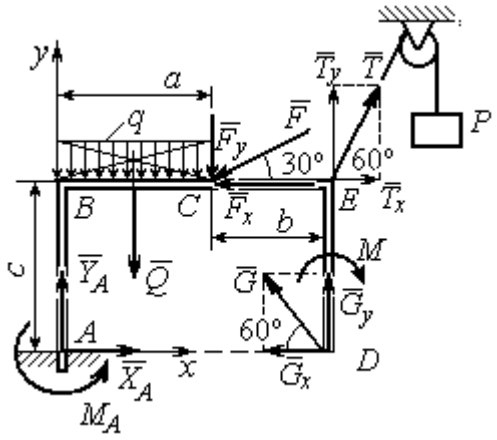


Рис. 1.27. Внешние силы и реакции связей при равновесии рамы

Действующие на раму силы составляют уравновешенную произвольную плоскую систему сил: $(\vec{Q}, \vec{F}, \vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{G}, \vec{T}, M) \sim 0$. Условия равновесия для такой системы сил: $\sum F_{kx} = 0$; $\sum F_{ky} = 0$; $\sum M_A(\vec{F}_k) = 0$.

Выбираем систему координат *xAy*, например, как показано на рис. 1.27, и составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = X_A - F\cos 30^\circ + T\cos 60^\circ - G\cos 60^\circ = 0; \quad (3)$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - Q - F\cos 60^\circ + T\cos 30^\circ + G\cos 30^\circ = 0. \quad (4)$$

Моменты сил будем вычислять относительно центра *A*. В этом случае моменты сил $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$ равны нулю: $M_A(\vec{X}_A) = 0$; $M_A(\vec{Y}_A) = 0$.

При определении момента силы $\vec{F}$ удобно воспользоваться теоремой Вариньона. С этой целью представим вектор силы $\vec{F}$ как равнодействующую двух сил $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$, параллельных осям *Ax* и *Ay*: $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$ (см. рис. 1.27). Величины сил $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$ определяются как проекции силы $\vec{F}$ на оси координат: $F_x = F\cos 30^\circ$, $F_y = F\cos 60^\circ$. Плечо вектора силы $\vec{F}_x$ относительно центра *A* равно *c* (как длина перпендикуляра, проведённого из центра *A* на линию действия силы $\vec{F}_x$), плечом силы $\vec{F}_y$ является расстояние *a*. По теореме Вариньона

момент силы $\vec{F}$ относительно центра A равен алгебраической сумме моментов сил $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$ относительно того же центра:

$$M_A(\vec{F}) = M_A(\vec{F}_x) + M_A(\vec{F}_y) = F_x \cdot c - F_y \cdot a = F\cos 30^\circ \cdot c - F\cos 60^\circ \cdot a .$$

Аналогично вычисляем моменты сил $\vec{G}$ и $\vec{T}$: $M_A(\vec{G}) = G\cos 30^\circ \cdot (a+b)$; $M_A(\vec{T}) = -T\cos 60^\circ \cdot c + T\cos 30^\circ \cdot (a+b)$. В результате уравнение моментов имеет вид:

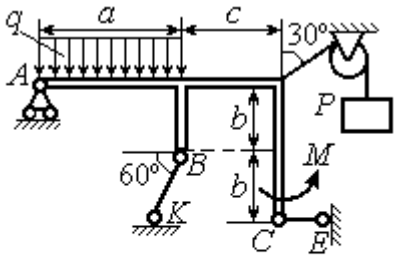
$$\sum M_A(\vec{F}_k) = F\cos 30^\circ \cdot c - F\cos 60^\circ \cdot a - T\cos 60^\circ \cdot c + T\cos 30^\circ \cdot (a+b) +$$

$$+ G\cos 30^\circ \cdot (a+b) - Q\frac{a}{2} - M + M_A = 0. \qquad (1.5)$$

Подставляя в уравнения равновесия (1.3) – (1.5) численные значения из условий задачи, получим систему уравнений относительно неизвестных X_A, Y_A, M_A, откуда найдём значения реакций: X_A= 11,16 кН; Y_A= –21,31 кН; M_A = –70,73 Н·м. Знаки показывают, что составляющая $\vec{Y}_A$ силы реакции жёсткой заделки и момент реакции M_A направлены в противоположную сторону. Величина силы реакции жесткой заделки $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$ = 24,05 кН.

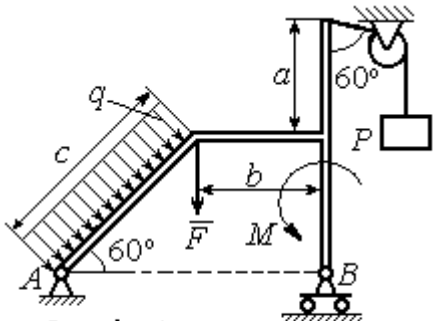
Упражнения

Упражнение 1.1



a = 3 м, b = 1 м, c = 2 м,
P = 15 кН, M = 3 кНм, q = 5 кН/м.
Найти реакцию стержней BK, CE
и реакцию шарнира A

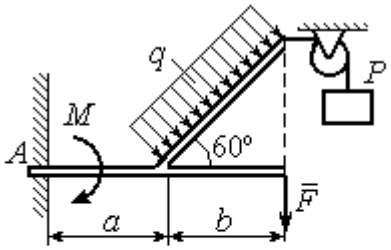
Упражнение 1.2



a = 2 м, b = 1 м, c = 3 м,
M = 3 кНм, q = 3 кН/м,
P = 2 кН, F = 4 кН.
Найти реакцию шарниров A и B

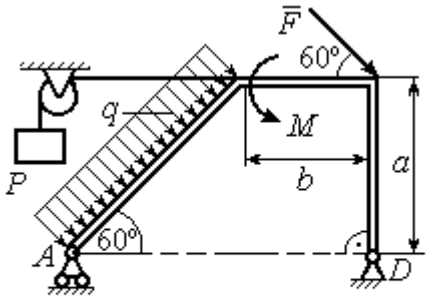
Рис. 1.28. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.1, 1.2

Упражнение 1.3



$a = 1$ м, $b = 2$ м, $F = 2$ кН,
$P = 3$кН, $M = 3$ кН·м,
$q = 2$ кН/м
Найти реакцию жесткой заделки

Упражнение 1.4



$a = 3$ м, $b = 1$ м, $P = 2$ кН, $F = 3$ кН,
$M = 3$ кН·м, $q = 2$ кН/м.
Найти реакцию шарниров A и D

Рис. 1.29. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.3, 1.4

1.4. Равновесие систем тел

Связи, соединяющие части конструкции, называются **внутренними** в отличие от **внешних** связей, скрепляющих конструкцию с внешними телами, не входящими в данную конструкцию.

Одним из способов решения задач на равновесие сил, действующих на сочленённую конструкцию, является **разбиение конструкции на отдельные тела** и составление уравнений равновесия для каждого из тел, входящих в конструкцию. В уравнения равновесия будут входить только силы, непосредственно приложенные к телу, равновесие которого рассматривается. **При этом реакции внутренних связей, приложенные к разным телам, будут попарно равны по модулю и противоположны по направлению.**

Примеры решения задач на равновесие систем тел

Задача 10. Диск весом Q = 100 кН опирается на вертикальную стенку и на наклонную балку AB. На диск действует сила $\vec{F}$, равная по величине 50 кН (рис. 1.30). Линия действия силы $\vec{F}$ проходит через центр диска под углом 30º к его вертикальному диаметру.

Однородная балка AB весом $G = 80$ кН закреплена в точке A шарнирно и удерживается под углом 60º к стене при помощи вертикального троса, один конец которого закреплён на балке в точке B, а другой – переброшен через блок и несёт груз весом P. Определить давление диска на стенку и на балку, реакцию шарнира A и вес груза P, удерживающий конструкцию в равновесии, если длина балки AB $\ell = 6$ м, радиус диска $r = 1$ м.

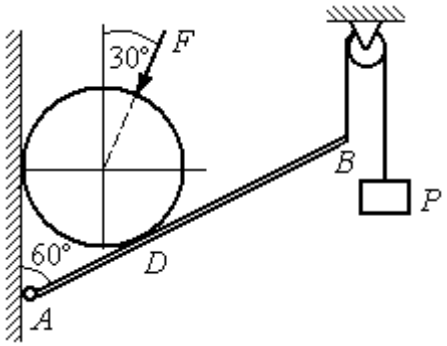


Рис. 1.30. Равновесие составной конструкции

Решение

Объект равновесия включает балку и диск и представляет собой составную конструкцию. Опора диска на балку в точке D является внутренней связью конструкции. Рассмотрим равновесие диска и балки отдельно.

Освобождаем диск от связей. На диск действует сила веса $\vec{Q}$, сила $\vec{F}$ и реакции $\vec{N}$ и $\vec{R}$ опор диска на стену в точке K и на балку в точке D (рис. 1.31). Силы, приложенные к диску, составляют плоскую систему сходящихся сил. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.31, и составим уравнения равновесия:

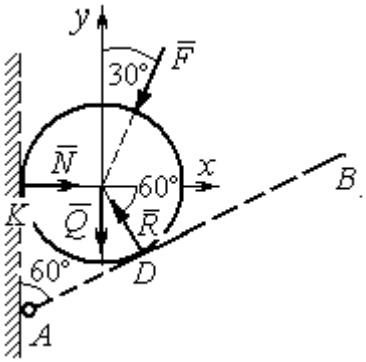


Рис. 1.31. Внешние силы и реакции связей при равновесии диска

$$\sum F_{kx} = -F\cos 60^\circ - R\cos 60^\circ + N = 0; \quad (1.6)$$

$$\sum F_{ky} = -F\cos 30^\circ + R\cos 30^\circ - Q = 0. \quad (1.7)$$

Рассмотрим равновесие балки AB (рис. 1.32).

На балку действуют сила тяжести $\vec{G}$, реакция шарнира A, (на рис. 1.32 показано её разложение на составляющие $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$), реакция нити $\vec{T}$, численно равная весу груза P, и сила $\vec{R}'$ давления диска на балку. Сила давления $\vec{R}'$ про-

тивоположна реакции $\vec{R}$ опоры диска на балку и численно равна ей. Система сил ($\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{G}, \vec{T}, \vec{R}'$), действующих на балку, является произвольной плоской. Условия равновесия такой системы сил: $\sum F_{kx} = 0$; $\sum F_{ky} = 0$; $\sum M_A(\vec{F}_k) = 0$.

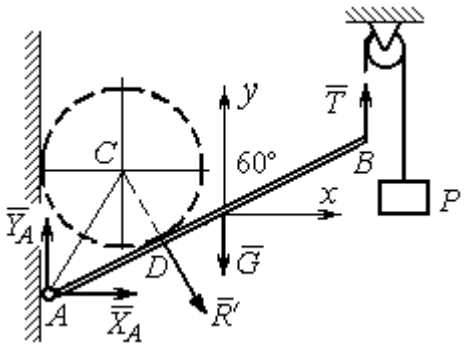


Рис. 1.32. Силы, действующие на балку, при равновесии

Выберем оси, как показано на рис. 1.32, и составим уравнения равновесия, полагая точку A центром, относительно которого производятся вычисления моментов сил:

$$\sum F_{kx} = X_A + R'\cos 60^\circ = 0, \tag{1.8}$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - R'\cos 30^\circ - G + T = 0, \tag{1.9}$$

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -R' \cdot AD - G \cdot \frac{\ell}{2}\cos 30^\circ + T\ell\cos 30^\circ = 0. \tag{1.10}$$

Добавив к уравнениям (1.8) – (1.10) равновесия балки AB уравнения (1.6), (1.7) равновесия диска с учётом, что $R' = R$, получим систему пяти уравнений с пятью неизвестными. Подставляя данные из условия задачи и решая совместную систему, найдём: $R = 165{,}47$ кН; $N = 107{,}74$ кН; $P = 95{,}26$ кН; $X_A = -82{,}73$ кН; $Y_A = 128{,}03$ кН.

Сила давления диска на стену равна модулю реакции опоры $\vec{N}$ и направлена в противоположную сторону, сила давления диска на балку равна $\vec{R}'$.

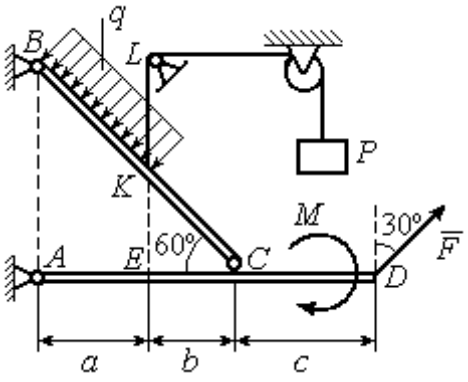


Рис.1.33. Равновесие кронштейна как сочленённой конструкции

Задача 11. Кронштейн состоит из горизонтальной балки AD, прикрепленной к вертикальной стене в точке A, и откоса BC, соединённого с балкой AD в точке C под углом 60º и прикреплённого к вертикальной стене в точке B (рис. 1.33). Все соедине-

ния шарнирные. На конструкцию действуют сила $\vec{F}$, приложенная в точке D под углом 30º к вертикали и равная по модулю F =10 кН, пара сил с моментом M = 8 кН·м и равномерно распределенная на отрезке BK нагрузка интенсивностью q = 3 кН/м. В точке K к балке BC прикреплена нить, другой конец которой, переброшенный через невесомые блоки, несёт груз весом P = 5 кН (см. рис. 1.33).

Определить реакции шарниров A, B и C, если a = 2 м, b = 1 м, c = 3 м, а на отрезке KL нить натянута вертикально.

Решение

Рассмотрим равновесие каждой из составных частей конструкции – балки BC и балки AD. Освобождаем балки от связей и заменяем их реакциями (рис. 1.34).

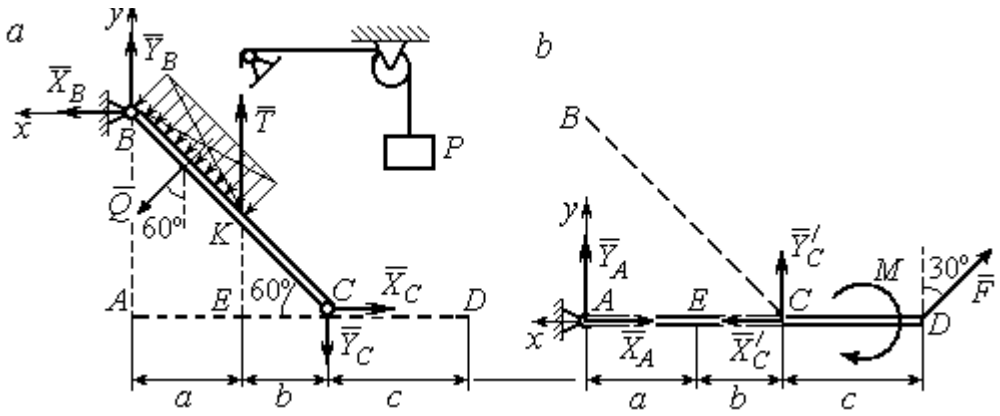


Рис. 1.34. Равновесие элементов конструкции кронштейна:
a - силы, действующие на балку *BC*; *b* - силы, действующие на балку *AD*

На рис. 1.34, *a* показаны реакции внешних и внутренних связей балки BC: реакция $\vec{R}_B$ шарнира B, реакция нити $\vec{T}$, равная по величине весу груза, $T = P$ и реакция $\vec{R}_C$ внутреннего шарнира C. Реакции шарниров B и C представлены в виде разложения на составляющие $\vec{X}_B$, $\vec{Y}_B$ и $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$. Заменяем равномерную нагрузку равнодействующей силой $\vec{Q}$, приложенной в середине отрезка BK (см. рис. 1.34, *a*) и численно равной $Q = q \cdot BK = q \cdot \dfrac{a}{\cos 60^\circ} = q \cdot 2a$.

Система сил ($\vec{Q}$, $\vec{X}_B, \vec{Y}_B, \vec{X}_C, \vec{Y}_C, \vec{T}$), действующая на балку *BC*, является произвольной плоской уравновешенной системой сил. Выберем оси координат *xBy*, как показано на рис. 1.34, *a*, и составим уравнения равновесия. При этом моменты сил будем вычислять относительно центра *C*:

$$\sum F_{kx} = X_B + Q\cos 30^\circ - X_C = 0; \tag{1.11}$$

$$\sum F_{ky} = Y_B - Q\cos 60^\circ + T - Y_C = 0; \tag{1.12}$$

$$\sum M_C(\vec{F}_k) = X_B \cdot AB - Y_B(a+b) - Tb + Q\left(CK + \frac{1}{2}BK\right) = 0, \tag{1.13}$$

где $AB = (a+b)\mathrm{tg}60^\circ$; $CK = 2b$; $\frac{1}{2}BK = a$.

Рассмотрим равновесие балки *AD* (рис. 1.34, *b*).

На балку действует сила $\vec{F}$, реакция $\vec{R}_A$ шарнира *A* и реакция $\vec{R}'_C$ внутреннего шарнира *C*. Реакция $\vec{R}'_C$ равна по величине и противоположна по направлению реакции $\vec{R}_C$. На рис. 1.34, *b* реакция $\vec{R}_A$ представлена составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, реакция $\vec{R}'_C$ – составляющими $\vec{X}'_C$ и $\vec{Y}'_C$. При этом следует отметить: $\vec{X}'_C = -\vec{X}_C$; $\vec{Y}'_C = -\vec{Y}_C$.

Выберем оси координат *xAy* как показано на рис. 1.34, *b*, и составим уравнения равновесия балки *AD*, вычисляя моменты сил относительно центра *C*:

$$\sum F_{kx} = -X_A + X'_C - F\cos 60^\circ = 0; \tag{1.14}$$

$$\sum F_{ky} = Y_A + Y'_C + F\cos 30^\circ = 0; \tag{1.15}$$

$$\sum M_C(\vec{F}_k) = -Y_A(a+b) + F\cos 30^\circ \cdot c - M = 0. \tag{1.16}$$

Решая совместно систему уравнений (1.11) – (1.16) с учётом исходных данных задачи и равенства модулей сил $X_C = X'_C$ и $Y_C = Y'_C$, находим:

$$X_A = 5{,}99 \text{ кН}, \; Y_A = 5{,}99 \text{ кН}, \; X_C = 10{,}99 \text{ кН}, \; Y_C = -14{,}65 \text{ кН};$$

$$X_B = 0{,}6 \text{ кН}, \; Y_B = -13{,}65 \text{ кН},$$

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = 8{,}47 \text{ кН}, \; R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} = 18{,}31 \text{ кН},$$

$$R_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2} = 13{,}65 \text{ кН}.$$

Задача 12. Вертикальная балка AB с горизонтальной перекладиной LC закреплена в точке A с помощью жесткой заделки (рис. 1.35). Наклонная балка EC с углом наклона к горизонту 60° точке C шарнирно прикреплена к горизонтальной перекладине LC балки AB, а в точке E опирается на каток установленный на горизонтальной поверхности. На конструкцию действуют равномерно распределенная на отрезках BL и DE нагрузка с одинаковой интенсивностью $q = 2$ кН/м, сила $\vec{F}$, приложенная в точке D перпендикулярно балке EC и равная по величине $F = 10$ кН, и пара сил с моментом $M = 5$ кН·м. Определить реакцию жесткой заделки A и реакции шарниров C и E, если параметр a, определяющий размеры конструкции, равен $a = 2$ м.

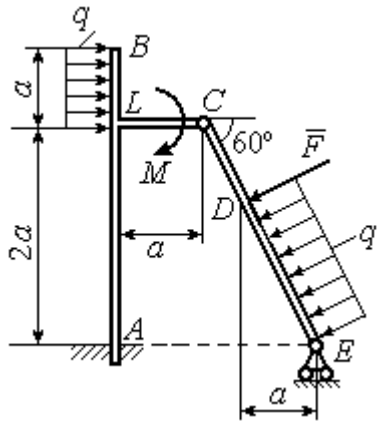


Рис. 1.35. Равновесие сочленённой конструкции

Решение

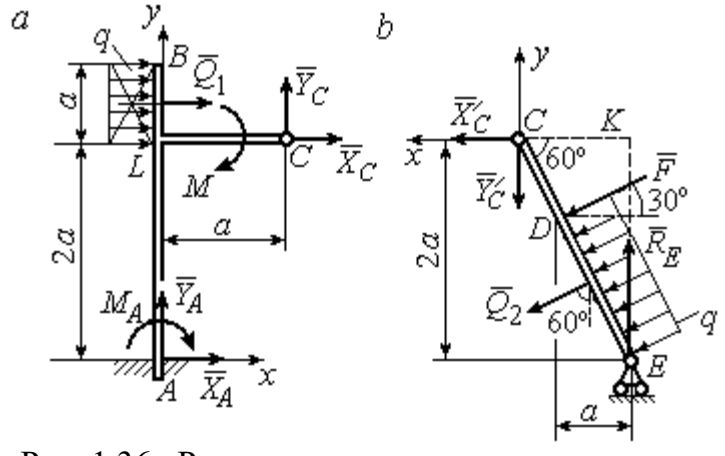


Рис. 1.36. Равновесие элементов конструкции:
a - силы и реакции связей, действующие на балку AB;
b - силы и реакции связей, действующие на балку CE

Разделим систему на две части по шарниру C и рассмотрим равновесие балок ABC и EC отдельно.

Рассмотрим балку ABC (рис. 1.36, *a*). Заменим распределенную нагрузку эквивалентной силой $\vec{Q}_1$, численно равной $Q_1 = qa = 4$ кН. На балку действует сила $\vec{Q}_1$, пара сил с моментом M и реакции связей – жёсткой заделки в точке A и шарнира C.

На рис. 1.36, *a* изображена реакция жесткой заделки в точке *A* в виде силы, разложенной на составляющие $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, и пары с моментом M_{A}. Реакция $\vec{R}_C$ шарнира *C* показана разложением на составляющие $\vec{X}_C, \vec{Y}_C$. Силы образуют произвольную плоскую систему.

Введём систему координат, как показано на рис. 1.36, *a,* и составим уравнения равновесия балки, выбрав центром вычисления моментов сил точку *A*.

Имеем систему

$$\sum F_{kx} = X_A + Q_1 + X_C = 0; \quad \sum F_{ky} = Y_A + Y_C = 0; \tag{1.17}$$

$$\sum M_A\left(\vec{F}_k\right) = -M_A - Q_1 \cdot \left(2a + \frac{a}{2}\right) - M + Y_C a - X_C 2a = 0. \tag{1.18}$$

Рассмотрим теперь равновесие балки *EC* (рис. 1.36, *b*). Заменим распределённую нагрузку эквивалентной силой $\vec{Q}_2$, приложенной в середине отрезка *ED* и равной $Q_2 = \dfrac{qa}{\cos 60^\circ} = q \cdot 2a = 8\,\text{кН}$. На балку действуют силы $\vec{Q}_2$, $\vec{F}$, реакция $\vec{R}_E$ подвижной опоры – катка *E* и реакция $\vec{R}'_C$ шарнира *C*. На рис. 1.36, *b* реакция $\vec{R}'_C$ показана в виде разложения на составляющие $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$. При этом силы $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$ направлены противоположно силам $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$ и равны им по модулю: $X_C = X'_C$; $Y_C = Y'_C$ (см. рис. 1.36, *a*, *b*).

Действующие на балку *EC* силы образуют уравновешенную произвольную плоскую систему сил. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.36, *b,* и составим уравнения равновесия, вычисляя моменты сил относительно центра *C*. Получим:

$$\sum F_{kx} = Q_2 \sin 60^\circ + F\cos 30^\circ + \vec{X}'_C = 0, \tag{1.19}$$

$$\sum F_{ky} = R_E - Q_2 \cos 60^\circ - F\sin 30^\circ - Y'_C = 0, \tag{1.20}$$

$$\sum M_C\left(\vec{F}_k\right) = -F \cdot \left(\frac{2a}{\cos 30^\circ} - 2a\right) - Q_2 \cdot \left(\frac{2a}{\cos 30^\circ} - a\right) + R_E \cdot 2a\,\text{tg}30^\circ = 0. \tag{1.21}$$

Подставим в совместную систему (1.17) – (1.21) исходные данные задачи и, воспользовавшись тем, что модули сил $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$ и $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$ равны, найдём:

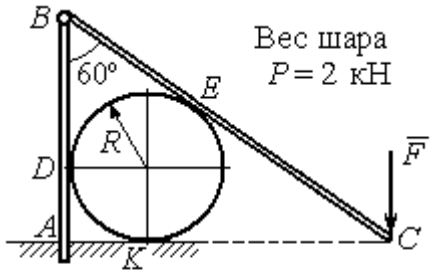
$$X_A = 11{,}59 \text{ кН}; \quad Y_A = -2{,}76 \text{ кН}; \quad M_A = 42{,}87 \text{ кН·м};$$

$$X_C = -15{,}59 \text{ кН}; \quad Y_C = 2{,}76 \text{ кН}; \quad R_E = 11{,}76 \text{ кН}.$$

Полные величины сил реакции жесткой заделки и взаимного давления в шарнире C: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = 11{,}91$ кН; $R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} = 15{,}83$ кН.

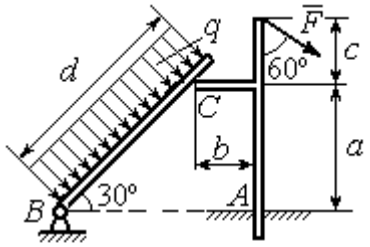
Упражнения

Упражнение 1.5



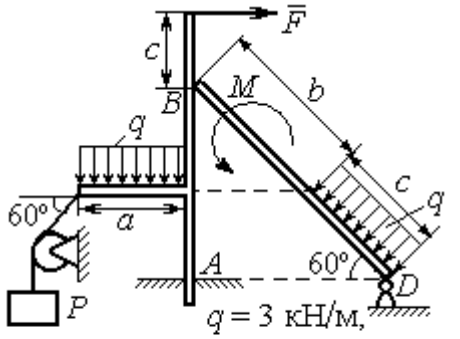
$R = 1$ м, $F = 8$ кН.
Найти реакцию жесткой заделки в точке A, реакцию шарнира B, реакцию опоры шара в точках D, K, E

Упражнение 1.6



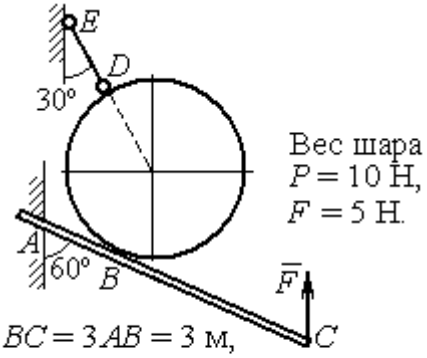
$a = 2$ м, $b = 1$ м, $c = 1$ м, $d = 5$ м,
$q = 3$ кН/м, $F = 4$ кН.
Найти реакцию жесткой заделки в точке A, реакцию шарнира B и реакцию опоры в точке C

Упражнение 1.7



$q = 3$ кН/м,
$F = 4$ кН, $P = 3$ кН, $M = 2$ кН·м,
$a = 2$м, $b = 3$м, $c = 1$м
Найти реакцию заделки A, шарнира D и реакцию опоры B

Упражнение 1.8



$BC = 3AB = 3$ м,
Найти реакцию жесткой заделки A, реакцию стержня DE и реакцию опоры в точке B

Рис. 1.37. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.5 – 1.8

1.5. Произвольная пространственная система сил

Моментом силы относительно оси называют момент вектора проекции этой силы на плоскость, перпендикулярную оси, относительно точки пересечения оси с плоскостью. На рис. 1.38 показано вычисление момента силы $\vec{F}$ относительно оси z:

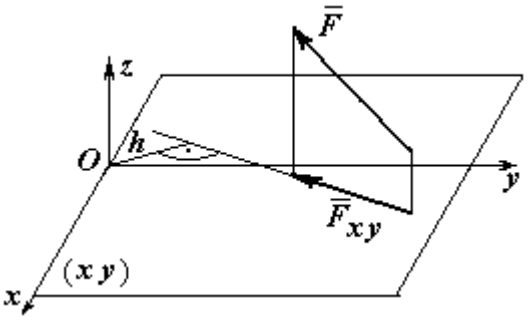


Рис. 1.38. Момент силы относительно оси

$$M_z(\vec{F}) = M_O(\vec{F}_{xy}) = F_{xy}h,$$

где O – точка пересечения оси z с плоскостью xy, перпендикулярной оси z; $\vec{F}_{xy}$ – вектор проекции силы $\vec{F}$ на плоскость xy; h – плечо силы $\vec{F}_{xy}$ относительно центра O. Момент силы относительно оси считается положительным, если при взгляде с положительного направления оси он создаёт вращение против хода часовой стрелки.

Равновесие пространственной системы сил. Для равновесия пространственной системы сил необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на оси прямоугольной системы координат x, y, z были равны нулю и суммы моментов всех сил относительно тех же осей также были равны нулю:

$$\sum F_{kx} = 0;\ \sum F_{ky} = 0;\ \sum F_{kz} = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = 0;\quad \sum M_y(\vec{F}_k) = 0;\quad \sum M_z(\vec{F}_k) = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси; $M_x(\vec{F}_k)$, $M_y(\vec{F}_k)$, $M_z(\vec{F}_k)$ – моменты всех сил относительно выбранных осей, $k = 1, 2, ...$

Примеры решения задач на равновесие пространственных систем сил

Задача 13. Горизонтальный вал (рис. 1.39) закреплен в подпятнике C и подшипнике K. Вал имеет шкив B радиуса R и шкив D радиуса r.

Оба шкива перпендикулярны оси вала. Рукоять *AE* параллельна оси *Cx*.

Нить, удерживающая груз *Q*, сходит со шкива *D* по касательной в точке *L* параллельно плоскости *zCx*, так что радиус шкива *D*, проведённый в точку схода нити, составляет с вертикальным диаметром угол 30º.

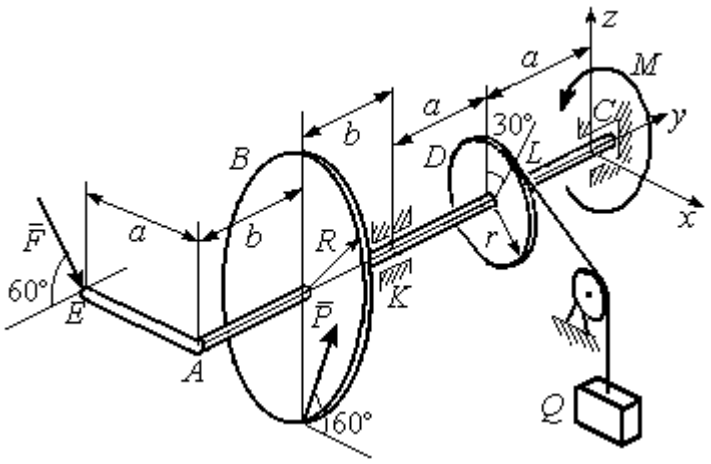


Рис. 1 39. Равновесие вала

На вал действуют силы: $\vec{F}$, $\vec{P}$ и пара сил с моментом *M*. Сила $\vec{F}$ находится в плоскости, параллельной *zCy*, и составляет угол 60° с направлением оси *Cy*. Сила $\vec{P}$ приложена в нижней точке шкива *B*, параллельна плоскости *zCx* и составляет угол 60° с направлением оси *Cx*. Определить вес удерживаемого груза Q и реакции подшипника и подпятника, если $P = 4$ кН; $F = 2$ кН; $M = 3$ кН·м; $R = 0{,}6$ м; $r = 0{,}3$ м; $a = 0{,}8$ м; $b = 0{,}4$ м.

Решение

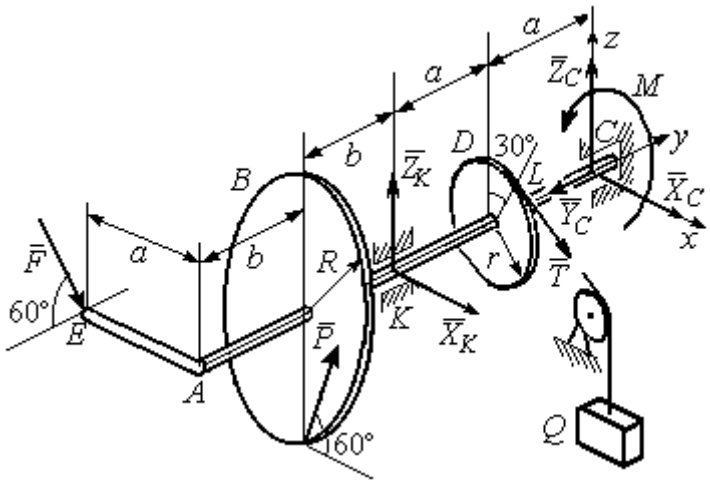


Рис. 1.40. Активные силы и реакции связей, действующие на вал, при его равновесии

Рассмотрим равновесие вала. На вал действуют активные силы $\vec{F}$, $\vec{P}$, пара с моментом *M* и реакции связей. Связями являются нить, натянутая грузом Q, подпятник *C* и подшипник *K*. Освобождаем вал от связей, заменяя их действие реакциями. Реакцию $\vec{R}_C$ подпятника *C* раскладываем на три составляющие: $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$, $\vec{Z}_C$, направленные вдоль координатных осей (рис. 1.40). Реакция $\vec{R}_K$ подшипника *K* лежит в плоскости, пер-

пендикулярной оси вала, и ее составляющими будут вектора $\vec{X}_K, \vec{Z}_K$, направленные вдоль координатных осей *x*, *z*. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити от точки *L* и по модулю равна весу груза *Q*.

Активные силы и реакции связей составляют произвольную пространственную уравновешенную систему сил. При составлении уравнений равновесия изобразим вал вместе с действующими на него силами в проекциях на координатные плоскости (рис. 1.41).

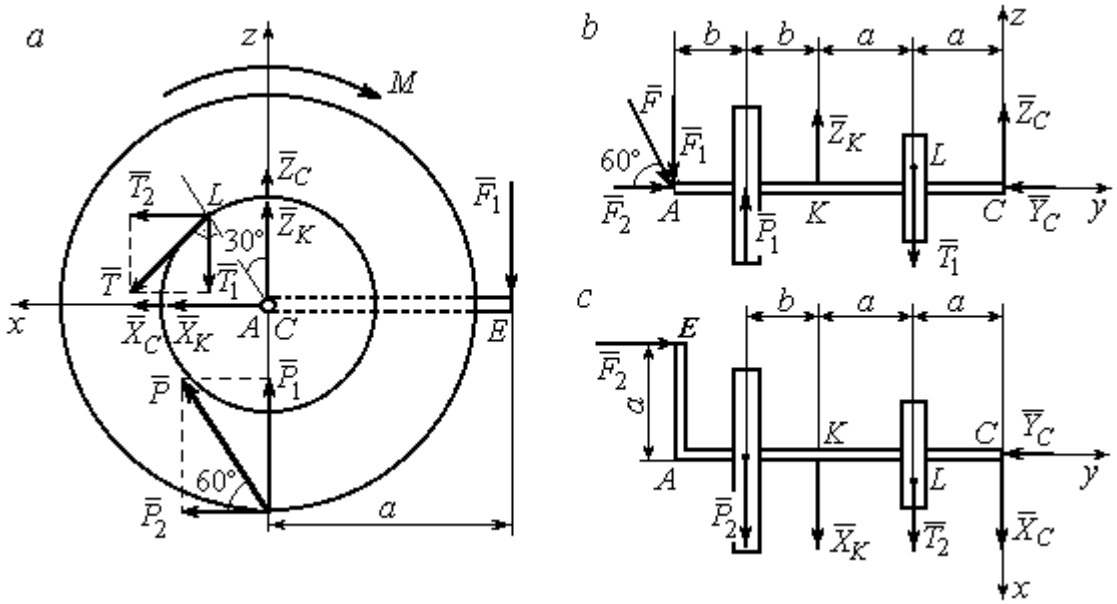


Рис. 1.41. Вал и действующие на него силы в проекциях на координатные плоскости:
a – вид вала в проекции на плоскость *zCx* с положительного конца оси *y*;
b – вид вала в проекции на плоскость *zCy* с положительного конца оси *x*;
c – вид вала в проекции на плоскость *xCy* с положительного конца оси *z*

На рис. 1.41, *a* показаны проекции вала и всех сил на плоскость *zCx*. Вычисляя моменты проекций сил относительно точки *C*, получим значения моментов этих сил относительно оси *y*. При вычислении моментов сил относительно оси *x* достаточно вычислить моменты проекций сил на плоскость *zCy* относительно точки *C* (рис. 1.41, *b*), а вычисляя моменты проекций сил на

плоскость *xCy* относительно точки *C*, получим значения моментов сил относительно оси *z* (рис. 1.41, *c*).

Величины проекций сил определяются равенствами: $P_1 = P\cos 30^\circ$;

$P_2 = P\cos 60^\circ$; $T_1 = T\cos 60^\circ$; $T_2 = T\cos 30^\circ$; $F_1 = F\cos 30^\circ$; $F_2 = F\cos 60^\circ$.

Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = P\cos 60^\circ + X_K + T\cos 30^\circ + X_C = 0; \quad \sum F_{ky} = F\cos 60^\circ - Y_C = 0;$$

$$\sum F_{kz} = P\cos 30^\circ + Z_K - T\cos 60^\circ + Z_C - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = T\cos 60^\circ \cdot a - Z_K \cdot 2a - P\cos 30^\circ \cdot (2a + b) +$$

$$+ F\cos 30^\circ \cdot (2a + 2b) = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = -F\cos 30^\circ \cdot a - P\cos 60^\circ \cdot R + T \cdot r - M = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = T\cos 30^\circ \cdot a + X_K \cdot 2a + P\cos 60^\circ \cdot (2a + b) - F\cos 60^\circ \cdot a = 0.$$

Подставляя исходные данные задачи, получим систему шести уравнений с шестью неизвестными, решая которую, найдём:

$$X_C = -8{,}09 \text{ кН}, \; Y_C = 1 \text{ кН}, \; Z_C = 4{,}65 \text{ кН}, \; Z_K = 2{,}92 \text{ кН};$$

$$X_K = -10{,}02 \text{ кН}, \; T = 18{,}6 \text{ кН}.$$

Реакции подпятника и подшипника:

$$R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2 + Z_C^2} = 9{,}4 \text{ кН}, \; R_K = \sqrt{X_K^2 + Z_K^2} = 10{,}44 \text{ кН}.$$

Вес удерживаемого груза *Q* равен реакции нити *T*.

Задача 14. Однородная прямоугольная плита (рис. 1.42) веса 25 кН прикреплена к полу при помощи шарового шарнира *A*, подшипника *B* и удерживается в вертикальном положении стержнем *CO*, лежащим в плоскости, перпендикулярной плоскости плиты так, что $\angle COB = 60^\circ$. В плоскости плиты на неё действуют пара сил с моментом $M = 6$ кН·м, сила $\vec{F}_1$, равная $F_1 = 10$ кН, приложенная на верхней стороне плиты в точке *H* под углом 30º к линии *EC*, и сила $\vec{F}_2$, равная $F_2 = 5$ кН, приложенная в точке *D* параллельно стороне *AB*.

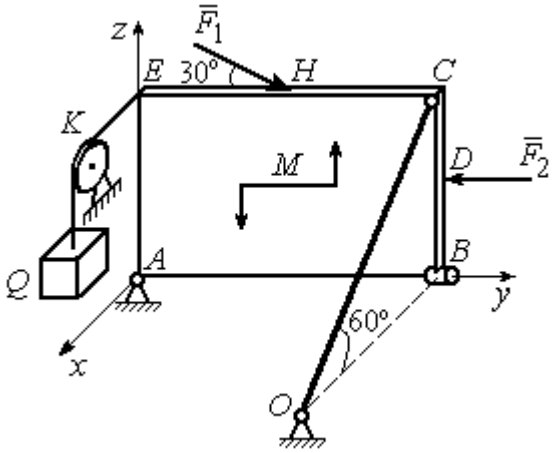


Рис. 1.42. Равновесие плиты

В точке E к плите прикреплён трос, на другом конце которого, перекинутым через блок K, подвешен груз весом $Q = 20$ кН. Отрезок троса EK перпендикулярен плоскости плиты.

Определить реакции шарнира A, подшипника B и реакцию стержня CO, если ширина плиты $AB = 3$ м; высота $AE = 2$ м; $EH = HC$, $CD = DB$.

Решение

Рассмотрим равновесие плиты $ABCE$. На плиту действуют активные силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, сила тяжести плиты $\vec{P}$, пара сил с моментом M и реакции связей. Связями являются пространственный шарнир A, нить, натянутая грузом Q, подшипник B и невесомый стержень CO.

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.43. Освобождаем плиту от связей, заменяя их действие реакциями. Реакцию $\vec{R}_A$ шарнира A раскладываем на три составляющие: $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, $\vec{Z}_A$, направленные вдоль координатных осей. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити параллельно оси Ax и равна весу груза $T = Q$, реакция $\vec{R}_B$ подшипника B расположена в плоскости, перпендикулярной оси Ay, и представлена в виде двух своих составляющих $\vec{X}_B$, $\vec{Z}_B$, реакция $\vec{S}$ невесомого стержня CO направлена вдоль стержня. Направления активных сил и реакций связей показаны на рис. 1.43.

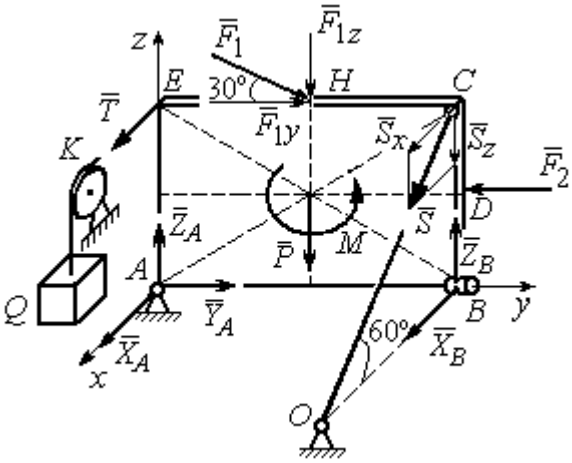


Рис. 1.43. Силы, действующие на плиту, при её равновесии

Силы, действующие на плиту, и реакции связей составляют пространственную уравновешенную систему сил. Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = X_A + T + X_B + S\cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - F_2 + F_1\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kz} = Z_A - F_1\cos 60^\circ - P + Z_B - S\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = -F_1\cos 60^\circ \cdot 0{,}5 \cdot AB - F_1\cos 30^\circ \cdot AE - P \cdot 0{,}5 \cdot AB +$$

$$+ F_2 \cdot BD + Z_B \cdot AB - S\cos 30^\circ \cdot AB + M = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = T \cdot AE + S\cos 60^\circ \cdot CB = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = -X_B \cdot AB + S\cos 60^\circ \cdot EC = 0.$$

Подставляя исходные данные задачи, получим систему уравнений, решая которую, найдём значения реакций: $S = -40$ кН; $X_B = -20$ кН; $Z_B = -17{,}53$ кН; $X_A = 20$ кН; $Y_A = -3,66$ кН; $Z_A = 12{,}89$ кН.

Задача 15. Прямоугольная фрамуга *ACEB* весом $P = 50$ Н, закрепленная в точках *A* и *B* цилиндрическими шарнирами, открыта на угол 60º (рис. 1.44). На фрамуге в точке *H* закреплена верёвка, другой конец которой, переброшенный через невесомый блок *K*, несёт груз *Q*. При этом линия верёвки *HK* параллельна прямой *ED*. На фрамугу действует сила $\vec{F}$, приложенная в верхнем углу в точке *C* перпендикулярно плоскости фрамуги и равная по величине $F = 15$ Н.

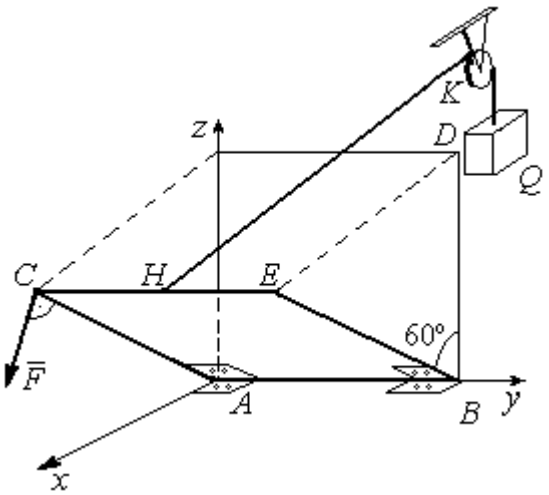


Рис. 1.44. Равновесие фрамуги

Определить вес груза *Q*, необходимый для удержания фрамуги в равновесии и реакции цилиндрических шарниров *A* и *B*, если размеры фрамуги $BE = BD = 2$ м; $AB = 3$ м; $CH = HE$.

Решение

Рассмотрим равновесие фрамуги *ABCE*. Изображаем внешние активные силы: силу $\vec{F}$, силу тяжести фрамуги $\vec{P}$, а также реакции связей. Связями являются два цилиндрических шарнира *A* и *B* (связь, аналогичная подшипнику) и нить, натянутая грузом *Q*. Выберем систему координат *Axyz*, как показано на рис. 1.45. Освобождаем фрамугу от связей, заменяя их действие реакциями. Реакции $\vec{R}_A$ и $\vec{R}_B$ шарниров *A* и *B* раскладываем на взаимно перпендикулярные составляющие: $\vec{X}_A$, $\vec{Z}_A$ и $\vec{X}_B$, $\vec{Z}_B$ в плоскостях, перпендикулярных оси вращения фрамуги (ось *Ay*), реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити и равна весу груза $T = Q$. Направления активных сил и реакций связей показаны на рис. 1.45.

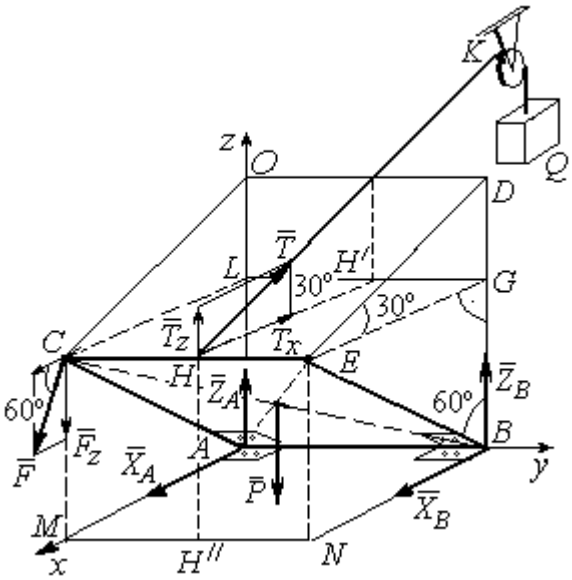


Рис. 1.45. Активные силы и реакции при равновесии фрамуги

Силы, действующие на фрамугу, составляют уравновешенную пространственную систему сил.

Составим уравнения равновесия. При этом для удобства вычисления моментов сил относительно осей изобразим плоскости, перпендикулярные этим осям, с проекциями на них сил, действующих на фрамугу (рис. 1.46). Тогда моменты сил, действующих на фрамугу, например, относительно оси *Ax* определяются как моменты векторов проекций этих сил на плоскость *zAy* относительно точки *A* – пересечения оси *Ax* и перпендикулярной ей плоскости *zAy* (см. рис. 1.46, *a*). Аналогично при вычислении моментов сил относительно оси *Az* достаточно вычислить моменты векторов проекций сил на плоскость *xAy* относительно точки *A* (см. рис. 1.46, *b*).

Значения моментов сил относительно оси Ay получим, вычисляя моменты векторов проекций сил на плоскость zAx относительно точки A (см. рис. 1.46, *c*).

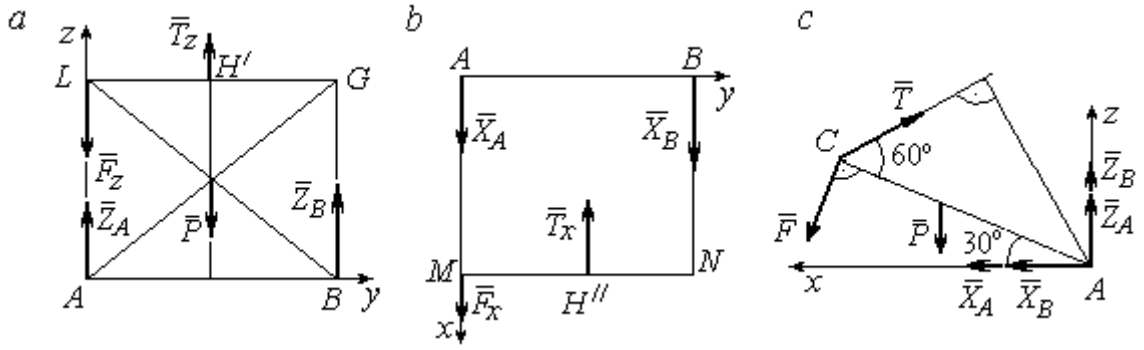


Рис. 1.46. Фрамуга и действующие на неё силы в проекциях на координатные плоскости:
a – проекция на плоскость *zAy* со стороны положительного направления оси *x*;
b – проекция на плоскость *xAy* со стороны положительного направления оси *z*; *c* – проекция на плоскость *zAx* со стороны положительного направления оси *y*

Уравнения равновесия фрамуги имеют вид:

$$X_A + X_B + F\cos 60^\circ - T\cos 30^\circ = 0;$$

$$Z_A + Z_B - P - F\cos 30^\circ + T\cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = T_z \cdot 0{,}5 \cdot AB - P \cdot 0{,}5 \cdot AB + Z_B \cdot AB =$$

$$= T\cos 60^\circ \cdot 0{,}5 \cdot AB - P \cdot 0{,}5 \cdot AB + Z_B \cdot AB = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = P \cdot 0{,}5 \cdot AC\cos 30^\circ + F \cdot AC - T \cdot AC\sin 60^\circ = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = -X_B \cdot AB + T_x \cdot 0{,}5 \cdot AB = -X_B \cdot AB + T\cos 30^\circ \cdot 0{,}5 \cdot AB = 0.$$

Подставляя исходные данные из условия задачи и решая систему, найдём реакции шарниров фрамуги:

$$X_B = 18{,}22 \text{ Н},\ Z_B = 14{,}41 \text{ Н},\ R_B = \sqrt{X_B^2 + Z_B^2} = 23{,}31 \text{ Н};$$

$$X_A = 10{,}83 \text{ Н},\ Z_A = 27{,}41 \text{ Н},\ R_A = \sqrt{X_A^2 + Z_A^2} = 29{,}47 \text{ Н}.$$

Вес груза, удерживающий фрамугу в равновесии, численно равен реакции верёвки: $Q = T = 42{,}37$ Н.

Задача 16. Горизонтальный коленчатый вал *AD* (рис. 1.47) закреплен в подпятнике *A* и подшипнике *C*. Вал имеет шкив радиуса r и рукоять *DH*, перпендикулярные оси вала. Рукоять *DH* образует угол 30º к направлению оси *Ax*. Колено вала расположено в горизонтальной плоскости *xAy*. Нить, удерживающая груз *Q*, намотана на шкив и сходит с него вертикально вниз. На вал действуют силы $\vec{F}$, $\vec{P}$, $\vec{G}$ и пара сил с моментом *M*. Сила $\vec{F}$ приложена в верхней точке вертикального диаметра шкива под углом 30° к направлению оси *Ay* и находится в плоскости *zAy*. Сила $\vec{P}$ приложена в нижней точке *H* рукояти параллельно оси *Az*. Сила $\vec{G}$ приложена в крайней точке *K* стойки колена вала под углом 60º к стойке и находится в плоскости, перпендикулярной оси вала. Пара сил с моментом *M* создаёт вращение вала вокруг оси *Ay*.

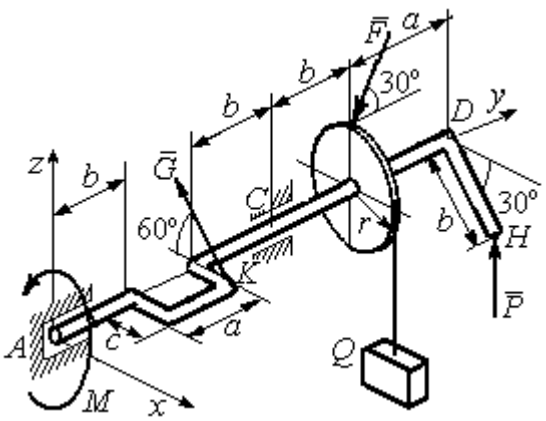


Рис. 1.47. Равновесие вала

Определить вес удерживаемого груза Q и реакции подшипника и подпятника, если: $P = 10$ кН; $F = 12$ кН; $G = 6$ кН; $M = 3$ кН·м; $r = 0{,}3$ м; $a = 0{,}8$ м; $b = 0{,}4$ м; $c = 0{,}2$ м.

Решение

Рассмотрим равновесие вала. На вал действуют активные силы – $\vec{F}$, $\vec{P}$, $\vec{G}$, пара сил с моментом *M* и реакции связей. Связями являются нить, натянутая грузом Q, подпятник *A* и подшипник *C*.

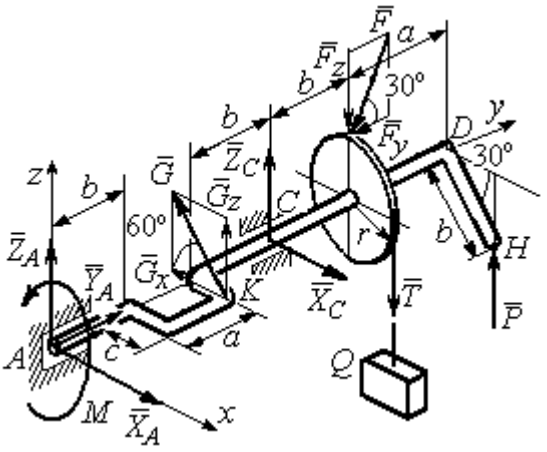


Рис. 1.48. Силы и реакции, действующие на вал при равновесии

Освобождаем вал от связей, заменяя их действие реакциями.

Реакцию подпятника A раскладываем на три составляющие: $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, $\vec{Z}_A$, направленные вдоль координатных осей. Реакция подшипника C лежит в плоскости, перпендикулярной оси вала, и также может быть разложена на составляющие $\vec{X}_C, \vec{Z}_C$, направленные вдоль координатных осей Ax, Az. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити и по модулю равна весу груза, $T = Q$. Действие на вал активных сил и реакций связи показано на рис. 1.48.

Указанные силы составляют произвольную пространственную уравновешенную систему сил.

Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = X_A - G\cos 60^\circ + X_C = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kz} = Z_A + G\cos 30^\circ + Z_C - F\cos 60^\circ - T + P = 0.$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = G_z(b+a) + Z_C(b+a+b) - F_z(b+a+b+b) + F_y r -$$

$$- T(b+a+b+b) + P(b+a+b+b+a) = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = -G_z c + Tr - Pb\cos 30^\circ - M = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = G_x(b+a) - X_C(b+a+b) = 0,$$

где значения проекций сил на оси $G_z = G\cos 30^\circ$; $G_x = G\cos 60^\circ$; $F_z = F\cos 60^\circ$; $F_y = F\cos 30^\circ$.

Подставляя исходные данные и решая систему, получим значения реакций:

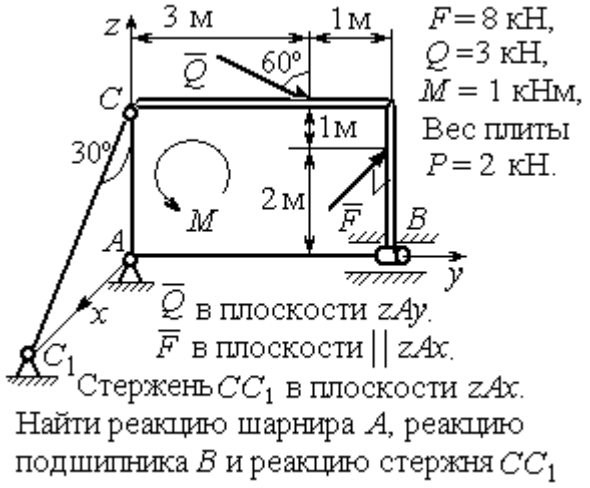
$$X_C = 2{,}25 \text{ кН}; \; Z_C = 13{,}57 \text{ кН}; \; R_C = \sqrt{X_C^2 + Z_C^2} = 15{,}58 \text{ кН};$$

$$Z_A = 0{,}39 \text{ кН}; \; Y_A = 10{,}39 \text{ кН}; \; X_A = 0{,}75 \text{ кН}; \; R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2} = 10{,}42 \text{ кН}.$$

Вес удерживаемого груза равен реакции нити $Q = T = 25{,}03$ кН.

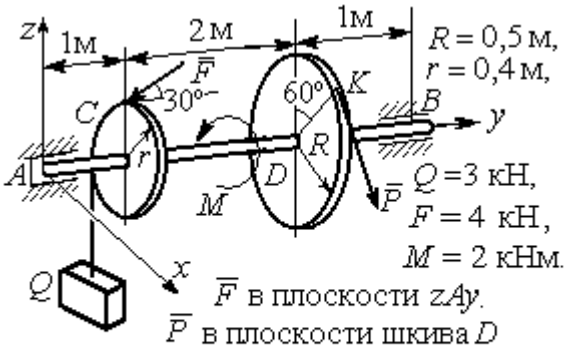
Упражнения

Упражнение 1.9



Найти реакцию шарнира A, реакцию подшипника B и реакцию стержня CC_1

Упражнение 1.10



Найти реакцию подпятника A, подшипника B и уравновешивающую силу P

Упражнение 1.11



Упражнение 1.12

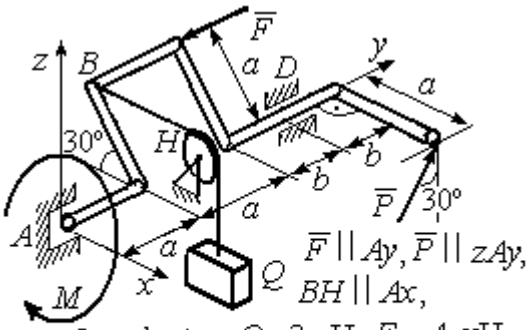


Рис. 1.49. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.9 – 1.12

1.6. Равновесие тел при наличии сил трения

Трение скольжения. При наличии трения скольжения полная реакция $\vec{R}$ шероховатой опоры раскладывается на нормальную составляющую $\vec{N}$ опоры и

силу $\vec{F}_{\text{тр с}}$ трения скольжения, направленную по касательной к поверхности в точке опоры.

В покое сила трения скольжения может принимать любые значения от нуля до некоторого предельного значения $F_{\text{тр с}}$, называемого **предельной силой трения скольжения** (рис. 1.50).

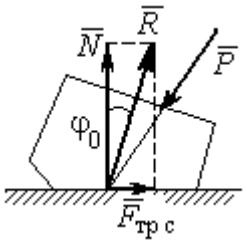


Рис. 1.50. Реакция опоры с трением скольжения

Наибольший угол φ_0, который полная реакция шероховатой поверхности образует с нормалью к поверхности, называется **предельным углом трения**. Предельная сила трения численно равна произведению коэффициента трения на величину нормальной реакции опоры тела на поверхность: $F_{\text{тр с}} = f \cdot N$, где f – безразмерный коэффициент трения, определяемый экспериментально.

Изучение равновесия тел с учетом сил трения сводится к рассмотрению предельного равновесия, когда сила трения принимает предельное значение.

Трением качения называется сопротивление, возникающее при качении одного тела по шероховатой поверхности другого. Реакция шероховатой опоры раскладывается на нормальную составляющую $\vec{N}$ и силу трения качения $\vec{F}_{\text{тр к}}$, направленную по касательной к поверхности качения. При этом за счёт небольшого вдавливания в поверхность качения нормальная реакция опоры $\vec{N}$ смещена в сторону от линии действия силы тяжести $\vec{P}$ так, что вместе с ней образует пару, противодействующую качению (рис. 1.51). В предельном положении равновесия тела смещение нормальной реакции опоры максимально. Величина максимального смещения k называется **коэффициентом трения качения**, измеряемого в единицах длины. Момент,

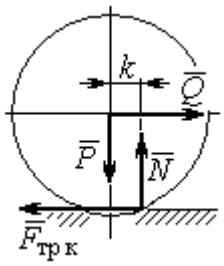


Рис. 1.51. Реакция опоры с трением качения

создаваемый парой $(\vec{N}, \vec{P})$, называется **моментом трения качения** $M_{\text{тр к}} = kN$. Максимальная сила трения качения $\vec{F}_{\text{тр к}}$ определяется из условия, что в предельном положении равновесия момент трения качения равен моменту качения, создаваемого парой $(\vec{F}_{\text{тр к}}, \vec{Q})$ (рис. 1.51).

Если максимальная сила трения качения меньше предельной силы трения скольжения, движение представляет качение без скольжения.

Примеры решения задач на равновесие тел с трением

Задача 17. Груз Q весом 50 Н удерживается нитью на шероховатой наклонной плоскости (рис.1.52). Один конец нити закреплен на грузе Q, а к другому, перекинутому через невесомый блок, подвешен груз весом P. Отрезок нити AB горизонтальный. Угол наклона плоскости составляет 30º к горизонту. Определить максимальное и минимальное значения веса груза P, при которых груз Q может начать скольжение по плоскости без опрокидывания, если коэффициент трения скольжения между грузом Q и наклонной плоскостью $f = 0{,}4$.

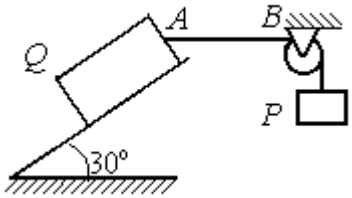


Рис.1.52. Равновесие груза на наклонной плоскости с трением

Решение

Рассмотрим равновесие груза Q при минимальном значении веса груза P. На груз действуют сила тяжести $\vec{Q}$, реакция нити $\vec{T}_{\min}$ и реакция шероховатой поверхности наклонной плоскости, состоящая из нормальной реакции наклонной плоскости $\vec{N}$ и силы трения $\vec{F}_{\text{тр1}}$ (рис. 1.53, *а*). Особенностью задач на равновесие призм является то, что точка приложения нормальной реакции не определена. В случае необходимости она находится из уравнений равновесия.

Определим направление силы трения. Если вес уравновешивающего груза P имеет минимальное значение $P_{\min}$, то при его дальнейшем уменьшении груз Q начнёт двигаться вниз по наклонной плоскости. Таким образом, предельная сила трения $\vec{F}_{\text{тр}1}$, обеспечивающая равновесие при минимальном значении веса груза P, направлена вверх по наклонной плоскости (см. рис. 1.53, *a*).

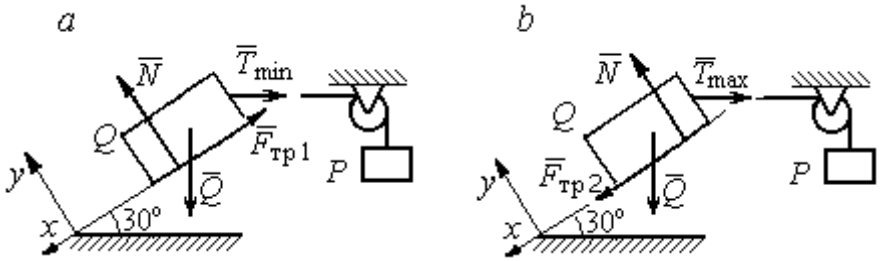


Рис. 1.53. Силы, действующие на груз при равновесии:
a – минимальный вес уравновешивающего груза;
b – максимальный вес уравновешивающего груза

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.53, и составим уравнения равновесия в виде проекций сил:

$$\sum F_{kx} = Q\cos 60^\circ - T_{\min}\cos 30^\circ - F_{\text{тр}} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = -Q\cos 30^\circ + N - T_{\min}\cos 60^\circ = 0.$$

Полагая в первом уравнении $F_{\text{тр}1} = fN$, решаем систему и находим реакцию нити $T_{\min} = 7{,}21$ Н. Минимальное значение веса уравновешивающего груза равно реакции нити: $P_{\min} = T_{\min} = 7{,}21$ Н.

Рассмотрим равновесие груза Q при максимальном $P_{\max}$ значении веса груза P. На груз действует сила тяжести $\vec{Q}$, реакция нити $\vec{T}_{\max}$ и реакция шероховатой поверхности наклонной плоскости, состоящая, как и в первом случае, из нормальной реакции наклонной плоскости $\vec{N}$ и силы трения $\vec{F}_{\text{тр}2}$ (см. рис. 1.53, *b*).

При определении направления силы трения заметим, что увеличение веса груза P больше максимального вызывает движение груза Q вверх по наклонной плоскости. Тогда предельная сила трения $\vec{F}_{\text{тр}2}$, действующая против возможного движения, должна быть направлена вниз по наклонной плоскости (см. рис. 1.53, *b*). Уравнения равновесия груза Q:

$$\sum F_{kx} = Q\cos 60^\circ - T_{\max}\cos 30^\circ + F_{\text{тр}2} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = -Q\cos 30^\circ + N - T_{\max}\cos 60^\circ = 0.$$

Решаем систему, подставляя вместо силы трения её значение $F_{\text{тр}2} = fN$, и находим максимальное значение веса груза P: $P_{\max} = T_{\max} = 63{,}54$ Н.

Таким образом, груз Q будет находиться в равновесии на наклонной плоскости, если вес уравновешивающего груза находится в пределах $8{,}87 < P < 48{,}87$ Н.

Задача 18. Цилиндрический каток радиуса r = 0,5 м, весом P = 50 Н удерживается в равновесии на наклонной плоскости нитью, один конец которой закреплён в центре катка, а другой перекинут через блок и несёт груз весом Q (рис. 1.54). Коэффициент трения качения катка $f_{\text{к}}$ = 0,02 м. Наклонная плоскость составляет угол 30º с горизонтом.

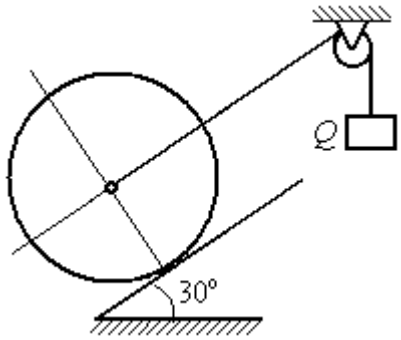


Рис. 1.54. Равновесие катка

Определить наименьшую и наибольшую величину веса Q, при которых каток будет в равновесии. Найти наименьшее значение коэффициента трения скольжения $f_{\text{с}}$, при котором в случае движения каток будет катиться без скольжения.

Решение

Рассмотрим равновесие катка при минимальном значении веса груза Q. На каток действует сила тяжести $\vec{P}$, реакции нити $\vec{Q}_{\min}$ и реакция шероховатой

поверхности наклонной плоскости $\vec{R}$, имеющая своими составляющими нормальную реакцию поверхности $\vec{N}$ и силу трения качения $\vec{F}_{\text{тр1к}}$ (рис. 1.55, *a*).

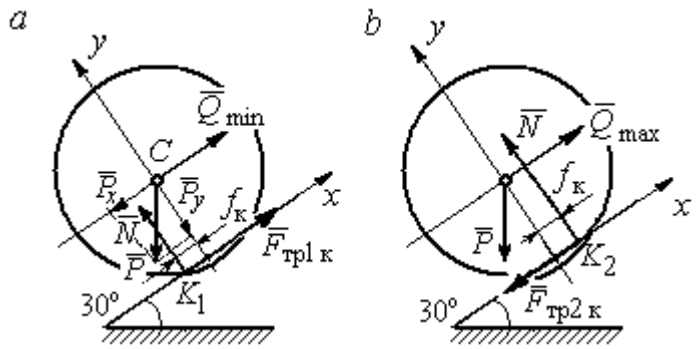


Рис. 1.55. Силы, действующие на каток, при равновесии:
a – минимальный вес груза; *b* – максимальный вес груза

Минимальный вес груза $Q_{\min}$ удерживает каток от качения вниз по наклонной плоскости. В этом случае составляющие реакции шероховатой поверхности наклонной плоскости приложены в точке K_1, слева от нормального к плоскости диаметра катка (см. рис. 1.55, *a*). Выбор точки приложения реакции шероховатой поверхности основан на том, что пара $(\vec{N}, \vec{P}_y)$ должна создавать момент трения качения, противодействующий предполагаемому движению.

На каток действует плоская уравновешенная система сил $(\vec{Q}_{\min}, \vec{F}_{\text{тр1к}}, \vec{N}, \vec{P}) \infty 0$. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.55, *a*, и составим уравнения равновесия катка, где уравнение моментов сил составлено относительно точки K_1:

$$\sum F_{kx} = -P\cos 60^\circ + Q_{\min} + F_{\text{тр1к}} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = = -P\cos 30^\circ + N = 0;$$

$$\sum M_{K_1}(\vec{F}_k) = P\cos 60^\circ \cdot r - Q_{\min} r - P\cos 30^\circ \cdot f_к = 0.$$

Подставляем данные задачи и находим минимальное значение веса груза, при котором каток находится в равновесии $Q_{\min} = 7{,}68$ Н, величину нормальной реакции наклонной плоскости $N = 43{,}3$ Н и значение силы трения качения, удерживающей каток в равновесии, $F_{\text{тр1к}} = 17{,}32$ Н.

Рассмотрим равновесие катка при максимальном значении веса груза $Q_{\max}$. Здесь нарушение предельного равновесия при увеличении веса груза Q вызывает движение катка вверх по наклонной плоскости. В таком случае точка приложения реакции опоры шероховатой поверхности (точка K_2) расположена справа от нормального к плоскости качения диаметра катка (рис. 1.55, *b*).

На каток действует плоская уравновешенная система сил $(\vec{Q}_{\max}, \vec{F}_{\text{тр2 к}}, \vec{N}, \vec{P}) \infty 0$. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.55, *b*. Уравнения равновесия катка, где уравнение моментов сил составлено относительно точки K_2 имеют вид:

$$\sum F_{kx} = -P\cos 60^\circ + Q_{\max} - F_{\text{тр2 к}} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = -P\cos 30^\circ + N = 0;$$

$$\sum M_{K_2}(\vec{F}_k) = -P\cos 60^\circ \cdot r + Q_{\max} r - P\cos 30^\circ \cdot f_{\text{к}} = 0.$$

Решая систему, получим: $Q_{\max} = 42{,}32$ Н; $N = 43{,}3$ Н; $F_{\text{тр2 к}} = 17{,}32$ Н.

Таким образом, на шероховатой поверхности каток находится в равновесии, если вес уравновешивающего груза выбран в пределах $7{,}68 \le Q \le 42{,}32$ Н.

При любом движении (вверх или вниз) качение катка будет без скольжения, если предельная сила трения скольжения $F_{\text{тр с}}$ больше аналогичной силы трения качения: $F_{\text{тр с}} > F_{\text{тр к}}$. Величина силы трения скольжения не зависит от направления движения: $F_{\text{тр с}} = f_{\text{с}} N = 43{,}3 f_{\text{с}}$, где $f_{\text{с}}$ – коэффициент трения скольжения. Величина силы трения качения также не зависит от направления движения: $F_{\text{тр к}} = F_{\text{тр1 к}} = F_{\text{тр2 к}} = 17{,}32$ Н. Таким образом, для определения требуемого коэффициента скольжения имеет место неравенство $43{,}3 f > 17{,}32$, откуда $f > 0{,}4$.

Задача 19. Для подъёма и опускания грузов в выработках используется ступенчатый ворот с тормозом, изображённый на рис. 1.56. Радиусы большой и малой ступенек барабана ворота $R = 0{,}5$ м и $r = 0{,}2$ м. Ворот тормозят, надавливая на конец A рычага AB, соединённого цепью CD с концом D тормозного рычага ED с расположенной на нём тормозной колодкой. Коэффициент трения между тормозной колодкой и барабаном ворота $f = 0{,}4$. На малой ступеньке барабана ворота навита верёвка, другой конец которой, переброшенный через невесомые неподвижный блок m и подвижный блок n, удерживает груз Q весом 1 кН (см. рис. 1.56). Угол наклона к горизонту участка верёвки, соединяющей барабан с неподвижным блоком m, составляет 30º.

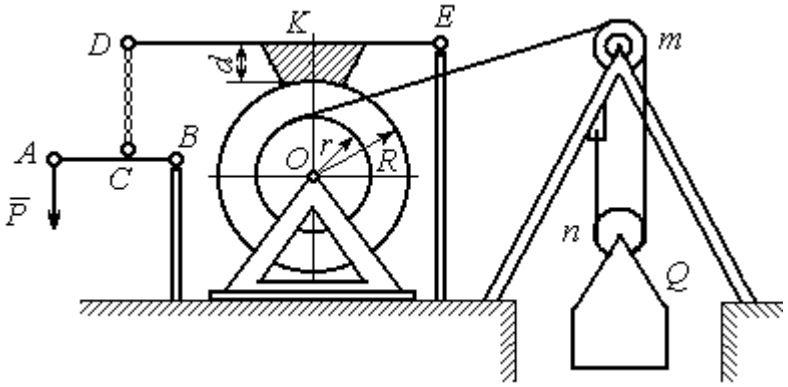


Рис. 1.56. Ворот с колодочным тормозом

Определить величину силы $\vec{P}$, уравновешивающей груз Q, и реакции шарниров O и E, если вес ворота G = 140 Н, высота тормозной колодки $d = 0{,}1$ м, расстояния AB = 1 м, BC = 0,1 м; $ED = 1{,}2$ м; $EK = 0{,}6$ м.

Решение

Рассмотрим отдельно равновесие барабана ворота, тормозного рычага DE и рычага AB (рис. 1.57).

Для того; чтобы определить силу натяжения верёвки, прикреплённой к барабану, рассмотрим равновесие груза вместе с подвижным блоком n (см. рис. 1.57, *а*). На объект равновесия действует сила тяжести груза $\vec{Q}$ и реакции $\vec{T}'$ и $\vec{T}''$ двух ветвей верёвки, огибающей снизу блок n.

Уравнения равновесия такой системы сил:

$$T' + T'' - Q = 0; \qquad T''r_{\text{бл}} = T'r_{\text{бл}},$$

где моменты сил вычислены относительно центра блока; $r_{бл}$ – радиус блока *n*. Решая систему уравнений, получим: $T' = T'' = 0{,}5Q = 500$ Н.

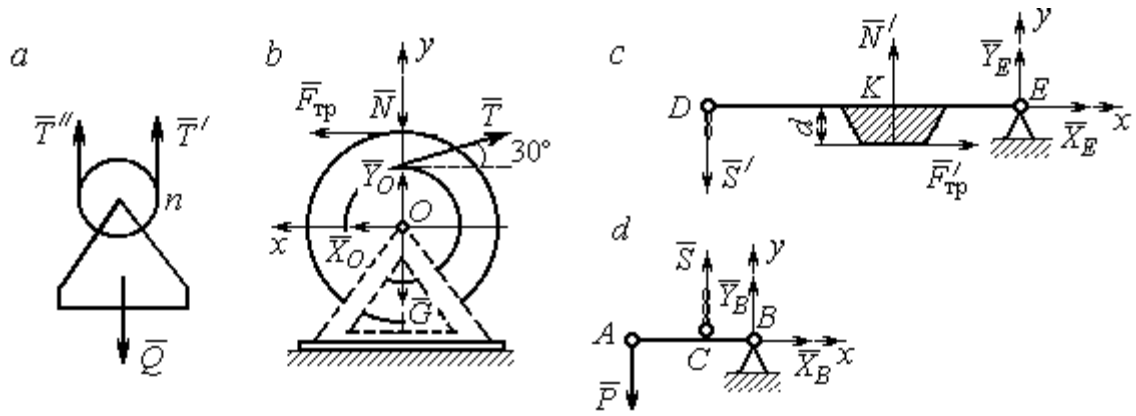


Рис. 1.57. Равновесие элементов конструкции ворота:
a – равновесие груза; *b* – силы, действующие на барабан; *c* – силы, действующие на тормозной рычаг *DE*; *d* – силы, действующие на рычаг *AB*

Рассмотрим равновесие барабана. На барабан действуют: сила веса барабана $\vec{G}$, сила давления $\vec{N}$ со стороны рычага, направленная по радиусу барабана, сила трения $\vec{F}_{тр}$, действующая по касательной к барабану в сторону, противоположную движению барабана при опускании груза, реакция $\vec{R}_O$ шарнира *O*, представленная двумя составляющими $\vec{X}_O, \vec{Y}_O$, и реакция верёвки $\vec{T}$, численно равная модулю силы $\vec{T}'$ (см. рис. 1.57, *b*).

Силы, действующие на барабан, составляют уравновешенную произвольную плоскую систему сил ($\vec{G}$, $\vec{X}_O, \vec{Y}_O$, $\vec{T}$, $\vec{N}$, $\vec{F}_{тр}$) ~ 0. Составим уравнение моментов относительно точки *O*:

$$-Tr + F_{тр}R = 0,$$ откуда с учётом $T = T'$ $F_{тр} = 200$ Н.

Величина силы $\vec{N}$ давления рычага на барабан находится из вида зависимости силы трения $F_{тр} = fN$, тогда $N = \dfrac{F_{тр}}{f} = 500$ Н.

Составим уравнения равновесия барабана в виде проекций сил на оси, выбранные, как показано на рис. 1.57, *b*:

$$\sum F_{kx} = X_O + F_{тр} - T\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_O + T\cos 60^\circ - N - G = 0.$$

Решая систему, найдём реакцию шарнира *O*:

$$X_O = 233 \text{ Н};\ Y_O = 390 \text{ Н};\ R_O = \sqrt{X_O^2 + Y_O^2} = 454{,}3 \text{ Н}.$$

Рассмотрим теперь равновесие тормозного рычага *DE* (см. рис. 1.57, *c*).

На рычаг действуют сила $\vec{N}'$ давления со стороны барабана и сила трения $\vec{F}'_{\text{тр}}$, приложенные в точке касания тормозной колодки с барабаном, равные по величине и противоположные по направлению, соответственно, силам $\vec{N}$ и $\vec{F}_{\text{тр}}$. Кроме того, в точке *D* на рычаг действует сила $\vec{S}'$, под действием которой рычаг прижимается к барабану, и реакция шарнира *E*, разложенная на составляющие $\vec{X}_E$, $\vec{Y}_E$ вдоль осей *x*, *y*. Уравнения равновесия рычага имеют вид:

$$\sum F_{kx} = X_E + F'_{\text{тр}} = 0; \qquad \sum F_{ky} = Y_E + N' - S' = 0;$$

$$\sum M_E(\vec{F}_k) = S' \cdot DE - N' \cdot EK + F'_{\text{тр}} d = 0.$$

Подставляя в систему данные из условия задачи, с учётом найденных значений $F'_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} = 200$ Н, $N' = N = 500$ Н, определим усилие S', с которым тормозной рычаг прижимается к барабану, и реакцию шарнира *E*:

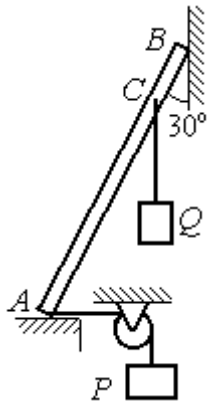
$$S' = 233{,}33 \text{ Н};\ X_E = -200 \text{ Н};\ Y_E = -266{,}67 \text{ Н};\ R_E = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2} = 333{,}34 \text{ Н}.$$

Силу $\vec{P}$, необходимую для уравновешивания груза *Q*, найдём рассматривая равновесие рычага *AB* (см. рис. 1.57, *d*) . На рычаг действуют сила $\vec{P}$, реакция цепи $\vec{S}$ и реакция шарнира *B*, показанная на рис. 1.57, *d* составляющими $\vec{X}_B$, $\vec{Y}_B$.

Составим уравнение равновесия рычага в форме равенства нулю суммы моментов сил относительно точки *B*: $P \cdot AB - S \cdot CB = 0$. С учётом того, что модули сил $\vec{S}$ и $\vec{S}'$ равны, найдем $P = 23{,}3$ Н.

Упражнения

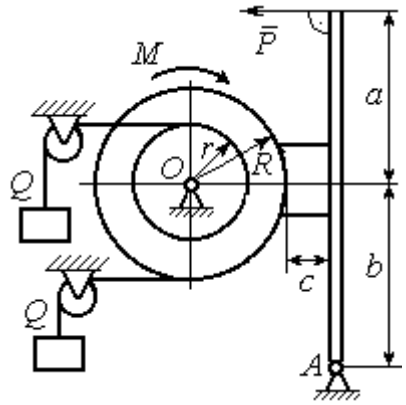
Упражнение 1.13



Невесомый стержень AB опирается в точках A и B на шероховатые поверхности – горизонтальный пол и вертикальную стену. Коэффициент трения между стержнем и полом и между стержнем и стеной $f = 0{,}2$. Угол наклона стержня к вертикальной стене 30°. В точке C к стержню подвешен груз Q. Стержень удерживается в равновесии горизонтальной нитью, прикреплённой в точке A и перекинутой через блок. К другому концу нити подвешен груз P. В каких границах можно изменять вес груза P, не нарушая равновесия стержня?

$AB = 3$ м, $AC = 2$ м, $Q = 200$ Н.

Упражнение 1.14



Шкив O состоит из двух барабанов радиусов R и r. На барабаны навиты верёвки, натянутые одинаковыми грузами Q. К шкиву приложена пара сил с моментом M. Шкив затормаживается с помощью рычажного тормоза. Коэффициент трения между тормозной колодкой и шкивом $f = 0{,}4$. Определить силу $\vec{P}$, приложенную к рычагу тормозной колодки и уравновешивающую шкив. Найти реакцию шарнира A.

$a = b = 1$ м; $c = 0{,}1$ м; $Q = 100$ Н; $M = 120$ Н·м;
$R = 0{,}6$ м; $r = 0{,}2$ м.

Рис. 1.58. Задания для самостоятельного решения. Упражнения № 1.13, 1.14

2. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ И ТВЁРДОГО ТЕЛА

2.1. Криволинейное движение точки

Кривая, которую описывает движущаяся точка, называется **траекторией** точки. Движение точки может быть задано **векторным**, **координатным** или **естественным** способами.

Координатный способ задания движения точки основан на том, что положение точки определяется ее координатами, заданными для каждого момента времени (рис. 2.1): $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$.

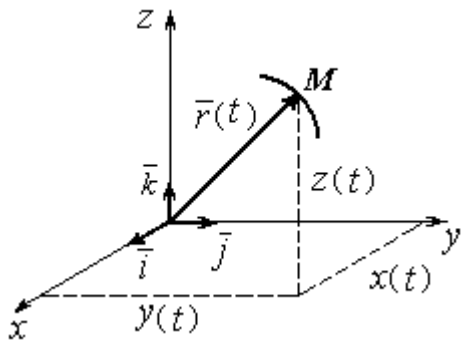


Рис. 2.1. Векторный и координатный способы задания движения точки

Мгновенная скорость, или скорость точки в данный момент времени, является векторной величиной и определяется как производная по времени от радиус-вектора точки: $\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. **Вектор скорости точки $\vec{V}$ всегда направлен по касательной к траектории в сторону движения точки.** Величины V_x, V_y, V_z проекций вектора скорости $\vec{V}$ на координатные оси определяются как производные по времени от соответствующих координат: $V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$; $V_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}$; $V_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$. Модуль вектора скорости: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$.

Мгновенное ускорение точки**,** или ускорение в данный момент времени, является векторной величиной и определяется как производная по времени от вектора скорости точки или как вторая производная от радиус-вектора точки: $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$. Величины a_x, a_y, a_z проекций вектора ускорения на координ-

натные оси определяются равенствами: $a_x = \frac{dV_x}{dt} = \dot{V}_x = \ddot{x}$; $a_y = \frac{dV_y}{dt} = \dot{V}_y = \ddot{y}$; $a_z = \frac{dV_z}{dt} = \dot{V}_z = \ddot{z}$. Модуль вектора ускорения: $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.

Естественный способ задания движения используется, если траектория движения точки заранее известна. Тогда положение точки однозначно определяется длиной дуги $O\breve{M} = S(t)$, отсчитываемой от некоторой фиксированной точки *O*, принятой за начало отсчета (рис. 2.2). При этом заранее устанавливаются положительное и отрицательное направления отсчета дуговой координаты.

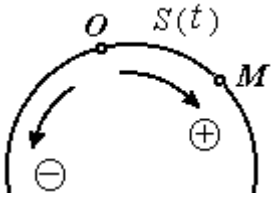


Рис. 2.2. Естественный способ задания движения точки

При естественном способе задания движения вектор скорости точки определяется равенством: $\vec{V} = \dot{S}\vec{\tau} = V_\tau \vec{\tau}$, где S – дуговая координата; $\vec{\tau}$ – единичный вектор касательной к траектории движения, направленный в сторону положительного направления дуговой координаты. Величина $V_\tau = \dot{S}$ называется алгебраической скоростью точки и представляет собой проекцию вектора скорости точки на касательную к траектории.

Вектор ускорения точки $\vec{a}$ раскладывается на составляющие по направлениям естественных осей – касательную (ось τ) и перпендикулярную к ней нормальную (ось *n*):

$$\vec{a} = a_\tau \vec{\tau} + a_n \vec{n} \text{ или } \vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n,$$

где $\vec{\tau}$ – единичный направляющий вектор касательной; $\vec{n}$ – единичный направляющий вектор нормали траектории; a_τ – проекция ускорения точки на касательную называется **касательным ускорением**; a_n – проекция вектора ускорения точки на нормаль называется **нормальным ускорением** (рис. 2.3). Касательная составляющая ускорения характеризует изменение величины скорости точки, нормальная – изменение направления вектора скорости.

Если проекции V_τ и a_τ имеют одинаковые знаки (направлены в одну сторону), движение будет ускоренным, если разных знаков (разнонаправлены) – замедленным (см. рис. 2.3, *a*, *b*).

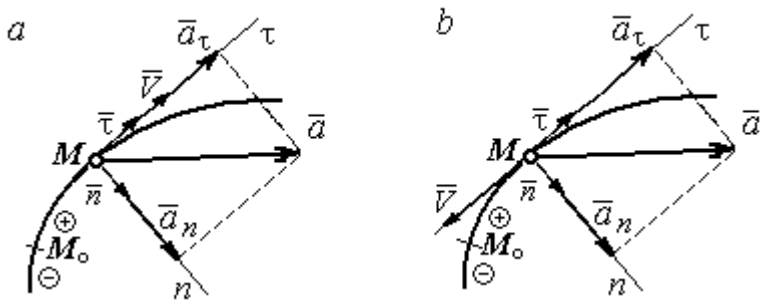


Рис. 2.3. Скорость и ускорение точки. Разложение ускорения на нормальную и касательную составляющие:
a – ускоренное движение; *b* – замедленное движение

Проекции ускорения на естественные оси и модуль вектора ускорения вычисляются по формулам:

$$a_\tau = \ddot{S} = \dot{V}_\tau,\ a_n = \frac{V^2}{\rho};$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}\ ,$$

где ρ – радиус кривизны траектории. Иногда при вычислении касательной составляющей ускорения удобнее пользоваться формулой $a_\tau = \dfrac{a_x V_x + a_y V_y}{V_\tau}$.

Вектор нормальной составляющей ускорения $\vec{a}_n$ всегда направлен к центру кривизны траектории. Вектор касательной составляющей ускорения $\vec{a}_\tau$ направлен в сторону положительного направления касательной (по направлению единичного вектора $\vec{\tau}$), если $\ddot{S} > 0$, и в противоположную сторону – при $\ddot{S} < 0$.

Криволинейное движение точки называется **равномерным**, если проекция вектора скорости на касательную – постоянная величина: $V_\tau = \text{const}$.

Криволинейное движение точки называется **равнопеременным**, если постоянна проекция вектора ускорения на касательную: $a_\tau = \text{const}$.

Примеры решения задач на криволинейное движение точки

Задача 20. Движение точки задано координатным способом уравнениями $x(t) = 2\sin\pi t$, $y(t) = \cos 2\pi t$, где x, y – в сантиметрах, t – в секундах.

Найти траекторию точки, величину и направление скорости и ускорения в моменты времени t_1 = 0,25 с, t_2 = 0,75 с. Определить участки ускоренного и замедленного движений точки.

Решение

Определяем траекторию точки. Из уравнений движения находим $y = \cos 2\pi t = \cos^2 \pi t - \sin^2 \pi t = 1 - 2\sin^2 \pi t = 1 - \frac{x^2}{2}$. Траекторией точки является парабола $y = 1 - \frac{x^2}{2}$ (рис. 2.4). Однако не вся парабола будет траекторией движения, а только та её часть, точки которой согласно уравнениям движения удовлетворяют неравенствам: $-2 \le x \le 2$, $-1 \le y \le 1$.

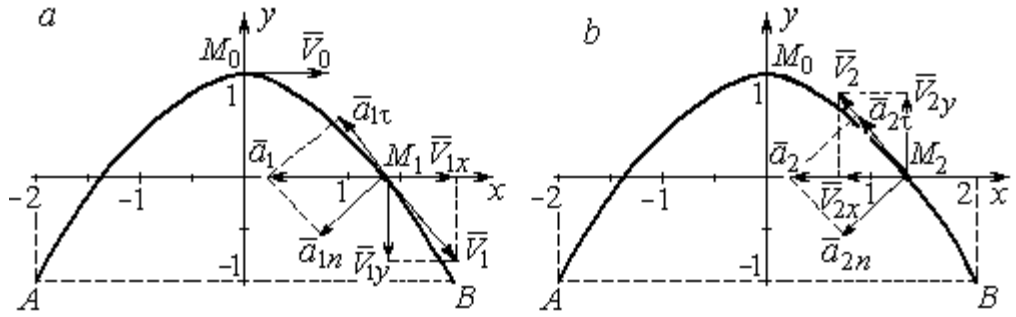


Рис. 2.4. Траектория движения точки:

a – замедленное движение точки на участке от M_0 к *B*;
b – ускоренное движение точки на участке от *B* к M_0

Определяем параметры движения точки в момент времени t_1 = 0,25 с.

Находим координаты x_1, y_1 положения точки M_1:

$$x_1 = x(0{,}25) = 2\sin\frac{\pi}{4} = \sqrt{2} \text{ см}, \quad y_1 = y(0{,}25) = \cos\frac{\pi}{2} = 0.$$

Находим проекции V_{1x}, V_{1y} вектора $\vec{V}_1$ скорости точки на оси системы координат:

$$V_x(t) = \dot{x} = 2\pi\cos\pi t; \; V_y(t) = \dot{y} = -2\pi\sin 2\pi t;$$

$$V_{1x} = V_x(0{,}25) = 2\pi\cos\frac{\pi}{4} = \pi\sqrt{2} \text{ см/с}; \quad V_{1y} = V_y(0{,}25) = -2\pi\sin\frac{\pi}{2} = -2\pi \text{ см/с}.$$

Модуль скорости $V_1 = \sqrt{V_{1x}^2 + V_{1y}^2} = \pi\sqrt{6}$ см/с.

Находим проекции a_{1x}, a_{1y} вектора $\vec{a}_1$ ускорения точки на оси системы координат:

$$a_x(t) = \dot{V}_x = -2\pi^2 \sin\pi t;\ a_y(t) = \dot{V}_y = -4\pi^2 \cos 2\pi t;$$

$$a_{1x} = a_x(0{,}25) = -2\pi^2 \sin\frac{\pi}{4} = -\pi^2\sqrt{2} \text{ см/с}^2;\ a_{1y} = a_y(0{,}25) = -4\pi^2 \cos\frac{\pi}{2} = 0.$$

Модуль вектора ускорения $a_1 = \sqrt{a_{1x}^2 + a_{1y}^2} = \pi^2\sqrt{2}$ см/с.

Положение точки M_1 в момент времени $t_1 = 0{,}25$ с, построение векторов скорости $\vec{V}_1$ и ускорения $\vec{a}_1$ по их проекциям показано на рис. 2.4, *а*.

Для того чтобы определить характер движения точки в положении M_1 – ускоренное или замедленное, найдём направление касательного ускорения. С этой целью разложим известный уже вектор ускорения $\vec{a}_1$ на нормальную и касательную составляющие согласно равенству $\vec{a}_1 = \vec{a}_{1\tau} + \vec{a}_{1n}$. При этом направление касательной совпадает с направлением вектора скорости $\vec{V}_1$, а направление нормали – перпендикулярно ему. Касательное ускорение $\vec{a}_{1\tau}$ оказалось направленным противоположно вектору скорости $\vec{V}_1$ (см. рис. 2.4, *а*). Следовательно, точка в рассматриваемый момент движется замедленно.

В момент времени $t_2 = 0{,}75$ с положение M_2 совпадает с положением M_1:

$$x_2 = x(0{,}75) = 2\sin\frac{3\pi}{4} = \sqrt{2} \text{ см};\ y_2 = y(0{,}75) = \cos 2\pi\frac{3}{4} = 0.$$

Проекции векторов скорости $\vec{V}_2$ и ускорения $\vec{a}_2$ точки на оси координат:

$$V_{2x} = V_x(0{,}75) = 2\pi\cos\frac{3\pi}{4} = -\pi\sqrt{2} \text{ см/с};\ V_{2y} = V_y(0{,}75) = -2\pi\sin 2\pi\frac{3}{4} = 2\pi \text{ см/с};$$

$$a_{2x} = a_x(0{,}75) = -2\pi^2 \sin\frac{3\pi}{4} = -\pi^2\sqrt{2} \text{ см/с}^2;\ a_{2y} = a_y(0{,}75) = -4\pi^2 \cos 2\pi\frac{3}{4} = 0.$$

Модули скорости и ускорения точки в момент времени $t_2 = 0{,}75$ с:

$$V_2 = \sqrt{V_{2x}^2 + V_{2y}^2} = \pi\sqrt{6} \text{ см/с}; \quad a_2 = |a_{2x}| = \pi^2\sqrt{2} \text{ см/с}^2.$$

Положение точки M_2 в момент времени t_2 = 0,75 с, построение векторов скорости $\vec{V}_2$ и ускорения $\vec{a}_2$ по их проекциям, а также разложение вектора ускорения $\vec{a}_2$ на составляющие $\vec{a}_{2n}$ и $\vec{a}_{2\tau}$ показано на рис. 2.4, *b*. В данном случае вектор касательного ускорения совпадает по направлению с вектором скорости (см. рис. 2.4, *b*), поэтому движение ускоренное.

В целом движение точки по траектории происходит следующим образом. Из начального положения M_0 (t_0 = 0) точка с замедлением перемещается по правой ветви параболы. Достигнув положения *B* на траектории (t_B = 0,5 с), точка совершает мгновенную остановку и начинает обратное ускоренное движение. Достигнув положения M_0 (t_{M_0} = 1 с), точка переходит на левую часть параболы, где движется аналогично.

Задача 21. Рудничный поезд выходит на закруглённый участок пути радиуса *R* = 1 км с начальной скоростью 54 км/ч. Считая движение поезда равнопеременным, определить его скорость и ускорение в конце 10-й секунды движения по закруглённому участку, если за это время поезд прошёл путь 500 м.

Решение

Примем за начало отсчёта расстояния точку M_0, где поезд выходит на закруглённый участок пути (рис. 2.5). Предположим, движение поезда равноускоренное и происходит в сторону возрастания дуговой координаты *S*. В этом случае вектор скорости и вектор касательного ускорения направлены в положительную сторону касательной.

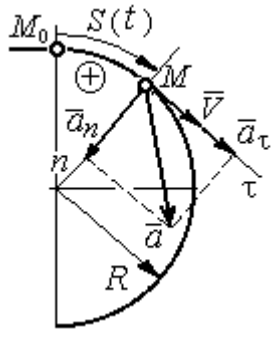


Рис. 2.5. Скорость и ускорение поезда

При равнопеременном движении проекция вектора ускорения на касательную постоянна: a_τ = const. Так как $a_\tau = \dfrac{dV_\tau}{dt}$, то $V_\tau = a_\tau t + C_1$, где V_τ – проекция вектора скорости на касательную

ось. Далее, поскольку $V_\tau = \frac{dS}{dt}$, имеем $S = \frac{a_\tau t^2}{2} + C_1 t + C_2$. Константы интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий: при $t = 0$ $S = 0$ и $V_\tau = V_0 =$ = 54 км/ч = 15 м/с. Подставив эти условия в уравнения движения, найдём константы интегрирования: C_1 = 15 м/с; C_2 = 0.

В результате получена система уравнений:

$$V_\tau = a_\tau t + 15; \quad S = \frac{a_\tau t^2}{2} + 15t .$$

По условию задачи через 10 с от начала движения по закруглённому участку поезд прошёл по дуге путь S = 500 м. Подставляя это условие во второе уравнение, получим a_τ = 7 м/с^2. Скорость поезда в конце пройденного пути с учётом известной величины касательного ускорения найдём из первого уравнения V_τ = 85 м/с. Следует заметить, что при указанном движении поезда проекция вектора скорости на касательную ось положительна и равна его модулю: $V_\tau = V$.

Нормальное ускорение поезда при движении по дуге окружности радиуса R = 1000 м в момент времени t = 10 с равно $a_n = \frac{V_\tau^2}{R}$ = 7,23 м/с^2. Величина (модуль) полного ускорения поезда $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$ = 10,06 м/с^2. Разложение вектора ускорения поезда на нормальную и касательную составляющие показано на рис. 2.5.

Задача 22. Вагонетка движется равнопеременно по дуге окружности радиуса R = 80 м. За время движения скорость вагонетки изменилась от начальной V_0 = 18 км/ч до конечной V_1 = 9 км/ч.

Определить характер движения – ускоренное или замедленное. Найти ускорение вагонетки в начале и в конце участка движения, если за это время она прошла путь S = 60 м.

Решение

Выберем некоторую точку на траектории в качестве начальной, а направление положительного отсчёта расстояний – в сторону движения вагонетки.

Уравнения равнопеременного движения точки при начальных условиях: $t = 0$; $S = 0$ и $V_\tau = V_0 = 5$ м/с имеют вид:

$$V_\tau = 5 + a_\tau t\,; \quad S = 5t + \frac{a_\tau t^2}{2}.$$

Подставим в уравнения параметры движения в момент времени $t = t_1$, когда скорость вагонетки стала $V_{1\tau} = 2{,}5$ м/с, а пройденный ею путь составил 60 м. Получим систему:

$$-2{,}5 = a_\tau t_1\,; \quad 60 = 5t_1 + \frac{a_\tau t_1^2}{2},$$

откуда найдём касательное ускорение: $a_\tau = -0{,}16$ м/с^2.

Отрицательная величина означает, что вектор касательного ускорения направлен в сторону, противоположную направлению вектора скорости, и движение равнозамедленное.

Нормальное ускорение вагонетки в начале движения $a_{n0} = \frac{V_0^2}{R} = 0{,}31$ м/с^2.

Полное ускорение $a_0 = \sqrt{a_{n0}^2 + a_\tau^2} = 0{,}35$ м/с^2. В конце движения нормальное ускорение $a_{n1} = \frac{V_1^2}{R} = 0{,}08$ м/с^2. Полное ускорение $a_1 = \sqrt{a_{n1}^2 + a_\tau^2} = 0{,}18$ м/с^2.

2.2. Поступательное движение и вращение твердого тела вокруг неподвижной оси

Движение твёрдого тела называется **поступательным**, если любой прямолинейный отрезок, связанный с телом, остаётся в процессе движения параллельным самому себе. При **поступательном** движении твёрдого тела все его

точки движутся по одинаковым траекториям, имеют равные скорости и ускорения.

Вращением твёрдого тела вокруг неподвижной оси называется такое его движение, при котором две точки тела остаются неподвижными в течение всего времени движения. Прямая, проходящая через неподвижные точки, называется **осью вращения** тела.

Положение вращающегося тела определяется углом поворота $\varphi = \varphi(t)$ относительно какой-либо системы отсчёта, например, относительно неподвижной плоскости, проходящей через ось вращения.

Вектор угловой скорости вращения тела $\vec{\omega}$ лежит на оси вращения и направлен в сторону, откуда вращение тела видно против хода часовой стрелки. **Алгебраическим значением угловой скорости** вращения тела называют проекцию вектора угловой скорости на ось вращения (ось z) $\omega_z = \dot{\varphi}$. При $\dot{\varphi} > 0$ тело вращается в сторону положительного направления отсчёта угла φ, при $\dot{\varphi} < 0$ – в обратную сторону. Направление угловой скорости обычно показывают дуговой стрелкой вокруг оси вращения. Модуль алгебраического значения угловой скорости вращения тела называется угловой скоростью $\omega = |\omega_z| = |\dot{\varphi}|$.

Алгебраическим значением **углового ускорения** вращающегося тела называют проекцию вектора углового ускорения на ось вращения (ось z) $\varepsilon_z = \dot{\omega}_z = \ddot{\varphi}$. Модуль алгебраического значения углового ускорения вращения тела называется угловым ускорением: $\varepsilon = |\varepsilon_z| = |\dot{\omega}_z| = |\ddot{\varphi}|$.

Вектор углового ускорения направлен вдоль оси вращения. Если $\varepsilon_z \omega_z > 0$ (вектора угловой скорости и углового ускорения сонаправлены), движение ускоренное, если $\varepsilon_z \omega_z < 0$ (векторы угловой скорости и углового ускорения противоположны по направлению), – замедленное.

При равномерном вращении угловая скорость тела (алгебраическое значение) – постоянная величина: ω_z = const. Угол поворота тела изменяется по линейному закону $\varphi = \varphi_0 + \omega_z t$, где φ_0 – начальный угол поворота тела.

При равнопеременном вращении постоянной величиной является алгебраическое значение углового ускорения: ε_z = const. В этом случае справедливы уравнения движения: $\omega_z = \omega_{z0} + \varepsilon_z t$; $\varphi = \varphi_0 + \omega_{z0} t + \dfrac{\varepsilon_z t^2}{2}$.

При вращательном движении тела все его точки движутся по окружностям, радиусы которых равны расстояниям от выбранной точки до неподвижной оси. **Скорость точки** вращающегося твердого тела **(**в отличие от угловой скорости тела) называют **линейной,** или **окружной скоростью** точки. Модуль скорости точки рассчитывается по формуле: $V = \omega h$, где ω – угловая скорость тела; h – расстояние от точки до оси вращения. Вектор скорости направлен по касательной к описываемой точкой окружности в сторону вращения тела.

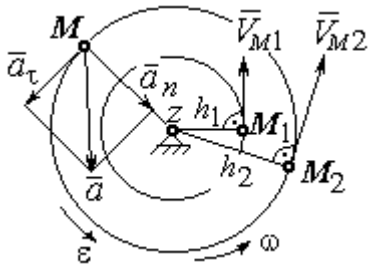


Рис. 2.6. Скорость и ускорение точек вращающегося тела

При вращении тела отношение скоростей двух точек тела равно отношению расстояний от этих точек до оси вращения: $\dfrac{V_{M_1}}{V_{M_2}} = \dfrac{h_1}{h_2}$ (рис. 2.6).

Ускорение точки вращающегося твердого тела рассчитывается как ускорение точки при естественном способе задания движения в виде суммы векторов касательного и нормального ускорений (см. рис. 2.6): $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$, где модули векторов $a_\tau = \varepsilon h$, $a_n = \omega^2 h$; $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$; ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела, $\varepsilon = |\varepsilon_z|$; h – расстояние от точки до оси вращения. **Вектор касательного ускорения точки** $\vec{a}_\tau$ направлен по касательной к описываемой точкой окружности в сторону движения точки, если вращение тела ускоренное, и в противоположную сторо-

ну, если движение тела замедленное. **Вектор нормального ускорения точки** $\vec{a}_n$ направлен вдоль радиуса описываемой точкой окружности к её центру.

При **передаче вращения** одного тела другому без проскальзывания соотношения между угловыми скоростями и угловыми ускорениями выражаются из равенства скоростей и касательных ускорений в точке контакта: $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$; $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{r_2}{r_1}$ (рис. 2.7).

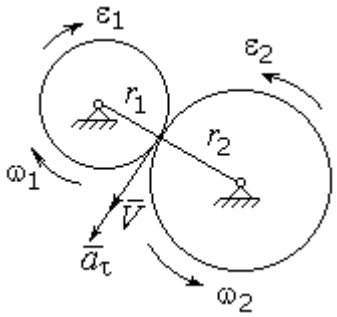


Рис. 2.7. Передача вращения одного тела другому

Примеры решения задач на вращательное движение тел

Задача 23. Вал, начиная вращаться равноускоренно из состояния покоя, за первые 2 мин. сделал 3600 оборотов. Определить угловую скорость вала в конце 2-й минуты и угловое ускорение вала.

Решение

Допустим, вращение вала вокруг оси *z* происходит в сторону положительного направления отсчёта угла. Тогда алгебраические значения угловой скорости и углового ускорения равны модулям соответствующих векторов $\omega_z = \omega$; $\varepsilon_z = \varepsilon$.

Воспользуемся уравнениями равнопеременного вращения вала с нулевыми начальными условиями (начальный угол поворота $\varphi_0 = 0$ и начальная угловая скорость вала $\omega_0 = 0$). Имеем $\omega = \varepsilon t$; $\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2}$.

Подставим в уравнения параметры движения вала в момент времени $t = t_1 = 2$ мин = 120 с; $\varphi_1 = 3600$ об $= 7200\pi$ рад. Получим систему:

$$\omega_1 = \varepsilon \cdot 120, \quad 7200\pi = \frac{\varepsilon \cdot 120^2}{2}, \text{ откуда } \varepsilon = \pi \text{ с}^{-2}; \quad \omega_1 = 120\pi \text{ с}^{-1}.$$

Задача 24. В механизме стрелочного индикатора (рис. 2.8) движение от рейки мерительного штифта 1 передаётся шестерне 2, скреплённой на одной оси с зубчатым колесом 3. Колесо 3 сцепляется, в свою очередь, с шестернёй 4, несущей стрелку-индикатор. Определить угловую скорость стрелки, если движение штифта задаётся уравнением $x = 4\sin\pi t$ и радиусы зубчатых колёс: $r_2 = 6$ см, $r_3 = 10$ см, $r_4 = 4$ см.

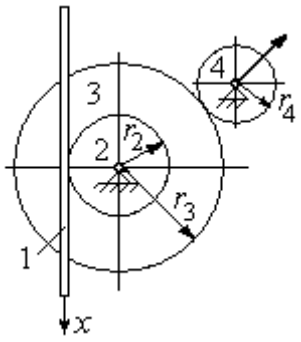


Рис. 2.8. Механизм стрелочного индикатора

Решение

Мерительный штифт движется поступательно вдоль оси x (см. рис. 2.8). Проекция скорости любой точки штифта на ось x $V_{1x} = \dot{x} = 4\pi\cos\pi t$ см/с. Такую же скорость имеет и точка касания штифта с шестернёй 2.

Полагая, что точка касания штифта с шестернёй 2 принадлежит и шестерне, найдём алгебраическое значение угловой скорости шестерни 2: $\omega_{2z} = \dfrac{V_{1x}}{r_2} = \dfrac{4\pi\cos\pi t}{6} = \dfrac{2\pi}{3}\cos\pi t$ рад/с. Зубчатое колесо 3 скреплено с шестернёй 2 на одной оси и имеет ту же угловую скорость $\omega_{3z} = \omega_{2z}$. Вращение колеса 3 через точку зацепления передаётся шестерне 4. Выразим соотношение между алгебраическими значениями угловых скоростей при передаче вращения одного тела другому: $\dfrac{\omega_{3z}}{\omega_{4z}} = \dfrac{r_4}{r_3}$. Отсюда получим: $\omega_{4z} = \dfrac{V_{1x} r_3}{r_2 r_4} = \dfrac{5\pi}{3}\cos\pi t$ с$^{-1}$. Угловая скорость стрелки равна угловой скорости шестерни 4.

Задача 25. Ведущее колесо 1 подъёмного устройства (рис. 2.9) передаёт движение шестерне 2. На одной оси с шестернёй 2 расположен шкив 3, жёстко скреплённый с шестернёй. Шкив 3 соединяется со шкивом 4 бесконечным

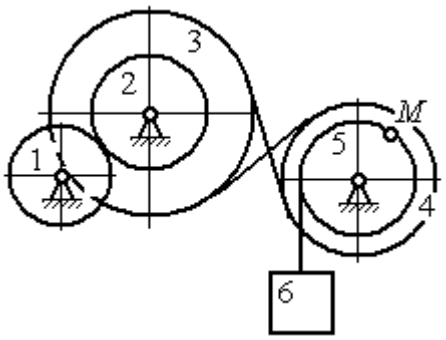


Рис. 2.9. Схема механизма подъёмного устройства

перекрёстным ремнём. Барабан 5 скреплён со шкивом 4 и находится с ним на одной оси. На барабан намотана нить, удерживающая груз 6. По заданному уравнению движения колеса 1 определить скорость, нормальное, касательное и полное ускорения точки M на ободе барабана 5 в момент времени $t_1 = 1$ с, а также скорость и ускорение груза 6. Скольжение между звеньями механизма отсутствует.

Значения радиусов колёса, шкивов и барабана механизма: $r_1 = 20$ см, $r_2 = 10$ см, $r_3 = 40$ см, $r_4 = 16$ см, $r_5 = 8$ см. Уравнение вращения колеса 1: $\varphi_1 = 2t^2 - 5t$ рад.

Решение

Ведущим звеном в механизме является колесо 1. Выберем положительное направление отсчёта угла поворота колеса 1 в сторону, противоположную направлению вращения часовой стрелки. На рис. 2.10 это направление показано дуговой стрелкой φ_1.

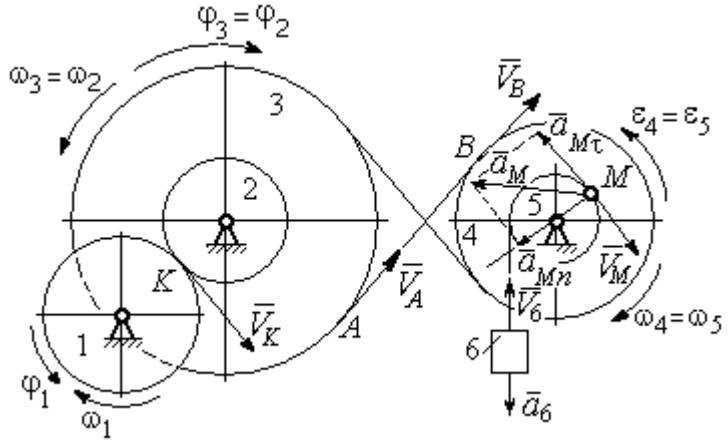


Рис. 2.10. Расчётная схема механизма

Продифференцировав по времени уравнение движения колеса 1, получим алгебраическое значение его угловой скорости: $\omega_{1z} = \dot{\varphi}_1 = 4t - 5$ рад/с. В момент времени $t_1 = 1$ с алгебраическое значение угловой скорости колеса 1 отрицательно: $\dot{\varphi}_1(1) = -1$ рад/с. Это означает, что в данный момент времени колесо 1 вращается в сторону, противоположную положительному направлению отсчёта угла φ_1. Угловая скорость колеса 1 равна модулю: $\omega_1 = |\omega_{1z}| = 1$ рад/с. Направление угловой скорости ω_1 колеса 1 в момент времени $t_1 = 1$ с показано дуговой стрелкой ω_1.

Вращение колеса 1 передаётся шестерне 2 через точку контакта *K*. Из соотношения $\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{r_2}{r_1}$ найдём угловую скорость шестерни 2: $\omega_2=\frac{\omega_1 r_1}{r_2}$. Шкив 3, закреплённый на одной оси с шестернёй 2 имеет такую же угловую скорость, $\omega_3=\omega_2$. Направление угловых скоростей шестерни 2 и шкива 3 показано на рис. 2.10 дуговой стрелкой ω_2.

Передача движения шкива 3 шкиву 4 производится с помощью ремённой передачи. На участке от точки *A*, где ремень сходит со шкива 3, и до точки *B*, где ремень набегает на шкив 4, ремень движется поступательно, поэтому скорости точек *A* и *B* равны: $V_A=V_B$. Выразив скорости точек через угловые скорости тел, имеем равенство $\omega_3 r_3=\omega_4 r_4$, откуда с учётом, что $\omega_3=\omega_2$, найдём угловую скорость шкива 4: $\omega_4=\frac{\omega_3 r_3}{r_4}=\frac{\omega_1 r_1 r_3}{r_2 r_4}$. Угловая скорость барабана 5 равна угловой скорости шкива 4, $\omega_5=\omega_4$. Направление угловых скоростей шкива 4 и барабана 5 показано на рис. 2.10 дуговой стрелкой ω_4.

Величина (модуль) скорости точки *M* рассчитывается по формуле: $V_M=\omega_5 r_5$. В момент времени $t_1=1$ с $\omega_5=\frac{\omega_1 r_1 r_3}{r_2 r_4}=5$ рад/с и $V_M=20$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_M$ направлен по касательной к ободу барабана в точке *M* и направлен в сторону вращения барабана 5 (см. рис. 2.10).

Нить, несущая груз 6, сматываясь с обода барабана, имеет скорость, равную скорости точек обода барабана, и, следовательно, равна скорости точки *M*: $V_6=V_M$. Направление скорости груза 6 определяется направлением вращения барабана 5. При $t_1=1$с груз поднимается со скоростью $V_6=20$ см/с.

Определим ускорение точки *M*. Вектор ускорения точки *M* равен сумме векторов: $\vec{a}_M=\vec{a}_M^{\tau}+\vec{a}_M^{n}$, где $\vec{a}_M^{\tau}$, $\vec{a}_M^{n}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения.

Найдём алгебраическое значение угловой скорости барабана 5: $\omega_{5z} = \dfrac{\omega_{1z} r_1 r_3}{r_2 r_4} = 20t - 25$ рад/с. Алгебраическое значение углового ускорения барабана 5 ε_{5z} равно производной $\varepsilon_{5z} = \dot{\omega}_{5z} = 20$ рад/с^2. Так как в момент времени $t_1 = 1$ с знаки алгебраических значений угловой скорости барабана и его углового ускорения разные ($\omega_{5z} = -5$ рад/с $\vec{a}_M = \vec{a}_M^{\tau} + \vec{a}_M^{n}$ $\varepsilon_{5z} = +20$ рад/с^2), угловое ускорение (по величине равное модулю $\varepsilon_5 = |\varepsilon_{5z}|$) направлено в сторону, противоположную угловой скорости. На рис. 2.10 направление углового ускорения барабана 5 показано дуговой стрелкой ε_5.

Касательное ускорение точки: $a_{M\tau} = \varepsilon_5 r_5 = 80$ см/с^2. Вектор $\vec{a}_{M\tau}$ касательного ускорения точки M направлен по касательной к траектории в точке M в сторону углового ускорения ε_5 (см. рис. 2.10).

Нормальное ускорение точки M рассчитывается как $a_M^n = \omega_5^2 r_5$, где угловая скорость барабана $\omega_5 = |\omega_{5z}|$. В момент времени $t_1 = 1$ с $\omega_5 = 5$ рад/с и величина нормального ускорения: $\vec{a}_M^{\,n} = 100$ см/с^2. Вектор нормального ускорения $\vec{a}_M^{\,n}$ направлен по радиусу к центру барабана 5.

Модуль полного ускорения точки M в заданный момент времени: $a_M = \sqrt{(a_M^{\tau})^2 + (a_M^n)^2} = 128{,}06$ см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_M$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_M^{\,n}$ и $\vec{a}_M^{\tau}$ (см. рис. 2.10).

Ускорение a_6 груза 6 находится из условия, что груз движется прямолинейно. При прямолинейном движении нормальная составляющая ускорения равна нулю. В результате, ускорение груза 6 $a_6 = a_6^{\tau} = \dot{V}_6 = \dot{V}_M = a_M^{\tau} = \varepsilon_5 r_5 = 80$ см/с^2. Направление вектора ускорения груза 6 определяется направлением углового ускорения барабана 5. На рис. 2.10 направление ускорения груза 6 показано вектором $\vec{a}_6$.

Задача 26. По заданному уравнению поступательного движения звена 1 механизма (рис. 2.11, *a*) определить скорость, нормальное, касательное и полное ускорения точки *M* диска 3 в момент времени $t_1 = 1$ с, а также скорость и ускорение звена 4. Скольжение между звеньями механизма отсутствует. Значения радиусов колес механизма и закон движения звена 1: $R_2 = 20$ см, $r_2 = 5$ см, $R_3 = 8$ см, $r_3 = 4$ см, $x_1 = \cos\pi t + \sin\pi t$ см.

Решение

Звено 1 движется поступательно вдоль оси *x*. Положительное направление движения задаётся направлением оси *x* (рис. 2.11, *a*). Продифференцировав по времени уравнение движения звена 1, получим его алгебраическое значение скорости: $V_{1x}(t) = \dot{x}_1 = -\pi\sin\pi t + \pi\cos\pi t$.

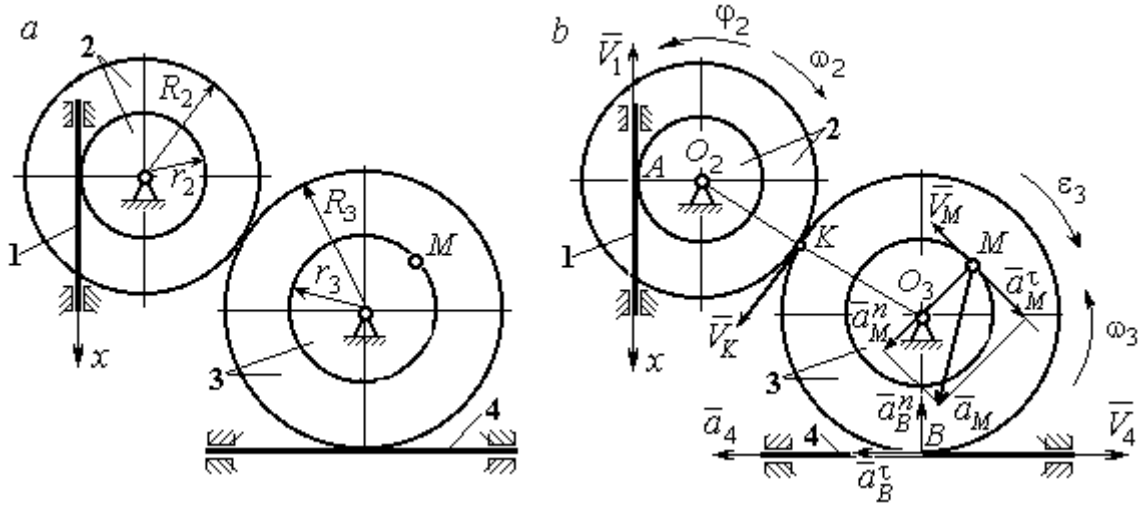


Рис. 2.11. Кинематика поступательного и вращательного движений твердого тела:
a – схема механизма; *b* – расчетная схема для определения скоростей
и ускорений точек механизма

В момент времени $t_1 = 1$ с алгебраическое значение скорости звена 1 отрицательное: $V_{1x}(1) = -\pi$ см/с. Это показывает, что в данный момент времени звено 1 движется в сторону, противоположную положительному направлению оси *x*. Скорость звена 1 равна модулю производной $V_1(1) = |\dot{x}_1| = \pi$ см/с. На рис. 2.11, *b* показано направление вектора скорости $\vec{V}_1$.

Точка A соприкосновения звена 1 с диском 2 имеет ту же скорость, что и звено 1. Угловая скорость диска 2 определяется из равенства $\omega_2 = \frac{V_1}{r_2}$ рад/с. Направление угловой скорости вращения диска 2 показано на рис. 2.11, *b* дуговой стрелкой ω_2.

Передача вращения диска 2 диску 3 происходит в точке *K*. Из соотношения $\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_3}$ находим угловую скорость диска 3: $\omega_3 = \frac{V_1 R_2}{r_2 R_3} = \frac{\pi}{2}$. Направление угловой скорости диска 3 показано на рис. 2.11, *b* дуговой стрелкой ω_3.

Модуль скорости точки M $V_M = \omega_3 r_3 = 2\pi$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_M$ направлен по касательной к траектории движения точки *M* в сторону вращения диска 3 (см. рис. 2.11, *b*).

Звено 4 движется поступательно. Величина и направление скорости звена 4 совпадают с величиной и направлением скорости точки *B* касания звена 4 с диском 3: $V_4 = V_B = \omega_3 R_3$. В момент времени $t_1 = 1$ с $V_4 = 4\pi$ см/с. Направление вектора скорости $\vec{V}_4$ определяется направлением вращения диска 3.

Определим ускорение точки *M*. Найдём алгебраическое значение ω_{3z} угловой скорости диска 3: $\omega_{3z} = \frac{V_{1x} R_2}{r_2 R_3} = \frac{\pi}{2}(-\sin\pi t + \cos\pi t)$. Алгебраическое значение ε_{3z} углового ускорения диска 3: $\varepsilon_{3z} = \dot{\omega}_{3z} = -\frac{\pi^2}{2}(\cos\pi t + \sin\pi t)$ и в момент времени $t_1 = 1$ с $\varepsilon_{3z} = \frac{\pi^2}{2}$. Разные знаки алгебраических значений угловой скорости и углового ускорения диска 3 ($\omega_{3z} = -\frac{\pi}{2}; \varepsilon_{3z} = +\frac{\pi^2}{2}$) показывают, что угловое ускорение направлено в сторону, противоположную угловой скорости. На рис 2.11, *b* направление углового ускорения диска 3 показано дуговой стрелкой ε_3.

Касательное ускорение точки M рассчитывается по формуле $a_M^{\tau} = \varepsilon_3 r_3$, где угловое ускорение $\varepsilon_3 = |\varepsilon_{3z}|$. В момент времени $t_1 = 1$ с $a_M^{\tau} = 2\pi^2$ см/с^2. Вектор касательного ускорения точки M $\vec{a}_M^{\tau}$ направлен по касательной к траектории точки M в сторону углового ускорения ε_3 (см. рис. 2.11, *b*).

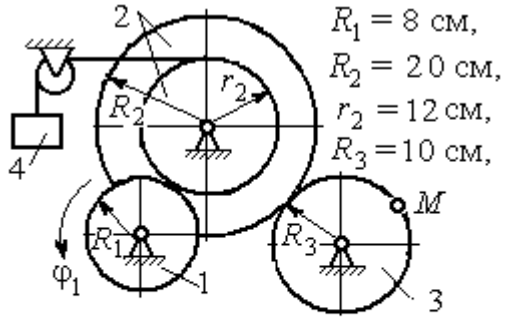
Нормальное ускорение точки M рассчитывается как $a_M^n = \omega_3^2 r_3$. В момент времени $t_1 = 1$ с величина нормального ускорения $a_M^n = \pi^2$ см/с^2. Вектор нормального ускорения $\vec{a}_M^n$ направлен по радиусу к центру диска 3.

Модуль полного ускорения точки M: $a_M = \sqrt{(a_M^n)^2 + (a_M^{\tau})^2} = \pi^2\sqrt{5}$ см/с^2. Вектор полного ускорения $\vec{a}_M$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_M^n$ и $\vec{a}_M^{\tau}$.

Звено 4 движется поступательно и прямолинейно. Ускорение звена 4 равно проекции ускорения точки B (касания диска 3 со звеном 4) на линию движения звена 4: $a_4 = a_B^{\tau} = \varepsilon_3 R_3 = 4\pi^2$ см/с^2. Направление ускорения звена 4 совпадает с касательным ускорением точки B.

Упражнения

Упражнение 2.1

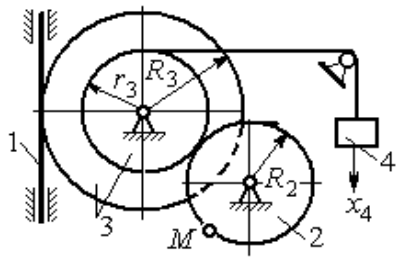


$R_1 = 8$ см,
$R_2 = 20$ см,
$r_2 = 12$ см,
$R_3 = 10$ см,

$\varphi_1 = 3t + 2\sin\frac{\pi t}{2}$ рад,

Найти скорость и ускорение точки M и груза 4 в момент $t = 1$ с

Упражнение 2.2



$R_2 = 0{,}2$ м, $R_3 = 0{,}4$ м, $r_3 = 0{,}3$ м,

$x_4 = t - 1 - \sin\frac{\pi t}{3} + \cos\frac{\pi t}{3}$ м.

Найти скорость и ускорение точки M и звена 1 в момент $t = t_1 = 3$ с.

Рис. 2.12. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.1, 2.2

2.3. Скорости точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела

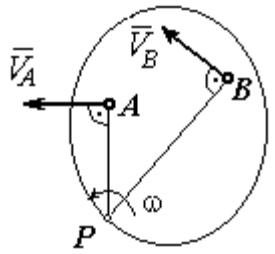
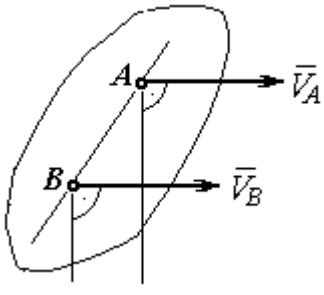
Плоскопараллельным, или плоским движением твердого тела, называется такое движение, при котором все точки тела движутся параллельно некоторой неподвижной (основной) плоскости.

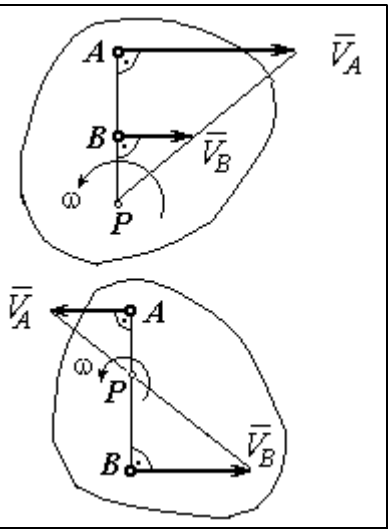
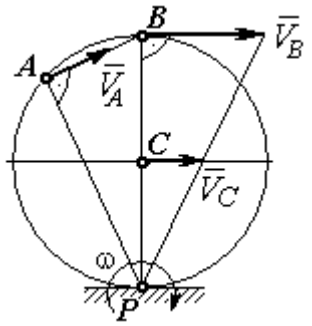
Для скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_M$ двух точек A и M тела, совершающего плоское движение, справедливо утверждение: **проекции скоростей двух точек твердого тела на ось, проходящую через эти точки, равны друг другу:** $V_A\cos\alpha = V_M\cos\beta$, где α, β – углы между векторами скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_M$ и осью, проходящей через точки A и M.

Мгновенным центром скоростей (МЦС) называется точка P плоской фигуры, скорость которой в данный момент времени равна нулю. При известном положении МЦС скорость любой точки плоской фигуры находят так, как если бы движение фигуры было мгновенно вращательным вокруг мгновенного центра скоростей с угловой скоростью, равной угловой скорости плоской фигуры. Способы построения мгновенного центра скоростей приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Способы построения мгновенного центра скоростей

1. Если известны направления скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ каких-нибудь двух точек A и B плоской фигуры, то мгновенный центр скоростей P находится в точке пересечения перпендикуляров, восстановленных из этих точек к векторам скоростей.	
2. Если скорости двух точек $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ параллельны, но точки A и B не лежат на общем перпендикуляре к скоростям, то, как видно из рисунка, мгновенный центр P бесконечно удалён. В этом случае угловая скорость $\omega = 0$ и тело в данный момент движется поступательно (движение является мгновенным поступательным). При таком движении скорость любой точки тела равна $\vec{V}_A$.	

3. Если скорости двух точек $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ параллельны, а точки A и B лежат на общем перпендикуляре к скоростям, то мгновенный центр скоростей P находится как пересечение прямой, соединяющей точки A и B и линии, проходящей через концы векторов, изображающих скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$.	
4. Если плоскопараллельное движение осуществляется путем качения без скольжения одного тела по неподвижной поверхности другого, то мгновенный центр скоростей P расположен в точке касания катящегося тела с неподвижной поверхностью.	

Примеры решения задач на плоскопараллельное движение тела

Задача 27. Приводной механизм насоса находится в положении, показанном на рис. 2.13. Кривошип O_1C вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_{O_1C} = 2$ рад/с вокруг оси, проходящей через точку O_1 перпендикулярно плоскости чертежа. Определить скорость поршня D и угловые скорости шатуна BC, коромысла AB и штока AD, если O_1C = 20 см, $OB = 2 \cdot OA$ = 40 см, AD = 60 см.

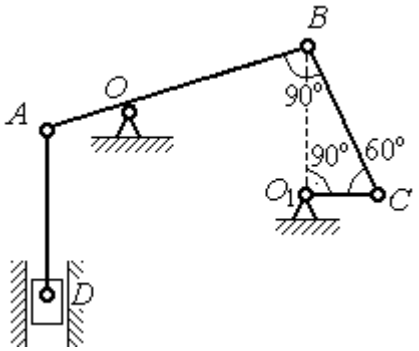


Рис. 2.13. Приводной механизм насоса

Решение

Предположим для определённости, что кривошип O_1C вращается в направлении по ходу часовой стрелки. Вектор $\vec{V}_C$ скорости точки C направлен

перпендикулярно кривошипу O_1C, в сторону его вращения (рис. 2.14). Модуль скорости $V_C = \omega_{O_1C} \cdot O_1C = 40$ см/с.

Коромысло AB качается (вращается) вокруг оси, проходящей через точку O, параллельно оси вращения кривошипа. Скорость точки B направлена перпендикулярно коромыслу AB вдоль шатуна BC (рис. 2.14).

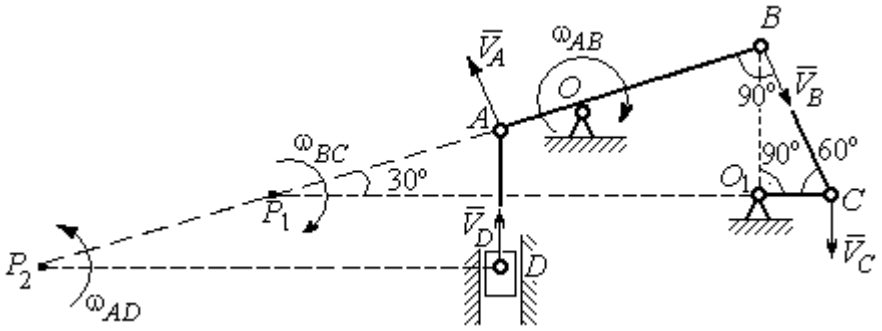


Рис. 2.14. Расчётная кинематическая схема механизма привода насоса

Шатун BC совершает плоскопараллельное движение. Мгновенный центр скоростей шатуна P_1 расположен в точке пересечения перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$ точек C и B шатуна. Находим $P_1C = 4O_1C = 80$ см. Угловая скорость вращения шатуна BC $\omega_{BC} = \dfrac{V_C}{CP_1} = 0{,}5$ рад/с. Направление угловой скорости вращения шатуна BC определяется направлением вращения кривошипа O_1C и на рис. 2.14 показано дуговой стрелкой ω_{BC}.

Скорость V_B найдём по теореме о проекциях скоростей. Спроектируем вектора скоростей $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$ точек C и B на линию BC. Получим $V_B \cos 0^\circ = V_C \cos 30^\circ$. Отсюда $V_B = 20\sqrt{3}$ см/с.

Угловая скорость коромысла AB $\omega_{AB} = \dfrac{V_B}{OB} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}$ рад/с. Направление угловой скорости коромысла определяется направлением вектора скорости $\vec{V}_B$ и показано дуговой стрелкой ω_{AB}.

Скорость точки A коромысла равна половине скорости точки B: $V_A = \frac{1}{2}V_B = 10\sqrt{3}$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно коромыслу AB в сторону его вращения.

Точка P_2 пересечения перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_D$ является мгновенным центром скоростей штока AD. Тогда угловая скорость штока $\omega_{AD} = \frac{V_A}{AP_2} = \frac{\sqrt{3}}{12}$ рад/с. Направление угловой скорости штока определяется по направлению скорости точки A и на рис. 2.14 показано дуговой стрелкой ω_{AD}.

Скорость поршня $V_D = \omega_{AD} \cdot P_2D = 15$ см/с.

Задача 28. Механизм качалки (рис. 2.15) состоит из кривошипа OA, вращающегося вокруг оси O и несущего в точке A ось подвижной шестерни 2, которая катится по неподвижной шестерне 1. Вращение кривошипа происходит с угловой скоростью $\omega_{OA} = 2$ рад/с. Радиусы шестерён $r_1 = r_2 = 6$ см. К ободу шестерни 2 в точке B шарнирно прикреплён шатун BC длиной $BC = 8$ см, который в точке C передаёт движение коромыслу CO_1 длиной $CO_1 = 16$ см.

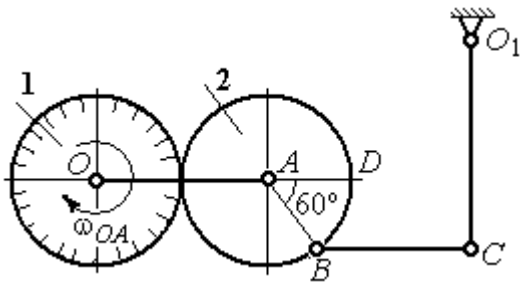


Рис. 2.15. Схема механизма качалки

Определить угловые скорости шестерни 2, шатуна BC, коромысла CO_1, а также скорости точек A, B, C, D в момент, когда кривошип OA и шатун BC горизонтальны и угол $\angle DAB = 60^\circ$.

Решение

Найдём скорость точки A кривошипа: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 24$ см/с. Вектор скорости точки $\vec{V}_A$ расположен перпендикулярно кривошипу OA и направлен в сторону вращения кривошипа (рис. 2.16).

Мгновенный центр скоростей P_2 шестерни 2 находится в точке касания с неподвижной поверхностью шестерни 1. Угловая скорость шестерни 2 $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2} = 4$ рад/с. Направление угловой скорости шестерни 2 определяется направлением вектора скорости $\vec{V}_A$ и на рис. 2.16 показано дуговой стрелкой ω_2.

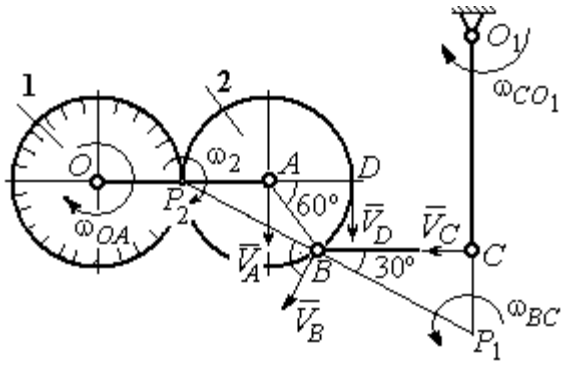


Рис.2.16. Расчётная кинематическая схема механизма качалки

Найдём расстояние P_2B из равнобедренного треугольника P_2AB по теореме косинусов: $P_2B = \sqrt{r^2 + r^2 - 2r^2\cos 120^\circ} = 6\sqrt{3}$ см. Скорость точки B $V_B = \omega_2 \cdot P_2B = 24\sqrt{3}$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_2B и направлен в сторону вращения шестерни 2.

Скорость точки D: $V_D = \omega_2 \cdot P_2D = 48$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_D$ перпендикулярен линии P_2D и направлен в ту же сторону (см. рис. 2.16).

Скорость точки C перпендикулярна линии CO_1. Восстанавливая перпендикуляры к скоростям $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$, получим точку пересечения P_1, которая будет мгновенным центром скоростей шатуна BC. Расстояние $P_1B = \dfrac{BC}{\cos 30^\circ} = \dfrac{16}{\sqrt{3}}$ см.

Угловая скорость шатуна $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{P_1B} = \dfrac{9}{2}$ рад/с. Направление угловой скорости определяется по направлению скорости $\vec{V}_B$ и показано дуговой стрелкой ω_{BC}.

Скорость точки C: $V_C = \omega_{BC} \cdot P_1C = \dfrac{36}{\sqrt{3}}$ см/с. Направление вектора скорости определяется направлением вращения шатуна BC.

Угловая скорость коромысла CO_1: $\omega_{CO_1} = \dfrac{V_C}{O_1C} = \dfrac{9}{4\sqrt{3}}$ рад/с.

Задача 29. В планетарном механизме (рис. 2.17) кривошип OA длиной OA = 25 см вращается вокруг неподвижной оси O, перпендикулярной плоскости рисунка, с угловой скоростью ω_{OA} = 3,6 рад/с. На конец A кривошипа насажена шестерёнка 2, находящаяся во внутреннем зацеплении с колесом 1 радиуса r_1 = 45 см, соосным с кривошипом OA и вращающимся с угловой скоростью ω_1 = 1 рад/с. Шатун BC, шарнирно соединённый с шестерёнкой 2 на её ободе в точке B, приводит в движение кривошип CO_1. Определить угловые скорости шестерёнки 2, шатуна BC и кривошипа CO_1, скорости точек A, B, C в положении, показанном на рис.2.17, если длина шатуна BC = 100 см, длина кривошипа CO_1 = 50 см.

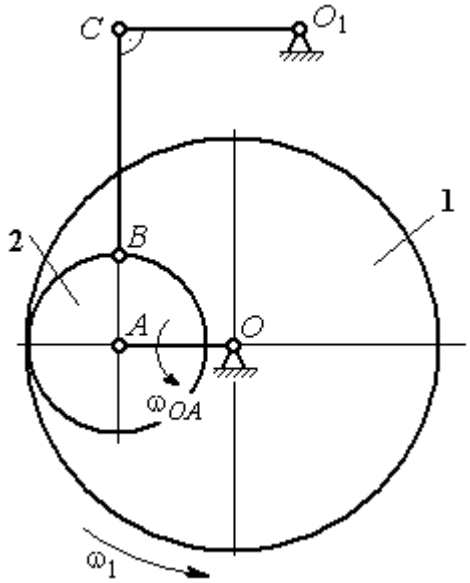


Рис. 2.17. Планетарный механизм

Решение

Найдём скорости точек A и D

$$V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 90 \text{ см/с}; \quad V_D = \omega_1 \cdot r_1 = 45 \text{ см/с}.$$

Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу OA в сторону его вращения. Вектор скорости $\vec{V}_D$ перпендикулярен радиусу OD колеса 1 и направлен в сторону вращения колеса (рис. 2.18).

Мгновенный центр скоростей P_2 шестерни 2 находится на пересечении прямой, соединяющей точки A и D, и линии, проходящей через концы векторов $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_D$, изображающих скорости точек A и D Расстояние P_2D от центра скоростей до точки D находится из пропорции $\frac{V_A}{V_D} = \frac{AP_2}{DP_2} = \frac{DP_2 + 20}{DP_2}$, откуда P_2D = 20 см.

Угловая скорость шестерёнки 2 $\omega_2 = \dfrac{V_D}{P_2 D} = 2{,}25$ рад/с. Направление угловой скорости ω_2 показано на рис. 2.18 дуговой стрелкой ω_2.

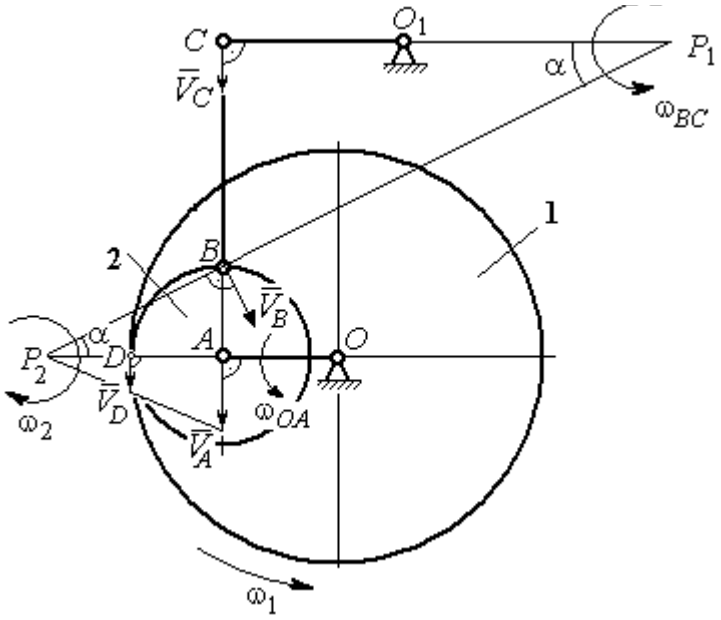


Рис. 2.18. Расчётная кинематическая схема планетарного механизма

Скорость точки *B,* которая находится на ободе шестеренки, $V_B = \omega_2 \cdot P_2 B = = 45\sqrt{5}$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_2B и направлен в сторону вращения шестерни 2.

Направим вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярно кривошипу CO_1 и восстановим перпендикуляры к скоростям $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$. Точка P_1 пересечения перпендикуляров является мгновенным центром скоростей шатуна *BC*. Расстояние P_1B найдём из треугольника P_1BC: $P_1B = \dfrac{BC}{\sin\alpha}$, где $\sin\alpha = \dfrac{AB}{P_2B} = \dfrac{1}{\sqrt{5}}$. Тогда $P_1B = 100\sqrt{5}$ см. Угловая скорость шатуна $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{P_1B} = 0{,}45$ рад/с. Скорость точки *C* шатуна *BC* найдём по теореме о проекциях скоростей. Спроектируем скорости $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$ точек *C* и *B* на линию, проходящую через эти точки Имеем: $V_C \cos 0^\circ = V_B \cos\alpha$, откуда $V_C = 90$ см/с.

Угловая скорость кривошипа CO_1 $\omega_{CO_1} = \dfrac{V_C}{O_1C} = 1{,}8$ рад/с.

Задача 30. В плоском механизме (рис. 2.19) кривошип OA вращается вокруг оси O с угловой скоростью ω_{OA}. На конец A кривошипа насажена шестерня 2, находящаяся во внешнем зацеплении с неподвижным колесом 1. Радиусы колеса и шестерни r_1 и r_2. Шестерня 2 соединяется с колесом 3 шатуном BC, закреплённым на шестерне в точке B и на колесе в точке C. Колесо 3 катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Все соединения шарнирные. Качение шестерни 2 по неподвижному колесу 1 без проскальзывания. Для положения механизма, изображенного на рис. 2.19, определить скорости точек A, B, C и угловые скорости шатуна BC, шестерни 2 и колеса 3, если $\omega_{OA} = 4$ рад/с; $r_1 = 4$ см; $r_2 = r_3 = 8$ см.

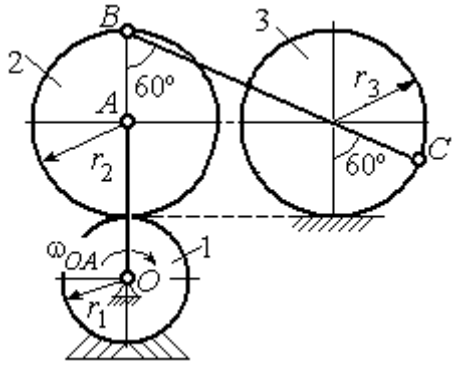


Рис. 2.19. Схема движения плоского механизма

Решение

Рассмотрим вращательное движение кривошипа OA. Скорость точки A кривошипа: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 48$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу OA в сторону его вращения (рис. 2.20).

При качении шестерни 2 по неподвижной поверхности колеса 1 точка их соприкосновения P_2 является мгновенным центром скоростей шестерни.

Угловая скорость шестерни 2 $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2} = 6$ рад/с.

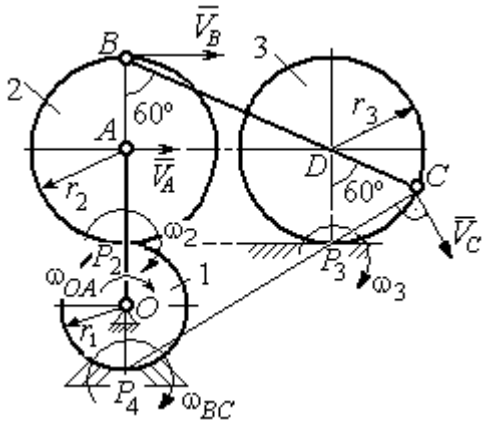


Рис. 2.20. Расчетная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

Скорость точки B шестерни 2 $V_B = \omega_2 \cdot BP_2 = 96$ см/с.

Точка P_3 касания колеса 3 с неподвижной поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Вектор $\vec{V}_C$ скорости точки C колеса 3 перпендикулярен линии P_3C и направлен в сторону качения колеса (см. рис. 2.20).

Мгновенный центр скоростей шатуна BC – точка P_4 находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных к скоростям точек B и C. По построению $BP_4 = BC = BD + DC = 2r_2 + r_3 = 24$ см. Угловая скорость шатуна BC $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{BP_4} = 4$ рад/с. Так как $BP_4 = CP_4$, скорости точек C и B $V_C = 96$ см/с.

Угловая скорость колеса 3 $\omega_3 = \dfrac{V_C}{CP_3} = 12$ рад/с.

Задача 31. В плоском механизме (рис. 2.21) кривошип OC, вращаясь вокруг неподвижной оси O, приводит в движение два шатуна CD и CE, присоединённых к кривошипу в точке C. Шатун CE прикреплён в точке E к ободу цилиндрического выступа диска 1, который катится без проскальзывания своим выступом по неподвижному горизонтальному рельсу. К другому шатуну CD в точке D прикреплён ползун, перемещающийся вдоль направления вертикального диаметра диска 1. Все соединения шарнирные. Радиусы диска и цилиндрического выступа $R_1 = 3$ см, $r_1 = 2$ см. Длина шатуна $CE = 4$ см. В заданном положении механизма (см. рис. 2.21) шатун CE горизонтален.

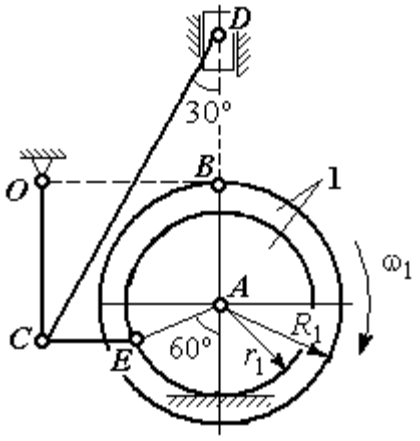


Рис. 2.21. Схема движения плоского механизма

Определить скорости точек A, E, C, D и угловые скорости диска 1, шатунов CE, CD и кривошипа CO, если известна скорость точки B на ободе диска 1 $V_B = 10$ см/с и направление ω_1 угловой скорости диска.

Решение

Изобразим вектор скорости точки *B* диска 1 в соответствии с заданным направлением его движения. При качении диска 1 по неподвижной поверхности рельса точка P_1 касания обода выступа с поверхностью рельса является его мгновенным центром скоростей (рис. 2.22).

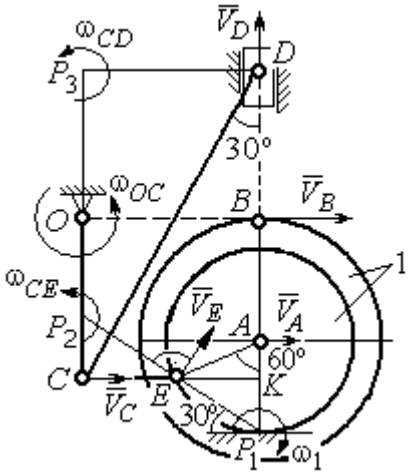


Рис. 2.22. Расчётная схема для определения скоростей точек и угловых скоростей звеньев механизма

Угловая скорость диска 1 $\omega_1 = \dfrac{V_B}{BP_1} = 2$ рад/с. Скорость точки *A* $V_A = \omega_1 \cdot AP_1 = 4$ см/с. Скорость точки *E* $V_E = \omega_1 \cdot EP_1 = 4$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ и вектор скорости $\vec{V}_E$ перпендикулярны, соответственно, линиям AP_1 EP_1 и направлены в сторону вращения диска.

Шатун *CE* совершает плоскопараллельное движение. Скорость точки *C* шатуна неизвестна по величине, но известно, что вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярен кривошипу *OC* и направлен вдоль *CE* в сторону точки *E*. Мгновенный центр скоростей P_2 шатуна *CE* находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных к скоростям $\vec{V}_E$ и $\vec{V}_C$ (см. рис. 2.22).

Расстояние $EP_2 = \dfrac{EC}{\cos 30^\circ} = 4{,}62$ см. Угловая скорость шатуна *CE* $\omega_{CE} = \dfrac{V_E}{EP_2} = 0{,}86$ рад/с. Направление угловой скорости шатуна, определяемое по направлению скорости точки *E*, на рис. 2.22 показано дуговой стрелкой ω_{CE}. Скорость точки *C* шатуна *CE* $V_C = \omega_{CE} \cdot CP_2 = \dfrac{V_E}{2} = 2$ см/с.

Длина кривошипа $OC = BK = R_1 + r_1 \sin 30^\circ = 4$ см. Угловая скорость кривошипа $\omega_{OC} = \dfrac{V_C}{OC} = 0{,}5$ рад/с.

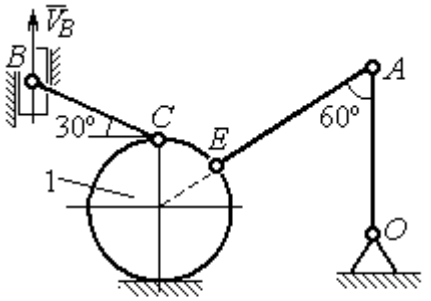
Для шатуна CD известны величина и направление вектора $\vec{V}_C$ скорости точки C и направление вектора $\vec{V}_D$ скорости точки D. Мгновенный центр скоростей шатуна CD находится в точке P_3, полученной на пересечении перпендикуляров, восстановленных к скоростям $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_D$.

Расстояние $CP_3 = DK = (CE + r_1 \cos 30^\circ)\operatorname{ctg} 30^\circ = 9{,}92$ см (см. рис. 2.22). Угловая скорость шатуна CD: $\omega_{CD} = \dfrac{V_C}{CP_3} = 0{,}21$ рад/с.

Скорость ползуна D: $V_D = \omega_{CD} DP_3 = \omega_{CD}(CE + r_1 \cos 30^\circ) = 1{,}2$ см/с.

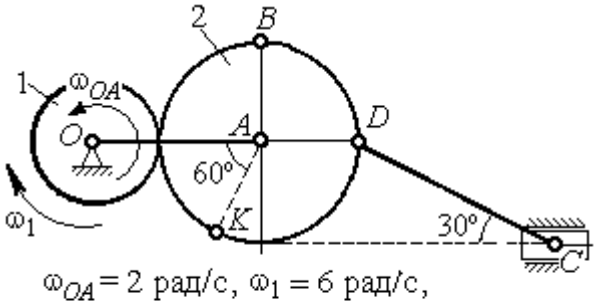
Упражнения

Упражнение 2.3



$R_1 = 2$ см, $OA = AE = 6$ см,
$BC = 5$ см, $V_B = 5$ см/с.
Найти: $\omega_{OA}, \omega_{AE}, \omega_{CB}, \omega_1, V_C, V_A, V_E$

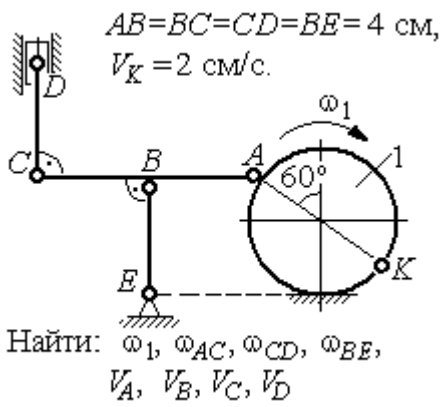
Упражнение 2.4



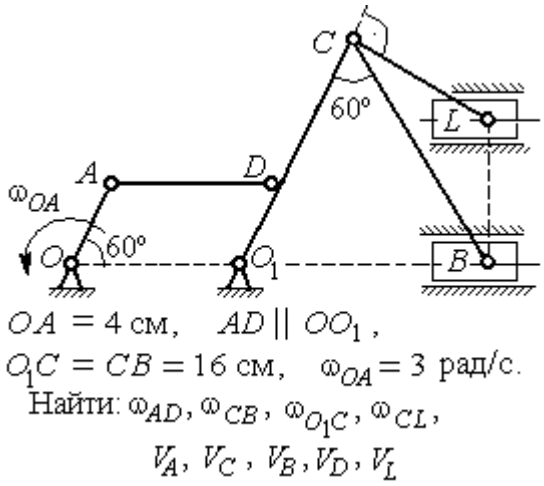
$\omega_{OA} = 2$ рад/с, $\omega_1 = 6$ рад/с,
$r_1 = 3$ см, $r_2 = 6$ см.
Найти: $\omega_2, \omega_{DC}, V_B, V_K, V_D, V_C$

Рис. 2.23. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.3, 2.4

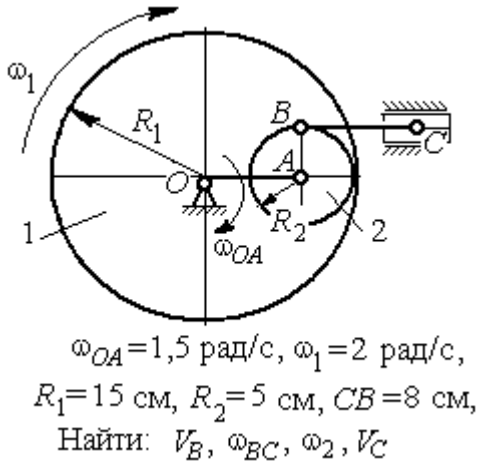
Упражнение 2.5



Упражнение 2.6



Упражнение 2.7



Упражнение 2.8

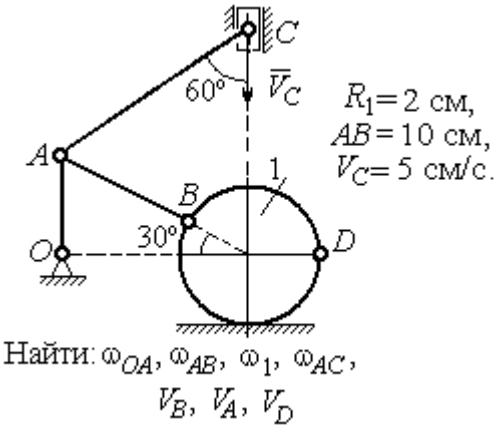


Рис. 2.24. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.5 – 2.8

2.4. Ускорения точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела

Ускорение любой точки M плоской фигуры при плоскопараллельном движении твердого тела представляется как сумма векторов $\vec{a}_M = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{MA} + \vec{a}^{n}_{MA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса A; $\vec{a}^{\tau}_{MA}$, $\vec{a}^{n}_{MA}$ – касательная и

нормальная составляющие ускорения точки *M* при вращении фигуры вокруг полюса *A* (рис. 2.25).

Вектор нормального ускорения $\vec{a}^{\,n}_{MA}$ всегда направлен от точки *M* к полюсу *A*. Вектор касательного ускорения $\vec{a}^{\,\tau}_{MA}$ направлен перпендикулярно отрезку *AM* в сторону вращения, если оно ускоренное (см. рис. 2.25, *a*), и против вращения, если оно замедленное (см. рис. 2.25, *b*). Величины касательного и нормального составляющих ускорения точки *M* определяются по формулам: $a^{\tau}_{MA} = \varepsilon \cdot AM$; $a^{n}_{MA} = \omega^2 \cdot AM$, где ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела (плоской фигуры); AM – расстояние от точки *M* до полюса *A*.

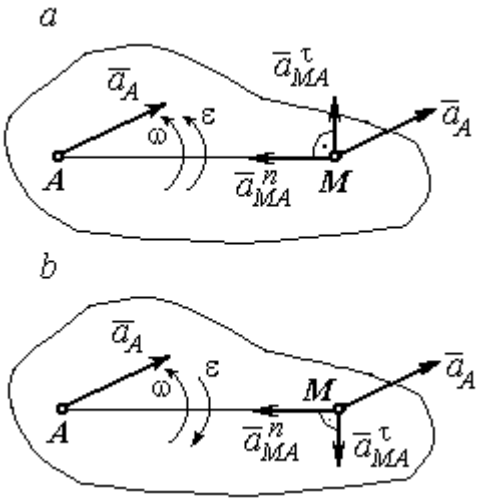


Рис. 2.25. Ускорение точки плоской фигуры:
a – ускоренное движение;
b – замедленное движение

Если при движении плоской фигуры известны траектории движения полюса *A* и точки *M*, то для определения ускорения точки *M* используется векторное равенство $\vec{a}^{\,\tau}_M + \vec{a}^{\,n}_M = \vec{a}^{\,\tau}_A + \vec{a}^{\,n}_A + \vec{a}^{\,\tau}_{MA} + \vec{a}^{\,n}_{MA}$, где $\vec{a}^{\,\tau}_M$, $\vec{a}^{\,n}_M$, $\vec{a}^{\,\tau}_A$, $\vec{a}^{\,n}_A$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *M* и полюса *A* при движении их по заданным траекториям.

Примеры решения задач на определение ускорений точек

Задача 32. Поршень *D* гидравлического пресса приводится в движение шарнирно-рычажным механизмом *OABD*. В положении механизма, указанном на рис. 2.26, точка *L* рычага имеет скорость $V_L = 0{,}6$ м/с и ускорение $a_L = 0{,}5$ м/с^2. Длина рычага $OA = 2 \cdot AL = 0{,}6$ м, длина звена $AB = 0{,}4$ м. Определить скорость и ускорение поршня *D*, угловую скорость и ускорение звена *AB*.

Решение

Найдём угловую скорость рычага OL: $\omega_{OL} = \dfrac{V_L}{OL} = \dfrac{2}{3}$ рад/с.

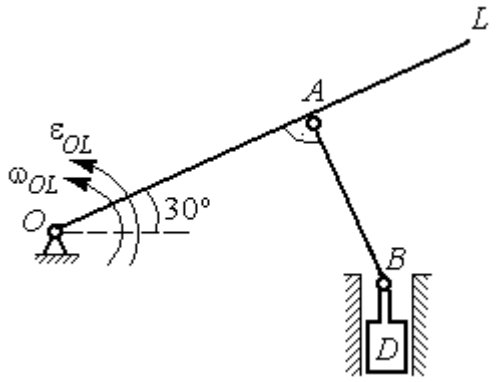


Рис. 2.26. Шарнирно-рычажный механизм гидравлического пресса

Ускорение точки L представляется в виде суммы векторов нормального и касательного ускорений: $\vec{a}_L = \vec{a}_L^{\,\tau} + \vec{a}_L^{\,n}$ (рис. 2.27). Модуль нормального ускорения точки L $a_L^n = \omega_{OL}^2 \cdot OL = 0{,}4$ м/с^2. Модуль её касательного ускорения и угловое ускорение рычага, соответственно, равны:

$$a_L^{\tau} = \sqrt{a_L^2 - (a_L^n)^2} = 0{,}3 \text{ м/с}^2, \quad \varepsilon_{OL} = \frac{a_L^{\tau}}{OL} = \frac{1}{3} \text{ рад/с}^2.$$

Скорость $\vec{V}_A$ точки A перпендикулярна рычагу OL и направлена в сторону вращения рычага. Её модуль $V_A = \omega_{OL} \cdot OA = 0{,}4$ м/с. Скорость $\vec{V}_B$ точки B направлена вертикально вверх вдоль линии движения поршня. Направления векторов скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ показаны на рис. 2.27. Точка P_1 – пересечения перпендикуляров, восстановленных к векторам скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ - определяет положение мгновенного центра скоростей звена AB. Расстояние $AP_1 = P_1B \cdot \cos 30^\circ = 0{,}4\sqrt{3}$ м.

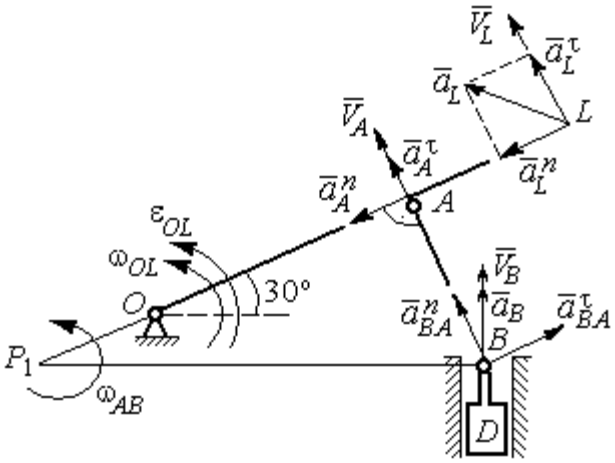


Рис. 2.27. Расчётная кинематическая схема механизма

Угловая скорость звена AB $\omega_{AB} = \dfrac{V_A}{P_1A} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$ рад/с.

Представим ускорение точки B через полюс A: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса A; $\vec{a}^{\tau}_{BA}$, $\vec{a}^{n}_{BA}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки B при вращении звена AB вокруг полюса A. Так как траекторией точки A является окружность с центром в точке O, ускорение этой точки может быть разложено на две составляющие: $\vec{a}_A = \vec{a}^{\tau}_{A} + \vec{a}^{n}_{A}$. В результате ускорение точки B представляется в виде векторной суммы $\vec{a}_B = \vec{a}^{\tau}_{A} + \vec{a}^{n}_{A} + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{BA}$. Направления векторов ускорений показаны на рис. 2.27.

Модули ускорений:

$$a^{n}_{A} = \omega^{2}_{OL} \cdot OA = 0{,}27 \text{ см/с}^2;\ a^{n}_{BA} = \omega^{2}_{AB} \cdot AB = 0{,}13 \text{ см/с}^2;$$

$$a^{\tau}_{A} = \varepsilon_{OL} \cdot OA = 0{,}2 \text{ см/с}^2.$$

Ускорение $a^{\tau}_{BA} = \varepsilon_{AB} \cdot AB$ остаётся неизвестной величиной, так как угловое ускорение ε_{AB} звена AB неизвестно.

Спроектируем векторное равенство ускорения точки B на оси x, y, где ось x проходит вдоль линии звена AB, ось y – перпендикулярна ей (рис. 2.28). Получим равенства:

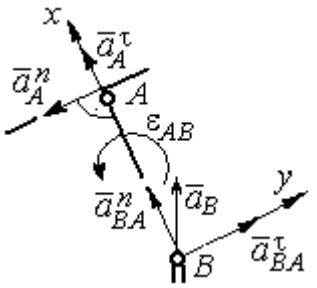


Рис. 2.28. Вычисление проекций векторов ускорений

$$a_B \cdot \cos 30^\circ = a^{\tau}_{A} + a^{n}_{BA};\ \ a_B \cdot \cos 60^\circ = -a^{n}_{A} + a^{\tau}_{BA}.$$

Решая систему уравнений, находим модуль ускорения точки B: $a_B = 0{,}38$ см/с^2 и величину касательного ускорения: $a^{\tau}_{BA} = 0{,}46$ см/с^2. Угловое ускорение стержня AB $\varepsilon_{AB} = \dfrac{a^{\tau}_{BA}}{AB} = 1{,}15$ рад/с^2. Направление углового ускорения ε_{AB} звена AB определяется направлением вектора $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ касательного ускорения точки B при вращении звена вокруг полюса A (см. рис. 2.28).

Ускорение поршня D равно ускорению точки B: $a_D = a_B = 0{,}38$ см/с^2.

Задача 34. Колесо 1 радиуса $r_1 = 0{,}6$ м катится без скольжения по прямолинейному участку пути и приводит в движение шатун 2, соединённый шарнирно с колесом в точке B на его ободе. На другом конце шатуна в точке C к нему присоединён ползун, перемещающийся горизонтально (рис. 2.29).

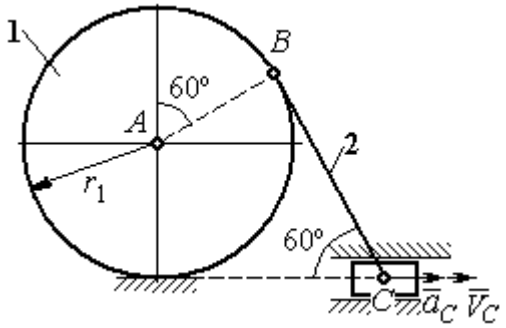


Рис. 2.29. Механизм, связывающий качение колеса с поступательным движением ползуна

В положении механизма, показанном на рис. 2.29, найти ускорение центра A колеса 1, его угловое ускорение, а также угловое ускорение шатуна 2, если заданы скорость и ускорение ползуна C: $V_C = 9$ м/с; $a_C = 4$ м/с^2.

Решение

При качении диска 1 по неподвижной поверхности точка P_1 касания его с поверхностью является мгновенным центром скоростей диска. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_1B. Восстановим перпендикуляры к скоростям $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$. Их пересечение в точке P_2 определяет положение мгновенного центра скоростей шатуна 2 (рис. 2.30).

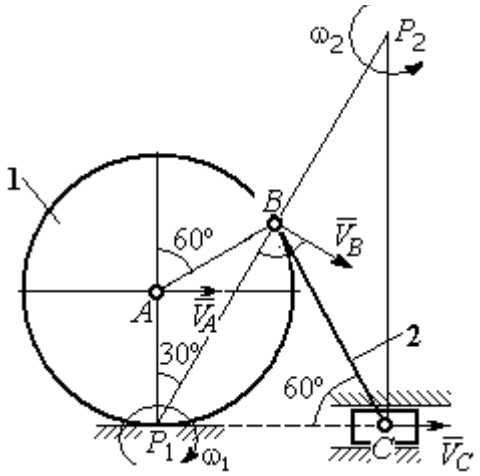


Рис. 2.30. Расчётная схема механизма для определения скоростей точек

Вычислим необходимые расстояния.

Расстояние P_1B (см. рис. 2.30) найдём из треугольника P_1AB по теореме косинусов: $P_1B = r_1\sqrt{3} = 1{,}04$ м. Из построения мгновенных центров скоростей P_1 и P_2 следует: $P_1B = BP_2 = BC$. Расстояние P_2C определяется из треугольника P_1P_2C: $P_2C = P_1P_2 \cdot \cos 30^\circ = 1{,}8$ м.

Угловая скорость шатуна 2 $\omega_2 = \dfrac{V_C}{P_2C}$ = 5рад/с. Направление угловой скорости ω_2 определяется направлением скорости $\vec{V}_C$.

Скорость точки *B* найдём по формуле $V_B = \omega_2 \cdot P_2B$ = 5,2 м/с.

Угловая скорость диска 1 $\omega_1 = \dfrac{V_B}{P_1B}$ = 5 рад/с. Скорость центра колеса 1 $V_A = \omega_1 \cdot P_1A$ = 3 м/с.

Найдём ускорение точки *A*.

Примем точку *B* за полюс и выразим ускорение точки *A* через полюс *B*: $\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{a}^{\,\tau}_{AB} + \vec{a}^{\,n}_{AB}$, где $\vec{a}_B$ – ускорение полюса *B*; $\vec{a}^{\,\tau}_{AB}$, $\vec{a}^{\,n}_{AB}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *A* при вращении диска 1 вокруг полюса *B* (рис. 2.31). Направления ускорения точки $\vec{a}_A$ и касательной составляющей ускорения $\vec{a}^{\,\tau}_{AB}$ точки *A* выбраны в предположении ускоренного движения диска.

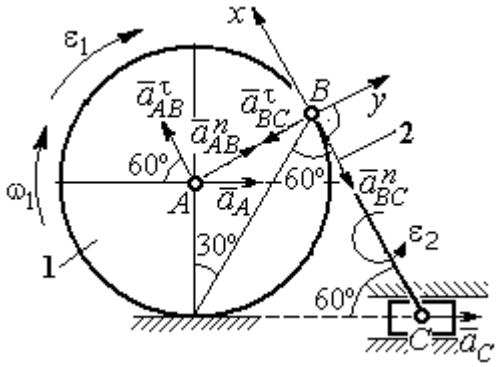


Рис. 2.31. Расчётная схема механизма для определения ускорений точек

Ускорение полюса *B* выразим через полюс *C*: $\vec{a}_B = \vec{a}_C + \vec{a}^{\,\tau}_{BC} + \vec{a}^{\,n}_{BC}$, где $\vec{a}_C$ – ускорение полюса *C*; $\vec{a}^{\,\tau}_{BC}$, $\vec{a}^{\,n}_{BC}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *B* при вращении шатуна 2 вокруг полюса *C*. Направление касательной составляющей ускорения $\vec{a}^{\,\tau}_{BC}$ точки *B* выбрано в направлении вращения шатуна 2 (см. рис. 2.30) исходя из предположения его ускоренного движения. В результате ускорение точки *A* выражается векторной суммой:

$$\vec{a}_A = \vec{a}^{\,\tau}_{AB} + \vec{a}^{\,n}_{AB} + \vec{a}^{\,\tau}_{BC} + \vec{a}^{\,n}_{BC} + \vec{a}_C.$$

Направления векторов ускорений показаны на рис. 2.31.

Заметим, что в любой момент времени движения колеса 1 расстояние от точки A до мгновенного центра скоростей колеса P_1 остаётся постоянным, равным радиусу колеса. Дифференцируем выражение $V_A = \omega_1 \cdot P_1A = \omega_1 \cdot r_1$. Получим $\frac{dV_A}{dt} = \frac{d\omega_1}{dt} r_1 = \varepsilon_1 \cdot r_1$, откуда с учётом $\frac{dV_A}{dt} = a_A$ (прямолинейное движение точки A) угловое ускорение диска 1 $\varepsilon_1 = \frac{a_A}{r_1}$. В результате, касательное ускорение a^{τ}_{AB} точки A при вращении диска 1 вокруг полюса B $a^{\tau}_{AB} = \varepsilon_1 \cdot AB = a_A$.

Найдём модули векторов ускорений:

$$a^n_{AB} = \omega_1^2 \cdot AB = 15 \text{ м/с}^2;\ a^n_{BC} = \omega_2^2 \cdot BC = 26 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение $a^{\tau}_{BC} = \varepsilon_2 \cdot BC$ остаётся неизвестным. Применить здесь способ дифференцирования выражения $V_C = \omega_2 \cdot P_2C$ для определения углового ускорения ε_2 невозможно, так как расстояние P_2C от мгновенного центра скоростей P_2 шатуна 2 до точки C меняется во время движения механизма неизвестным образом.

Спроектируем векторное равенство ускорения точки A на оси x, y, выбранные, как показано на рис. 2.31. Получим систему уравнений:

$$\text{проекция на ось } x\text{: } -a_A \cos 60^\circ = a^{\tau}_{AB} - a^n_{BC} - a_C \cos 60^\circ;$$

$$\text{проекция на ось } y\text{: } a_A \cos 30^\circ = a^n_{AB} - a^{\tau}_{BC} + a_C \cos 30^\circ.$$

Из первого уравнения с учётом того, что $a^{\tau}_{AB} = a_A$, найдём ускорение точки A: a_A = 18,67 м/с^2. Положительное значение ускорения точки A означает, что вектор $\vec{a}_A$ направлен так, как показано на рис. 2.31, – в сторону направления вектора скорости $\vec{V}_A$. Из этого следует, что диск 1 движется ускоренно и угловое ускорение направлено в сторону его угловой скорости.

Из второго уравнения получим: $a_{BC}^{\tau} = 2{,}29$ м/с^2. Угловое ускорение шатуна 2: $\varepsilon_2 = \dfrac{\left|a_{BC}^{\tau}\right|}{BC} = 2{,}2$ рад/с^2. Из того, что касательное ускорение a_{BC}^{τ} положительно, следует, что направление вектора $\vec{a}_{BC}^{\tau}$ совпадает с направлением, указанным на рис. 2.31. Это, в свою очередь, означает, что в данном положении механизма угловое ускорение шатуна 2 направлено так, как показано на рис. 2.31, – по направлению его угловой скорости, то есть шатун 2 вращается ускоренно.

Задача 35. По неподвижной шестерне 1 радиуса r_1 обкатывается шестерня 2 радиуса r_2, насаженная в центре на кривошип OA (рис. 2.32). Кривошип OA вращается вокруг оси O с угловой скоростью ω_{OA} и угловым ускорением ε_{OA}. На ободе шестерни 2 в точке B шарнирно прикреплен стержень BC, соединенный другим концом с центром C диска 3, катящегося без скольжения вдоль горизонтальной прямой. Радиус диска 3 равен радиусу шестерни 2: $r_3 = r_2$. Для положения механизма, изображенного на рис. 2.32, определить ускорение точки D и угловое ускорение стержня BC, если $r_1 = 0{,}2$ м, $r_2 = 0{,}4$ м, $\omega_{OA} = 4$ рад/с, $\varepsilon_{OA} = 2$ рад/с^2. Длина стержня $BC = 1$ м.

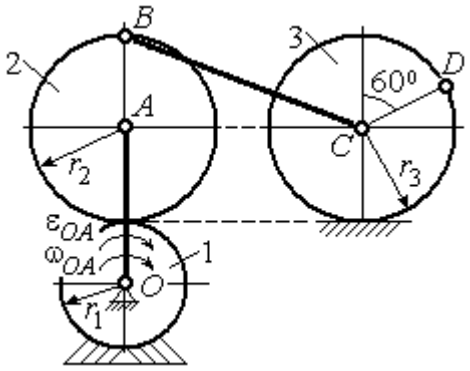


Рис. 2.32. Схема движения плоского механизма

Решение

Найдём угловые скорости звеньев механизма.

Рассмотрим вращательное движение кривошипа OA. Скорость его точки A: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 2{,}4$ м/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу OA в сторону его вращения (рис. 2.33).

При качении подвижной шестерни 2 по неподвижной 1, точка их соприкосновения P_2 является мгновенным центром скоростей шестерни 2. Угловая скорость шестерни 2: $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2} =$ 6 рад/с. Скорость точки B шестерни 2: $V_B = \omega_2 \cdot BP_2 =$ 4,8 м/с.

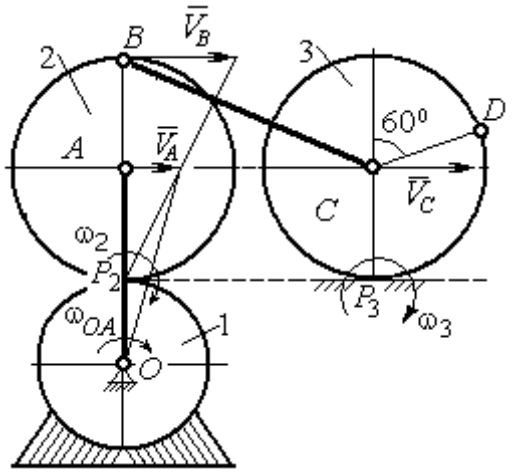


Рис. 2.33. Расчетная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

Для определения угловой скорости стержня BC заметим, что скорости двух точек стержня $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$ параллельны, но точки B и C не лежат на общем перпендикуляре к скоростям. В этом случае мгновенный центр скоростей стержня BC отсутствует (или бесконечно удалён), угловая скорость стержня равна нулю и стержень совершает мгновенное поступательное движение. При таком движении мгновенные скорости всех точек стержня BC одинаковы по величине и направлению. Таким образом, $\omega_{BC} = 0$; $V_C = V_B =$ 4,8 м/с.

При качении диска 3 по неподвижной поверхности без проскальзывания точка P_3 касания диска с поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Угловая скорость диска 3: $\omega_3 = \dfrac{V_C}{CP_3} =$ 12 рад/с. Направление угловой скорости ω_3 определяется направлением вектора $\vec{V}_C$.

Найдём ускорения точек и угловые ускорения звеньев механизма.

Выразим ускорение $\vec{a}_C$ точки C, направленное вдоль линии движения центра колеса 3, через полюс B. Ускорение представляется векторной суммой: $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}^{\,n}_{CB} + \vec{a}^{\,\tau}_{CB}$, где $\vec{a}_B$ – вектор ускорения полюса B; $\vec{a}^{\,n}_{CB}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{CB}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки C при вращении

стержня BC вокруг полюса B. Вектор $\vec{a}^{n}_{CB}$ направлен вдоль стержня от точки C к полюсу B, вектор $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ перпендикулярен стержню BC. Направление вектора $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ выбрано по предполагаемому угловому ускорению стержня BC, показанному на рис. 2.34 дуговой стрелкой ε_{CB}.

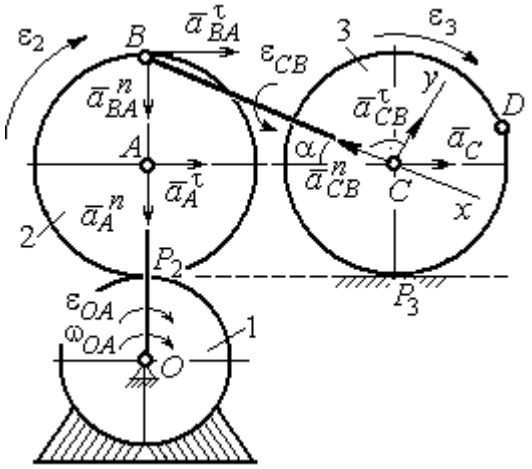


Рис. 2.34. Расчетная схема для определения ускорений точек механизма и угловых ускорений его звеньев

Рассмотрим плоскопараллельное движение шестерни 2 и выразим ускорение точки B через полюс A в виде векторного равенства: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{n}_{BA} + \vec{a}^{\tau}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса A; $\vec{a}^{n}_{BA}$, $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки B при вращении шестерни 2 вокруг полюса A. Вектор $\vec{a}^{n}_{BA}$ направлен вдоль радиуса шестерни от точки B к полюсу A, вектор $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ перпендикулярен линии BA. Направление вектора $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ соответствует ускоренному вращению шестерни 2.

Рассмотрим вращение кривошипа OA. Вектор ускорения точки A кривошипа при вращении его вокруг неподвижной оси O представляется в виде суммы: $\vec{a}_A = \vec{a}^{n}_{A} + \vec{a}^{\tau}_{A}$, где $\vec{a}^{n}_{A}$ и $\vec{a}^{\tau}_{A}$ – вектора нормальной и касательной составляющих ускорения точки A. Вектор $\vec{a}^{n}_{A}$ направлен вдоль кривошипа по направлению к оси вращения, вектор $\vec{a}^{\tau}_{A}$ перпендикулярен кривошипу и направлен в сторону углового ускорения ε_{OA} вращения кривошипа.

В результате для определения ускорения точки C имеем векторное равенство:

$$\vec{a}_C = \vec{a}^{n}_{A} + \vec{a}^{\tau}_{A} + \vec{a}^{n}_{BA} + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{CB} + \vec{a}^{\tau}_{CB}.$$

Направления всех векторов ускорений показаны на рис. 2.34.

Вычислим модули векторов, составляющих векторную сумму:

$$a_A^n = \omega_{OA}^2 \cdot OA = 9{,}6 \text{ м/с}^2; \quad a_A^\tau = \varepsilon_{OA} \cdot OA = 1{,}2 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot BA = 14{,}4 \text{ м/с}^2; \quad a_{CB}^n = \omega_{BC}^2 \cdot BC = 0.$$

Заметим, что во время движения шестерни 2 расстояние AP_2 остается постоянным, равным r_2. Дифференцируя равенство $V_A = \omega_2 \cdot AP_2 = \omega_2 r_2$, получим: $\frac{dV_A}{dt} = \frac{d\omega_2}{dt} r_2$. При криволинейном движении точки A производная от скорости равна касательному ускорению: $\frac{dV_A}{dt} = a_A^\tau$. С учётом, что $\frac{d\omega_2}{dt} = \varepsilon_2$, получим: $a_A^\tau = \varepsilon_2 r_2$, откуда $\varepsilon_2 = \frac{a_A^\tau}{r_2} = 3$ рад/с^2 и $a_{BA}^\tau = \varepsilon_2 \cdot BA = 1{,}2$ м/с^2.

Выберем оси Cx, Cy, как показано на рис. 2.34, – вдоль отрезка BC и перпендикулярно ему и спроектируем на них векторное равенство ускорения точки C. Получим систему уравнений:

$$a_C \cos\alpha = a_A^n \sin\alpha + a_A^\tau \cos\alpha + a_{BA}^n \sin\alpha + a_{BA}^\tau \cos\alpha - a_{CB}^n;$$

$$a_C \sin\alpha = -a_A^n \cos\alpha + a_A^\tau \sin\alpha - a_{BA}^n \cos\alpha + a_{BA}^\tau \sin\alpha + a_{CB}^\tau,$$

где α – угол между стержнем BC и линией центров AC, $\sin\alpha = \frac{AB}{BC} = 0{,}4$; $\cos\alpha = 0{,}92$.

Находим из первого уравнения ускорение точки C: $a_C = 12{,}83$ м/с^2, из второго – касательное ускорение точки C при вращении стержня BC вокруг полюса B: $a_{CB}^\tau = 33{,}95$ м/с^2. Величина углового ускорения стержня BC: $\varepsilon_{CB} = \frac{\left|a_{CB}^\tau\right|}{BC} = 33{,}95$ рад/с^2. Положительное значение a_{CB}^τ означает, что вектор касательного ускорения $\vec{a}_{CB}^\tau$ направлен так, как показано на рис. 2.34. Тогда и

направление углового ускорения ε_{CB} стержня BC совпадает с направлением, показанным дуговой стрелкой на рис. 2.34.

При качении диска 3 точка C движется по прямой и расстояние CP_3 остается постоянным, равным радиусу диска 3. В этом случае равенство $V_C = \omega_3 \cdot CP_3 = \omega_3 r_3$ можно продифференцировать по времени. Получим: $\frac{dV_C}{dt} = \frac{d\omega_3}{dt} r_3$. Так как движение точки C является прямолинейным, производная от скорости точки C равна ускорению этой точки: $\frac{dV_C}{dt} = a_C$. Тогда с учётом $\frac{d\omega_3}{dt} = \varepsilon_3$ имеем равенство $a_C = \varepsilon_3 r_3$. Угловое ускорение диска 3: $\varepsilon_3 = \frac{a_C}{r_3} = 32{,}07$ рад/с^2.

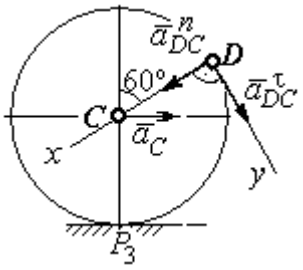


Рис.2.35. Расчетная схема для определения ускорения точки D

Выразим ускорение точки D через полюс C, ускорение которого известно и по величине, и по направлению: $\vec{a}_D = \vec{a}_C + \vec{a}^n_{DC} + \vec{a}^\tau_{DC}$, где $\vec{a}_C$ – ускорение точки C; $\vec{a}^n_{DC}$, $\vec{a}^\tau_{DC}$ – нормальное и касательное составляющие ускорения точки D при вращении диска 3 вокруг полюса C. Модули ускорений

$$a_C = 12{,}83 \text{ м/с}^2;\ a^n_{DC} = \omega_3^2 DC = 57{,}6 \text{ м/с}^2;\ a^\tau_{DC} = \varepsilon_3 DC = 12{,}83 \text{ м/с}^2.$$

Проведём оси Dx и Dy, как показано на рис. 2.34, и спроектируем векторное равенство ускорения точки D на оси. Получим систему уравнений:

$$a_{Dx} = -a_C \cos 30^\circ + a^n_{DC};\quad a_{Dy} = a_C \cos 60^\circ + a^\tau_{DC}.$$

Подставляя в уравнения проекций значения модулей ускорений, найдём: $a_{Dx} = 46{,}49$ м/с^2; $a_{Dy} = 19{,}25$ м/с^2.

Величина ускорения точки D: $a_D = \sqrt{a^2_{Dx} + a^2_{Dy}} = 50{,}32$ м/с^2.

Заметим, что для определения ускорения точки D невозможно было сразу использовать приём с последовательным выражением ускорения точки D через

ускорения полюсов C, B и A, так как в полученной в результате проекций системе двух уравнений будет три неизвестных величины - a_{Dx}, a_{Dy} и величина ускорения a_{CB}^{τ}.

Задача 36. Механизм качалки (рис. 2.36) включает в себя кривошип OA, вращающийся вокруг неподвижной оси O, шестерню 1 радиуса r_1, насаженную на кривошип в точке A и обкатывающуюся по неподвижной цилиндрической поверхности, и шатун BC, присоединённый одним концом в точке B к шестерне, а другим – в точке C к коромыслу CO_1. В положении, указанном на рис. 2.36, определить угловую скорость и угловое ускорение коромысла CO_1, если ω_{OA} = 2 рад/с; ε_{OA} = 4 рад/с^2; OA = 0,8 м; r_1 = 0,4 м; AB = 0,2 м; BC = 0,6 м. Для этого же положения определить ускорение точки C.

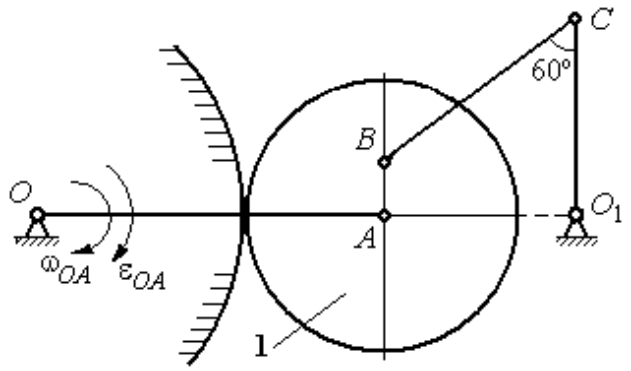


Рис. 2.36. Механизм качалки

Решение

Найдём угловые скорости звеньев механизма.

Скорость точки A кривошипа $V_A = \omega_{OA} \cdot OA$ = 1,6 м/с. Вращаясь, кривошип передаёт движение шестерне 1, которая катится по неподвижной поверхности. Точка касания P_1 шестерни с неподвижной поверхностью является мгновенным центром скоростей шестерни. Тогда её угловая скорость $\omega_1 = \dfrac{V_A}{AP_1}$ = 4 рад/с. Направление угловой скорости показано на рис. 2.37 дуговой стрелкой ω_1.

Расстояние от мгновенного центра скоростей шестерни до её точки B P_1B = 0,45 м. Скорость точки B: $V_B = \omega_1 \cdot P_1B$ = 1,8 м/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_1B и направлен в сторону вращения шестерни.

При вращении коромысла CO_1 вокруг неподвижной оси O_1 вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярен коромыслу. Точка P_2, лежащая на пересечении перпендикуляров, восстановленных к векторам $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$ – скоростей точек B и C, является мгновенным центром скоростей шатуна BC (рис. 2.37). Расстояние $BK = BC\cos 30^\circ = 0{,}52$ м; $\cos\alpha = \dfrac{AP_1}{BP_1} = 0{,}89$; $P_2B = \dfrac{BK}{\cos\alpha} = 0{,}58$ м. Угловая скорость шатуна $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{BP_2} = 3{,}1$ рад/с. Направление угловой скорости шатуна показано на рис. 2.37 дуговой стрелкой ω_{BC}.

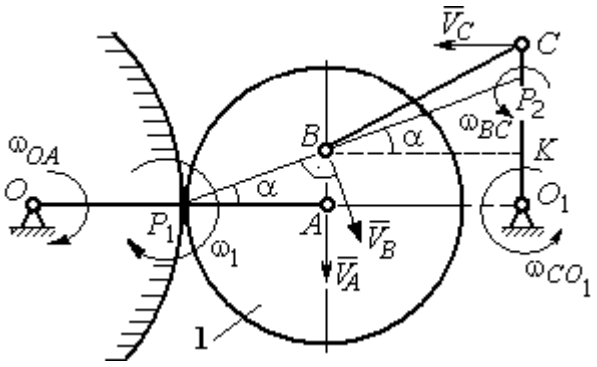


Рис. 2.37. Расчётная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

Расстояние $P_2C = BC \cdot \sin 30^\circ - P_2B \cdot \sin\alpha = 0{,}04$ м. Скорость точки C шатуна BC: $V_C = \omega_{BC} \cdot P_2C = 0{,}12$ м/с. Длина коромысла $CO_1 = CK + KO_1 = 0{,}5$ м, угловая скорость коромысла $\omega_{CO_1} = \dfrac{V_C}{CO_1} = 0{,}24$ рад/с.

Найдём ускорения звеньев механизма.

Считая, что точка C принадлежит шатуну BC, выразим ускорение точки C через полюс B: $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}^{\,n}_{CB} + \vec{a}^{\,\tau}_{CB}$, где $\vec{a}_B$ – ускорение полюса B; $\vec{a}^{\,n}_{CB}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{CB}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки C при вращении шатуна вокруг полюса B.

Полагая, что точка B принадлежит шестерне 1, выразим её ускорение через полюс A: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{\,n}_{BA} + \vec{a}^{\,\tau}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение точки A шестерни; $\vec{a}^{\,n}_{BA}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{BA}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки B при вращении шестерни вокруг полюса A.

Поскольку точка A принадлежит и кривошипу OA, а точка C – коромыслу CO_1, вращающихся вокруг своих неподвижных осей, вектора ускорений этих точек можно представить в виде сумм векторов:

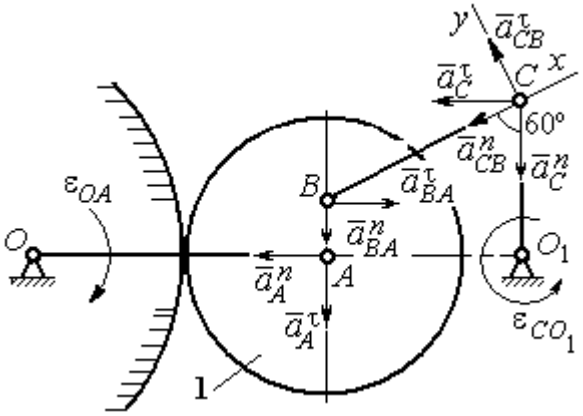


Рис. 2.38. Расчётная схема для определения ускорений точек механизма

$$\vec{a}_A = \vec{a}_A^{\,n} + \vec{a}_A^{\,\tau},\ \vec{a}_C = \vec{a}_C^{\,n} + \vec{a}_C^{\,\tau},$$

где $\vec{a}_A^{\,n}$, $\vec{a}_A^{\,\tau}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки A при вращении кривошипа вокруг оси O; $\vec{a}_C^{\,n}$, $\vec{a}_C^{\,\tau}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки C при вращении коромысла вокруг оси O_1.

В результате подстановок получим полное векторное равенство, связывающее ускорения точек механизма:

$$\vec{a}_C^{\,n} + \vec{a}_C^{\,\tau} = \vec{a}_{CB}^{\,n} + \vec{a}_{CB}^{\,\tau} + \vec{a}_{BA}^{\,n} + \vec{a}_{BA}^{\,\tau} + \vec{a}_A^{\,n} + \vec{a}_A^{\,\tau}.$$

Направления векторов ускорений показаны на рис. 2.38.

Модули векторов ускорений:

$$a_C^n = \omega_{CO_1}^2 \cdot CO_1 = 0{,}03 \text{ м/с}^2;\ \ a_{CB}^n = \omega_{CB}^2 \cdot CB = 5{,}77 \text{ м/с}^2,$$

$$a_A^n = \omega_{OA}^2 \cdot OA = 3{,}2 \text{ м/с}^2;\ a_A^\tau = \varepsilon_{OA} \cdot OA = 3{,}2 \text{ м/с}^2,$$

$$a_{BA}^n = \omega_1^2 \cdot BA = 3{,}2 \text{ м/с}^2;\ \ a_{BA}^\tau = \varepsilon_1 \cdot BA.$$

Для определения ε_1 углового ускорения шестерни 1 продифференцируем равенство $V_A = \omega_1 \cdot AP_1 = \omega_1 r_1$. Получим: $a_A^\tau = \varepsilon_1 r_1$, откуда $\varepsilon_1 = \dfrac{a_A^\tau}{r_1} = 8$ рад/с^2.

Тогда $a_{BA}^\tau = 1{,}6$ м/с^2.

Неизвестными в векторном равенстве ускорений остаются модули векторов $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ и $\vec{a}^{\tau}_{C}$. Выберем ось x вдоль шатуна BC, как показано на рис. 2.38, и спроектируем на неё полное векторное равенство.

Получим уравнение:

$$-a^{n}_{C}\cos 60^{\circ} - \vec{a}^{\tau}_{C}\cos 30^{\circ} = -a^{n}_{CB} - a^{n}_{BA}\cos 60^{\circ} + a^{\tau}_{BA}\cos 30^{\circ} - a^{n}_{A}\cos 30^{\circ} - a^{\tau}_{A}\cos 60^{\circ},$$

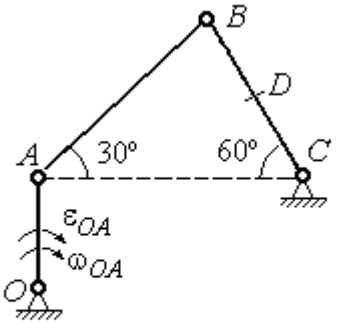
откуда найдём ускорение a^{τ}_{C} = 11,94 м/с^2. Угловое ускорение качалки

$$\varepsilon_{CO_1} = \frac{\left|a^{\tau}_{C}\right|}{CO_1} = 23{,}88 \text{ рад/с}^2.$$

Положительное значение касательного ускорения a^{τ}_{C} свидетельствует о том, что направление вектора ускорения $\vec{a}^{\tau}_{C}$ совпадает с направлением, показанным на рис. 2.38. В эту же сторону направлена и скорость $\vec{V}_C$ точки C (см. рис. 2.37). Следовательно, в данном положении движение качалки ускоренное и угловое ускорение направлено в сторону угловой скорости.

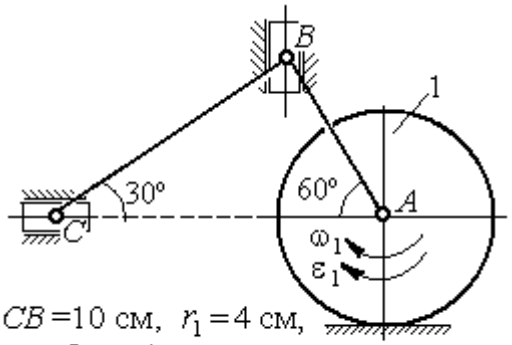
Упражнения

Упражнения 2.9



$OA = 4$ см, $BD = DC = 4$ см,
$\omega_{OA} = 3$ рад/с, $\varepsilon_{OA} = 2$ рад/с^2.
Найти ускорение точки D

Упражнения 2.10



$CB = 10$ см, $r_1 = 4$ см,
$\omega_1 = 3$ рад/с, $\varepsilon_1 = 2$ рад/с^2.
Найти ускорение точки C

Рис. 2.39. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.9, 2.10

3. СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ

3.1. Основные понятия и определения сложного движения точки

Рассматривается подвижное твердое тело и точка, перемещающаяся относительно тела.

Неподвижная система координат, относительно которой определяются движения точки и тела, называется **основной**. Связанная с телом и движущаяся вместе с ним система координат называется **подвижной.**

Движение точки относительно подвижной системы координат (фактически движение точки относительно тела) называется **относительным**. **Переносным** движением называют движение, которое совершает точка вместе с подвижной системой координат (фактически вместе с телом). Движение точки относительно основной (неподвижной) системы координат называется **абсолютным.**

Скорость точки относительно подвижной системы координат называют **относительной скоростью**, ускорение – **относительным ускорением**.

Переносной скоростью точки и **переносным ускорением** называют скорость и ускорение той точки тела, с которой в данный момент совпадает движущаяся точка.

Скорость и ускорение точки относительно основной системы называют **абсолютной скоростью и абсолютным ускорением.**

При вычислении абсолютной скорости используется теорема о сложении скоростей: **скорость абсолютного движения точки равна векторной сумме переносной и относительной скоростей:** $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$, где $\vec{V}$, $\vec{V}_e$, $\vec{V}_r$ – вектора абсолютной, переносной и относительной скоростей точки.

При вычислении абсолютного ускорения используется теорема Кориолиса о сложении ускорений: **абсолютное ускорение точки равно векторной сумме трех ускорений – относительного, переносного и ускорения Кориолиса:** $\vec{a} = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_к$, где $\vec{a}$ – вектор абсолютного ускорения точки; $\vec{a}_e, \vec{a}_r$ –

вектора соответственно переносного и относительного ускорений точки; $\vec{a}_{\text{к}}$ – вектор ускорения Кориолиса.

Вектор ускорения Кориолиса определяется векторным произведением: $\vec{a}_{\text{к}} = 2(\vec{\omega}_e \times \vec{V}_r)$, где $\vec{\omega}_e$ – вектор угловой скорости переносного движения; $\vec{V}_r$ – вектор относительной скорости точки. Модуль ускорения Кориолиса: $|\vec{a}_{\text{к}}| = 2|\vec{\omega}_e| \cdot |\vec{V}_r| \sin\alpha$, где α – угол между вектором угловой скорости переносного движения $\vec{\omega}_e$ и вектором относительной скорости точки $\vec{V}_r$ (рис. 3.1).

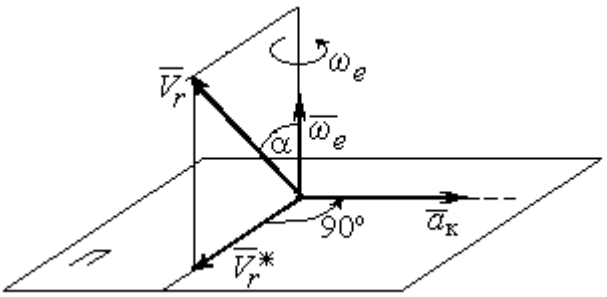


Рис. 3.1. Определение ускорения Кориолиса по правилу Жуковского

На рис. 3.1 показан способ определения вектора ускорения Кориолиса по правилу Н. Е. Жуковского. Правило состоит в следующем. Построим плоскость *П*, перпендикулярную вектору угловой скорости $\vec{\omega}_e$, и спроектируем вектор относительной скорости $\vec{V}_r$ на эту плоскость. Проекцию обозначим $\vec{V}_r^*$ (см. рис. 3.1). Чтобы получить направление ускорения Кориолиса, следует вектор проекции относительной скорости $\vec{V}_r^*$ повернуть на 90° в плоскости *П* вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения.

Если сложное движение точки происходит в плоскости, перпендикулярной оси переносного вращения, направление ускорения Кориолиса можно получить простым поворотом вектора относительной скорости на угол 90° вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения. При этом модуль ускорения Кориолиса $a_{\text{к}} = 2|\omega_e| \cdot |V_r| \sin 90^\circ = 2\omega_e V_r$.

Примеры решения задач на сложное движение точки

Задача 37. Компрессор с криволинейными каналами (рис. 3.2) вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с вокруг оси *O*, перпендикулярной плоскости рисунка. Воздух перемещается по каналу *AB* с постоянной относительной скоростью $V_r = 4$ м/с. Найти ускорение частицы воздуха в начале канала в точке *A* и проекции этого ускорения на оси неподвижной системы координат *xOy*, если радиус $OA = 0{,}5$ м, радиус кривизны канала в точке *A* $\rho = 0{,}8$ м, угол между нормалью *n* к кривой *AB* в точке *A* и радиусом *OA* $\alpha = 30^\circ$.

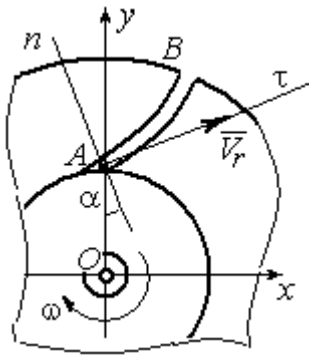


Рис.3.2. Движение воздуха по каналу компрессора

Решение

Переносным движением для частицы воздуха будет вращательное движение компрессора, а скорость точки *A* компрессора, где по условию находится частица воздуха, будет её переносной скоростью: $V_e = \omega \cdot OA = 5$ м/с. Вектор $\vec{V}_e$ переносной скорости частицы перпендикулярен радиусу *OA* и направлен в сторону угловой скорости вращения компрессора (рис. 3.3).

Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости частицы воздуха направлен вдоль касательной к кривой *AB* (стенки канала) в точке *A*.

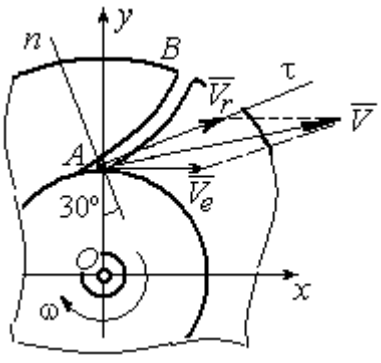


Рис. 3.3. Построение вектора абсолютной скорости частицы

Вектор абсолютной скорости частицы воздуха равен геометрической сумме векторов относительной и переносной скоростей: $\vec{V} = \vec{V}_r + \vec{V}_e$ (см. рис. 3.3). Спроектируем это векторное равенство на оси *x*, *y*. Получим систему уравнений:

$$V_x = V_e + V_r \cos 30^\circ = 8{,}46 \text{ м/с}; \; V_y = V_r \cos 60^\circ = 2 \text{ м/с}.$$

Модуль абсолютной скорости $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 8{,}69$ м/с.

Найдём ускорение частицы воздуха.

Абсолютное ускорение частицы определяется по теореме сложения ускорений:

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e + \vec{a}_{\text{к}}.$$

В относительном движении частица движется между стенками канала по криволинейной траектории, и её ускорение $\vec{a}_r$ представляется суммой: $\vec{a}_r = \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_r^{\,\tau}$, где $\vec{a}_r^{\,n}$, $\vec{a}_r^{\,\tau}$ – вектора нормальной и касательной составляющих относительного ускорения частицы.

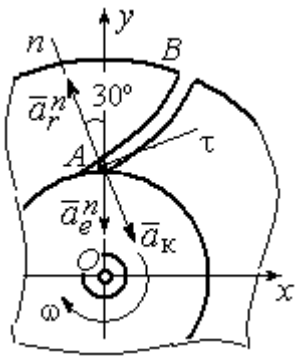


Рис. 3.4. Составляющие ускорения частицы в сложном движении

Переносное ускорение частицы $\vec{a}_e$ есть ускорение точки *A* вращающегося компрессора, которое выражается суммой $\vec{a}_e = \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau}$, где $\vec{a}_e^{\,n}$, $\vec{a}_e^{\,\tau}$ – вектора нормальной и касательной составляющих переносного ускорения частицы.

В результате абсолютное ускорение частицы воздуха в точке А выражается векторной суммой:

$$\vec{a} = \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_{\text{к}}.$$

Вычислим модули ускорений:

$$a_r^{\tau} = \dot{V}_r = 0,\ a_r^n = \frac{V_r^2}{\rho} = 20 \text{ м/с}^2;\ a_e^{\tau} = \varepsilon \cdot OA = \dot{\omega} \cdot OA = 0,$$

$$a_e^n = \omega^2 r = 50 \text{ м/с}^2;\ a_{\text{к}} = 2\omega V_r = 80 \text{ м/с}^2.$$

Направление ускорения Кориолиса определяется простым поворотом вектора относительной скорости на угол 90° вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения. Вектора ускорений показаны на рис. 3.4.

Спроектируем векторное равенство ускорения частицы на оси неподвижной системы координат *xOy*. Получим:

$$a_x = -a_r^n \cos 60^\circ + a_к \cos 60^\circ = 30 \text{ м/с}^2 ;$$

$$a_y = a_r^n \cos 30^\circ - a_e^n - a_к \cos 30^\circ = -101{,}96 \text{ м/с}^2.$$

Модуль ускорения $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 106{,}28$ м/с^2.

Задача 38. При совмещении работы механизмов подъёма груза и поворота крана (рис. 3.5) груз *A* перемещается в горизонтальном и вертикальном направлениях. На участке разгона барабан *B* радиуса $r_1 = 0{,}5$ м, на который навит канат, поддерживающий груз, вращается с постоянным угловым ускорением $\varepsilon_1 = 3$ рад/с^2, а кран разворачивается вокруг оси O_1O_2 с угловым ускорением $\varepsilon_2 = 0{,}5$ рад/с^2.

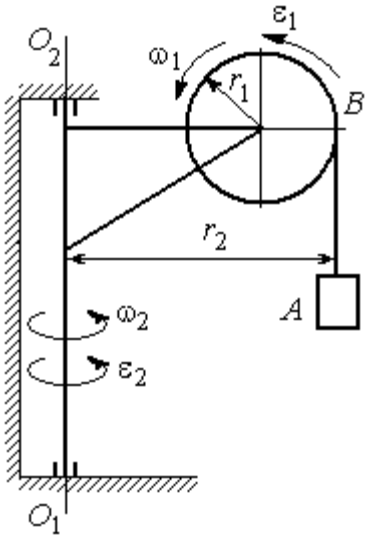


Рис. 3.5. Механизм поворотного крана

Пренебрегая отклонением каната от вертикали, определить скорость и ускорение груза в момент времени $t_1 = 1$ с, если вылет стрелы крана до линии подвеса груза $r_2 = 10$ м.

Решение

Подъём груза *A* на канате является для груза относительным движением, а вращение крана – переносным. Вектор абсолютной скорости груза равен сумме $\vec{V} = \vec{V}_r + \vec{V}_e$, где вектора относительной $\vec{V}_r$ и переносной $\vec{V}_e$ скоростей.

При равноускоренном вращении барабана *B* из состояния покоя его угловая скорость $\omega_1 = \varepsilon_1 t$. В момент времени $t_1 = 1$ с $\omega_1 = 3$ рад/с. Скорость подъёма груза *A* в этот момент $V_r(1) = \omega_1(1) r_1 = 1{,}5$ м/с. Вектор относительной скорости $\vec{V}_r$ направлен вдоль линии движения груза, в сторону его подъёма (рис. 3.6).

Угловая скорость крана при постоянном угловом ускорении $\omega_2 = \varepsilon_2 t$. При $t_1 = 1$ с $\omega_2 = 0{,}5$ рад/с. Переносная скорость груза A равна скорости груза, движущегося вместе со стрелой крана по окружности радиуса r_2: $V_e = \omega_2 r_2 = 5$ м/с. Вектор переносной скорости груза $\vec{V}_e$ направлен по касательной к траектории переносного движения груза в сторону угловой скорости вращения крана (см. рис. 3.6).

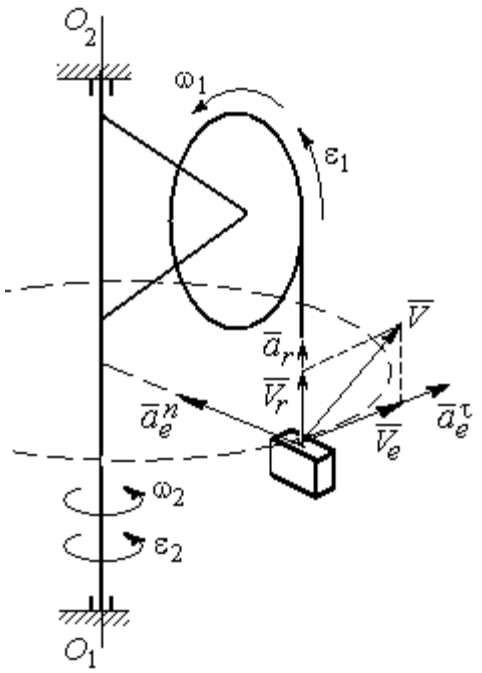


Рис. 3.6. Расчётная схема для определения скорости и ускорения груза на поворотном кране

Так как вектора относительной и переносной скоростей груза взаимно перпендикулярны, модуль абсолютной скорости $V = \sqrt{V_r^2 + V_e^2} = 5{,}22$ м/с.

Найдём абсолютное ускорение груза.

Теорема сложения ускорений имеет вид векторной суммы: $\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e + \vec{a}_\text{к} = \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_\text{к}$, где $\vec{a}_r^{\,n}$, $\vec{a}_r^{\,\tau}$, $\vec{a}_e^{\,n}$, $\vec{a}_e^{\,\tau}$, $\vec{a}_\text{к}$ – вектора нормального и касательного ускорений груза в относительном и переносном движениях и ускорение Кориолиса. Найдём модули векторов ускорений.

Нормальное относительное ускорение a_r^n груза, движущегося прямолинейно, равно нулю: $a_r^n = 0$, а касательное a_r^τ равно по величине касательному ускорению точки на поверхности барабана: $a_r^\tau = \varepsilon_1 r_1 = 1{,}5$ м/с^2. Направление вектора $\vec{a}_r^{\,\tau}$ относительного касательного ускорения груза определяется направлением углового ускорения барабана.

Переносные нормальное a_e^n и касательное a_e^τ ускорения груза: $a_e^n = \omega_2^2 r_2$ = 2,5 м/с^2; $a_e^\tau = \varepsilon_2 r_2$ = 5 м/с^2. Вектор касательного ускорения $\vec{a}_e^\tau$ направлен в сторону углового ускорения вращения крана.

Ускорение Кориолиса $a_к$ равно нулю, так как вектор $\vec{V}_r$ параллелен вектору $\vec{\omega}_2$: $a_к = 0$.

Направления векторов ускорений, модули которых отличны от нуля, показаны на рис. 3.6. В результате вектор абсолютного ускорения груза представлен в виде разложения на три взаимно перпендикулярных вектора: $\vec{a} = \vec{a}_e^n + \vec{a}_e^\tau + \vec{a}_r^\tau$, поэтому модуль абсолютного ускорения груза $a = \sqrt{(a_e^n)^2 + (\vec{a}_e^\tau)^2 + (\vec{a}_r)^2}$ = 5,79 м/с^2.

Задача 39. Фигура, состоящая из половины диска и построенного на его диаметре равнобедренного треугольника (рис. 3.7), вращается вокруг оси, перпендикулярной плоскости фигуры и проходящей через вершину A треугольника, по закону $\varphi_e = 5t - 2t^2$ рад. Положительное направление вращения отмечено на схеме дуговой стрелкой φ.

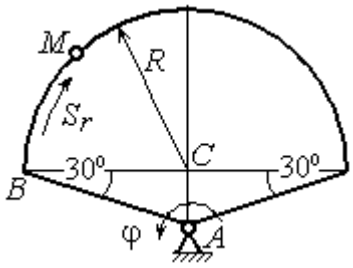


Рис. 3.7. Схема сложного движения точки

По ободу диска из начального положения B движется точка M. Уравнение движения точки: $\breve{BM} = S_r = 9\pi t^2$, см.. Положительное направление отсчёта дуги BM показано дуговой стрелкой S_r (см. рис. 3.7). Радиус диска R = 9 см. Найти абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки M в момент времени t_1 = 1 с.

Решение

Переносным движением точки M является вращение фигуры вокруг оси A, относительным – её движение по окружности обода диска.

Положение точки M на окружности определяется центральным углом: $\alpha = \dfrac{S_r}{R}$, где S_r – длина дуги окружности, пройденная точкой. В момент времени $t_1 = 1$ с $S_r = 9\pi$ см и $\alpha = \pi$. Расчётное положение точки M на рис. 3.8 обозначено M_1.

Угловая скорость вращения фигуры равна модулю производной $\omega_e = |\dot{\varphi}_e| = |5 - 4t|$. При $t_1 = 1$ с $\omega_e(1) = 1$ рад/с. Направление угловой скорости определяется знаком производной $\dot{\varphi}_e$. Положительная на данный момент времени величина производной ($\dot{\varphi}_e = 1$) показывает, что вращение фигуры происходит в положительном направлении отсчёта угла φ_e и отмечено на рис. 3.8 дуговой стрелкой ω_e.

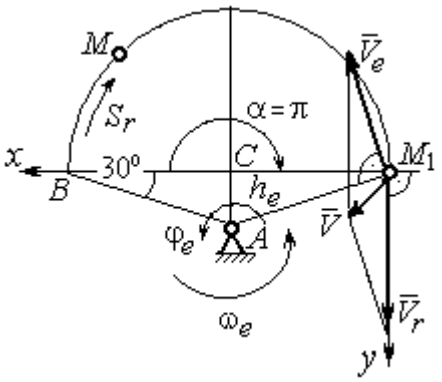


Рис. 3.8. Расчетная схема для вычисления абсолютной скорости точки

Переносная скорость точки V_e – это скорость расчётного положения точки M вращающейся фигуры: $V_e = \omega_e h_e = = \omega_e AM_1 = \dfrac{\omega_e R}{\cos 30^\circ} = 10{,}39$ см/с. Вектор переносной скорости точки $\vec{V}_e$ перпендикулярен отрезку AM_1 и направлен в сторону вращения фигуры (см. рис. 3.8).

Скорость точки в относительном движении определяется как модуль производной: $V_r = |\dot{S}_r| = |18\pi t|$. При $t_1 = 1$ с $V_r = 56{,}5$ см/с. Положительное значение производной $\dot{S}_r = 18\pi > 0$ указывает, что в этот момент времени относительное движение точки происходит в положительном направлении отсчёта дуги окружности, по которой движется точка. Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости точки перпендикулярен отрезку CM_1 и направлен в сторону её движения.

Абсолютная скорость точки равна сумме векторов переносной и относительной скоростей $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$. Для того чтобы найти абсолютную скорость

точки, выберем оси координат M_1x, M_1y, как показано на рис. 3.8, и спроектируем обе части векторного равенства теоремы сложения скоростей на эти оси:

$$V_x = V_e\cos 60^\circ = 5{,}2 \text{ см/с}, \; V_y = -V_e\cos 30^\circ + V_r = 47{,}5 \text{ см/с}.$$

Модуль абсолютной скорости: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 47{,}8$ см/с.

Абсолютное ускорение точки определяется по теореме сложения ускорений: $\vec{a} = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_\text{к}$.

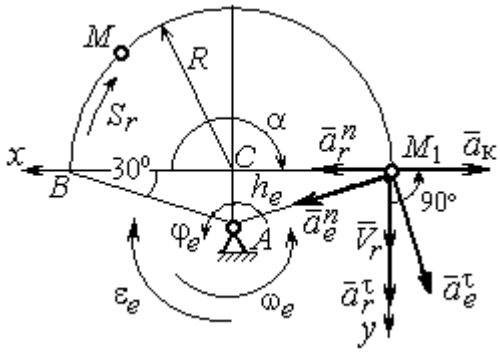


Рис. 3.9. Расчетная схема для определения абсолютного ускорения точки

Переносное ускорение точки представляется в виде суммы: $\vec{a}_e = \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n}$, где $\vec{a}_e^{\,\tau}$ и $\vec{a}_e^{\,n}$ – переносные касательное и нормальное ускорения. В относительном движении точки (по дуге окружности) ускорение также может быть разложено на две составляющие – относительные касательное и нормальное ускорения: $\vec{a}_r = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n}$. В результате теорема о сложении ускорений приобретает вид: $\vec{a} = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_\text{к}$.

Вычислим модули и направления векторов ускорений в расчётном положении точки M_1.

Относительное касательное ускорение a_r^τ вычисляется по формуле: $a_r^\tau = \left|\ddot{S}_r\right|$, где $\ddot{S}_r = 18\pi = 56{,}5$ см/с^2. Так как значение второй производной $\ddot{S}_r$ положительно, вектор ускорения $\vec{a}_r^{\,\tau}$ направлен по касательной в сторону положительного отсчёта траектории относительного движения. Относительное нормальное ускорение точки a_r^n вычисляется по формуле: $a_r^n = \dfrac{V_r^2}{R}$ и в момент $t_1 = 1$ с равно 355,3 см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_r^{\,n}$ направлен по радиусу диска к центру C (рис. 3.9).

Угловое ускорение фигуры в момент времени $t_1 = 1$ с, $\varepsilon_e = |\ddot{\varphi}_e| = 4$ рад/с^2. Поскольку значение второй производной угла поворота отрицательное ($\ddot{\varphi}_e = -4$ рад/с^2), то угловое ускорение направлено в сторону, противоположную положительному направлению отсчёта угла поворота фигуры, как показано на рис. 3.9 дуговой стрелкой ε_e. Модуль переносного касательного ускорения a_e^τ определяется по формуле $a_e^\tau = \varepsilon_e h_e = \varepsilon_e \cdot AM_1$ и в момент времени $t_1 = 1$ с равен 41,6 см/с^2. Вектор переносного касательного ускорения точки $\vec{a}_e^\tau$ перпендикулярен AM_1 и направлен в сторону углового ускорения фигуры ε_e (см. рис. 3.9). Переносное нормальное ускорение вычисляется по формуле $a_e^n = \omega_e^2 h_e = \omega_e^2 \cdot AM_1$ и на момент времени $t_1 = 1$ с: $a_e^n = 10{,}4$ см/с^2. Вектор переносного нормального ускорения $\vec{a}_e^n$ направлен вдоль отрезка M_1A к оси вращения тела (см. рис. 3.9).

Модуль ускорения Кориолиса в момент времени $t_1 = 1$ с $a_к = 2\omega V_r =$ $=113{,}1$ см/с^2. По условию задачи вектор $\vec{V}_r$ скорости относительного движения точки перпендикулярен вектору $\vec{\omega}_e$ угловой скорости переносного движения. В этом случае для определения направления ускорения Кориолиса достаточно повернуть вектор относительной скорости $\vec{V}_r$ на 90° в сторону переносного движения (см. рис. 3.9).

Для определения абсолютного ускорения точки выберем оси M_1x и M_1y, как показано на рис. 3.9, и спроектируем обе части векторного равенства теоремы сложения ускорений на эти оси. Получим:

$$a_x = -a_e^\tau \cos 60^\circ + a_e^n \cos 30^\circ + a_r^n - a_к = 230{,}4 \text{ см/с}^2;$$

$$a_y = a_e^\tau \cos 30^\circ + a_e^n \cos 60^\circ + a_r^\tau = 97{,}9 \text{ см/с}^2.$$

Модуль абсолютного ускорения

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 250{,}3 \text{ см/с}^2.$$

Задача 40. Диск (рис. 3.10) вращается вокруг оси O_1O_2, проходящей вдоль вертикального диаметра, с угловой скоростью $\omega = 2t^2 + 4\cos\pi t$ рад/с. Положительное направление отсчёта угла поворота диска отмечено на схеме дуговой стрелкой φ. Вдоль другого диаметра диска, наклоненного под углом 30º к вертикальному, движется точка M по закону $CM = S_r = (4t-1)^2 - 1$ см. Расстояние отсчитывается от точки C на краю диска. Положительное направление движения точки M показано стрелкой S_r. Радиус диска $R = 4$ см. Найти абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки M в момент времени $t_1 = 1$ с.

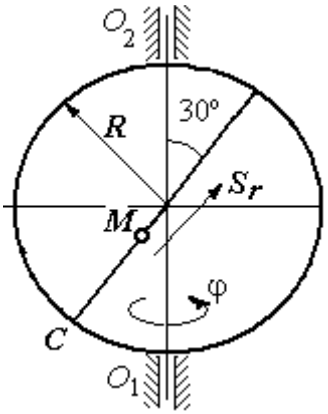


Рис. 3.10. Схема сложного движения точки

Решение

Переносным движением точки M является вращение диска вокруг вертикального диаметра, относительным – её прямолинейное движение вдоль наклонного диаметра диска.

Расстояние S_r, пройденное точкой, к моменту времени $t_1 = 1$ с равно 8 см. При радиусе диска $R = 4$ см точка M в данный момент времени находится на противоположном от точки C конце диаметра. На рис. 3.11 это положение обозначено буквой M_1.

Угловая скорость диска равна модулю производной: $\omega = |\dot{\varphi}| = |2 + 4\cos\pi|$ и при $t_1 = 1$ с $\omega = 2$ рад/с. Направление угловой скорости определяется по знаку производной $\dot{\varphi}$. В данном случае производная имеет отрицательное значение ($\dot{\varphi} = -2$ рад/с). Это означает, что вращение диска происходит в сторону, противоположную положительному направлению отсчёта угла поворота. Направление угловой скорости диска в данный момент времени отмечено на рис. 3.11 дуговой стрелкой ω.

Переносная скорость точки V_e – это скорость точки M_1 на вращающемся диске: $V_e = \omega h_e = \omega \cdot KM_1$, где $KM_1 = h_e$ – расстояние от оси вращения диска до точки M_1. Очевидно, $KM_1 = 0{,}5R = 2$ см. При $t_1 = 1$ с величина переносной скорости $V_e = 4$ см/с. Вектор переносной скорости $\vec{V}_e$ перпендикулярен плоскости диска $O_1M_1O_2$ и направлен в сторону вращения диска (рис. 3.11, *a*).

(На рис. 3.11, *a* символ ⊙ рядом с вектором означает, что данный вектор направлен перпендикулярно плоскости рисунка «к нам», символ ⊕ – «от нас».)

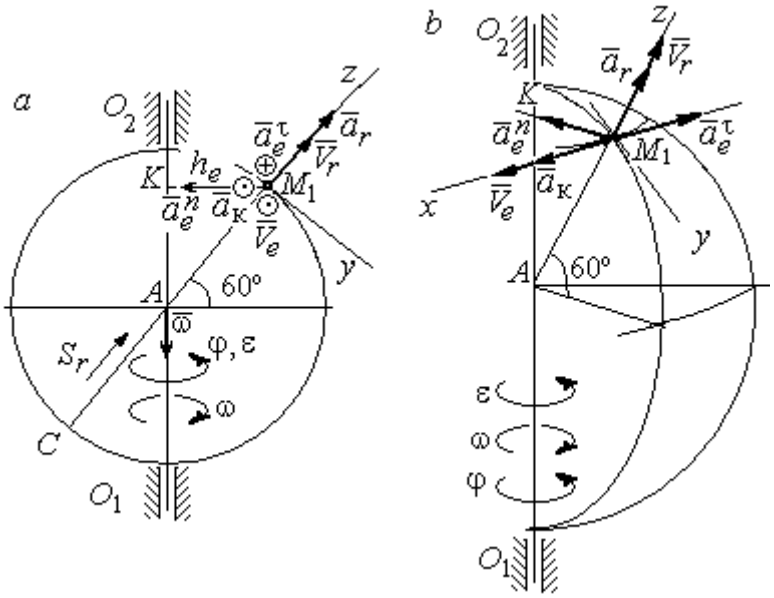


Рис. 3.11. Расчётная схема определения абсолютной скорости и ускорения точки:
a – плоская модель движения;
b – пространственная модель движения

Относительная скорость точки равна модулю производной: $V_r = \left|\dot{S}_r\right| = \left|8(4t - 1)\right|$. При $t_1 = 1$ с $V_r = 24$ см/с. Положительное значение самой производной $\dot{S}_r$ указывает, что относительное движение точки в данный момент времени происходит в положительном направлении. Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости точки в положении M_1 направлен вдоль диаметра диска CM_1 в сторону движения.

Абсолютная скорость точки равна сумме векторов переносной и относительной скоростей: $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$. Так как векторы $\vec{V}_e$ и $\vec{V}_r$ взаимно перпендикулярны, модуль абсолютной скорости $V = \sqrt{V_e^2 + V_r^2} = 24{,}33$ см/с. Вектор абсолютной скорости на рис. 3.11 не показан.

Абсолютное ускорение точки определяется векторной суммой, которая при прямолинейном относительном и вращательном переносном движениях представляется в виде: $\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e^{\tau} + \vec{a}_e^{n} + \vec{a}_{\text{к}}$.

Относительное ускорение точки $a_r = \left|\ddot{S}_r\right| = 32$ см/с^2. Так как значение второй производной $\ddot{S}_r$ положительно, вектор ускорения $\vec{a}_r$ в точке M_1 направлен по линии движения точки в сторону положительного направления (см. рис. 3.11).

Угловое ускорение диска $\varepsilon = \left|\dot{\omega}\right| = \left|4t - 4\pi\sin\pi t\right|$. В момент времени $t_1 = 1$ с $\varepsilon = 4$ рад/с^2. Положительное значение производной в данный момент времени ($\dot{\omega} = 4$ рад/с^2) означает, что угловое ускорение ε направлено в сторону положительного направления отсчёта угла поворота диска. Направление углового ускорения показано на рис. 3.11 дуговой стрелкой ε. Модуль переносного касательного ускорения a_e^{τ} определяется по формуле $a_e^{\tau} = \varepsilon h_e$, и при $t_1 = 1$ с $a_e^{\tau} = 8$ см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_e^{\tau}$ перпендикулярен плоскости диска $O_1M_1O_2$ в точке M_1 и направлен в сторону углового ускорения (противоположно вектору скорости).

Переносное нормальное ускорение a_e^{n} рассчитывается по формуле $a_e^{n} = \omega^2 h_e = \omega^2 \cdot KM_1$, и при $t_1 = 1$ с $a_e^{n} = 8$ см/с^2. Вектор переносного нормального ускорения $\vec{a}_e^{n}$ направлен вдоль отрезка M_1K к оси вращения диска (см. рис. 3.11).

Вектор скорости относительного движения точки $\vec{V}_r$ составляет с вектором угловой скорости переносного движения $\vec{\omega}$ угол 150º. Модуль ускорения Кориолиса на момент времени $t_1 = 1$ с $a_{\text{к}} = 2\left|\omega\right\|V_r\left|\sin 150^\circ = 48\right.$ см/с^2. Направление вектора ускорения Кориолиса определяем по правилу Жуковского. Так, вектор относительной скорости точки $\vec{V}_r$ проектируем на плоскость, перпенди-

кулярную вектору $\vec{\omega}$ (т. е. на плоскость, перпендикулярную оси вращения тела). На рис 3.11, *а* это будет проекция на линию KM_1. Далее следует повернуть вектор проекции относительной скорости вокруг оси вращения на 90° в сторону угловой скорости вращения диска. На рис 1.11, *а* вектор ускорения Кориолиса перпендикулярен плоскости рисунка в точке M_1 и направлен «на нас».

Для определения абсолютного ускорения точки выберем оси координат M_1x, M_1y и M_1z, как показано на рис. 3.11 (на рис. 3.11, *а* ось M_1x направлена перпендикулярно рисунку «к нам» и на рисунке не показана). Спроектируем обе части векторного равенства теоремы сложения ускорений на оси

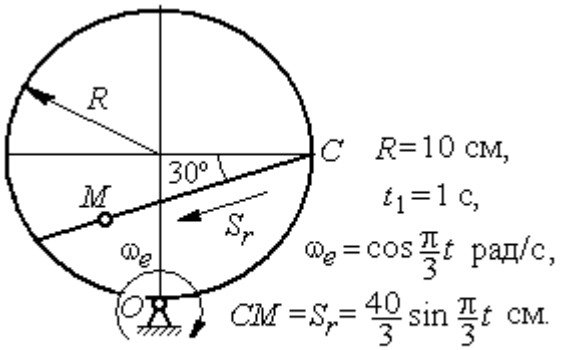
$$a_x = -a_e^{\tau} + a_{\text{к}} = 40 \text{ см/с}^2; \quad a_y = -a_e^n \cos 30^\circ = 6{,}93 \text{ см/с}^2;$$

$$a_z = a_r - a_e^n \cos 60^\circ = 28 \text{ см/с}^2.$$

Модуль абсолютного ускорения $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = 49{,}32$ см/с^2.

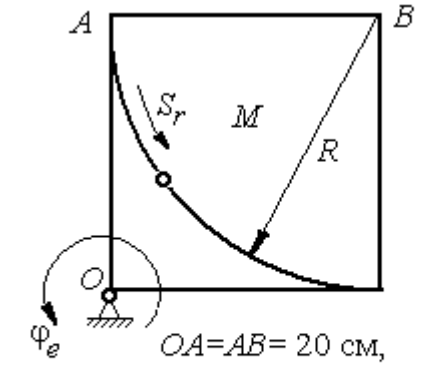
Упражнения

Упражнение 3.1



Найти скорость и ускорение точки M в момент $t = t_1$

Упражнение 3.2



Найти скорость и ускорение точки M в момент $t = t_1 = 1$ с

Рис. 3.12. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 3.1, 3.2

4. ДИНАМИКА ТОЧКИ

4.1. Дифференциальные уравнения движения точки

Движение материальной точки под действием системы сил $\vec{F}_1,\ \vec{F}_2,\ldots,\ \vec{F}_K$ в прямоугольной декартовой системе координат *Oxyz* описывается **дифференциальными уравнениями:**

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx}\ ,\ m\frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky}\ ,\ m\frac{d^2z}{dt^2} = \sum F_{kz}\ .$$

Обозначая вторые производные от координат по времени двумя точками, уравнения движения можно записать в виде:

$$m\ddot{x} = \sum F_{kx}\ ;\ m\ddot{y} = \sum F_{ky}\ ;\ m\ddot{z} = \sum F_{kz}\ ,$$

где m – масса точки; x, y, z – текущие координаты точки; $\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{z}$ – проекции вектора ускорения точки на оси координат; $\sum F_{kx}$, $\sum F_{ky}$, $\sum F_{kz}$ – алгебраические суммы проекций всех сил на оси координат.

Для удобства интегрирования дифференциальные уравнения движения иногда представляют в виде:

$$m\frac{dV_x}{dt} = \sum F_{kx}\ ;\ \ m\frac{dV_y}{dt} = \sum F_{ky}\ ;\ \ m\frac{dV_z}{dt} = \sum F_{kz}\ ,$$

где $V_x = \dot{x}$, $V_y = \dot{y}$, $V_z = \dot{z}$ – проекции вектора скорости точки на оси координат.

В естественной системе координат движение материальной точки описывается уравнениями в естественной форме:

$$m\frac{dV}{dt} = \sum F_{k\tau}\ ;\ \ m\frac{V^2}{\rho} = \sum F_{kn}\ ;\ 0 = \sum F_{kb}\ ,$$

где ρ – радиус кривизны траектории; τ, n, b – оси естественного трехгранника – касательная, нормаль и бинормаль.

В общем случае правые части дифференциальных уравнений зависят от времени, положения и скорости точки. Интегрирование дифференциальных

уравнений производится в зависимости от их вида методами, известными из курса математики.

Примеры решения задач на интегрирование уравнений движения

Задача 41. При обогащении по трению разделение частиц производится следующим образом. Барабанный питатель (рис. 4.1) сообщает частице в точке A сортировочного стола AB начальную скорость V_0, направленную вдоль поверхности стола, наклоненного под углом α к горизонту. Нижний край стола в точке B поднят на высоту h над уровнем пола. Частица скользит по столу, испытывая силу трения скольжения с коэффициентом трения f. Дойдя до края стола в точке B, частица отрывается от него и совершает свободное падение с высоты h. На каком расстоянии $CK = \ell$ на полу нужно установить стенку приёмного устройства, чтобы частицы с коэффициентом трения меньше заданного $f < f_1$ перелетали за точку C и попадали в приёмник, а с большим коэффициентом $f > f_1$ – не долетали до него.

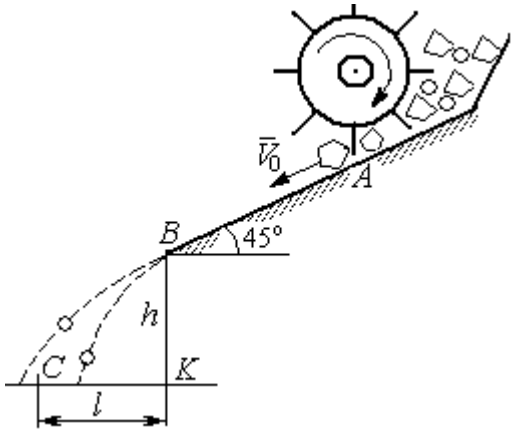


Рис. 4.1. Разделение частиц по трению

Начальная скорость частицы $V_0 = 1$ м/с, длина сортировочного стола $AB = S = 1{,}2$ м, угол наклона $\alpha = 45°$, высота точки отрыва $BK = h = 1{,}5$ м, заданный коэффициент трения для разделения частиц $f_1 = 0{,}4$.

Решение

Из условия задачи следует, что частица с коэффициентом трения, равным заданному, $f = f_1$ в конце своего движения (скольжение по столу + свободное падение) должна попасть ровно в точку C (см. рис. 4.1).

Рассмотрим первый участок движения такой частицы – прямолинейное движение по шероховатой поверхности наклонного стола. На частицу действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Выберем систему координат *xAy*, направив ось *x* вдоль линии движения, а ось *y* – перпендикулярно ей (рис. 4.2). Движение частицы описывается уравнениями:

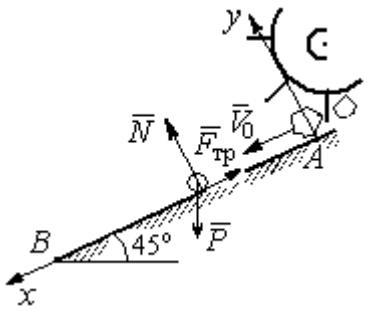


Рис. 4.2. Движение частицы по наклонной плоскости

$$m\ddot{x} = \sum F_{kx} = P\cos 45^\circ - F_{\text{тр}};$$

$$m\ddot{y} = \sum F_{ky} = -P\cos 45^\circ + N.$$

Поскольку вдоль оси *y* частица не перемещается, то $\ddot{y} = 0$. Тогда второе уравнение движения представляется в виде: $-P\cos 45^\circ + N = 0$, откуда реакция опоры частицы $N = mg\cos 45^\circ$. Сила трения, которую испытывает частица, двигаясь по сортировочному столу: $F_{\text{тр}} = fN = fmg\cos 45^\circ$, где f – коэффициент трения.

Подставляя в уравнение движения частицы, выражение силы трения и полагая ускорение $\ddot{x} = \dfrac{dV_x}{dt}$, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dV_x}{dt} = g(1-f)\cos 45^\circ \text{ или при } f = f_1 = 0{,}4: \ \frac{dV_x}{dt} = 4{,}18.$$

После интегрирования найдём скорость и закон движения частицы как функции времени: $V_x = 4{,}18t + C_1$; $x = 2{,}09t^2 + C_1 t + C_2$.

Константы интегрирования C_1, C_2 находятся из начальных условий движения. Подставляя начальные условия $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = V_x(0) = V_0$ в уравнение движения частицы, найдём $C_2 = 0$, $C_1 = V_0$.

Окончательно движение частицы на прямолинейном участке *AB* сортировочного стола описывается системой уравнений: $V_x = 4{,}18t + 1$; $x = 2{,}09t^2 + t$.

Допустим частица достигает края стола B в момент времени $t = t_B$. Её координата равна длине сортировочного стола: $x(t_B) = S$, а скорость равна скорости отрыва её от стола: $V_x(t_B) = V_B$. Подставим эти условия в уравнения движения, получим систему: $V_B = 4{,}18t_B + 1$, $S = 2{,}09t_B^2 + t_B$, откуда скорость частицы в точке отрыва её от стола $V_B = \sqrt{1 + 8{,}36S}$. При длине стола S = 1,2 м скорость отрыва V_B = 3,32 м/с.

Рассмотрим участок BC свободного падения частицы, брошенной с высоты h с начальной скоростью V_B, направленной под углом 45° к горизонту (рис. 4.3). В полёте на частицу действует только сила тяжести $\vec{P}$. Выберем прямоугольную систему координат xKy с началом координат в точке K (см. рис. 4.3). Дифференциальные уравнения движения точки

$$m\ddot{x} = 0;\ m\ddot{y} = -P = -mg \text{ или } \ddot{x} = 0,\ \ddot{y} = -g.$$

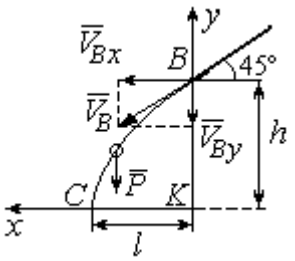


Рис. 4.3. Свободное падение частицы

Интегрируя первое уравнение, получим, что движение частицы вдоль оси x описывается уравнениями $\dot{x} = C_3;\ x = C_3t + C_4$. Константы интегрирования C_3 и C_4. определяются из начальных условий движения: при t = 0 , $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = V_{Bx}$, где V_{Bx} – проекция вектора скорости $\overline{V}_B$ на ось x, $V_{Bx} = V_B\cos45^\circ$ = 2,35 м/с. После подстановки начальных условий в уравнение движения частицы получим: C_4 = 0, C_3 = 2,35. В результате, движение частицы вдоль оси x при её свободном падении описывается уравнением $x = 2{,}35t$.

Проинтегрируем уравнение движения частицы в направлении оси y. Получим: $\dot{y} = -gt + C_5$ и $y = -g\dfrac{t^2}{2} + C_5t + C_6$. Начальные условия движения частицы вдоль оси y: при t = 0 , $y(0) = h$ = 1,5 м, $\dot{y}(0) = V_{By} = -V_B\cos45^\circ = -2{,}35$ м/с, где V_{By} – проекция вектора скорости $\overline{V}_B$ на ось y. Подставляя начальные

условия в уравнение движения, найдём: $C_6 = h$; $C_5 = V_{By} = -2{,}35$. Таким образом, движение частицы вдоль оси y при её свободном падении описывается уравнением $y = -4{,}91t^2 - 2{,}35t + 1{,}5$.

В момент $t = t_{\text{п}}$ падения частицы на пол её вертикальная координата обращается в нуль: $y = 0$, а горизонтальная – равна дальности полёта: $x = \ell$. Подставляя эти условия в уравнения движения частицы, получим систему:

$$\ell = 2{,}35t_{\text{п}},\ 0 = -4{,}91t_{\text{п}}^2 - 2{,}35t_{\text{п}} + 1{,}5.$$

Исключая в системе время $t_{\text{п}}$, выразим уравнение для определения дальности горизонтального полёта: $\ell^2 + 1{,}12\ell - 1{,}68 = 0$. Отсюда находим: $\ell = 0{,}85$ м.

Таким образом, частицы с коэффициентом трения $f = 0{,}4$ в конце своего движения падают на горизонтальную поверхность на расстоянии 0,85 м от края стола. Очевидно, именно здесь необходимо установить разделительную стенку приёмного устройства. Частицы с меньшим коэффициентом трения ($f < 0{,}4$) будут улетать за стенку, а при большем ($f > 0{,}4$) – недолетать. К примеру, длина горизонтального полёта частицы с коэффициентом трения $f = 0{,}3$ составляет 0,89 м, а при $f = 0{,}5$ равна 0,61 м.

Задача 42. Материальная точка массой $m = 1$ кг движется прямолинейно по горизонтальной поверхности под действием силы $F = 10 - kt$ Н, где k – коэффициент пропорциональности; $k = \text{const}$; t – время в секундах. Определить величину коэффициента k, при котором скорость точки за первую секунду от начала движения увеличится от начального значения $V_0 = 2$ м/с до величины $V_1 = 10$ м/с, а также путь, пройденный точкой до остановки.

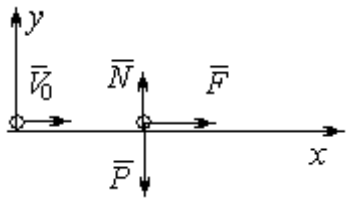


Рис. 4.4. Прямолинейное движение точки

Решение

Для описания движения точки выберем прямоугольную систему координат x, y с началом в том месте, откуда точка начала движение (рис. 4.4).

На точку действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция опоры $\vec{N}$ и заданная сила $\vec{F}$. Направление силы $\vec{F}$ на рис. 4.4 соответствует начальному этапу движения, когда проекция силы на ось *x* положительная. Движение точки описывается уравнением $m\ddot{x} = F_x = 10 - kt$.

Положим $\ddot{x} = \frac{dV}{dt}$. Здесь в силу того, что движение происходит только вдоль одной координаты, индекс *x* у скорости опущен. Учитывая массу точки, получим уравнение $\frac{dV}{dt} = 10 - kt$. Разделив переменные и проинтегрировав полученное уравнение, найдём закон изменения скорости точки $V = 10t - k\frac{t^2}{2} + C_1$. Выражая скорость через производную от координаты $V = \frac{dx}{dt}$, получим дифференциальное уравнение $\frac{dx}{dt} = 10t - k\frac{t^2}{2} + C_1$, интегрируя которое, найдём уравнение движения точки $x = 5t^2 - k\frac{t^3}{6} + C_1 t + C_2$.

Подставляя начальные условия (при $t = 0$, $V = V_0 = 2$ м/с, $x = 0$) в уравнения, получим: $C_1 = 2$, $C_2 = 0$. Окончательно движение точки описывается системой уравнений: $V = 10t - k\frac{t^2}{2} + 2$; $x = 5t^2 - k\frac{t^3}{6} + 2t$.

Известно, что через 1 с от начала движения точка приобрела скорость $V_1 = 10$ м/с. Подставляя это условие в первое уравнение, найдём $k = 4$.

В момент t_1 точка остановилась и её скорость обращается в нуль: $V(t_1) = 0$, а координата равна пройденному пути: $x(t_1) = S$. Подставляя эти условия в уравнения движения с учетом вычисленного значения коэффициента *k*, получим систему: $0 = 10t_1 - 2t_1^2 + 2$; $S = 5t_1^2 - \frac{2}{3}t_1^3 + 2t_1$, откуда находим путь, пройденный точкой до остановки: $S = 51{,}86$ м.

Задача 43. Материальная точка массой m = 1 кг, находясь на высоте h_1 = 2 м над уровнем Земли, подброшена вертикально вверх (ось x) с начальной скоростью V_0 = 4 м/с (рис. 4.5, *a*). При движении на точку действует сила сопротивления, пропорциональная квадрату скорости, так, что проекция её на вертикаль направлена в сторону, противоположную движению, $R_x = -0{,}5mV^2$ Н, где V – скорость точки. Определить, на какой высоте h_2 от уровня Земли скорость падающей обратно точки достигнет значения начальной стартовой скорости.

Решение

Решение задачи осуществляется в два этапа. На первом этапе рассматривается движение точки вверх с высоты h_1 с начальной скоростью V_0 и определение максимальной высоты полёта H, на втором этапе – падение точки вниз с высоты H без начальной скорости (рис. 4.5, *b*).

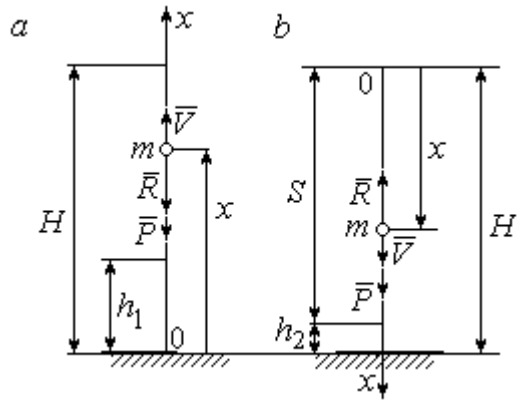


Рис. 4.5. Силы, действующие на точку в полёте:
a – движение точки вверх;
b – движение точки вниз

Рассмотрим первый этап движения и найдём максимальную высоту подъёма точки. На рис. 4.5, *a* показаны силы, действующие на точку в полёте: сила тяжести $\vec{P}$ и сила сопротивления $\vec{R}$. Ось x, вдоль которой происходит движение точки, выбрана по направлению движения, начало координат – на уровне Земли (см. рис. 4.5, *a*).

Дифференциальное уравнение движения точки в проекции на ось x: $m\ddot{x} = \sum F_x = P_x + R_x$, где проекции сил тяжести и сопротивления на ось x: $P_x = -P = -mg$; $R_x = -0{,}5mV^2$. Полагая $\ddot{x} = \dfrac{dV}{dt}$, получим уравнение движения точки в виде: $\dfrac{dV}{dt} = -(g + 0{,}5V^2)$.

Учитывая, что $\frac{dV}{dt}=\frac{dV}{dx}\frac{dx}{dt}=V\frac{dV}{dx}=\frac{dV^2}{2dx}$, исходное уравнение движения представляется в виде, удобном для интегрирования: $\frac{dV^2}{g+0{,}5V^2}=-2dx$.

Проинтегрировав это уравнение, находим: $\ln(g+0{,}5V^2)=-x+C$.

В начальном положении, т. е. при $t = 0$, точка находилась на высоте $x = h_1$, а скорость её $V = V_0$. Подставив эти значения в проинтегрированное уравнение, получим: $C=h_1+\ln(g+0{,}5V_0^2)$. Окончательно положение точки в полёте определяется выражением $x=h_1+\ln\left(\frac{g+0{,}5V_0^2}{g+0{,}5V^2}\right)$.

При максимальном подъёме точки, т. е. при $x=H$, её скорость обращается в нуль: $V = 0$. Подставляя H, получим: $H=h_1+\ln\left(1+\frac{V_0^2}{2g}\right)$. При начальной скорости $V_0 = 4$ м/с, с учётом высоты точки старта $h_1 = 2$ м, высота подъёма точки относительно уровня Земли $H = 2{,}6$ м.

Рассмотрим второй этап решения задачи – движение точки вниз с максимальной высоты H без начальной скорости. Выберем ось x по направлению движения и поместим начало координат в точке, откуда началось движение вниз (рис. 4.5, *b*). Дифференциальное уравнение движения падающей точки: $m\frac{dV}{dt}=P_x+R_x = mg-0{,}5mV^2$, которое, как и в предыдущем случае, приводится к виду: $\frac{dV^2}{g-0{,}5V^2}=2dx$.

Проинтегрировав это уравнение, находим: $\ln(g-0{,}5V^2)=-x+C_1$.

В начальном положении, т. е. при $t = 0$, координата точки и скорость равны нулю: $x = 0$, $V = 0$. Подставив эти значения, находим: $C_1=\ln g$.

Окончательно положение падающей точки определяется выражением $x = \ln\left(\frac{g}{g - 0{,}5V^2}\right)$.

Расстояние S, которое пролетела точка с высоты H, приобретя скорость, V_0: $S = \ln\left(\frac{g}{g - 0{,}5V_0^2}\right)$. Высота h_2 этого положения от уровня Земли: $h_2 = H - S$ (см. рис. 4.5, *b*). С учётом величины начальной скорости $V_0 = 4$ м/с, максимальной высоты подъёма точки $H = 2{,}6$ м высота $h_2 = 0{,}91$ м.

Задача 44. Точка 1 движется горизонтально с постоянной скоростью V_1 на высоте h. Точка 2 массой m_2 находится в начале координат (рис. 4.6).

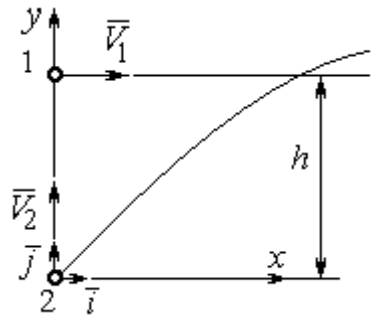


Рис. 4.6. Схема встречного движения точек

В момент, когда обе точки находились на одной вертикали y, точка 2 стартовала вертикально вверх со скоростью V_2. В полёте на точку 2 действует отклоняющая сила $\vec{F}_2$, которая представлена в виде разложения по единичным векторам $\vec{i}$, $\vec{j}$ системы координат xy: $\vec{F}_2 = p\vec{i} + q\vec{j}$, где p, q – const. С какой скоростью V_2 должна стартовать точка 2, чтобы обе точки встретились.

Решение

Рассмотрим движение точки 2. На точку действует сила тяжести $\vec{P}_2$ и сила $\vec{F}_2$, проекции которой на оси x, y: $F_{2x} = p$, $F_{2y} = q$ (рис. 4.7).

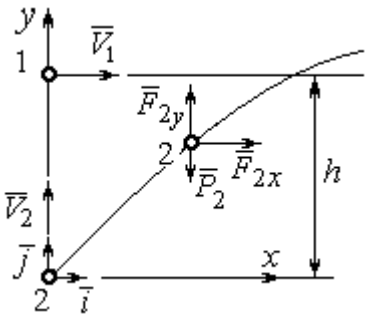


Рис. 4.7. Расчётная схема встречи точек

Уравнения движения точки в проекциях на оси xy имеют вид:

$$m_2\ddot{x} = p,\ m_2\ddot{y} = q - m_2 g.$$

Дважды интегрируя первое уравнение, полу-

чим: $\dot{x} = \frac{p}{m_2}t + C_1$; $x = \frac{p}{2m_2}t^2 + C_1 t + C_2$. Константы интегрирования найдём из условия, что в начальный момент вторая точка стартовала из начала координат вертикально, то есть при $t = 0$ $x = 0$ и $\dot{x} = V_{2x} = 0$. Подставляя начальные условия в уравнения движения, получим: $C_1 = 0$, $C_2 = 0$. Таким образом, движение точки 2 вдоль оси x описывается уравнением $x = \frac{p}{2m_2}t^2$.

Аналогично, дважды интегрируя второе уравнение движения, получим зависимость скорости движения точки 2 от времени и закон её движения вдоль оси y: $\dot{y} = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)t + C_3$; $y = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t^2}{2} + C_3 t + C_4$. Из начальных условий: при $t = 0$ $y = 0$, $\dot{y} = V_{2y} = V_2$ следует: $C_3 = V_2$, $C_4 = 0$.

В результате закон движения точки 2 вдоль оси y: $y = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t^2}{2} + V_2 t$.

Обозначим t_1 – время движения точек до встречи. В момент встречи высота точки 2 $y(t_1) = h$, а расстояние по горизонтали, которое прошла точка 2 до встречи, должно быть равно расстоянию, пройденному точкой 1 за это же время. Подставляя условия встречи в уравнения движения, получим систему:

$$V_1 t_1 = \frac{p}{2m_2}t_1^2; \qquad h = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t_1^2}{2} + V_2 t_1,$$

откуда найдём: $V_2 = \frac{h}{t_1} - \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t_1}{2}$, где $t_1 = \frac{2V_1 m_2}{p}$.

Упражнения

Упражнение 4.1. Тело массы m = 2 кг поднимается по прямой по шероховатой поверхности, составляющей угол 30° с горизонтом. Коэффициент трения f = 0,4. На тело действует сила $F = kt + 0{,}5P$, направленная в сторону движения, параллельно плоскости. Определить величину коэффициента k и начальную скорость тела, направленную вверх по наклонной плоскости, если за первую секунду тело прошло путь S = 2 м, а скорость увеличилась вдвое относительно начальной.

Упражнение 4.2. Материальную точку массы m = 1 кг, находящуюся на высоте H = 10 м над уровнем Земли, бросили под углом φ = 30° к горизонту с начальной скоростью V_0. Свободное движение точки происходит в вертикальной плоскости. Определить начальную скорость V_0 и горизонтальную дальность полета l при падении точки на Землю, если высоту h =7 м она пересекла через 1 с от начала движения.

4.2. Колебания материальной точки

Если материальная точка массой m движется вдоль оси Оx под действием линейной восстанавливающей силы, равной $F = cx$, где c – постоянный коэффициент, x – отклонение точки от положения равновесия, куда поместили начало координат, то дифференциальное уравнение свободных прямолинейных колебаний имеет вид:

$$m\ddot{x} + cx = 0, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = 0,\ \omega^2 = \frac{c}{m},$$

где ω – угловая частота колебаний.

Решение дифференциального уравнения свободных колебаний представляется в виде $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$. Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий.

Если кроме восстанавливающей силы на материальную точку действует переменная возмущающая сила, колебания точки называются **вынужденными.** В случае гармонического возмущения $Q = H\sin pt$, где H, p – амплитуда и угловая частота возмущающей силы, дифференциальное уравнение вынужденных колебаний материальной точки относительно положения равновесия

$$m\ddot{x} + cx = H\sin pt, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt,\ \omega^2 = \frac{c}{m},\ h = \frac{H}{m}$$

где ω – угловая частота собственных колебаний; h – относительная амплитуда возмущающей силы.

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения вынужденных колебаний при отсутствии резонанса (частота собственных колебаний точки не совпадает с частотой возмущающей силы $p \neq \omega$) имеет вид:

$x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \dfrac{h}{\omega^2 - p^2}\sin pt$, а в случае возникновения резонанса ($p = \omega$) определяется формулой: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t - \dfrac{ht}{2p}\cos pt$. Значения произвольных постоянных C_1 и C_2 находятся с учётом начальных условий движения.

Колебания груза на двух параллельных пружинах с жесткостью c_1 и c_2 можно рассматривать как колебания груза на одной пружине с эквивалентной жесткостью $c_{экв} = c_1 + c_2$, где $c_{экв}$ – жесткость эквивалентной пружины. При последовательном соединении пружин коэффициент жесткости эквивалентной пружины $c_{экв} = \dfrac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$.

Примеры решения задач на колебания точки

Задача 45. Подъёмное устройство (рис. 4.8) опускает груз Q массой $m = 400$ кг в шахту при помощи упругого троса с коэффициентом жесткости $c = 8 \cdot 10^4$ Н/м с постоянной скоростью $V = 10$ м/с. В некоторый момент во время спуска трос защемило в блоке. Пренебрегая массой троса, определить дальнейшее движение груза и найти максимальную силу натяжения троса.

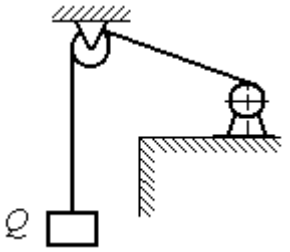


Рис. 4.8. Подъёмное устройство

Решение

После того как произошло защемление троса в обойме блока, вертикальную часть троса длиной ℓ_0 можно рассматривать как пружину с закреплённым верхним концом, а груз – материальной точкой.

Расчетная схема колебаний груза Q на пружине показана на рис. 4.9.

Ось *Ox*, вдоль которой происходят колебания груза, направлена вертикально вниз. Начало отсчёта координаты *x* (точка *O*) выбрано в положении нерастянутой пружины.

На рис. 4.9, *a* положение нерастянутой пружины соответствует положению груза на тросе в момент его защемления. В произвольном положении груза (рис. 4.9, *b*), обозначенном координатой *x*, к нему приложены две силы: сила тяжести $\vec{Q}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$. Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*: $F_{\text{упр}\,x} = -c\Delta\ell = -cx$, где $\Delta\ell$ – удлинение пружины. Дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox* имеет вид: $m\ddot{x} = Q - cx$. В результате получаем неоднородное дифференциальное уравнение колебаний:

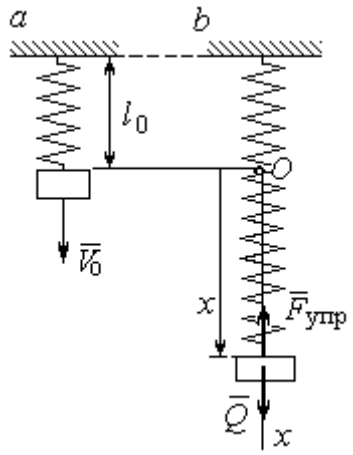


Рис. 4.9. Расчётная схема колебаний груза:
a – положение груза на начало колебаний; *b* – положение груза в произвольный момент времени

$$m\ddot{x} + cx = mg \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = g,$$

где ω – угловая частота собственных колебаний, $\omega = \sqrt{\dfrac{c}{m}} = 14{,}14$ рад/с.

Решение неоднородного дифференциального уравнения представляется в виде $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \dfrac{g}{\omega^2}$, где первые два слагаемых представляют общее решения однородного уравнения, последнее – частное решение неоднородного

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 используем начальные условия движения: при $t = 0$ груз находился в положении $x = 0$, а его скорость равнялась скорости груза $\dot{x} = V_0 = 10$ м/с. Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения колебаний, полу-

чим: $C_1 = -\frac{g}{\omega^2} = -0{,}69$ м. Для определения второй константы вычислим скорость груза: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t$. Подставив начальное значение скорости груза при $t = 0$, получим: $C_2 = \frac{V_0}{\omega} = 0{,}71$ м. Окончательно, движение груза после защемления троса в обойме блока описывается уравнением

$$x = -0{,}69\cos 14{,}14t + 0{,}71\sin 14{,}14t + 0{,}69.$$

Представим уравнение колебаний в виде $x = A\sin(\omega t + \alpha) + \frac{g}{\omega^2}$, где A – амплитуда собственных колебаний груза $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$, α – фаза колебаний; $\operatorname{tg}\alpha = \frac{C_1}{C_2}$. Максимальное растяжение троса равно максимальному значению координаты груза: $x_{\max} = \max[A\sin(\omega t + \alpha) + \frac{g}{\omega^2}] = A + \frac{g}{\omega^2} = 1{,}68$ м. Соответственно, максимальное усилие в тросе равно значению силы упругости при максимальном растяжении: $F_{\text{упр max}} = cx_{\max} = 134{,}4$ кН.

Задача 46. Рабочий орган вибрационной машины представляет собой массивное тело, расположенное на гладкой наклонной плоскости между двумя пружинами (см. рис. 4.10). Угол наклона плоскости к горизонту 60º. Масса груза $m = 9$ кг. Пружины, зажимающие груз, имеют коэффициенты жесткости $c_1 = 300$ Н/м и $c_2 = 600$ Н/м.

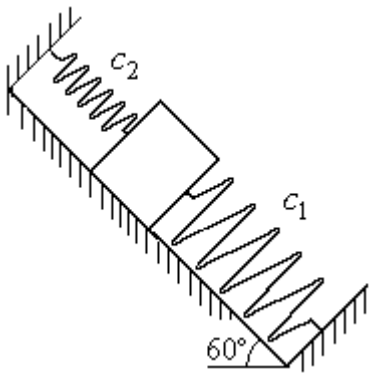


Рис. 4.10. Колебания груза на наклонной плоскости

В начальный момент груз, когда пружины не деформированы, груз оттягивают вниз по наклонной плоскости на расстояние $\Delta\ell = 0{,}12$ м и отпускают без начальной скорости.

Найти период колебаний, амплитуду и уравнение движения груза.

Решение

Колебания груза, зажатого между двумя пружинами, представим как колебания груза, прикреплённого к одной пружине эквивалентной жёсткости: $c_э = c_1 + c_2$ = 900 Н/м (рис. 4.11). Ось, вдоль которой происходят колебания, направим вниз по наклонной плоскости. Начало отсчёта координаты груза x выберем в положении его статического равновесия (точка O) (см. рис. 4.11).

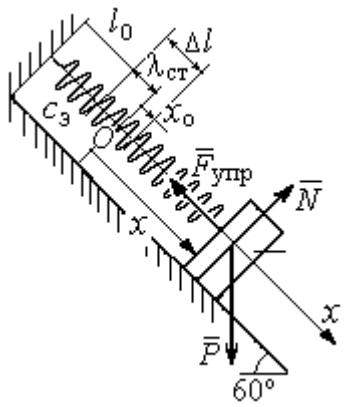


Рис. 4.11. Схема колебаний груза на эквивалентной пружине

Дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось Ox: $m\ddot{x} = P_x - F_{упр\,x}$. Проекция силы упругости пружины на ось Ox: $F_{упр\,x} = -c_э \Delta\ell$, где $\Delta\ell = (x + \lambda_{ст})$ – удлинение пружины, включающее её растяжение $\lambda_{ст}$ относительно положения нерастянутой пружины и растяжение x относительно начала координат.

Удлинение пружины $\lambda_{ст}$ определяется из условия равновесия груза на наклонной плоскости в положении статического равновесия:

$$P\cos 30^\circ - F_{упр} = 0{,}87mg - c_э\lambda_{ст} = 0.$$

Находим $\lambda_{ст} = \dfrac{0{,}87mg}{c_э} = 0{,}085$ м.

Подставляя выражение силы упругости, с учётом условия статического равновесия груза ($0{,}87mg = c_э\lambda_{ст}$), получим дифференциальное уравнение колебаний: $m\ddot{x} = -c_э x$ или $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, где ω – угловая частота собственных колебаний груза, $\omega = \sqrt{\dfrac{c_э}{m}} = 10$ рад/с.

Общее решение уравнения колебаний $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$.

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 вычислим начальные условия движения груза.

Координата начального положения груза на оси Ox (см. рис. 4.11) $x_0 = \Delta\ell - \lambda_{ст} = 0{,}035$ м. Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения колебаний при $t = 0$, получим: $C_1 = x_0 = 0{,}035$ м. Для определения второй константы вычислим скорость груза: $\dot{x} = -C_1\omega_2 \sin\omega_2 t + C_2\omega_2 \cos\omega_2 t$. Подставив начальное значение скорости груза: при $t = 0$ $\dot{x} = V_0 = 0$, получим $C_2 = 0$. Окончательно уравнение движения груза относительно его положения статического равновесия $x(t) = 0{,}035\cos 10t$ м. Амплитуда колебаний $A = 0{,}035$ м. Период колебаний $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 0{,}63$ с.

Задача 47. Пружинный амортизатор состоит из двух одинаковых вертикально стоящих пружин, к верхним концам которых прикреплена невесомая горизонтальная площадка (рис. 4.12). Жёсткость каждой пружины c = 350 Н/м. Груз массой m = 5 кг падает с высоты h = 0,3 м.

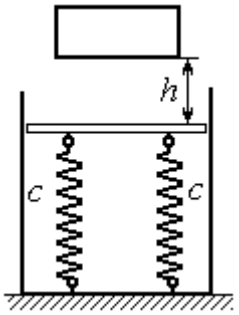


Рис. 4.12. Пружинный амортизатор

Коснувшись площадки, груз начинает двигаться вместе с ней. Определить максимальную осадку амортизатора и уравнение движения груза.

Решение

Заменим две пружины амортизатора одной с жесткостью, эквивалентной двум пружинам: $c_э = 2c$ = 700 Н/м. Расчётная схема колебаний груза показана на рис. 4.13. Начало координат оси x (точка O), вдоль которой происходят колебания, выбрано на уровне статического равновесия груза.

При движении (на рис. 4.13, c предполагается движение груза вниз) на груз действуют сила упругости $\vec{F}_{упр}$ и сила тяжести $\vec{P}$. Уравнение движения груза в проекции на ось x: $m\ddot{x} = P - F_{упр} = P - c_э\Delta\ell$, где $\Delta\ell$ – удлинение (или сжатие) пружины относительно недеформированного состояния.

В произвольном положении груза, обозначенном координатой x (см. рис. 4.13, *c*), сжатие пружины относительно её недеформированного состояния (см. рис. 4.13, *a*) составляет величину: $\Delta\ell = x + \lambda_{ст}$. Величина $\lambda_{ст}$ находится из условия статического равновесия груза, которое выражается равенством (рис. 4.13, *b*): $P - F_{упр\,ст} = P - c_э\lambda_{ст} = 0$.

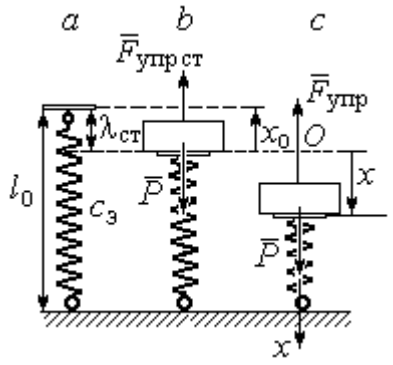


Рис. 4.13. Расчётная схема колебаний на эквивалентной пружине:
a – недеформированная пружина;
b – положение статического равновесия груза; *c* – произвольное положение

Подставляя это условие в уравнение движения груза, получим дифференциальное уравнение колебаний: $m\ddot{x} + c_э x = 0$ или $m\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, где $\omega = \sqrt{\dfrac{c_э}{m}}$ = 11,83 рад/с – угловая частота колебаний.

Общее решение однородного уравнения колебаний представляется в виде $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$, где C_1 и C_2 – произвольные постоянные, вычисляемые по начальным условиям движения груза.

По условию задачи груз падает на площадку, установленную на недеформированных пружинах. Это означает, что начальная координата груза при его движении на пружинах соответствует положению недеформированной пружины: $x_0 = -\lambda_{ст} = -\dfrac{mg}{c_э} = -0{,}07$ м.

Начальная скорость колебаний груза равна скорости груза при падении его с высоты 1 м. Интегрируя уравнение движения груза во время падения $m\ddot{s} = mg$, где s – путь, пройденный телом, получим зависимость скорости от пройденного пути: $V^2 = 2gs$. Полагая s = 0,3, найдём скорость груза при его встрече с площадкой: V = 2,43 м/с. Проекция начальной скорости колебаний груза на ось x положительна: $V_{0x} = V$ = 2,43 м/с.

Подставив начальные условия в общее решение уравнения колебаний, получим: $C_1 = x_0 = -0{,}07$ м; $C_2 = \frac{V_{0x}}{\omega} = 0{,}2$ м. Окончательно уравнение колебаний груза на амортизаторе $x = -0{,}07\cos 11{,}83t + 0{,}2\sin 11{,}83t$. Амплитуда колебаний $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = 0{,}21$ м. Проседание амортизатора H отсчитывается от положения нерастянутых пружин: $H = A + \lambda_{ст} = 0{,}28$ м.

Задача 48. Для регистрации (записи) вертикальных колебаний тяжёлых платформ используется пружинный виброграф (рис. 4.14). Схема действия прибора состоит в следующем. Массивная платформа A совершает вертикальные гармонические колебания по закону $\xi = \xi(t)$. На платформе установлена вертикальная стойка с горизонтальной перекладиной, к которой прикреплена пружина жесткостью c. К нижнему концу пружины подвешен груз P массой m с индикаторной стрелкой B (см. рис. 4.14). Вертикальная шкала индикаторной стрелки закреплена на платформе A. В начальный момент груз на пружине находился в покое в положении статического равновесия. Определить закон колебаний стрелки B вдоль шкалы, если масса груза m = 1 кг, жесткость пружины c = 10 Н/м, платформа совершает вертикальные колебания по закону $\xi = a\sin pt$ см, где амплитуда a = 0,02 м, частота колебаний платформы p = 7 рад/с.

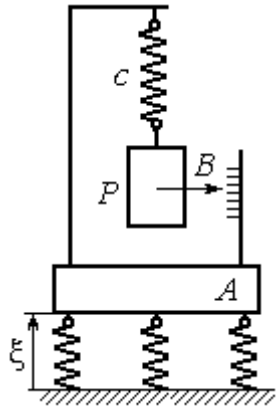


Рис.4.14. Регистратор вертикальных колебаний

Решение

Выберем неподвижную ось x, связанную, например, с неподвижной поверхностью, на которой стоит платформа. Начало координат – точку O выберем на уровне статического равновесия груза на пружине при неподвижной платформе. Произвольное положение груза отмечено координатой x (рис. 4.15).

Растяжение пружины при неподвижной платформе составляет величину $x+\lambda_{ст}$, где $\lambda_{ст}$ – удлинение пружины в положении статического равновесия груза, определяемое из условия $P-c\lambda_{ст}=0$. Вместе с тем колебание платформы вызывает аналогичное смещение точки подвеса пружины. В результате растяжение пружины при произвольном положении груза равно сумме: $\Delta\ell=(x+\lambda_{ст}+\xi)$.

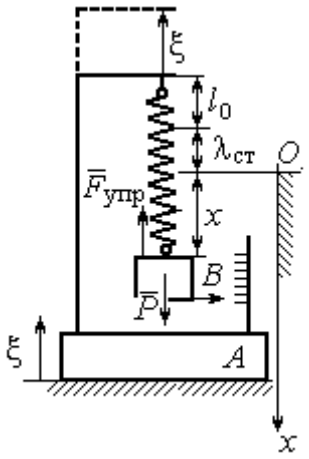


Рис. 4.15. Расчётная схема колебаний груза

На груз действуют сила тяжести $\vec{P}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{упр}$. Дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*: $m\ddot{x}=P_x+F_{упр\,x}$, где проекции $P_x=P$, $F_{упр\,x}=-c\Delta\ell=-c(x+\lambda_{ст}+\xi)$. Расчётная схема колебаний груза показана на рис. 4.15.

С учётом условия статического равновесия груза $P-c\lambda_{ст}=0$ получим дифференциальное уравнение вынужденных колебаний груза в виде:

$$\ddot{x}+\omega^2x=-h\sin pt,$$

где ω – угловая частота собственных колебаний груза, $\omega=\sqrt{\dfrac{c}{m}}=3{,}16$ рад/с;

h – относительная амплитуда вынужденных колебаний, $h=\dfrac{ca}{m}$ = 0,2 м/с^2;

p – угловая частота вынужденных колебаний, p = 7 рад/с.

Решение уравнения вынужденных колебаний представляется суммой $x=x_1+x_2$, где x_1 является общим решением однородного уравнения $\ddot{x}_1+\omega^2x_1=0$, а x_2 – частное решение уравнения вынужденных колебаний: $\ddot{x}_2+\omega^2x_2=-h\sin pt$.

Решив однородное уравнение, находим: $x_1=C_1\cos\omega t+C_2\sin\omega t$.

При отсутствии резонанса (а в данном случае частота вынужденных колебаний груза не совпадает с частотой собственных $\omega \neq p$) частное решение уравнения вынужденных колебаний ищем в виде $x_2 = b\sin pt$. Подставляя частное решение в уравнение вынужденных колебаний, получим уравнение $-bp^2\sin pt + \omega^2 b\sin pt = -h\sin pt$, откуда находим коэффициент: $b = \dfrac{h}{p^2 - \omega^2}$.

В результате общее решение уравнения колебаний принимает вид:

$$x = x_1 + x_2 = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \frac{h}{p^2 - \omega^2}\sin pt,$$

где константы C_1 и C_2 подлежат определению.

В начальный момент груз находился на пружине в положении статического равновесия, и потому его начальная координата и скорость равны нулю Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения вынужденных колебаний при t = 0, получим C_1= 0. Для определения второй константы вычислим скорость груза в произвольный момент времени: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t + \dfrac{hp}{p^2 - \omega^2}\cos pt$. Подставив начальное значение скорости груза, найдём $C_2 = -\dfrac{hp}{\omega(p^2 - \omega^2)} = -0{,}01$ м.

Таким образом, колебания груза относительно неподвижной системы координат описываются уравнением $x = -0{,}01\sin 3{,}16t + 0{,}05\sin 7t$ и представляют абсолютное движение груза. Для того чтобы найти закон движения груза относительно платформы – относительное движение, нужно из его абсолютного движения исключить переносное – колебания платформы. Поскольку стрелка прибора закреплена на грузе, а шкала – на платформе, то закон движения стрелки относительно шкалы:

$$x_r = x - \xi = -0{,}01\sin 3{,}16t + 0{,}05\sin 7t - 0{,}02\sin 7t = -0{,}01\sin 3{,}16t + 0{,}03\sin 7t.$$

Упражнения

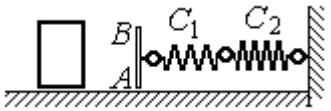


Рис. 4.16. Схема движения груза

Упражнение 4.3. Груз массы m = 0,5 кг, получив начальную скорость V_0 = 6 м/с, движется по горизонтальной поверхности, испытывая силу сопротивления, равную по величине $F = kV$ и направленную в сторону, противоположную движению. Через 1 с груз соединяется с невесомой вертикальной площадкой AB и продолжает движение вместе с ней, уже без сопротивления. К площадке прикреплены две горизонтальные последовательно соединённые пружины жёсткостью C_1 = 120 и C_2 = 40 Н/м (рис. 4.16).

Найти величину максимального сжатия пружины, если k = 0,5 Н/м/с. Определить закон движения груза.

Упражнение 4.4. Груз массы m =1 кг прикреплен к конструкции, состоящей из трёх вертикальных пружин одинаковой жёсткости C = 160 Н/м (рис. 4.17), и находится в равновесии. В некоторый момент времени грузу сообщают скорость V = 4 м/с, направленную вверх.

Найти амплитуду и частоту колебаний груза.

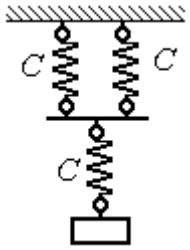


Рис. 4.17. Схема крепления груза на пружинах

4.3. Теорема об изменении кинетической энергии точки

Работой постоянной по величине и направлению силы $\vec{F}$ на прямолинейном перемещении точки приложения силы M (рис. 4.18) называется скалярная величина $A(\vec{F}) = FS\cos\alpha$, где F – модуль силы; S – конечное перемещение точки приложения силы; α – угол между направлением вектора силы и направлением перемещения точки приложения силы.

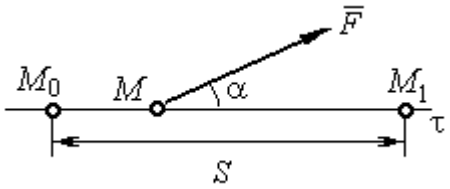


Рис. 4.18. Работа постоянной силы на прямолинейном участке

Работа силы тяжести материальной точки при перемещении её из положения M_0 в положение M_1 равна произведению $A_{(M_0M_1)} = \pm Ph$, где P – величина силы тяжести точки; h – вертикальное перемещение точки (рис. 4.19).

Работа силы тяжести положительна, если начальная точка движения выше конечной (см. рис. 4.19, *a*), и отрицательна, если начальная точка ниже конечной (см. рис. 4.19, *b*).

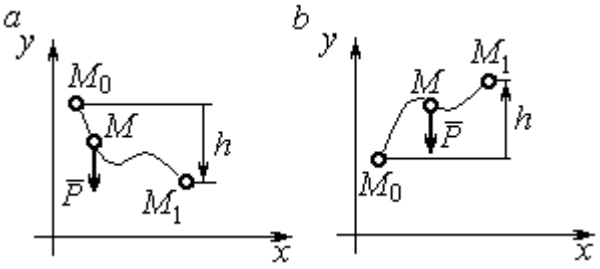


Рис. 4.19. Работа силы тяжести:
a – перемещение точки сверху вниз;
b – перемещение точки снизу вверх

Работа силы упругости пружины при перемещении вдоль линии действия силы из положения недеформированной пружины на расстояние *h* определяется формулой $A(\vec{F}_{\text{упр}}) = -\frac{ch^2}{2}$, где c – коэффициент жесткости (или жёсткость) пружины.

Кинетической энергией материальной точки называется скалярная величина $T = \frac{1}{2}mV^2$, где m – масса точки; V – её скорость.

Теорема об изменении кинетической энергии точки. Изменение кинетической энергии материальной точки при переходе её из начального положения в текущее равно алгебраической сумме работ всех действующих на неё сил: $\frac{mV_1^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = \sum A_{(M_0M_1)}$, где V_0, V_1 – скорость точки в начальном положении M_0 и в положении M_1; $\sum A_{(M_0M_1)}$ – сумма работ всех сил, действующих на точку, при перемещении её из положения M_0 в положение M_1. При несвободном движении точки в сумму работ сил войдёт и работа реакций связи.

Для определения реакций связи при несвободном движении точки используются уравнения движения в проекциях на оси естественной системы координат – касательную и нормальную: $m\frac{dV}{dt} = \sum F_\tau$, $m\frac{V^2}{\rho} = \sum F_n$, где $\sum F_\tau$, $\sum F_n$ – суммы проекций сил на касательную и нормальную оси естественной системы координат, ρ – радиус кривизны траектории точки.

Примеры решения задач с использованием теоремы об изменении кинетической энергии точки

Задача 49. Подъёмное устройство в шахте опускает груз массой 500 кг с постоянной скоростью V_0 = 6 м/с. После обрыва каната подъёмника срабатывает предохранительное устройство, которое создаёт силу трения между лифтом подъёмного устройства и стенками шахты. Какую силу трения, считая её постоянной, должно создать предохранительное устройство, чтобы остановить лифт на протяжении пути 10 м.

Решение

Рассмотрим падение груза после обрыва каната подъёмника. На груз действуют сила тяжести $\vec{P}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, направленная в сторону, противоположную движению. Считая груз материальной точкой, составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки. Получим выражение $\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = Ps - F_{\text{тр}}s$, где V_0, V – скорость груза в начале движения (сразу после обрыва каната) и в конце; s – путь, проходимый грузом за время движения. В конце движения груз должен остановиться, то есть V = 0. Тогда уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки принимает вид: $-\frac{mV_0^2}{2} = \left(P - F_{\text{тр}}\right)s$, откуда находим требуемую для остановки груза силу трения: $F_{\text{тр}} = P + \frac{mV_0^2}{2s}$. Подставляя условия задачи, получим: $F_{\text{тр}}$ = 5,81 кН

Задача 50. Тонкий стержень, расположенный в вертикальной плоскости, состоит из двух дуг сопряженных окружностей радиусов R = 1 м и r = 0,5 м (рис. 4.20). Линия OO_1, соединяющая центры окружностей, составляет с горизонтом угол 30°. На стержень надет шарик весом P = 10 Н. В точке A, положение которой на дуге радиуса R определяется углом α = 60°, шарику сообщают начальную скорость V_0, после чего он скользит по стержню без трения. Опре-

делить значение начальной скорости, при которой шарик достигнет наивысшей точки B со скоростью, равной половине начальной. При найденном значении начальной скорости рассчитать давление шарика на стержень в точке C, положение которой на дуге радиуса r определяется углом $\beta = 90°$ относительно линии центров.

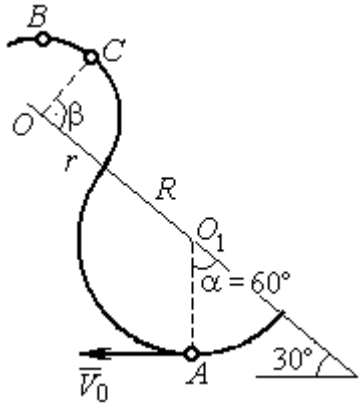


Рис. 4.20. Движение шарика по изогнутому стержню

Решение

При движении шарика по стержню без трения на него действуют сила тяжести $\vec{P}$ и реакция опоры $\vec{N}$. При этом работу совершает только сила тяжести шарика. Реакция гладкой поверхности стержня в любой момент времени перпендикулярна поверхности стержня и потому её работа равна нулю.

По теореме об изменении кинетической энергии точки при движении её из начального положения A в положение B имеем равенство:

$$\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_A^2}{2} = A(P) = -Ph_{(AB)},$$

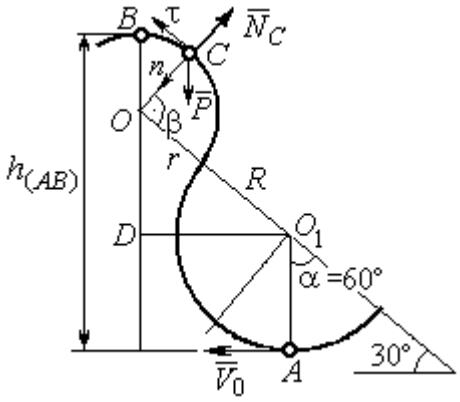


Рис. 4.21. Расчётная схема движения шарика

где $h_{(AB)}$ – перепад высот точек B и A, $h_{(AB)} = R + DO + r = \frac{3}{2}(R + r)$ (см. рис. 4.21); V_A, V_B – скорость шарика в точках A и B, причём $V_A = V_0$, $V_B = 0{,}5V_0$.

В результате уравнение, составленное на основании теоремы об изменении кинетической энергии, принимает вид: $\frac{3V_0^2}{8} = g\frac{3}{2}(R + r)$, откуда $V_0 = 2\sqrt{(R + r)g} = 7{,}67$ м/с.

На рис. 4.21 показаны силы, приложенные к шарику, в момент, когда он находится в точке *C*. Проведём в точке *C* оси естественной системы координат – касательную $C\tau$ и нормаль Cn. Уравнение движения шарика в проекции на нормальную ось имеет вид: $m\dfrac{V_C^2}{r} = P\cos 30^\circ - N_C$, откуда найдём реакцию N_C.

Для определения скорости шарика в точке *C* воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из положения *C* в положение *B*. Получим равенство $\dfrac{mV_B^2}{2} - \dfrac{mV_C^2}{2} = -Ph_{(CB)}$, где $h_{(CB)}$ – перепад высот при движении шарика из начального положения *C* в положение *B*. С учётом известных значений $V_B = 0{,}5V_0 =$ 3,84 м/с и $h_{(CB)} = r\cos 30^\circ =$ 0,43 м получим: $V_C = \sqrt{V_B^2 + 2gh_{(CB)}} =$ 4,82 м/с.

Из уравнения движения шарика находим реакцию опоры $N_C = P\cos 30^\circ - m\dfrac{V_C^2}{r} =$ – 38,7 Н.

Отрицательное значение реакции опоры шарика показывает, что фактическое направление реакции противоположно тому, как показано на рис. 4.21. Искомое давление шарика на трубку равно модулю реакции опоры.

Задача 51. Желоб состоит из шероховатой наклонной прямой *AB* и гладкой дуги окружности радиуса *r* = 0,8 м, сопряжённых в точке *B* так, что прямая *AB* является касательной к окружности в точке *B* (рис. 4.22). Положение точки *B* на дуге задаётся углом 30º относительно вертикального диаметра окружности. Тяжёлый шарик массой $m = 0{,}5$ кг начинает движение из точки *A* со скоростью $V_0 = 0{,}2$ м/с.

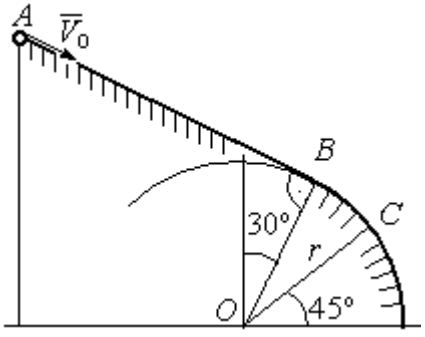


Рис. 4.22. Движение точки по составному желобу

Какой длины *S* должен быть желоб *AB*,

чтобы шарик оторвался от окружности в точке C, определяемой углом 45º относительно горизонтального диаметра, если при движении по прямой AB шарик испытывает сопротивление скольжения с коэффициентом трения $f = 0{,}4$.

Решение

Рассмотрим движение шарика по дуге окружности. Проведём в точке C оси естественной системы координат – касательную $C\tau$ и нормаль Cn (рис. 4.23). На шарик действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция $\vec{N}_C$ опоры в точке C. Уравнение движения шарика в проекции на ось Cn имеет вид: $m\dfrac{V_C^2}{r} = P\cos 45^\circ - N_C$, где V_C – скорость шарика в точке C. Реакция опоры $N_C = P\cos 45^\circ - m\dfrac{V_C^2}{r}$.

В момент отрыва шарика в точке C реакция опоры обращается в ноль: $N_C = 0$. В результате получаем уравнение $V_C^2 = rg\cos 45^\circ$, из которого находим скорость шарика в момент его отрыва от опоры: $V_C = 2{,}36$ м/с.

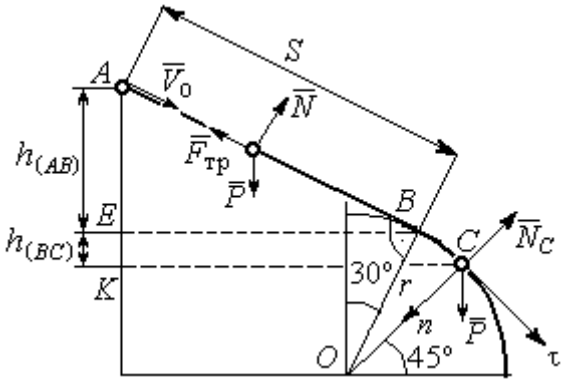


Рис. 4.23. Расчётная схема движения точки

Рассмотрим движение шарика из начального положения A в положение C. На шарик действуют сила тяжести $\vec{P}$, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и, при движении по наклонной прямой AB, сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (см. рис. 4.23). Работу совершают сила тяжести шарика и сила трения. Реакция опоры $\vec{N}$ и в том и другом случае перпендикулярна траектории движения, и её работа равна нулю.

Составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки $\dfrac{mV_C^2}{2} - \dfrac{mV_A^2}{2} = Ph_{(AC)} - F_{\text{тр}}S$, где S – длина участка AB; $h_{(AC)}$ – перепад высот на участке AC (см. рис. 4.23); $h_{(AC)} = h_{(AB)} + h_{(BC)} = S\sin 30^\circ + r\left(\cos 30^\circ - \cos 45^\circ\right)$.

Модуль силы трения: $F_{\text{тр}} = fN$. Для того чтобы найти реакцию N опоры шарика на наклонную поверхность желоба AB, составим проекцию уравнения движения шарика на ось y, перпендикулярную AB (на рис. 4.23 не показана). Получим: $m\ddot{y} = N - P\cos 30^\circ = 0$. Отсюда $N = P\cos 30^\circ$ и сила трения $F_{\text{тр}} = fP\cos 30^\circ$.

Из уравнения теоремы об изменении кинетической энергии точки найдём выражение для определения длины S участка AB:

$$\frac{V_C^2 - V_A^2}{2g} = S\sin 30^\circ + r\left(\cos 30^\circ - \cos 45^\circ\right) - fPS\cos 30^\circ,$$

откуда получим $S = 1$ м.

Задача 52. Груз подвешен на нити длиной $l = 1$ м, закреплённой в неподвижной точке O (рис. 4.24). В начальный момент груз находился в положении A, при котором линия OA составляет с вертикалью угол $60°$. В этом положении грузу сообщают начальную скорость $\vec{V}_0$, перпендикулярно нити. Достигнув горизонтального положения, нить, натянутая грузом, встречает препятствие в виде тонкой проволоки в точке O_1, расположенной на середине длины нити, и дальше навивается на неё.

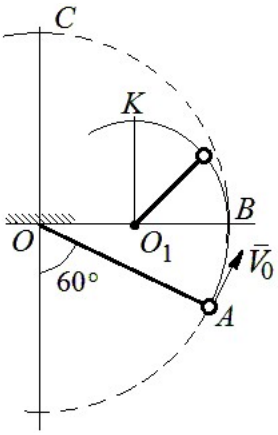


Рис. 4.24. Схема движения груза на нити

Какую минимальную начальную скорость нужно сообщить грузу в точке A, чтобы после встречи нити с проволокой в O_1 груз проскочил верхнюю точку траектории K. На какую максимальную высоту (относительно горизонтального диаметра OB) поднимется груз, двигаясь из той же точки A и с той же начальной скоростью, если нить будет двигаться беспрепятственно. Определить скачок натяжения нити в точке B при переходе груза с одной траектории на другую.

Решение

Построим оси естественной системы координат $nK\tau$ в точке K траектории – окружности радиуса $0{,}5l$ с центром O_1 (рис. 4.25, *a*). Во время движения на груз действуют сила тяжести и реакция нити. Уравнение движения груза в проекции на ось Kn имеет вид: $m\dfrac{V_K^2}{r} = P + N_K$, где V_K – скорость

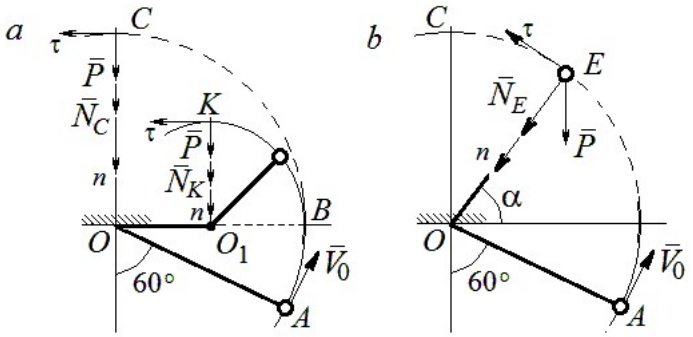


Рис. 4.25. Расчётная схема движения груза:
a – нить навивается на препятствие;
b – свободное движение

груза в точке K; N_K – реакция нити; r – радиус окружности движения груза; $r = 0{,}5l$. Из уравнения движения находим реакцию нити: $N_K = m\dfrac{2V_K^2}{l} - P$.

Так как нить представляет собой гибкую связь, то условием достижимости грузом точки K является требование, что при движении нить должна быть натянута, иначе говоря, всюду во время движения должно выполняться неравенство $N_K \geq 0$. С учётом уравнения движения груза это приводит к неравенству, выражающему требование к скорости в конечной точке: $V_K^2 \geq \dfrac{1}{2}gl$.

Скорость груза в точке K найдём на основании теоремы об изменении кинетической энергии точки при движении груза из положения A в положение K. Имеем равенство $\dfrac{mV_K^2}{2} - \dfrac{mV_0^2}{2} = -Ph_{(AK)}$, где $h_{(AK)}$ – перепад высот точек A и K; $h_{(AK)} = l$ (см. рис. 4.25, *a*). Решая полученное уравнение, найдём зависимость скорости груза в точке K от начальной: $V_K^2 = V_0^2 - 2gl$. С учётом выполнения неравенства натяжения нити получим: $V_0 \geq \sqrt{\dfrac{5}{2}gl}$.

При минимальной начальной скорости $V_0 = \sqrt{\frac{5}{2}gl}$ груз достигает верхней точки *K*. Однако, натяжение нити в точке *K* обращается в нуль: $N_K = 0$ и нить в этом месте перестаёт быть натянутой. Груз продолжает движение, но уже в виде свободного падения с начальной скоростью $V_K = \sqrt{\frac{1}{2}gl}$.

Определим, на какую высоту поднимется груз из положения *A* с минимальной начальной скоростью $V_0 = \sqrt{\frac{5}{2}gl}$, если нить движется беспрепятственно (см. рис. 4.25, *b*). Построим в точке *E* оси естественной системы координат $nE\tau$ аналогично тому, как это было сделано в точке *K*. Уравнение движения груза в проекции на ось *En* имеет вид: $m\frac{V_E^2}{l} = P\sin\alpha + N_E$, где V_E – скорость груза в точке *E*; N_E – проекция реакции нити на нормальную ось.

Для определения скорости груза в точке *E* составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки при движении груза из начального положения *A* в положение *E*. Получим: $\frac{mV_E^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = -Ph_{(AE)}$, где $h_{(AE)}$ – перепад высот точек *A* и *E*; $h_{(AE)} = \frac{l}{2} + l\sin\alpha$ (см. рис. 4.25, *b*). Решая полученное уравнение относительно скорости V_E при заданной начальной скорости $V_0 = \sqrt{\frac{5}{2}gl}$, найдём: $mV_E^2 = \frac{3}{2}mgl - 2mgl\sin\alpha$. С другой стороны, из уравнения движения груза (учитывая, что в точке *E* натяжение нити равно нулю: $N_E = 0$) получим: $mV_E^2 = Pl\sin\alpha$. Приравнивая выражения, получим $\sin\alpha = \frac{1}{2}$. Высота подъёма относительно горизонтального радиуса составляет $\frac{1}{2}l$.

Для определения скачка натяжения нити при переходе груза в точке B с окружности радиуса l на окружность радиуса $\frac{1}{2}l$, т. е. в момент, когда нить начинает навиваться на проволоку, напишем проекции уравнения движения груза на нормальную ось в точке B. Получим для малой окружности $\frac{2mV_B^2}{l} = N_B$ и для большой $\frac{mV_B^2}{l} = N'_B$, где N_B и N'_B – проекции реакции нити в точке B при движении груза по окружности радиусов $\frac{1}{2}l$ и l. Из уравнений видно, что переход груза с большой окружности на малую вызывает двукратное увеличение натяжения нити: $N'_B = \frac{3}{2}mg$, $N_B = 3mg$.

Задача 53. Шарик массой m = 0,5 кг движется в вертикальной плоскости из положения A внутри трубки, которая состоит из полуокружности AB радиуса R = 0,6 м и прямолинейного участка BD, сопряжённого в точке B с окружностью (рис. 4.26). Диаметр полуокружности AB составляет с горизонталью угол 60°. Начальная скорость шарика V_0 = 5 м/с. В конце кругового участка в точке B шарик упирается в недеформированную пружину жесткостью c = 100 Н/м. Найти величину S максимального сжатия пружины.

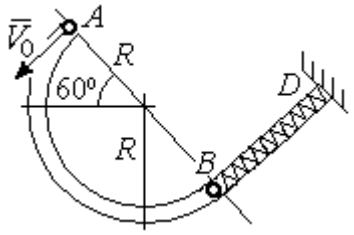


Рис. 4.26. Схема движения шарика

Решение

Найдём скорость шарика в точке B. Для этого составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из начального положения A в положение B. Получим: $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_A^2}{2} = A(P) = Ph_{(AB)}$, где $h_{(AB)}$ – перепад высот точек A и B, $h_{(AB)} = 2R\sin 60^\circ = 1{,}04$ м (рис. 4.27).

Решая уравнение, найдём скорость шарика в точке B: $V_B = \sqrt{V_A^2 + 2gh_{(AB)}} = 6{,}74$ м/с.

Для того, чтобы найти величину максимального сжатия пружины, рассмотрим движение шарика на прямолинейном отрезке трубки BD. На этом отрезке работу совершают сила тяжести шарика и сила упругости пружины, приложенные к шарику (см. рис. 4.27).

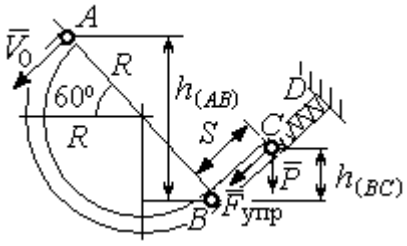


Рис. 4.27. Расчетная схема движения шарика

Обозначим S – максимальное сжатие пружины, равное BC. На основании теоремы об изменении кинетической энергии точки, применённой к движению шарика на отрезке BC, имеем уравнение $\frac{mV_C^2}{2} - \frac{mV_B^2}{2} = A(P) + A(F_{упр}) = -Ph_{(BC)} - \frac{cS^2}{2}$,

где $h_{(BC)}$ – перепад высот точек B и C; $h_{(BC)} = S\sin 30^\circ = 0{,}5S$ (см. рис. 4.27).

В точке C максимального сжатия пружины скорость шарика обращается в нуль: $V_C = 0$. Подставляя это условие, с учётом $V_B = 6{,}74$ м/с, получим уравнение для определения величины максимального сжатия пружины: $S^2 + 0{,}05S - 0{,}23 = 0$.

Выбирая положительный корень уравнения, находим: $S = 0{,}45$ м.

Упражнения

Упражнение 4.5. Лётчик в самолёте пикирует из точки A по прямой, составляющей с горизонтом угол φ, с начальной скоростью V_0. Пройдя расстояние $AB = l$, самолёт продолжает движение по дуге окружности радиуса R, сопряженной с прямой AB в точке B (рис. 4.28).

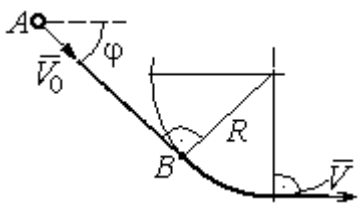


Рис. 4.28. Схема движения самолёта

Каким должен быть радиус окружности, чтобы в точке C – выхода самолёта на горизонтальный полёт - сила давления человека на корпус самолёта не превосходила его тройной вес.

Упражнение 4.6. Пружина жесткостью C = 100 Н/м, сжатая из недеформированного состояния на расстояние $KA = a = 0{,}3$ м, выталкивает шарик массой $m = 0{,}5$ кг, который отделяется от неё в точке K и продолжает движение в трубке по дуге KCB, окружности радиуса R = 1 м, затем – по горизонтальному участку BD. Определить давление шарика на трубку в точке C. Какой путь пройдёт шарик до остановки по прямой BD, если здесь на него действует сила трения с коэффициентом $f = 0{,}4$.

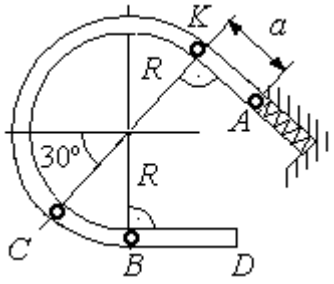


Рис. 4.29. Схема движения шарика в трубке

5. ОБЩИЕ ТЕОРЕМЫ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ

5.1. Теорема о движении центра масс системы

Центром масс системы материальных точек называют точку C, координаты которой x_C, y_C, z_C удовлетворяют равенствам:

$$mx_C = \sum m_k x_k \ , \quad my_C = \sum m_k y_k \ , \ mz_C = \sum m_k z_k \ ,$$

где m – масса системы: $m = \sum m_k$; m_k, x_k, y_k, z_k – массы и координаты материальных точек системы.

Теорема о движении центра масс системы. Центр масс механической системы движется как материальная точка с массой, равной массе системы, и к которой приложены внешние силы, действующие на систему: $m\vec{a}_C = \sum \vec{F}_k^e$, где $\vec{a}_C$ – вектор ускорения центра масс системы; $\sum \vec{F}_k^e$ – сумма всех внешних сил, действующих на систему.

Пример решения задач на применение теоремы о движении центра масс

Задача 54. Груз 1, находящийся на верхнем основании прямоугольной пирамиды *ABCD*, соединен с грузом 2 нерастяжимой нитью, перекинутой через блок C (рис. 5.1). Определить перемещение пирамиды, если груз 2 опустился на высоту 1 м. Масса груза 1 m_1 = 15 кг, груза 2 m_2 = 20 кг, пирамиды m = 50 кг. Трение при движении груза 1 по пирамиде и пирамиды по горизонтальной поверхности не учитывать.

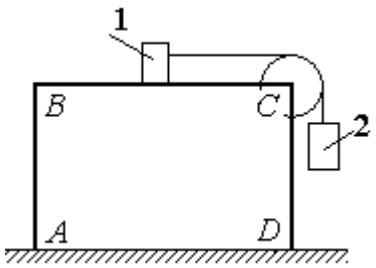


Рис. 5.1. Пирамида с системой подвижных грузов

Решение

Рассматриваем механическую систему, состоящую из двух грузов, соединённых нерастяжимой нитью, блока *C* и пирамиды *ABCD*.

Внешние силы, приложенные к системе: силы тяжести грузов и пирамиды – $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}$ и нормальная реакция $\vec{N}$ опоры поверхности, на которой стоит пирамида. Направления векторов внешних сил показаны на рис. 5.2.

Выберем неподвижную систему координат *Axy*, как показано на рис. 5.2. Все внешние силы, действующие на механическую систему, вертикальны, поэтому дифференциальное уравнение, составленное на основании теоремы о движении центра масс механической системы в проекции на ось *Ax,* имеет вид:

$$(m + m_1 + m_2)\ddot{x}_C = P_{1x} + P_{2x} + P_x + N_x = 0$$

$$\text{или} \quad \ddot{x}_C = 0,$$

где x_C – координата центра масс системы.

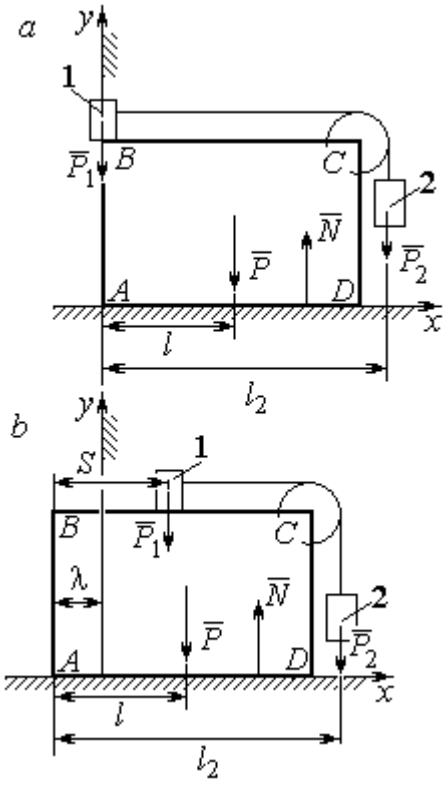


Рис. 5.2. Расчётная схема перемещения пирамиды: *a* – начальное положение; *b* – положение пирамиды при перемещении грузов на расстояние *S*

Проинтегрировав его дважды, получим закон движения центра масс системы: $x_C = C_1 t + C_2$, где константы интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий. Предположим, в начальный момент движение в механической системе отсутствовало и координата центра масс системы была равна x_{C0} (на рис. 5.2, *a* не показана), то есть при $t = 0$ $x_C(0) = x_{C0}$ и $\dot{x}_C(0) = 0$. Подставляя начальные условия, получим: $C_1 = 0$, $C_2 = x_{C0}$. В результате закон движения центра масс системы имеет вид: $x_C = x_{C0}$. Последнее означает, что при любом перемещении тел в системе координата центра масс системы на оси *Ax* остаётся постоянной, равной своему начальному значению.

Предположим, в начальный момент времени груз 1 находился у левого края призмы, как показано на рис. 5.2, *a*.

Начальная координата x_{C0} центра масс системы находится из равенства $(m_1 + m_2 + m)x_{C0} = \sum m_k x_k = m_1 \cdot 0 + m_2 l_2 + ml$, где l_2 – расстояние от начала координат до линии действия силы тяжести груза 2 (координата центра масс гру-

за 2 на оси Ax); l – аналогичное расстояние до линии действия силы тяжести пирамиды (см. рис. 5.2, *a*). Тогда начальная координата центра масс системы: $x_{C0} = \dfrac{m_2 l_2 + ml}{(m_1 + m_2 + m)}$.

Положение грузов в системе, после того как груз 1 переместился на расстояние *S*, и положение призмы показано на рис. 5.2, *b*. На рисунке отмечено, что при перемещении груза 1 вправо на расстояние *S* призма *ABCD* сместилась влево на расстояние λ. Координата x_{C1} центра масс для нового положения системы определяется из равенства:

$$(m_1 + m_2 + m)x_{C1} = m_1(S - \lambda) + m_2(l_2 - \lambda) + m(l - \lambda).$$

Выражая отсюда координату x_{C1} и приравнивая её начальному значению координаты центра масс $x_{C0} = x_{C1}$, найдём перемещение пирамиды $\lambda = \dfrac{m_1 S}{(m_1 + m_2 + m)}$. Подставляя данные задачи, получим $\lambda = 0{,}18$ м.

5.2. Теорема об изменении кинетического момента системы относительно оси

Момент инерции однородного диска радиусом *R*, массой *m* относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска: $J_z = \dfrac{1}{2}mR^2$. **Для неоднородных тел момент инерции** относительно оси *z* вычисляется по формуле: $J_z = mi_z^2$, где i_z – радиус инерции тела.

Кинетическим моментом (моментом количества движения) системы относительно неподвижной оси *z* называется величина, равная сумме моментов количеств движения точек относительно этой оси $\vec{L}_z = \sum M_z(m_k \vec{V}_k)$.

Для твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси *z*, кинетический момент: $L_z = J_z\omega$, где J_z и ω – момент инерции и угловая скорость

тела. **Теорема об изменении кинетического момента системы относительно оси**. Производная по времени от кинетического момента системы относительно неподвижной оси z равна сумме моментов внешних сил относительно той же оси: $\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$.

Примеры решения задач на применение теоремы об изменении кинетического момента системы

Задача 55. Для подъёма груза используется лебёдка со ступенчатым барабаном и противовесом. Груз 1 массой m_1 поднимается на канате, навитом на барабан 2 массой m_2 радиуса R. Противовес 3 массой m_3 прикреплён к канату, который навит на малую ступень барабана радиуса r (рис. 5.3). Радиус инерции барабана относительно оси вращения i_z. На барабан действует постоянный момент сил сопротивления $M_c = 60$ Н·м. В начале движения к барабану лебёдки прикладывается вращающий момент, пропорциональный времени: $M_{вр} = 620 + 30t$ Н·м, который через 2 с отключается. Определить, на какую высоту поднимется груз, если движение началось из состояния покоя. Массы грузов и барабана: $m_1 = 100$ кг, $m_2 = 50$ кг, $m_3 = 20$ кг. Радиусы ступеней барабана и радиус инерции: $R = 0{,}6$ м; $r = 0{,}4$ м; $i_z = 0{,}5$ м.

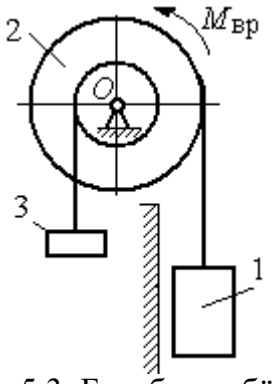


Рис. 5.3. Барабан лебёдки с грузом и противовесом

Решение

Решение следует рассматривать на двух этапах. На первом груз поднимается под действием вращающего момента, на втором – по инерции.

Рассмотрим механическую систему, состоящую из груза 1, барабана 2 и противовеса 3. На систему действуют силы тяжести груза $\vec{P}_1$, барабана $\vec{P}_2$, противовеса $\vec{P}_3$, реакция шарнира $\vec{R}$, пара сил с моментом, равным моменту вра-

щения $M_{вр}$, и пара сил с моментом сопротивления M_c. Направления векторов сил и моментов показаны на рис. 5.4. Выберем начало оси *y*, вдоль которой поднимается груз на первом участке движения, в точке начала движения (см. рис. 5.4).

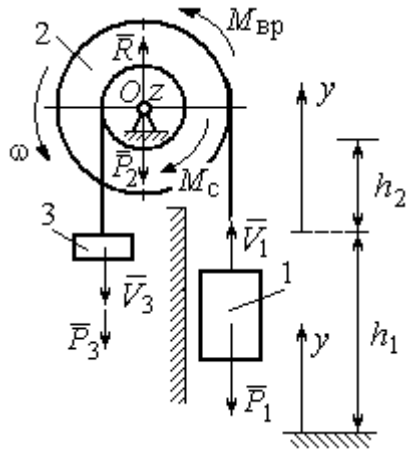


Рис. 5.4. Силы, действующие на систему во время движения

Воспользуемся теоремой об изменении кинетического момента системы относительно оси *z*, проходящей через центр *O*: $\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$. Кинетический момент системы относительно оси *z* равен сумме кинетических моментов барабана, груза и противовеса: $L_z = L_z^{бар} + L_z^{гр} + L_z^{пр}$. Кинетический момент барабана, вращающегося вокруг неподвижной оси *z*: $L_z^{бар} = J_z\omega$, где J_z – момент инерции барабана относительно оси *z*, $J_z = m_2 i_z^2$; ω – угловая скорость барабана. Рассматривая груз и противовес как материальные точки, найдём их кинетические моменты относительно оси *z*: $L_z^{гр} = M_z(m_1\vec{V}_1) = m_1V_1R$; $L_z^{пр} = M_z(m_3\vec{V}_3) = m_3V_3r$.

Суммарный кинетический момент системы:

$$L_z = L_z^{бар} + L_z^{гр} + L_z^{пр} = m_2 i_z^2\omega + m_1V_1R + m_3V_3r.$$

Выразим скорости груза 1 и противовеса 3 через угловую скорость барабана: $V_1 = \omega R$, $V_3 = \omega r$ - и подставим их в выражение кинетического момента. Получим $L_z = (m_2 i_z^2 + m_1R^2 + m_3r^2)\omega = (m_2 i_z^2 + m_1R^2 + m_3r^2)\frac{V_1}{R}$.

Суммарный момент внешних сил относительно оси *z*

$$\sum M_z(\vec{F}_k^e) = M_{вр} - M_c - P_1R + P_3r.$$

Дифференциальное уравнение движения груза:

$$(m_2 i_z^2 + m_1R^2 + m_3r^2)\frac{dV_1}{dt} = \left(M_{вр} - M_c - P_1R + P_3r\right)R,$$

или с учётом данных задачи $\frac{dV_1}{dt} = 0{,}58 + 0{,}35t$.

Дважды интегрируя это уравнение с нулевыми начальными условиями, найдём скорость груза V_1 и проходимый им путь y как функции времени:

$$V_1(t) = 0{,}58t + 0{,}175t^2; \quad y(t) = 0{,}29t^2 + 0{,}058t^3.$$

Из уравнений движения найдём: при $t = 2$ с (конец первого участка) груз поднялся на высоту $h_1 = y(2) = 1{,}62$ м и имел скорость $V_1 = V_1(2) = 1{,}86$ м/с.

На втором участке движения груз продолжает подниматься вверх. Уравнение движения груза здесь аналогично первому участку, за исключением вращающего момента (см. рис. 5.4):

$$(m_2 i_z^2 + m_1 R^2 + m_3 r^2)\frac{dV_1}{dt} = \left(-M_c - P_1 R + P_3 r\right)R, \text{ или } \frac{dV_1}{dt} = -6{,}61.$$

Представим ускорение груза в виде: $\frac{dV_1}{dt} = \frac{dV_1 dy}{dy dt} = V_1 \frac{dV_1}{dy}$. Теперь уравнение движения груза на втором участке имеет вид: $V_1 \frac{dV_1}{dy} = -6{,}61$. Интегрируя его, получим зависимость скорости груза от пройденного пути $\frac{V_1^2}{2} = -6{,}61y + C_3$. Выберем начало второго участка на высоте h_1. Из начальных условий движения груза: при $t = 0$, $y = 0$, $V_1 = 1{,}86$ м/с, получим: $C_3 = 1{,}73$.

Максимальную высоту h_2, на которую поднялся груз на втором участке, определим из условия, что в этой точке скорость груза обращается в нуль. Имеем $0 = -6{,}61h_2 + 1{,}73$, откуда $h_2 = 0{,}26$ м. Максимальная высота подъёма груза $H = h_1 + h_2 = 1{,}88$ м.

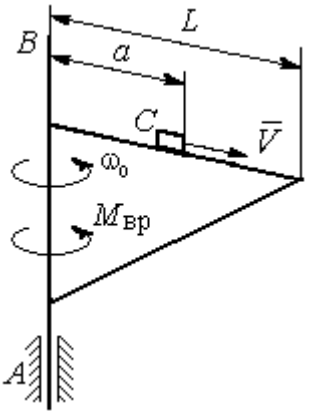


Рис. 5.5. Поворотный кран

Задача 56. Тележка C поворотного подъёмного крана (рис. 5.5) движется с постоянной относительно стрелы скоростью $V = 0{,}5$ м/с. Длина стрелы

L = 10 м, масса тележки с грузом m_1 = 100 кг, момент инерции крана относительно оси вращения AB без учёта тележки и груза J = 1800 кг·м^2. Двигатель крана создаёт постоянный вращающий момент $M_{вр}$ = 400 Н·м. Определить угловую скорость крана в момент, когда тележка достигнет края стрелы, если в начальный момент конструкция вращалась с угловой скоростью ω_0 = 2 рад/с, а тележка находилась на расстоянии a = 1 м от оси вращения.

Решение

На систему действуют внешние силы: $\vec{P}_1$ – сила тяжести тележки с грузом, $\vec{P}_2$ – сила тяжести поворотного крана (на рис. 5.6 показана в условном центре тяжести крана); $\vec{R}_x$, $\vec{R}_y$ – составляющие реакции подшипника A и пара сил с моментом, равным вращающему моменту $M_{вр}$ (см. рис. 5.6). Применим к описанию движения системы теорему об изменении кинетического момента системы относительно оси вращения z, направленной вдоль линии AB.

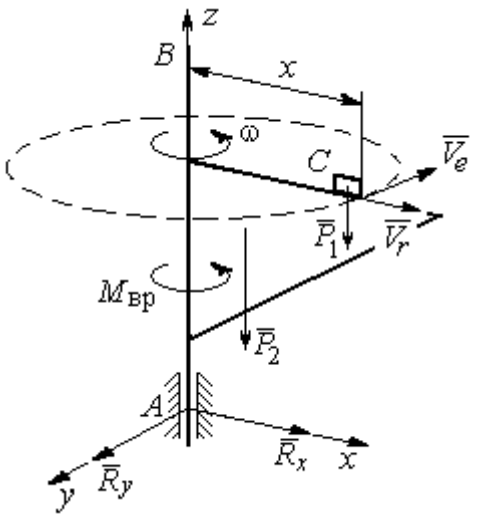


Рис. 5.6. Внешние силы, действующие на кран при его движении

Поскольку силы тяжести параллельны оси вращения крана, а составляющие реакции шарнира A пересекают её, то моменты этих сил относительно оси z равны нулю и теорема об изменении кинетического момента системы принимает вид: $\frac{dL_z}{dt} = M_{вр}$. Интегрируя это уравнение при постоянном вращающем моменте, получим равенство: $L_z - L_{z0} = M_{вр}t$, где L_z, L_{z0} – кинетический момент системы в текущий и начальный моменты времени.

Кинетический момент системы L_z равен сумме: $L_z = L_z^{кран} + L_z^{груз}$. Кинетический момент крана как твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной

оси: $L_z^{\text{кран}} = J\omega$. Полагая тележку с грузом материальной точкой, определим её кинетический момент $L_z^{\text{груз}}$, как момент вектора количества движения тележки относительно оси *z*. Тележка с грузом участвует в сложном движении. Вектор абсолютной скорости тележки $\vec{V}_{\text{абс}}$ равен сумме $\vec{V}_{\text{абс}} = \vec{V}_r + \vec{V}_e$, где $\vec{V}_r$ относительная скорость тележки (перемещение по стреле крана); $\vec{V}_e$ – переносная скорость (движение вместе с краном). Воспользовавшись теоремой Вариньона при вычислении момента количества движения тележки с грузом, получим:

$$L_z^{\text{груз}} = M_z(m_1\vec{V}_{\text{абс}}) = M_z(m_1\vec{V}_e + m_1\vec{V}_r) = M_z(m_1\vec{V}_e) = m_1V_ex = m_1\omega x^2.$$

В результате суммарный кинетический момент системы в текущий момент времени $L_z = L_z^{\text{кран}} + L_z^{\text{груз}} = \left(J + m_1x^2\right)\omega$. Тогда начальный кинетический момент систем: $L_{z0} = \left(J + m_1a^2\right)\omega_0$.

Подставляя выражения начального и текущего кинетического моментов в уравнение движения, получим: $\left(J + m_1x^2\right)\omega - \left(J + m_1a^2\right)\omega_0 = M_{\text{вр}}t$, откуда закон изменения угловой скорости крана $\omega = \dfrac{M_{\text{вр}}t + \left(J + m_1a^2\right)\omega_0}{\left(J + m_1x^2\right)}$. Момент времени $t_{\text{к}}$, когда тележка достигнет края стрелы ($x = L$), найдём из условия движения тележки по стреле с постоянной скоростью: $Vt_{\text{к}} = L - a$. С учётом данных задачи угловая скорость крана в этот момент $\omega(t_{\text{к}}) = 0{,}93$ рад/с.

5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы

Кинетическая энергия тела при поступательном движении $T = \dfrac{1}{2}mV_C^2$, где m – масса тела; V_C – скорость центра масс тела; **при вращательном движении** вокруг неподвижной оси z: $T = \dfrac{1}{2}J_z\omega^2$, где J_z – момент инерции тела относительно оси *z*; ω – угловая скорость тела; **при плоскопа-**

раллельном движении: $T = \frac{1}{2} m V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega^2$, где m – масса тела; V_C, ω – скорость центра масс и угловая скорость тела; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения.

Работа постоянной силы F при прямолинейном перемещении точки приложения силы $A = FS\cos\alpha$, где S – перемещение точки; α – постоянный угол между перемещением и направлением силы. **Работа пары сил с постоянным моментом** M при повороте тела на конечный угол φ вычисляется по формуле: $A = \pm M\varphi$, где φ – угол поворота тела. Работа считается положительной, если пара сил стремится повернуть тело в направлении его вращения, и отрицательной – в противном случае.

Мощностью силы F называют величину, равную скалярному произведению силы на скорость точки её приложения: $N = \vec{F} \cdot \vec{V}$, где V – скорость точки приложения силы. При плоском движении тела мощность силы равна сумме скалярных произведений: $N = \vec{F} \cdot \vec{V}_O + \vec{M}_O \cdot \vec{\omega}$, где V_O – скорость точки, выбранной полюсом; ω – угловая скорость тела; $\vec{M}_O = M_O(\vec{F})$ – момент силы относительно полюса. Если в качестве полюса выбрать точку K – мгновенный центр скоростей, то мощность силы $N(\vec{F}) = \vec{M}_K(\vec{F}) \cdot \vec{\omega}$, где $M_K(\vec{F})$ – момент силы относительно мгновенного центра скоростей.

Теорема об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме. Производная по времени от кинетической энергии системы равна сумме мощностей внешних и внутренних сил $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e) + \sum N(\vec{F}_k^i)$.

Теорема об изменении кинетической энергии системы на конечном перемещении. Изменение кинетической энергии системы при перемещении её

из начального состояния в текущее равно сумме работ внешних и внутренних сил, действующих на систему: $T - T_0 = \sum A(\vec{F}_k^e) + \sum A(\vec{F}_k^i)$.

Механические системы, состоящие из абсолютно твердых тел, соединенных гибкими нерастяжимыми нитями, называются **неизменяемыми**. В неизменяемых системах сумма работ и сумма мощностей внутренних сил равны нулю: $\sum A(\vec{F}_k^i) = 0$.

Примеры решения задач на применение теоремы об изменении кинетической энергии системы

Задача 57. Планетарный механизм, позволяющий получать повышенные передаточные отношения угловых скоростей, состоит из трех одинаковых колёс, соединённых кривошипом *OA* (рис. 5.7). Колесо 1 неподвижно, кривошип *OA* вращается с угловой скоростью ω_{OA} и приводит в движение колёса 2 и 3. Полагая массы колёс и их радиусы одинаковыми, равными *m* и *r,* и пренебрегая массой кривошипа, найти кинетическую энергию механизма.

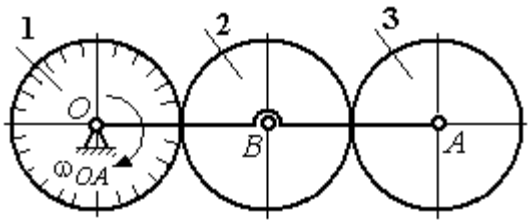


Рис. 5.7. Планетарный механизм

Решение

Кинетическая энергия механизма *T* равна сумме энергий колёс 2 и 3: $T = T_2 + T_3$. Энергия колеса 1 равна нулю потому, что оно неподвижно, а энергия кривошипа равна нулю, так как массой кривошипа пренебрегаем. При движении механизма колесо 2, увлекаемое кривошипом, катится по неподвижной поверхности первого колеса. Энергия колеса 2:

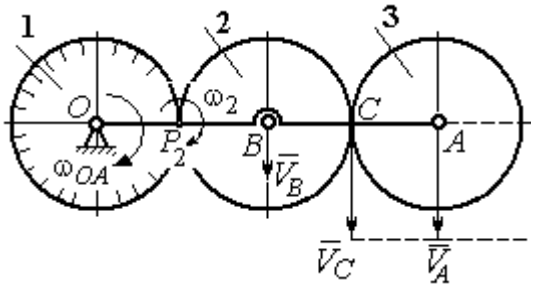


Рис. 5.8. Расчётная схема вычисления энергии механизма

$T_2 = \frac{mV_B^2}{2} + \frac{J_{2B}\omega_2^2}{2}$, где V_B – скорость центра масс колеса 2, J_{2B} – момент инерции колеса 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости колеса, $J_{2B} = \frac{mr^2}{2}$.

Выразим кинетическую энергию колеса 2 через угловую скорость ω_{OA} кривошипа OA.

Скорость точки B, лежащей на кривошипе OA: $V_B = \omega_{OA} \cdot OB = \omega_{OA} 2r$.

Так как точка P_2 касания колёс 1 и 2 является мгновенным центром скоростей колеса 2 (рис. 5.8), угловая скорость колеса 2 $\omega_2 = \frac{V_B}{BP_2}$. В результате получим: $\omega_2 = 2\omega_{OA}$. Подставив зависимости V_B и ω_2 в выражение кинетической энергии колеса 2, найдём:

$$T_2 = \frac{m(\omega_{OA} 2r)^2}{2} + \frac{mr^2}{2} \cdot \frac{(2\omega_{OA})^2}{2} = 3m\omega_{OA}^2 r^2.$$

Вычислим кинетическую энергию колеса 3. Найдём скорость точки C, считая, что она принадлежит колесу 2: $V_C = \omega_2 \cdot P_2C = 4\omega_{OA} r$. Скорость точки A – центра колеса 3 определим, полагая, что точка A лежит и на кривошипе: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 4\omega_{OA} r$. Скорости двух точек A и C колеса 3 равны и параллельны, причём линия AC перпендикулярна векторам скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_C$ (см. рис. 5.8). В этом случае мгновенный центр скоростей отсутствует и колесо 3 совершает мгновенно-поступательное движение. Энергия поступательного движения колеса 3: $T_3 = \frac{mV_A^2}{2} = \frac{m(4\omega_{OA} r)^2}{2} = 8m\omega_{OA}^2 r^2$.

Окончательно, энергия механизма: $T = T_2 + T_3 = 11m\omega_{OA}^2 r^2$.

Задача 58. Горизонтальный желоб DE опирается на блок 1 и на каток 3 одинакового радиуса r (рис. 5.9). Блок 1 весом P_1 вращается вокруг неподвиж-

ной оси O_1. Каток 3 катится по горизонтальному рельсу без проскальзывания. На одной оси с катком 3 жестко связано колесо 2 радиуса R. Их общий вес равен Q, а общий радиус инерции относительно оси z, проходящей через центр масс C перпендикулярно плоскости катка, равен i_z. Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M. Массой желоба пренебрегаем. Скольжение между желобом и блоком 1, а также катком 3 отсутствует. Определить ускорение центра масс колеса 2 и катка 3 и угловое ускорение блока 1, если: P_1 = 40 Н, Q = 60 Н, F = 50 Н, M = 45 Н·м, R = 0,8 м, r = 0,6 м, i_z = 0,4 м.

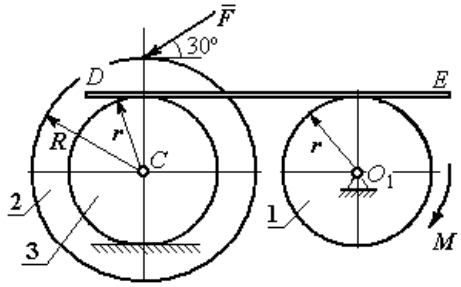


Рис. 5.9. Схема движения механической системы

Решение

Для решения задачи воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии для неизменяемых механических систем: $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e)$, где T – энергия системы в её текущем положении; $\sum N(\vec{F}_k^e)$ – суммарная мощность внешних сил.

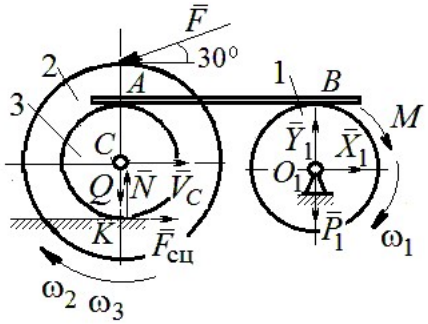


Рис. 5.10. Расчетная схема для исследования движения системы

Предположим, во время движения системы блок 1 вращается по ходу часовой стрелки.

Угловые скорости ω_1, ω_2 блока 1, катка 3 и скорость $\vec{V}_C$ центра масс катка 3 показаны на рис. 5.10. Угловая скорость колеса 2 и катка 3 равны: $\omega_3 = \omega_2$.

Кинетическая энергия вращательного движения блока 1 $T_1 = \frac{1}{2} J_{zO_1} \omega_1^2$,

где J_{zO_1} – осевой момент инерции блока, $J_{zO_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$.

Фигура, состоящая из катка 3 и колеса 2, двигается плоскопараллельно. Кинетическая энергия фигуры определяется по формуле: $T_2 = \frac{1}{2} m V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_2^2$, где m – общая масса катка и колеса, $m = \frac{Q}{g}$, J_{zC} – момент инерции фигуры относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_{zC} = m i_z^2$,

У катка 3 мгновенный центр скоростей находится в точке касания его с неподвижной поверхностью (точка K на рис. 5.10). Тогда $\omega_3 = \frac{V_C}{r}$. Скорость точки A катка $V_A = \omega_3 2r = 2V_C$. Приравнивая скорость точки A на катке 2 к скорости точки B на блоке 1, получим $\omega_1 = \frac{2V_C}{r}$.

Найдём кинетическую энергию системы, выраженную через скорость центра масс катка 3:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{P_1}{g} V_C^2 + \frac{Q}{2g}\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right) V_C^2 = \frac{V_C^2}{2g}\left[2P_1 + Q\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right].$$

Найдем сумму мощностей внешних сил.

На блок 1 действуют: сила тяжести $\vec{P}_1$, пара сил с моментом M и реакция шарнира O_1, разложенная на составляющие $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$ (рис. 5.10). Мощности силы тяжести $\vec{P}_1$ и сил реакции $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$ подшипника O_1 равны нулю, так как нет перемещения точек приложения этих сил. Момент M направлен в сторону вращения блока 1, его мощность $N(M) = M\omega_1 = M\frac{2V_C}{r}$.

На каток 3 (вместе с жестко связанным с ним колесом 2) действуют: сила $\vec{F}$, сила тяжести $\vec{Q}$ катка и колеса, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила сцепления $\vec{F}_{\text{сц}}$ катка 3 с поверхностью.

Мощности сил $\vec{N}$ и $\vec{F}_{\text{сц}}$ равны нулю, так как точкой приложения этих сил является мгновенный центр скоростей катка 3, скорость которого равна нулю. Мощность силы тяжести $\vec{Q}$ равна нулю, так как угол между вектором силы и вектором скорости точки C равен 90°.

Для определения мощности силы $\vec{F}$, приложенной к колесу, выберем в качестве полюса точку K – мгновенный центр скоростей диска 2. С учётом того, что скорость $V_K = 0$, получим:

$$N(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{V}_K + \vec{M}_K(\vec{F}) \cdot \vec{\omega}_2 = \vec{M}_K(\vec{F})\vec{\omega}_2 =$$

$$= -F(r+R)\omega_2 \cos 30° = -FV_C\left(1+\frac{R}{r}\right)\cos 30°.$$

Поскольку вращение, создаваемое моментом силы $\vec{F}$ относительно центра K, противоположно выбранному направлению угловой скорости катка, мощность силы $\vec{F}$ отрицательная.

Суммарная мощность внешних сил:

$$\sum N(F^e) = -FV_C\left(1+\frac{R}{r}\right)\cos 30° + M\frac{2V_C}{r}.$$

Составляем уравнение теоремы об изменении кинетической энергии системы. Находим производную по времени от кинетической энергии системы $\frac{dT}{dt} = \frac{V_C}{g}a_C\left[2P_1 + Q\left(1+\frac{i_z^2}{r^2}\right)\right]$ и приравниваем суммарной мощности внешних сил. Получим:

$$\frac{1}{g}a_C\left[2P_1 + Q\left(1+\frac{i_z^2}{r^2}\right)\right] = -F\left(1+\frac{R}{r}\right)\cos 30° + \frac{2M}{r},$$

откуда с учётом исходных данных задачи ускорение центра масс диска 2 $a_C = 2{,}88$ м/с^2. Для определения углового ускорения блока 1 продифференцируем по времени равенство $\omega_1 = \dfrac{2V_C}{r}$. Получим: $\varepsilon_1 = \dfrac{2a_C}{r} = 9{,}6$ рад/с^2.

Задача 59. Каток радиуса *r*, весом *P* закатывают вверх по наклонной плоскости приложив в центре катка силу $\vec{F}$ под углом 30° к наклонной плоскости (рис. 5.11). Сама плоскость наклонена под углом 30° к горизонту. Величина силы *F* = 2*P*. В начальном положении центр катка имел скорость V_0.

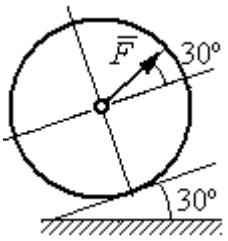


Рис. 5.11. Движение катка на наклонной плоскости

На какое расстояние *S* переместился центр катка, если в конце перемещения его скорость удвоилась.

Решение

Применим теорему об изменении кинетической энергии на конечном перемещении системы: $T - T_0 = \sum A(F_k)$. На каток действует сила тяжести $\vec{P}$, сила $\vec{F}$, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления диска с наклонной плоскостью (рис. 5.12). При перемещении центра катка на расстояние *S* вдоль наклонной плоскости работу совершают только сила $\vec{F}$: $A(\vec{F}) = F\cos 30° S$ и сила тяжести: $A(\vec{P}) = -Ph$, где *h* – перепад высот при перемещении центра масс катка. Работа реакции опоры и силы сцепления равна нулю.

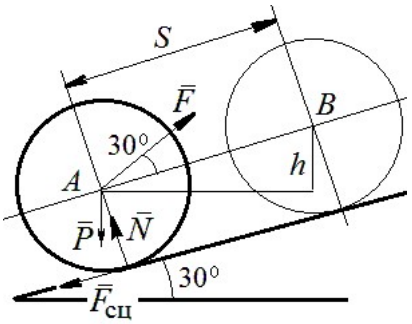


Рис. 5.12. Расчётная схема движения катка

Кинетическая энергия катка $T = \dfrac{1}{2}mV_A^2 + \dfrac{1}{2}J_{zA}\omega^2$, где J_{zA} – момент инерции фигуры относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_{zA} = \dfrac{mr^2}{2}$. Выражая угловую скорость катка через

скорость центра масс $\omega = \dfrac{V_A}{r}$, с учётом выражения момента инерции катка, получим энергию катка в виде: $T = \dfrac{3}{4} m V_A^2$.

Составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии при перемещении центра катка на расстояние S: $\dfrac{3}{4} m V_B^2 - \dfrac{3}{4} m V_A^2 = F\cos 30° S - Ph$, где $V_A = V_0$ $V_B = 2V_0$, $F = 2P$, $h = S\sin 30°$.

Найдём искомое перемещение: $S = \dfrac{9V_0^2}{4g\left(2\cos 30° - \sin 30°\right)}$.

Упражнения

Упражнение 5.1. Крановая тележка массы m_1 может перемещаться по горизонтальной балке без трения (рис. 5.13). В центре масс тележки закреплён трос длиной l, на другом конце которого привязан груз массы m_2. Трос может совершать колебательные движения в вертикальной плоскости. В начальный момент трос был в вертикальном положении. Определить горизонтальное перемещение тележки в зависимости от угла наклона троса. Весом троса пренебречь.

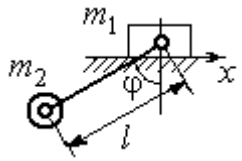


Рис. 5.13. Движение крановой тележки

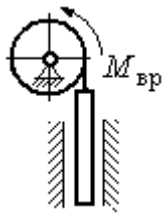


Рис. 5.14. Схема механизма лебёдки

Упражнение 5.2. К барабану лебёдки, поднимающей штангу, приложен вращающий момент, пропорциональный времени $M_{ВР} = kt$ (рис. 5.14). Штанга массы m_1 поднимается посредством каната, навитого на барабан массы m_2 и радиуса r. В начальный момент система находилась в покое. Определить угловую скорость барабана, считая его однородным диском.

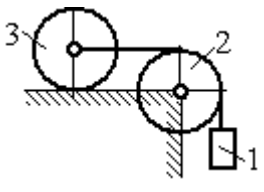


Рис. 5.15. Схема движения системы

Упражнение 5.3. Груз 1 массы m_1 подвешен на нерастяжимом тросе, другой конец которого переброшен через блок 2 и закреплён в центре масс катка 3 (рис. 5.15). Каток 3 катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания. Блок 2 и каток 3 – однородные диски массы m_2 и m_3, радиуса r. В начальный момент система находилась в покое. Определить скорость груза, когда он опустится на высоту h, если к катку 3 приложен момент M.

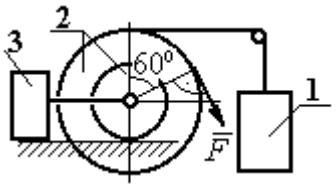


Рис. 5.16. Схема механизма катка

Упражнение 5.4. Механическая система включает два груза 1 и 3 одинакового веса P и каток 2 весом $2P$, радиусом $R = 2r$ с цилиндрическим выступом радиусом r (рис. 5.16). Каток катится выступом по неподвижной поверхности без проскальзывания. К катку по касательной к окружности приложена сила $F = 2P$. Найти ускорение центра масс катка, если его радиус инерции относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения: $i_{zC} = r\sqrt{2}$.

5.4. Применение общих теорем динамики системы к описанию движений твёрдого тела

Поступательное движение твердого тела описывается дифференциальными уравнениями: $m\ddot{x} = \sum F^e_{kx}$, $m\ddot{y} = \sum F^e_{ky}$, $m\ddot{z} = \sum F^e_{kz}$ - или в алгебраической форме $ma_{Cx} = \sum F^e_{kx}$, $ma_{Cy} = \sum F^e_{ky}$, $ma_{Cz} = \sum F^e_{kz}$, где m – масса тела; $\ddot{x} = a_{Cx}$, $\ddot{y} = a_{Cy}$, $\ddot{z} = a_{Cz}$ – проекции ускорения центра масс тела на координатные оси; F^e_{kx}, F^e_{ky}, F^e_{kz} – проекции внешних сил.

Вращательное движение твердого тела относительно неподвижной оси z описывается дифференциальным уравнением: $J_z \dfrac{d\omega}{dt} = \sum M_z(\vec{F}^e_k)$ или алгебраическим уравнением: $J_z\varepsilon = \sum M_z(\vec{F}^e_k)$, где ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела; $\sum M_z(\vec{F}^e_k)$ – сумма моментов внешних сил относительно оси z; J_z – момент инерции тела относительно оси z.

Плоскопараллельное движение твердого тела описывается уравнениями движения центра масс и вращательного движения тела относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения.

В проекции на координатные оси уравнения плоскопараллельного движения тела имеют вид:

$$ma_{Cx} = \sum F_{kx}^{e};\ ma_{Cy} = \sum F_{ky}^{e};\ J_{zC}\varepsilon = \sum M_{zC}(\vec{F}_k^{e}),$$

где a_{Cx}, a_{Cy} – проекции ускорения центра масс тела; F_{kx}^{e}, F_{ky}^{e} – проекции на оси координат внешних сил, действующих на тело; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения; ε – угловое ускорение тела; $M_{zC}(\vec{F}_k^{e})$ – моменты внешних сил относительно оси, проходящей через центр масс.

Проводя динамический расчет механической системы, следует рассматривать движение каждого тела системы в отдельности, предварительно освободив его от связей и заменив их действие реакциями.

Примеры решения задач на составление уравнений движения твердых тел

Задача 59. Лебёдка поднимает груз 1 массы $m_1 = 50$ кг посредством троса, переброшенного через блок 3 и навитого на барабан 2 массы $m_2 = 20$ кг, радиуса $r = 0{,}8$ м (рис. 5.17). К барабану приложен постоянный вращающий момент $M_{вр} = 480$ Н·м. Определить ускорение груза, натяжение троса и реакцию шарнира барабана 2. Весом троса и массой блока 3 пренебречь, барабан считать сплошным цилиндром.

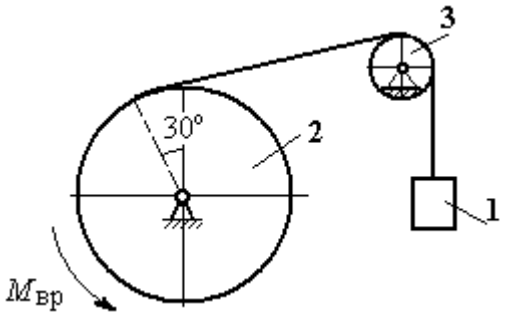


Рис. 5.17. Механизм лебёдки

Решение

Составим уравнение движения груза 1. Для этого освобождаем груз от связей, заменив действие троса реакцией. На груз действует сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция троса $\vec{H}_1$ (рис. 5.18). Выберем ось *x* по направлению движения груза. Уравнение движения груза в проекции на ось *x*: $m_1 a_1 = H_1 - P_1$.

Рассмотрим движение барабана 2. Освободим барабан от связей и заменим их действие реакциями.

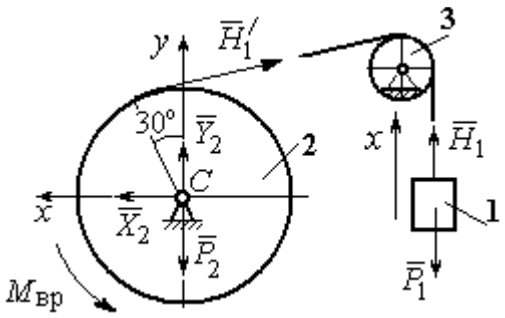


Рис. 5.18. Внешние силы и реакции, действующие на груз и барабан при движении системы

На барабан действует сила тяжести $\vec{P}_2$, пара сил с моментом вращения $M_{вр}$, реакция троса $\vec{H}_1'$ и реакция шарнира (на рис. 5.18 разложена на составляющие $\vec{X}_2$, $\vec{Y}_2$). Так как массой блока 3 пренебрегаем, то модули сил $\vec{H}_1$ и $\vec{H}_1'$ равны. Направления действия сил и момента показаны на рис. 5.18.

Уравнение вращательного движения барабана относительно оси z: $J_z\varepsilon_2 = \sum M_z(F_k) = M_{вр} - H_1'r$, где момент инерции барабана $J_z = \dfrac{m_2 r^2}{2}$.

Продифференцируем по времени равенство $V_1 = \omega_2 r$ и выразим угловое ускорение барабана через ускорение груза 1. Получим $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{r}$. Подставляя выражение углового ускорения в уравнение вращательного движения барабана с учётом равенства модулей сил $\vec{H}_1$ и $\vec{H}_1'$, напишем уравнения движения барабана и груза в виде системы уравнений:

$$m_1 a_1 = H_1 - P_1, \;\; m_2 a_1 = \frac{2M_{вр}}{r} - 2H_1,$$

откуда находим a_1= 1,82 м/с^2, H_1 = 581,8 Н. Натяжение троса численно равно реакции.

Для определения реакции шарнира составим (формально) уравнение движения центра масс блока 2 в проекциях на оси x, y (см. рис. 5.18):

$$m_2 a_{Cx} = X_2 - H_1'\cos 30^\circ = 0, \; m_2 a_{Cy} = Y_2 + H_1'\cos 60^\circ - P_2 = 0.$$

Отсюда $X_2 = 503{,}84$ Н, $Y_2 = -94{,}7$ Н, $R_2 = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2} = 512{,}66$ Н.

Задача 60. Барабан весом G, радиусом R имеет цилиндрический выступ радиусом r (рис. 5.19). Барабан скатывается по наклонной плоскости с углом наклона 30°, опираясь на неё поверхностью выступа. К барабану приложены постоянные силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Сила $\vec{F}_1$ направлена по касательной к поверхности барабана. Сила $\vec{F}_2$ действует под углом 30° к диаметру барабана, перпендикулярному наклонной плоскости. В начальный момент времени барабан приведён в равновесие парой сил с моментом M.

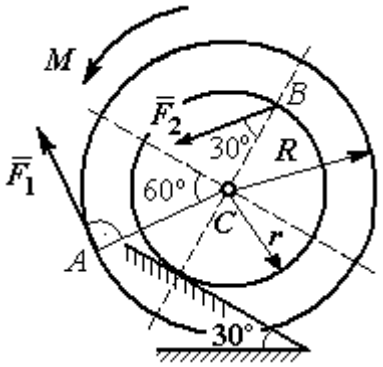


Рис. 5.19. Схема движения барабана по наклонной плоскости

Определить угловое ускорение барабана и закон движения центра масс, если в положении равновесия величину уравновешивающего момента увеличить в 1,2 раза. Исходные данные для решения задачи: R = 0,6 м, r = 0,2 м, G = 100 Н, F_1 = 60 Н, F_2 = 25 Н, радиус инерции барабана i_z = 0,4 м.

Решение

На барабан действуют силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, сила тяжести $\vec{G}$, пара сил с неизвестным моментом M, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила $\vec{F}_{сц}$ сцепления барабана с поверхностью. Сила сцепления приложена в точке K касания выступа барабана с наклонной плоскостью и направлена вдоль неё (рис. 5.20).

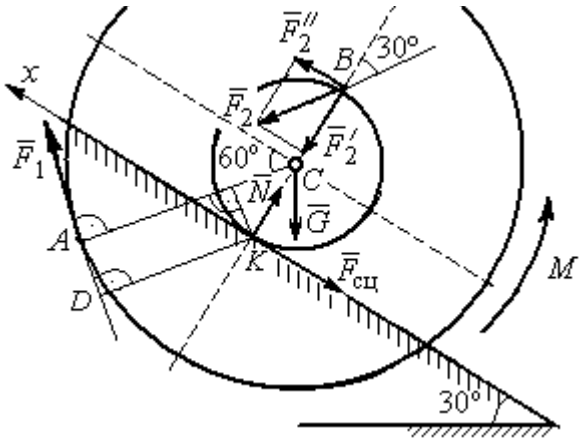


Рис. 5.20. Силы, действующие на барабан, во время движения

Для определения момента M, приводящего барабан в равновесие, запишем уравнение равно-

весия в виде равенства нулю моментов сил $\sum M_K(\vec{F}_k^e) = 0$ относительно точки *K*. Точка *K* выбрана с той целью, что в уравнение не будет входить момент неизвестной силы сцепления.

На рис. 5.20 показано разложение силы $\vec{F}_2$: $\vec{F}_2 = \vec{F}_2' + \vec{F}_2''$. Значения составляющих определяются как проекции: $F_2' = F_2\cos 30°$, $F_2'' = F_2\sin 30°$.

Применяя теорему Вариньона, вычислим момент силы $\vec{F}_2$ относительно точки *K*: $M_K(\vec{F}_2) = M_K(\vec{F}_2') + M_K(\vec{F}_2'') = F_2\sin 30° \cdot 2r$.

Момент силы $\vec{F}_1$ относительно точки *K*:

$$M_K(\vec{F}_1) = -F_1 \cdot KD = -F_1(R - r\cos 30°).$$

В результате уравнение моментов сил при равновесии барабана принимает вид

$$\sum M_K(\vec{F}_k^e) = -F_1(R - r\cos 30°) + F_2\sin 30° \cdot 2r - Gr\sin 30° + M = 0.$$

Подставляя сюда исходные данные задачи, находим величину уравновешивающего момента $M = 30{,}61$ Н·м. Направление момента показано дуговой стрелкой на рис. 5.20.

Увеличим значение момента *M*, удерживающего барабан в равновесии, в 1,2 раза: $M_1 = 1{,}2M$. Возникшее после этого качение барабана вверх по наклонной плоскости представляет собой плоскопараллельное движение, которое описывается с применением теорем о движении центра масс и об изменении кинетического момента.

Уравнение движения центра масс барабана в проекции на ось *x*, направленную вверх по наклонной плоскости, имеет вид:

$$m\ddot{x}_C = F_1\cos 30° + F_2\cos 60° - G\cos 60° - F_{\text{сц}},$$

где x_C – координата центра масс барабана.

Применив теорему об изменении кинетического момента барабана относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости

движения и считая моменты сил положительными, если они создают вращение в сторону движущегося вверх барабана, выразим уравнение вращательного движения барабана вокруг оси z в виде:

$$J_{zC}\ddot{\varphi} = -F_1 R + F_2 r\cos 60° + F_{\text{сц}} r + M_1,$$

где φ – угол поворота барабана; J_{zC} – момент инерции барабана, $J_{zC} = mi_z^2$; i_z – радиус инерции. С учётом соотношения $\ddot{\varphi} = \dfrac{\ddot{x}_C}{r}$ получим уравнение:

$$m\ddot{x}_C\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right) = -F_1\left(\frac{R}{r} - \cos 30°\right) + 2F_2\cos 60° - G\cos 60° + \frac{M_1}{r}.$$

После подстановки данных задачи находим дифференциальное уравнение движения центра масс: $\ddot{x}_C = 0{,}6$. Дважды интегрируя его с нулевыми начальными условиями (так как движение началось из состояния покоя), находим закон движения центра масс: $x_C = 0{,}3t^2$ м. Из уравнения следует, что барабан движется в сторону положительного направления оси x.

Угловое ускорение барабана $\varepsilon = \ddot{\varphi} = \dfrac{\ddot{x}_C}{r} = 3$ рад/с^2.

Задача 61. Механизм (рис. 5.21) включает в себя груз 1, каток 2 и ступенчатый барабан 3, соединённых нерастяжимыми нитями. Движение механизма происходит из состояния покоя в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы

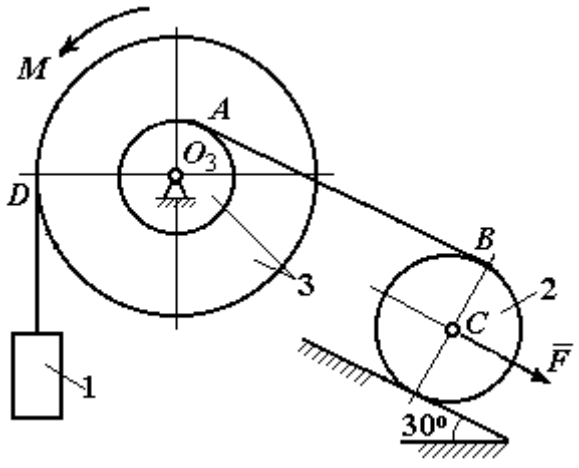


Рис. 5.21. Конструкция механической системы

$\vec{F}$, приложенной в центре масс катка 2, и пары сил с моментом M, приложенной к барабану 3. Качение катка 2 по наклонной плоскости с углом наклона к горизонту 30º происходит без проскальзывания.

Каток 2 считать однородным диском радиуса R_2. Радиусы ступеней барабана 3: R_3, r_3, радиус инерции барабана i_3.

Найти ускорение груза 1, силы натяжения нитей и динамическую реакцию шарнира барабана 3, если $P_1 = P_2 = 2P$; $P_3 = 3P$, $F = 3P$; $M = Pr$, $R_2 = 2r$; $R_3 = 3r$; $r_3 = r$; $i_3 = r\sqrt{3}$.

Решение

Рассмотрим движение каждого тела системы отдельно, предварительно освободив тела от связей и заменив их действие реакциями. На рис. 5.22 изображены силы, действующие на тела системы, после освобождения их от связей и направление движения каждого тела.

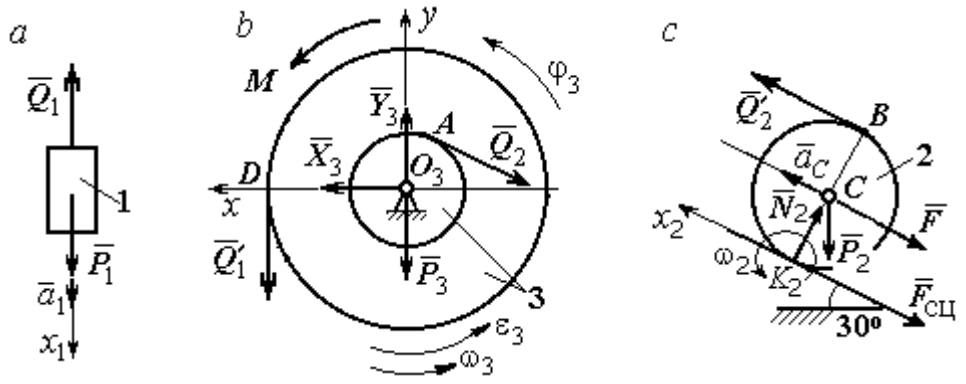


Рис. 5.22. Расчетные схемы для описания движения тел, входящих в систему

Допустим, груз движется вниз со скоростью V_1, ускорением a_1. К нему приложена сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция нити $\vec{Q}_1$ (рис. 5.22, *a*). Направим ось x_1 в сторону движения груза. Уравнение движения груза вдоль оси x_1 имеет вид:

$$m_1 a_1 = \sum F_{kx} = P_1 - Q_1 = 2P - Q_1 .$$

Барабан 3 вращается вокруг неподвижной оси z, проходящей через центр масс O_3. На диск 3 действует сила тяжести $\vec{P}_3$, реакция подшипника $\vec{R}_3$ (на

рис. 5.22, *b* показано разложение реакции на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$), пара сил с моментом *M* и реакции нитей $\vec{Q}_1'$ и $\vec{Q}_2$.

При составлении уравнения вращательного движения барабана моменты сил относительно оси считаем положительными, если они создают поворот в сторону вращения барабана. Уравнение вращения барабана 3 имеет вид:

$$J_{zO_3}\varepsilon_3 = \sum M_{zO_3}(F_k) = Q_1'R_3 + M - Q_2r_3 = Q_1'3r + Pr - Q_2r,$$

Момент инерции барабана относительно оси *z*: $J_{zO_3} = m_3 i_3^2 = \dfrac{9Pr^2}{g}$;

Каток 2 совершает плоскопараллельное движение. К нему приложена сила тяжести $\vec{P}_2$, сила $\vec{F}$, реакция нити $\vec{Q}_2'$, нормальная реакция $\vec{N}_2$ наклонной плоскости и сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления диска с поверхностью (рис. 5.22, *c*).

Выберем ось x_2 по направлению движения центра масс катка 2. Плоскопараллельное движение катка описывается уравнениями движения его центра масс в проекции на ось x_2 и вращения вокруг оси, походящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска:

$$m_2a_C = Q_2' - F - F_{\text{сц}} - P_2\cos 60^\circ = Q_2' - 3P - F_{\text{сц}} - P;$$

$$J_C\varepsilon_2 = Q_2'R_2 + F_{\text{сц}}R_2 = Q_2'2r + F_{\text{сц}}2r, \quad J_C = \frac{m_2R_2^2}{2}.$$

При составлении второго уравнения момент силы считается положительным, если он создаёт поворот в сторону вращения катка.

К системе четырех уравнений, описывающих движения тел в системе, необходимо добавить уравнения связей между ускорениями точек и угловыми ускорениями тел. Предположим, скорость центра масс катка 2 равна V_C (см. рис. 5.22, *c*). Угловая скорость катка $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK_2} = \dfrac{V_C}{R_2}$, где CK_2 – расстояние от

центра масс катка 2 до его мгновенного центра скоростей. Продифференцировав по времени последнее равенство, получим: $\varepsilon_2 = \dot{\omega}_2 = \dfrac{\dot{V}_C}{R_2} = \dfrac{a_C}{2r}$.

Скорость точки B катка 2 $V_B = \omega_2 \cdot BK_2 = 2V_C$. Приравняв скорость точки A к скорости точки B (см. рис. 5.21), получим: $2V_C = V_B = V_A = \omega_3 r_3 = \omega_3 r$, откуда $\omega_3 = \dfrac{2V_C}{r}$. После дифференцирования найдём: $\varepsilon_3 = \dfrac{2a_C}{r}$.

Скорость груза 1 связана со скоростью центра масс катка 2 следующим образом: $V_1 = V_D = \omega_3 R_3 = \dfrac{2V_C}{r} 3r = 6V_C$. Тогда ускорение груза 1 $a_1 = 6a_C$.

После подстановки уравнений связи в уравнения движения с учётом равенства модулей сил $\vec{Q}_1'$ и $\vec{Q}_1$, а также $\vec{Q}_2$ и $\vec{Q}_2'$ получим систему:

$$\frac{12P}{g} a_C = 2P - Q_1; \quad \frac{18P}{g} a_C = 3Q_1 + P - Q_2,$$

$$\frac{2P}{g} a_C = Q_2 - 4P - F_{\text{сц}}; \quad \frac{P}{g} a_C = Q_2 + F_{\text{сц}},$$

откуда находим: $a_C = 0{,}09g$, $Q_1 = 0{,}92P$, $Q_2 = 2{,}14P$.

Динамические реакции $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, действующие на ось вращающегося барабана 3 (рис. 5.22, *b*), определяются из уравнений, которые можно получить, формально применив к барабану теорему о движении центра масс. Так как центр масс барабана 3 неподвижен, его ускорение равно нулю, $a_{O_3} = 0$. Тогда уравнения движения его центра масс в проекциях на оси x, y имеют вид:

$$m_3 a_{O_3 x} = X_3 - Q_2 \cos 30^\circ = 0;$$

$$m_3 a_{O_3 y} = Y_3 - Q_1 - P_3 - Q_2 \cos 60^\circ = 0.$$

Подставляя значения $Q_1 = 0{,}92P$ и $Q_2 = 2{,}14P$, находим составляющие реакции оси барабана 3: $X_3 = Q_2 \cos 30^\circ = 1{,}85P$, $Y_3 = Q_1 + P_3 + Q_2 \cos 60^\circ = 4{,}98P$.

Полная величина реакции оси барабана 3: $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2} = 5{,}31P$.

Задача 62. Подъёмное устройство (рис. 5.23) состоит из однородного диска 1 массой m_1, радиусом r_1, ступенчатого диска 2 массой $m_2 = 3m_1$, радиусом $R_2 = 4r_1$ и радиусом ступеньки $r_2 = r_1$ и груза 3 массой $m_3 = 2m_1$. Система движется из состояния покоя в вертикальной плоскости под действием сил тяжести и пары сил с моментом $M = m_1 g r_1$, приложенной к диску 1. Определить ускорение груза 3 и натяжение нити груза 3, если радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, походящей через центр масс, перпендикулярно плоскости диска 2, $i_{2C} = 2r_1$.

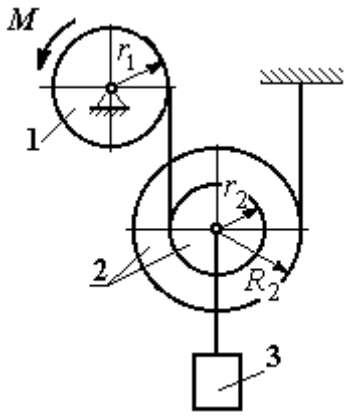


Рис. 5.23. Конструкция подъёмного устройства

Решение задачи осуществить с применением теоремы об изменении кинетической энергии системы и проверить его методом динамического расчёта, составляя уравнения движения тел, входящих в систему.

Решение

1. Для неизменяемой системы (состоящей из абсолютно твёрдых тел, соединённых нерастяжимыми нитями), движущейся из состояния покоя, теорема об изменении кинетической энергии на конечном перемещении имеет вид $T = \sum A(\vec{F}_k^e)$. Схема движения механизма в предположении, что груз 3 опускается, показана на рис. 5.24.

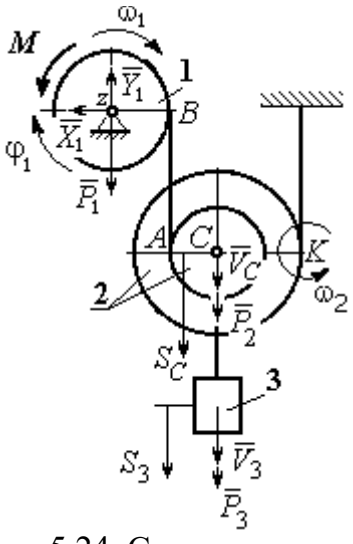


Рис. 5.24. Схема движения механизма

Диск 1 вращается вокруг неподвижной оси z. Кинетическая энергия диска 1: $T_1 = \dfrac{J_{1z}\omega_1^2}{2}$, где момент инерции диска $J_{1z} = \dfrac{m_1 r_1^2}{2}$.

У диска 2 плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия диска 2: $T_2 = \frac{m_2 V_C^2}{2} + \frac{J_{2C}\omega_2^2}{2}$, где V_C – скорость центра масс диска 2. Момент инерции диска 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно движению диска, $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$.

Кинетическая энергия груза 3: $T_3 = \frac{m_3 V_3^2}{2}$.

Энергия механизма равна сумме энергий тел, входящих в систему:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{J_{1z}\omega_1^2}{2} + \frac{m_2 V_C^2}{2} + \frac{J_{2C}\omega_2^2}{2} + \frac{m_3 V_3^2}{2}.$$

Выразим угловые скорости дисков 1 и 2 и скорость центра масс диска 2 через скорость груза 3.

Скорость центра масс диска 2 равна скорости груза 3, $V_C = V_3$. Угловая скорость диска 2 $\omega_2 = \frac{V_C}{CK} = \frac{V_3}{R_2}$, где CK – расстояние от центра диска 2 до его мгновенного центра скоростей.

Скорость точки B нити равна скорости точки A. Из равенства $\omega_1 r_1 = \omega_2 (R_2 + r_2)$ найдём: $\omega_1 = \frac{(r_2 + R_2)}{r_1}\omega_2 = \frac{(r_2 + R_2)}{r_1}\frac{V_3}{R_2}$.

Подставляя найденные зависимости в выражение энергии системы, получим кинетическую энергию механизма:

$$T = \frac{V_3^2}{2}\left[\frac{m_1}{2}\left(1 + \frac{r_2}{R_2}\right)^2 + m_2\left(1 + \frac{i_{2C}^2}{R_2^2}\right) + m_3\right] = \frac{209}{64} m_1 V_3^2.$$

Во время движения механизма работу совершают силы тяжести $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и пара сил с моментом M. Перемещения S_C и S_3 точек приложения сил $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и угол φ_1 поворота диска 1 показаны на рис. 5.24.

Сумма работ сил $\sum A(\vec{F}_k^e) = P_3 S_3 + P_2 S_C - M\varphi_1$. Работа момента отрицательная, так как заданное направление момента противоположно выбранному направлению вращения колеса 1.

Выразим перемещение центра масс диска 2 и угол поворота диска 1 через перемещение груза 3. Проинтегрировав равенство скоростей $V_3 = V_C$, получим равенство перемещений: $S_3 = S_C$. Аналогично, из равенства $\omega_1 = \frac{(r_2 + R_2)}{r_1}\frac{V_3}{R_2}$ следует соотношение $\varphi_1 = \frac{(r_2 + R_2)}{r_1}\frac{S_3}{R_2}$.

В итоге суммарная работа внешних сил в механизме:

$$\sum A(\vec{F}_k^e) = \left[P_3 + P_2 - M\frac{(r_2 + R_2)}{r_1 R_2} \right] S_3 = \frac{15}{4} m_1 g S_3 .$$

Составляя уравнение теоремы об изменении кинетической энергии системы, получим равенство:

$$\frac{209}{64} m_1 V_3^2 = \frac{15}{4} m_1 g S_3 \text{ или } V_3^2 = \frac{240}{209} g S_3 .$$

Продифференцируем последнее равенство. Получим: $2V_3 \frac{dV_3}{dt} = \frac{240}{209} g \frac{dS_3}{dt}$.

Так как $\frac{dS_3}{dt} = V_3$, а $\frac{dV_3}{dt} = a_3$, находим ускорение груза 3: $a_3 = \frac{120}{209} g$ м/с^2.

Для того чтобы найти натяжение нити груза 3, необходимо написать уравнение его движения. Выделим груз 3 из системы, заменив действие нити её реакцией H_3. Выберем ось x по направлению движения груза. Применим к описанию движения груза теорему о движении центра масс, написав её проекцию на ось x: $m_3 a_3 = P_3 - H_3$, где H_3 –реакция нити. При известном ускорении a_3 находим реакцию нити $H_3 = \frac{178}{209} m_1 g$. Натяжение нити численно равно реакции, но направлено в противоположную сторону.

2. Для решения задачи вторым способом – путём составления уравнений движения тел, входящих в состав механизма, освободим тела от связей и заменим их реакциями. На рис. 5.25 изображены силы и реакции, действующие на каждое тело, после освобождения его от связей, а также направления угловых ускорений тел и ускорения центров масс.

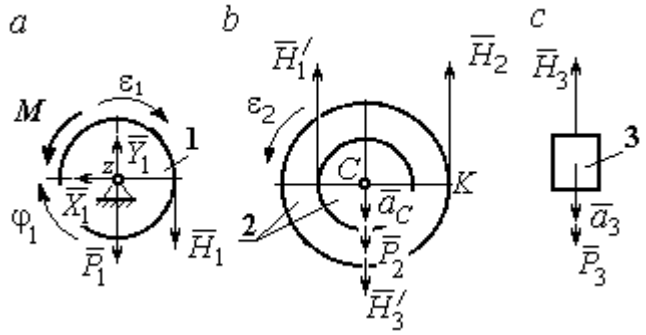


Рис. 5.25. Внешние силы и реакции связей, действующие на тела системы

Диск 1 вращается вокруг неподвижной оси *z*. На диск действует сила тяжести $\vec{P}_1$, реакция подшипника $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$, пара сил с моментом *M* и реакция нити $\vec{H}_1$. Вращение диска описывается уравнением: $J_{1z}\varepsilon_1 = \sum M_z(F_k) = H_1 r_1 - M$. Момент инерции диска 1 относительно оси *z*, $J_{1z} = \dfrac{m_1 r_1^2}{2}$.

Диск 2 (рис. 5.25, *b*) совершает плоскопараллельное движение. К нему приложена сила тяжести $\vec{P}_2$ и реакции нитей $\vec{H}_1'$, $\vec{H}_2$ и $\vec{H}_3'$. Плоскопараллельное движение диска 2 описывается уравнением движения его центра масс в проекции на вертикальную ось и уравнением вращения диска вокруг оси, походящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска:

$$m_2 a_C = P_2 - H_1' - H_2 + H_3'; \;\; J_{2C}\varepsilon_2 = H_2 R_2 - H_1' r_2 .$$

Момент инерции диска 2 $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$. При составлении уравнения вращательного движения диска 2 момент силы считается положительным, если он создаёт поворот в сторону вращения диска.

Груз 3 совершает поступательное движение. К нему приложены сила тяжести $\vec{P}_3$ и реакция нити $\vec{H}_3$ (рис. 5.25, *c*). Уравнение движения груза 3 в проекции на вертикальную ось, направленную в сторону его движения, имеет вид:

$$m_3 a_3 = P_3 - H_3 ,$$

Выразим угловые ускорения дисков 1 и 2 и ускорение центра масс диска 2 через ускорение груза 3. Для этого нужно продифференцировать соответствующие кинематические соотношения между скоростями. Так, из найденных ранее выражений: $V_3 = V_C$, $\omega_2 = \dfrac{V_3}{R_2}$, $\omega_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{V_3}{R_2}$ следует: $a_3 = a_C$, $\varepsilon_2 = \dfrac{a_3}{R_2}$, $\varepsilon_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{a_3}{R_2}$.

Подставляя кинематические соотношения между ускорениями в уравнения движения тел с учётом равенства модулей сил $\vec{H}_1$ и $\vec{H}_1'$, а также $\vec{H}_3$ и $\vec{H}_3'$, получим систему уравнений, описывающих движение звеньев механизма:

$$\frac{5}{8}m_1 a_3 = H_1 - m_1 g;\ \ 3m_1 a_3 = 3m_1 g - H_1 - H_2 + H_3;$$

$$3m_1 a_3 = 4H_2 - H_1;\ \ 2m_1 a_3 = 2m_1 g - H_3.$$

Решая систему, найдём $a_3 = \dfrac{120}{209}g$ м/с^2, $H_3 = \dfrac{178}{209}m_1 g$. Выражения ускорения a_3 груза 3 и натяжения нити H_3 совпадают с аналогичными выражениями, полученными в пункте 1 при решении данной задачи с применением теоремы об изменении кинетической энергии.

Упражнения

Упражнение 5.5. Система состоит из двух катков 1 и 2, соединённых невесомым стержнем (рис. 5.26). Каток 1 весом P, радиуса r. Каток 2 весом $2P$, радиуса $3r$ имеет цилиндрический выступ радиуса r. Невесомый стержень, параллельный плоскости качения катков, закреплён в центре катка 1 и передаёт движение катка 1 катку 2 в верхней точке вертикального диаметра цилиндрического выступа без проскальзывания. Качение катков без скольжения. К катку 1 приложена пара сил с моментом $M = 4Pr$. В центре масс катка 2 приложена сила $F = 2P$. Радиус инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр катка перпендикулярно плоскости движения, $i_2 = r\sqrt{2}$. Найти ускорение центра масс катка 1 и реакцию стержня.

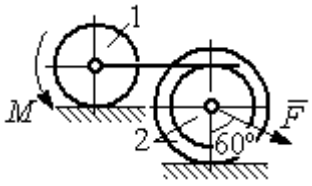


Рис. 5.26. Система катков

Упражнение 5.6. С помощью подъёмного устройства (рис. 5.27) производится подъём груза 1. Нить, закреплённая одним концом на неподвижной поверхности, спускается, охватывает снизу блок 2 массы $m_2 = m$, радиуса r, затем поднимается и проходит параллельно горизонтальной плоскости, где к концу её привязан груз 3 массы $m_3 = m$, передвигающийся по плоскости под действием силы $F = 2{,}5mg$. Нити, удерживающие блок 2, вертикальны. Груз 1 массы $m_1 = 3m$ прикреплён к оси блока 2. Найти ускорение груза 1 и натяжения нитей, удерживающих блок 2.

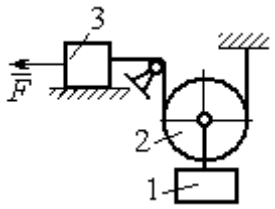


Рис. 5.27. Подъёмное устройство

Упражнение 5.7. Груз 1 массы $m_1 = m$, спускается вниз по наклонной плоскости без трения (рис. 5.28). Нить, прикреплённая к грузу 1, другим своим концом намотана на барабан катка 2 радиуса $R = 2r$ и при движении груза заставляет барабан катиться по горизонтальной поверхности цилиндрическим выступом радиуса r. Качение происходит без проскальзывания. К центру катка привязана другая нить, посредством которой каток тащит за собой груз 3 массы $m_3 = 2m$, скользящий по горизонтальной поверхности без трения. Масса катка $m_2 = 3m$, радиус инерции катка относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения $i_2 = r\sqrt{3}$. По касательной к ободу катка 2 приложена сила $F = mg$ (точка приложения силы см. рис. 5.28). Определить ускорение груза 1 и натяжения нитей.

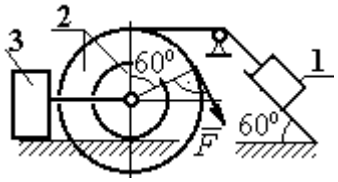


Рис. 5.28. Схема движения механической системы

6. ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ

6.1. Принцип Даламбера для системы

Силой инерции материальной точки называют векторную величину, модуль которой равен произведению массы точки на модуль её ускорения. Направлен вектор силы инерции точки в сторону, противоположную ускорению $\vec{R}^{\text{и}} = -m\vec{a}$, где m – масса точки; $\vec{a}$ – вектор ускорения точки.

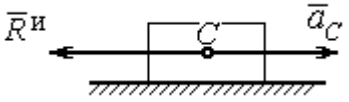


Рис. 6.1. Главный вектор сил инерции при поступательном движении твердого тела

При поступательном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ главный вектор сил инерции $\vec{R}^{\text{и}}$ по модулю $R^{\text{и}} = ma_C$, приложен в центре масс тела и направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$ (рис. 6.1).

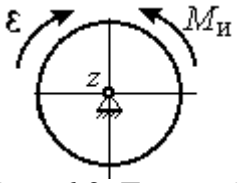


Рис. 6.2. Главный момент сил инерции при вращении тела вокруг оси, проходящей через центр масс

При вращении тела вокруг неподвижной оси z, проходящей через центр масс, главный вектор сил инерции обращается в нуль. Главный момент $\vec{M}^{\text{и}}$, сил инерции относительно оси вращения равен по величине $M^{\text{и}} = J_z\varepsilon$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ε – угловое ускорение тела. Направлен главный момент сил инерции в сторону, противоположную угловому ускорению (рис. 6.2).

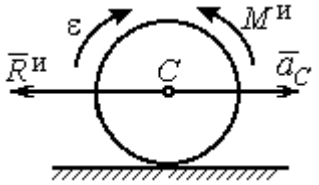


Рис. 6.3. Главный вектор и главный момент сил инерции при плоскопараллельном движении твердого тела

При плоскопараллельном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ и угловым ускорением ε главный вектор сил инерции $\vec{R}^{\text{и}}$ равен по модулю $R^{\text{и}} = ma_C$, приложен в центре масс тела и направлен в сторону, противоположную ускорению центра масс $\vec{a}_C$ (рис. 6.3). Главный момент сил инерции $\vec{M}^{\text{и}}$ относи-

тельно оси, проходящей через центр масс тела перпендикулярно плоскости движения: $M^{и} = J_C\varepsilon$, где J_C – момент инерции тела относительно оси вращения, и направлен в сторону, противоположную угловому ускорению.

Если в любой момент времени к каждой из точек системы кроме действующих на нее внешних сил присоединить соответствующие силы инерции, то полученная система сил будет уравновешенной.

Принцип Даламбера даёт возможность составлять уравнения движения механической системы в виде уравнений равновесия (метод кинетостатики):

$$\sum \vec{F}_k^e + \vec{R}^{и} = 0,\ \sum \vec{M}_O(\vec{F}_k^e) + \vec{M}_O^{и} = 0,$$

где $\vec{F}_k^e$ –внешние силы, действующие на систему; $\vec{R}^{и}$ – главный вектор сил инерции; $\vec{M}_O(\vec{F}_k^e)$, $\vec{M}_O^{и}$ – моменты внешних сил и главный момент сил инерции относительно произвольного центра *O*.

Примеры решения задач на применение принципа Даламбера

Задача 63. Груз 1 массы m_1 = 10 кг спускается вниз по наклонной грани клина, образующей угол 60º с горизонтом, и посредством нити, переброшенной через блок 2, укреплённый в верхней точке клина, приводит в движение груз 3 массы m_3 = 5 кг (рис. 6.4). Клин *ABC* массы m_4 = 15 кг стоит гранью *AC* на горизонтальной гладкой поверхности и упирается в выступ *E*.

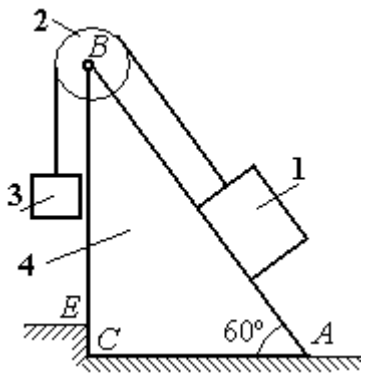


Рис. 6.4. Клин с грузами

Найти давление клина на выступ. Массой блока 2 и нити пренебречь.

Решение

Выберем систему, состоящую из клина *ABC*, блока 2, грузов 1 и 3 и нити, соединяющей грузы. Внешние силы, действующие на систему, – силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_3$ и $\vec{P}_4$ грузов 1, 3 и клина 4, горизонтальная реакция $\vec{R}_x$ упора клина в вы-

ступ и вертикальная реакция $\vec{R}_y$ опоры на горизонтальную поверхность. Реакция нити, реакция опоры груза 1 на наклонную поверхность клина и реакция шарнира *B* блока 2 для данной системы являются внутренними.

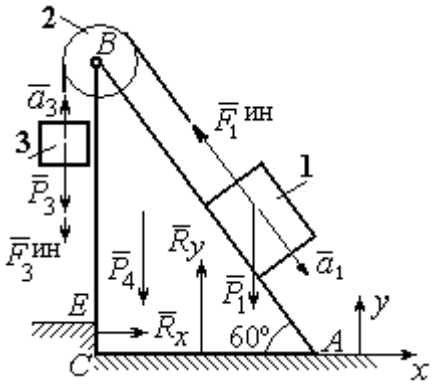


Рис. 6.5. Внешние силы и силы инерции, действующие на систему

Допустим, груз 1 движется вниз, груз 3 – вверх. Приложим силы инерции. Направления ускорений грузов и сил инерции показаны на рис. 6.5.

В соответствии с принципом Даламбера, полученная система сил находится в равновесии. Условие равновесия: $\sum \vec{F}_k^e + \vec{F}_1^{ин} + \vec{F}_3^{ин} = 0$.

Выберем оси *xy,* как показано на рис. 6.5, и спроектируем векторное равенство на ось *x*. Получим: $R_x - F_1^{ин}\cos 60^\circ = 0$, где модуль силы инерции $F_1^{ин} = m_1 a_1$.

Найдём ускорение груза 1. С этой целью рассмотрим отдельно движение грузов 1 и 3 (рис. 6.6 *a*, *b*).

Рассматривая груз 1 как отдельную систему, изобразим внешние силы: силу тяжести $\vec{P}_1$, реакцию нити $\vec{T}'$ и реакцию опоры $\vec{N}$ (см. рис. 6.6, *b*). Присоединим силу инерции $\vec{F}_1^{ин}$ и составим уравнение равновесия полученной системы сил в проекции на ось *x*, расположенную вдоль наклонной грани клина: $P_1 \sin 60^\circ - T' - F_1^{ин} = 0$, где $F_1^{ин} = m_1 a_1$.

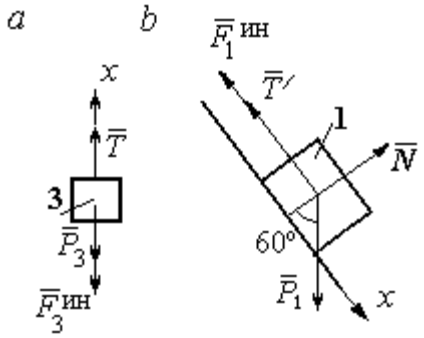


Рис. 6.6. Равновесие грузов

Для груза 3 внешними силами будут сила тяжести $\vec{P}_3$ и реакция нити $\vec{T}$. Присоединим к грузу 3 силу инерции $\vec{F}_3^{ин}$ (см. рис. 6.6, *a*) и составим уравне-

ние равновесия системы сил в проекции на ось *x*, выбранную по направлению движения груза 3: $T - P_3 - F_3^{\text{ин}} = 0$, где модуль силы инерции $F_3^{\text{ин}} = m_3 a_3$.

Решая полученную систему с учётом, что модули реакций нити и модули ускорений грузов равны: $T = T'$ и $a_1 = a_3$, находим ускорение грузов. Получим: $a_1 = a_3 = \dfrac{(m_1 \sin 60^\circ - m_3)g}{m_1 + m_3}$. Тогда давление клина на уступ:

$$R_x = F_1^{\text{ин}} \cos 60^\circ = m_1 g \frac{(m_1 \sin 60^\circ - m_3)}{(m_1 + m_3)} \cos 60^\circ .$$

Подставляя данные из условия задачи, найдём R_x = 11,97 Н.

Задача 64. Для подъёма грузов используется лебёдка со ступенчатым воротом, изображённая на рис. 6.7. Радиусы большой и малой ступенек барабана ворота r_1 и r_2, радиус инерции барабана относительно оси вращения i_3. Лебёдка установлена на горизонтальной балке *AB*, которая закреплена в точке *A* на неподвижном цилиндрическом шарнире и опирается на каток в точке *B*. Груз 1 поднимается на верёвке, навитой на большую ступеньку ворота. На малой ступеньке барабана ворота закреплена другая верёвка, удерживающая противовес 2. К барабану лебёдки приложен постоянный вращающий момент $M_{\text{вр}}$.

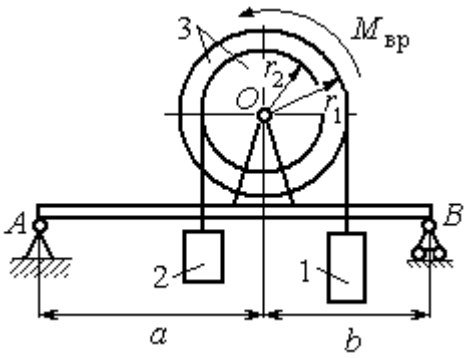


Рис. 6.7. Лебёдка на балке

Найти реакции опор балки во время движения груза, если радиусы ступенек барабана r_1 = 0,8 м, r_2 = 0,2 м, радиус инерции барабана относительно оси вращения i_3 =0,6 м, масса груза 1 m_1 = 100 кг, противовеса 2 m_2 =30 кг, масса барабана m_1 = 50 кг, величина вращающего момента $M_{\text{вр}}$ = 1050 Н·м, расстояния от крайних точек балки *A* и *B* до линии вертикального диаметра барабана *a* = 2 м, *b* = 1 м.

Решение

Выберем систему, включающую только барабан 3, грузы 1 и 2 и нити, связывающие грузы с барабаном (рис. 6.8). Внешние силы, действующие на эту систему, – пара сил, создающая вращающий момент $M_{\text{вр}}$, силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ грузов 1, 2 и барабана 3 и реакция $\vec{R}_O$ опоры барабана на шарнир в точке O. Натяжения нитей для данной системы являются внутренними и на рис. 6.8 не показаны.

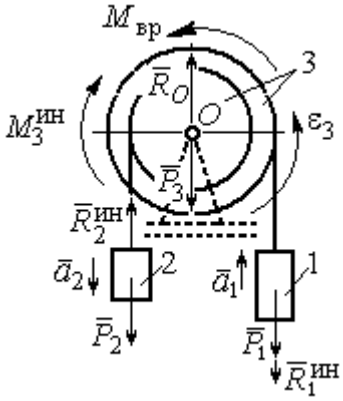


Рис. 6.8. Расчётная схема равновесия барабана

Приложим силы инерции. Направления главных векторов сил инерции $\vec{R}_1^{\text{ин}}$, $\vec{R}_2^{\text{ин}}$ и момента сил инерции $M_3^{\text{ин}}$ показаны на рис. 6.8.

Согласно принципу Даламбера, полученная система внешних сил и сил инерции является уравновешенной. Составим уравнения равновесия:

$$R_O + R_2^{\text{ин}} - P_2 - P_3 - P_1 - R_1^{\text{ин}} = 0;\ \ M_{\text{вр}} - M_3^{\text{ин}} - R_2^{\text{ин}} r_2 + P_2 r_2 - P_1 r_1 - R_1^{\text{ин}} r_1 = 0,$$

где $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$, $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$, $M_3^{\text{ин}} = J_{3O}\varepsilon_3$, $J_{3O} = m_3 i_3^2$.

Из второго уравнения с учётом кинематических соотношений: $\varepsilon_3 = \dfrac{a_1}{r_1}$ и $a_2 = \dfrac{r_2}{r_1} a_1$, найдём ускорение груза 1: $a_1 = \dfrac{r_1(M_{\text{вр}} + P_2 r_2 - P_1 r_1)}{m_3 i_3^2 + m_2 r_2^2 + m_1 r_1^2}$. Подставляя данные задачи, получим a_1 = 3,49 м/с^2.

Вычислим модули сил инерции $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$=349 Н; $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$ = 26,17 Н.

Подставляя модули сил инерции в первое уравнение условий равновесия, найдём реакцию опоры барабана на шарнир O:

$$R_O = -R_2^{\text{ин}} + P_2 + P_3 + P_1 + R_1^{\text{ин}} = 2088{,}63 \text{ Н}.$$

Для определения реакций опор балки AB выберем объектом равновесия саму балку (рис. 6.9). На балку действуют сила $\vec{R}'_O$ давления со стороны шарнира O, реакция шарнира в точке A (на рис. 6.9 разложенная на составляющие $\vec{R}_{Ax}$, $\vec{R}_{Ay}$) и реакция $\vec{R}_{By}$ опоры балки на шарнир в точке B. Составим уравнения равновесия балки:

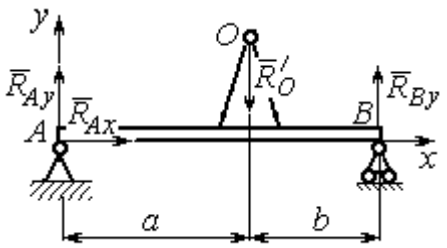


Рис. 6.9. Равновесие балки

$$\sum F_x = R_{Ax} = 0,\ \sum F_y = R_{Ay} - R'_O + R_{By} = 0,$$

$$\sum M_A(F) = R_{By}(a+b) - R'_O a = 0.$$

Решая систему с учётом того, что модули сил $\vec{R}'_O$ и $\vec{R}_O$ равны, найдём реакции опор балки: $R_{By} = R_O \dfrac{a}{a+b} = 1392{,}42$ Н; $R_{Ay} = R_O - R_{By} = 696{,}21$ Н.

Для сравнения реакции опор балки при неподвижном барабане $R_{By} = 1419{,}18$ Н, $R_{Ay} = 346{,}62$ Н.

Упражнение

Упражнение 6.1. Груз 1 соединён с грузом 2 нерастяжимой нитью, переброшенной через неподвижный блок (рис. 6.10). Опускаясь вниз, груз 2 перемещает груз 1 по горизонтальной поверхности призмы 3 без трения. Призма стоит на горизонтальной гладкой поверхности и упирается левым краем в выступ. Определить силу давления призмы на пол, если массы грузов 1, 2 и призмы 3 одинаковы и равны m. Массой нити и блока пренебречь.

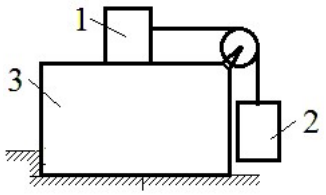


Рис. 6.10. Схема движения грузов в системе

6.2. Принцип возможных перемещений

Возможными перемещениями механической системы называют любую совокупность элементарных (бесконечно малых) перемещений точек системы из занимаемого в данный момент времени положения, которые допускаются всеми наложенными на систему связями.

Идеальными связями в механической системе называют такие связи, для которых сумма элементарных работ их реакций на любом возможном перемещении равна нулю.

Принцип возможных перемещений.

Если все приложенные к точкам системы внешние и внутренние силы разделить на **активные силы** и **реакции связей**, то для равновесия механической системы с идеальными связями необходимо и достаточно, чтобы сумма элементарных работ всех активных сил была равна нулю на любом возможном перемещении системы: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = 0$.

Примеры решения задач на применение принципа возможных перемещений

Задача 65. В талевом механизме барабан 1 состоит из двух соосных жестко связанных валов (рис. 6.11). При поднятии груза верхний трос барабана 1 наматывается на вал большего радиуса R_1, нижний – сматывается с вала меньшего радиуса r_1.

Какой вращающий момент M, постоянный по величине, нужно приложить к барабану, чтобы уравновесить груз весом P, прикреплённый в центре блока 4. Массами блоков и троса пренебречь.

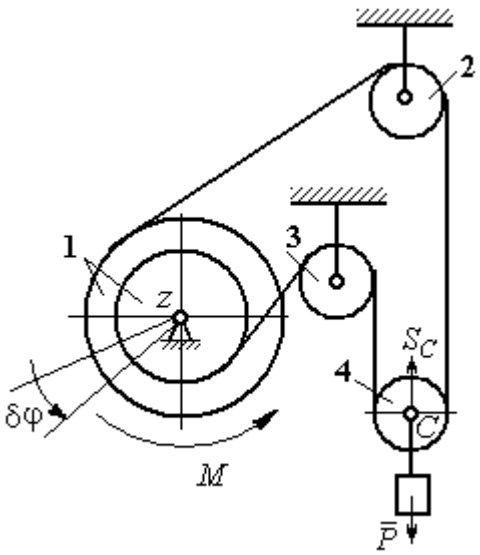


Рис. 6.11. Уравновешивание талевого механизма

Решение

Активными силами в системе являются сила тяжести груза $\vec{P}$ и уравновешивающий момент M. По принципу возможных перемещений для равновесия системы необходимо и достаточно выполнения условия:

$$\delta A(M) + \delta A(\vec{P}) = 0, \text{ или } M\delta\varphi_1 - P\delta S_C = 0.$$

где $\delta\varphi_1$ и δS_C – возможные перемещения барабана и груза.

Найдём связь между перемещениями $\delta\varphi_1$ и δS_C. Предположим, в механизме осуществляется подъём груза. На рис. 6.12 показано построение мгновенного центра скоростей блока 4 – точки *K*. Здесь скорость точки *A* блока 4 (рис. 6.12) равна скорости точек обода малого вала барабана 1, а скорость точки *B* – скорости точек обода большого вала. Составим пропорцию $\frac{V_B}{V_A}=\frac{BK}{AK}=\frac{r_4+CK}{r_4-CK}$, где r_4 – радиус блока 4 (см. рис.6.12). Подставляя выражения для скоростей точек *A* и *B* $V_A=\omega_1 r_1$, $V_B=\omega_1 R_1$, найдём расстояние: $CK=\frac{(R_1-r_1)r_4}{R_1+r_1}$.

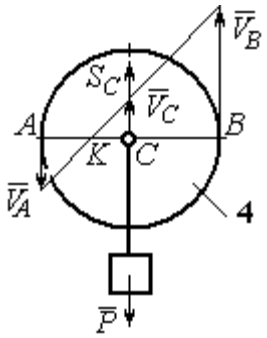


Рис. 6.12. Распределение скоростей точек блока 4

Угловая скорость блока 4 $\omega_4=\frac{V_B}{r_4+CK}=\frac{\omega_1(R_1+r_1)}{2r_4}$. Скорость его центра: $V_C=\omega_4\cdot CK=\frac{\omega_1(R_1-r_1)}{2}$. Выразим соотношение между скоростью точки *C* и угловой скоростью барабана 1 в дифференциальной форме: $dS_C=d\varphi_1\frac{(R_1-r_1)}{2}$. Поскольку действительное перемещение является одним из возможных (т. е. $ds=\delta s$, $d\varphi=\delta\varphi$), получим связь между возможными перемещениями барабана 1 и груза: $\delta S_C=\frac{\delta\varphi_1(R_1-r_1)}{2}$.

Подставляя найденное соотношение в уравнение принципа возможных перемещений, представим его в окончательном виде: $M\delta\varphi_1-P\frac{\delta\varphi_1(R_1-r_1)}{2}=0$, откуда найдём значение уравновешивающего момента: $M=\frac{P(R_1-r_1)}{2}$.

Задача 66. Брус 1 весом $P_1 = P$ лежит на цилиндрическом катке 2 и на блоке 3 одинаковых радиусов r, и одинакового веса $P_2 = P_3 = 2P$ (рис. 6.13). Каток 2 катится без проскальзывания по наклонной плоскости с углом наклона 30º к горизонту. Блок 3 вращается вокруг неподвижной оси z и к нему приложена пара сил с моментом $M = Pr$. Каток и блок расположены так, что брус 1 параллелен наклонной плоскости.

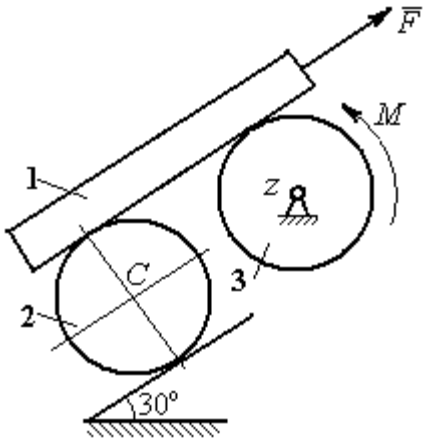


Рис. 6.13. Равновесие механической системы

Какую силу F, параллельную наклонной плоскости, нужно приложить к брусу 1, чтобы удержать его в равновесии. Скольжение между брусом и катком, брусом и блоком отсутствует.

Решение

Рассмотрим механизм, состоящий из бруса 1, катка 2 и блока 3. Активными силами, действующими на механизм, являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$ бруса, катка и блока, пара сил с моментом M, приложенная к блоку 3, и сила $\vec{F}$, приложенная к брусу. Связи в механизме идеальные, так как работа реакции $\vec{N}_2$ опоры катка 2 на плоскость, работа силы $\vec{F}_{сц}$ сцепления катка с плоскостью и работа реакции шарнира блока 3 при любом перемещении системы равны нулю. Направления векторов сил в системе показаны на рис. 6.14.

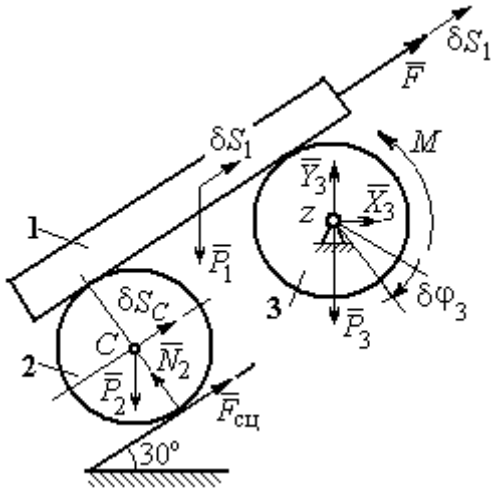


Рис. 6.14. Расчётная схема применения принципа возможных перемещений

Придадим системе возможное перемещение, сдвинув брус 1 на расстояние δS_1 вдоль линии действия силы $\vec{F}$, вверх по наклонной плоскости. Тогда

центр катка 2 переместится на расстояние δS_C, а блок 3 повернётся на элементарный угол $\delta\varphi_3$ (см. рис. 6.14).

Для определения условий равновесия применим к системе принцип возможных перемещений. Получим уравнение:

$$-P_1\delta S_1\cos 60^\circ - P_2\delta S_C\cos 60^\circ - M\delta\varphi_3 + F\delta S_1 = 0.$$

Выразим все перемещения через перемещение бруса δS_1. Допустим, скорость бруса равна V_1. Тогда $V_C = \dfrac{V_1}{2}$, и, следовательно, $\delta S_C = \dfrac{\delta S_1}{2}$.

Угловая скорость блока 3 $\omega_3 = \dfrac{V_1}{r}$, отсюда $\delta\varphi_3 = \dfrac{\delta S_1}{r}$.

Подставляя найденные соотношения в уравнение принципа возможных перемещений с учётом данных задачи, находим $F = 2P$.

Задача 67. Уравновешивание роликового катка 3 с противовесом 1 осуществляется с помощью пары сил с моментом *M*, приложенных к блоку 2. Каток состоит из двух соосных жестко связанных дисков (рис. 6.15) радиусов *r* и *R* = 2*r* с общей массой 3*m*. Масса груза 1 равна *m*. При движении каток катится без скольжения по вертикальной поверхности, касаясь её диском меньшего радиуса. Вертикальная пружина с закреплённым верхним концом своим нижним концом удерживает каток за центр масс. Жесткость пружины $c = mg / r$.

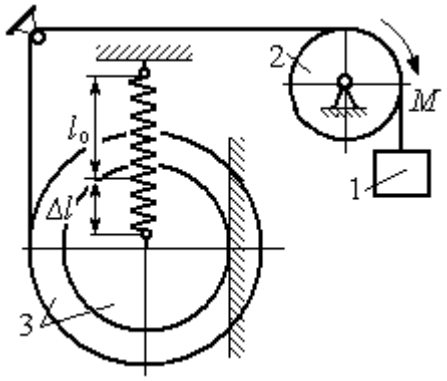


Рис. 6.15. Уравновешивание роликового катка

Какой величины уравновешивающий момент *M* приложен к блоку 2, если при равновесии катка пружина растянулась относительно недеформированного состояния на величину $\Delta l = r$.

Решение

Рассмотрим механическую систему, состоящую из груза 1, блока 2 и катка 3. Активными силами, действующими на механизм, являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$ – груза, блока и катка, пара сил с моментом M, приложенная к блоку 2, и сила $\vec{F}_{\text{упр}}$ упругости пружины, приложенная к центру катка. Реакциями связей в механизме являются: сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления катка с плоскостью и реакция $\vec{R}_2$ шарнира блока 2. Реакция $\vec{N}_2$ опоры катка 2 на вертикальную плоскость равна нулю (на рис. 6.16 не показана).

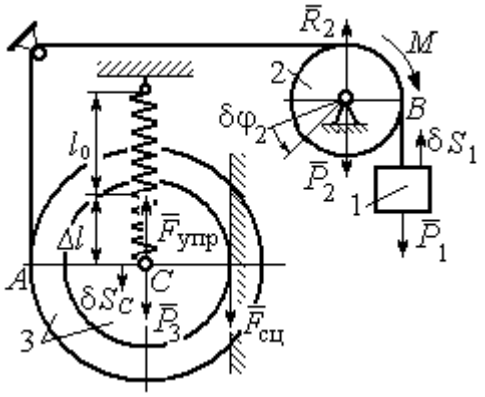


Рис. 6.16. Расчётная схема уравновешивания ролика

Допустим, система находится в равновесии. Дадим центру катка возможное перемещение δS_C, направленное вертикально вниз. При этом блок 2 повернётся на угол $\delta\varphi_2$, а груз 1 получит бесконечно малое перемещение δS_1. Направления возможных перемещений показаны на рис. 6.16.

Составим уравнение принципа возможных перемещений:

$$P_3\delta S_C - F_{\text{упр}}\delta S_C + M\delta\varphi_2 - P_1\delta S_1 = 0,$$

где сила упругости в положении равновесия системы $F_{\text{упр}} = c\Delta l$.

Выразим перемещения $\delta\varphi_2$, δS_1 блока 2 и груза 1 через перемещение центра катка δS_C. Предположим, при возможном перемещении скорость центра масс катка равна V_C. Скорость груза 1 равна скорости точки A на ободе большого диска катка: $V_1 = V_A = \dfrac{R+r}{r}V_C$. Здесь учтено, что точка касания катка

с вертикальной поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Угловая скорость блока 2 $\omega_2 = \frac{V_A}{r} = \frac{R+r}{r^2} V_C$.

Представляя кинематические соотношения в дифференциальном виде, получим необходимые связи между возможными перемещениями:

$$\delta S_1 = \frac{R+r}{r}\delta S_C = 3\delta S_C;\ \ \delta\varphi_2 = \frac{R+r}{r^2}\delta S_C = \frac{3\delta S_C}{r}.$$

Окончательно уравнение принципа возможных перемещений выражается в виде: $P_3\delta S_C - c\Delta l\delta S_C + M\frac{3\delta S_C}{r} - P_1 3\delta S_C = 0$. Величина уравновешивающего момента $M = \frac{1}{3}mgr$.

Упражнения

Упражнение 6.2. Штамповка деталей осуществляется при помощи рычажного пресса (рис. 6.17). Найти соотношение между силой F, приложенной к внешнему рычагу, и силой Q, сжимающей деталь A вдоль центральной оси.

Длины рычагов a, b, c, d показаны на рис. 6.17.

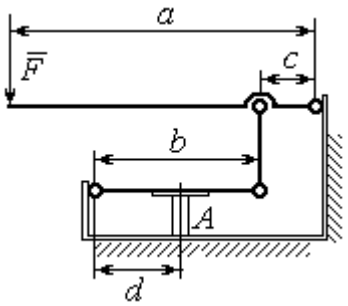


Рис. 6.17. Рычажный пресс

Упражнение 6.3. Конструкция состоит из двух валов, находящихся во внешнем зацеплении, и двух грузов, удерживающихся нитями, намотанными валы (рис. 6.18).

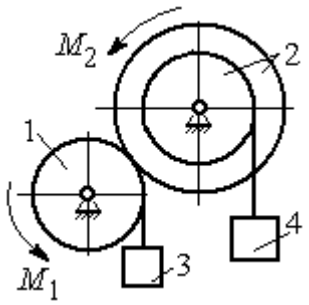


Рис. 6.18. Схема уравновешивания валов

Радиус вала 1 $R_1 = r$. Вал 2 состоит из двух барабанов, жестко скреплённых на одной оси. Радиусы барабанов: $R_2 = 3r$, $r_2 = r$.

Найти величину уравновешивающего момента M_2, приложенного к валу 2, если к валу 1 приложена пара сил с моментом $M_1 = 2Pr$, а грузы 3 и 4 одинакового веса P.

6.3. Общее уравнение динамики

При движении механической системы с идеальными связями в каждый момент времени сумма элементарных работ активных сил и сил инерции на любом возможном перемещении равна нулю:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0,$$

где $\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}})$, $\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}})$ – элементарные работы активных сил и сил инерции, приложенных к точкам системы на её возможном перемещении.

При вычислении элементарных работ активных сил и сил инерции используют обычные формулы для вычисления работы сил на элементарном перемещении точек их приложения.

Примеры решения задач на применение общего уравнения динамики

Задача 68. Механическая система включает груз 1, ступенчатый диск 2 (каток), катящийся ступенькой по неподвижному рельсу, и однородный диск 3 (блок), вращающийся вокруг неподвижной оси, соединённых нерастяжимыми нитями (рис. 6.19). Качение ступенчатого диска происходит без скольжения. К грузу 1 приложена сила $\vec{F}$ под углом 30° к горизонтальному направлению движения груза. К блоку 3 приложена пара сил с моментом M. Найти закон движения центра масс катка 2 и реакцию шарнира блока 3 в момент времени t = 1 с, если P_1 = 10 Н; P_2 = 20 Н; P_3 = 15 Н; $F = 5(t+1)$ Н; $M = 3(1+2t)$ Н·м; R_2 = 0,8 м; r_2 = 0,2 м; R_3 = 0,4 м; момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, i_{2C} = 0,6 м.

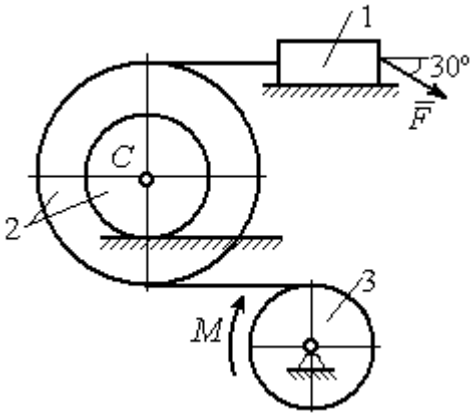


Рис. 6.19. Схема движения механической системы

Решение

В рассматриваемой механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, сила $\vec{F}$ и пара сил с моментом M (рис. 6.20).

Реакциями связей являются нормальные реакции опор: $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$, сила сцепления катка 2 с неподвижной поверхностью $\vec{F}_{\text{сц}}$ и реакция шарнира O блока 3 (на рис. 6.20 реакция показана в виде разложения на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$). Связи идеальные, так как скольжение груза 1 происходит по гладкой поверхности, качение диска 2 без проскальзывания, а ось вращения блока 3 неподвижна.

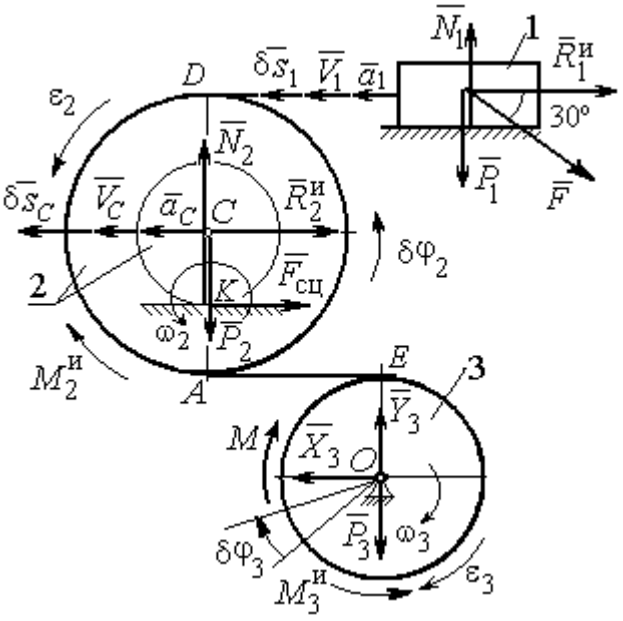


Рис. 6.20. Расчётная схема исследования движения механической системы

Предположим, система движется так, что блок 3 вращается с угловой скоростью ω_3 и угловым ускорением ε_3 в направлении поворота, создаваемого моментом M. Соответствующие направления скорости $\vec{V}_C$ и ускорения $\vec{a}_C$ центра масс катка 2, его угловой скорости ω_2 и ускорения ε_2, а также направление скорости $\vec{V}_1$ и ускорения $\vec{a}_1$ груза 1 показаны на рис. 6.20.

Присоединим к телам системы силы инерции. Главные векторы $\vec{R}_1^{\text{и}}$, $\vec{R}_2^{\text{и}}$ сил инерции груза 1 и катка 2 приложены в центрах масс груза и катка и направлены в сторону, противоположную ускорениям $\vec{a}_1$ и $\vec{a}_C$. Главные моменты $\vec{M}_2^{\text{и}}$, $\vec{M}_3^{\text{и}}$ сил инерции катка 2 и блока 3 направлены в сторону, противоположную угловым ускорениям ε_2 и ε_3.

Главные векторы и главные моменты сил инерции показаны на рис. 6.20.

Для механической системы с идеальными связями общее уравнение динамики имеет вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0 .$$

Угловая скорость катка 2 $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK} = \dfrac{V_C}{r_2}$. Здесь учтено, что в точке K находится мгновенный центр скоростей катка (см. рис. 6.20). Скорость точки E блока 3 равна скорости точки A катка 2 (см. рис. 6.20):

$$V_E = V_A = \omega_2 \cdot AK = \omega_2 (R_2 - r_2) = V_C \frac{R_2 - r_2}{r_2} .$$

Угловая скорость блока 3 $\omega_3 = \dfrac{V_E}{R_3} = V_C \dfrac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}$.

Скорость груза 1 равна скорости точки D катка 2:

$$V_1 = V_D = \omega_2 \cdot DK = \omega_2 (R_2 + r_2) = V_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2} .$$

Соотношения между ускорениями определяются путем дифференцирования установленных кинематических равенств:

$$a_1 = a_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \quad \varepsilon_2 = \frac{a_C}{r_2}, \quad \varepsilon_3 = a_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} .$$

Если выразить скоростные кинематические соотношения в дифференциальном виде, то, полагая действительное перемещение возможным (т. е. $ds = \delta s$, $d\varphi = \delta\varphi$), получим соотношения между перемещениями:

$$\delta s_1 = \delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \ \delta\varphi_2 = \frac{\delta s_C}{r_2}, \ \delta\varphi_3 = \delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} .$$

Найдем элементарные работы активных сил.

Работы сил тяжести груза 1 и катка 2 равны нулю, так как перемещения точек приложения сил перпендикулярны векторам сил.

Работа силы тяжести блока 3 также равна нулю, поскольку точка прило-

жения силы тяжести блока 3 не перемещается:

$$\delta A(\vec{P}_1) = P_1 \delta s_1 \cos 90^\circ = 0;\ \ \delta A(\vec{P}_2) = P_2 \delta s_C \cos 90^\circ = 0;\ \delta A(\vec{P}_3) = 0.$$

Работу совершают только пара сил с моментом M и сила $\vec{F}$:

$$\delta A(\vec{M}) = M\delta\varphi_3 = M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2};$$

$$\delta A(\vec{F}) = F\delta s_1 \cos 150^\circ = -F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}\cos 30^\circ.$$

В результате сумма элементарных работ активных сил:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = \delta A(\vec{M}) + \delta A(\vec{F}) =$$

$$= M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} - F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}\cos 30^\circ = (0{,}85 + 23{,}35t)\delta s_C.$$

Определим модули главных векторов и главных моментов сил инерции:

$$R_1^{\text{и}} = m_1 a_1 = \frac{P_1}{g}\frac{(R_2 + r_2)}{r_2} a_C,\ \ R_2^{\text{и}} = m_2 a_C = \frac{P_2 a_C}{g};$$

$$M_2^{\text{и}} = J_{2C}\varepsilon_2 = \frac{P_2}{g} i_{2C}^2 \frac{a_C}{r_2};$$

$$M_3^{\text{и}} = J_{3O}\varepsilon_3 = \frac{P_3 R_3}{2g}\frac{(R_2 - r_2)}{r_2} a_C,$$

где J_{2C} – момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$; i_{2C} – радиус инерции катка; J_{3O} – осевой момент инерции блока 3, $J_{3O} = \frac{m_3 R_3^2}{2}$.

Найдем элементарные работы сил инерции:

$$\delta A(\vec{R}_1^{\text{и}}) = -R_1^{\text{и}}\delta s_1 = -\frac{P_1 (R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{R}_2^{\text{и}}) = -R_2^{\text{и}}\delta s_C = -\frac{P_2 a_C}{g}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{M}_2^{\text{и}}) = -M_2^{\text{и}}\delta\varphi_2 = -\frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{M}_3^{\text{и}}) = -M_3^{\text{и}}\delta\varphi_3 = -\frac{P_3(R_2 - r_2)^2 a_C}{2 g r_2^2}\delta s_C.$$

Сумма элементарных работ сил инерции:

$$\sum\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = -\frac{P_1(R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C - \frac{P_2 a_C}{g}\delta s_C - \frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C -$$

$$-\frac{P_3(R_2 - r_2)^2 a_C}{2 g r_2^2}\delta s_C = -52{,}75\, a_C \delta s_C, \text{ где } g = 9{,}81 \text{ м/с}^2.$$

С учетом проделанных вычислений общее уравнение динамики принимает вид: $\sum\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = (0{,}85 + 23{,}35t)\delta s_C - 52{,}75\, a_C \delta s_C = 0$, откуда найдём ускорение центра масс катка 2 как функцию времени:

$$a_C(t) = 0{,}02 + 0{,}45t.$$

Представляя ускорение a_C в виде второй производной координаты движения центра масс $a_C = \ddot{s}_C$, получим дифференциальное уравнение $\ddot{s}_C = 0{,}02 + 0{,}45t$. Дважды проинтегрировав это уравнение с нулевыми начальными условиями, найдём закон движения центра масс:

$$s_C = 0{,}01t^2 + 0{,}075t^3.$$

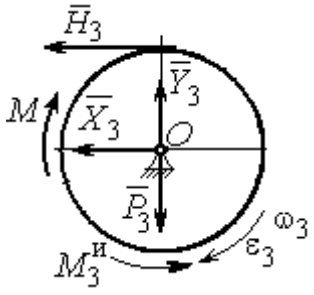


Рис. 6.21. Вращение блока 3

Рассмотрим вращательное движение блока 3, освободив его от связей. На блок действуют сила тяжести $\vec{P}_3$, реакция подшипника, разложенная на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, пара сил с моментом M и реакция нити $\vec{H}_3$ (рис. 6.21). Присоединим к блоку 3 силы инерции. При вращательном движении блока вокруг оси, проходящей через центр масс, главный вектор сил инерции равен ну-

лю. Главный момент сил инерции $M_3^{\text{и}}$ направлен в сторону, противоположную угловому ускорению блока 3.

По принципу Даламбера система сил, приложенных к блоку 3, включая силы инерции, находится в равновесии. Составим уравнение равновесия в виде равенства нулю суммарного момента всех сил относительно оси вращения: $M - H_3 R_3 - M_3^{\text{и}} = 0$, откуда найдём реакцию нити: $H_3 = \dfrac{M}{R_3} - \dfrac{M_3^{\text{и}}}{R_3}$. Подставляя в уравнение величину модуля главного момента сил инерции блока 3 $M_3^{\text{и}}(1) = 0{,}7$ Н·м и значение момента, приложенного к блоку 3, в момент времени $t = 1$ с, $M(1) = 9$ Н·м найдём реакцию нити $H_3(1) = 20{,}75$ Н.

Уравнения равновесия, составленные в виде проекций сил на вертикальную и горизонтальную оси (см. рис. 6.21), имеют вид:

$$X_3 + H_3 = 0,\ Y_3 - P_3 = 0.$$

Составляющие реакции шарнира блока 3 в момент времени $t = 1$ с: $X_3 = -20{,}75$ Н, $Y_3 = 15$ Н. Полная реакция шарнира $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2} = 25{,}6$ Н.

Задача 69. Груз 2 весом P_2, поднимаемый лебёдкой (рис. 6 22), подвешен в центре подвижного блока 3 весом P_3. Нерастяжимая нить одним концом прицеплена к грузу 1 весом P_1, лежащему на наклонной плоскости. Другой конец, переброшенный через невесомый блок B, охватывает снизу подвижный блок 3 радиуса r и закреплён в вертикальном положении. К грузу 1 приложена сила $\vec{F}$, направленная вдоль наклонной плоскости.

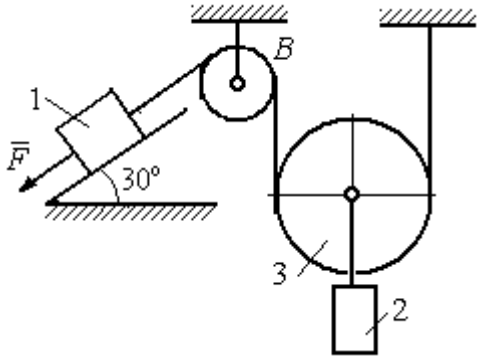


Рис. 6.22. Схема подъёмного устройства

Найти закон движения поднимаемого груза, если $P_1 = P_3 = P$, $P_2 = 3P$, $F = 2P$ и движение началось из состояния покоя.

Решение

Применим к решению задачи общее уравнение динамики. В данной механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и сила $\vec{F}$ (рис. 6.23). Реакциями связей являются реакция шарнира блока *B* и реакция опоры груза 1 (на рис. 6.23 не показаны). Связи идеальные, так как работа реакций связей равна нулю.

Предположим, груз 1 спускается вниз по наклонной плоскости с ускорением a_1. Приложим к телам системы силы инерции. Главные вектора сил инерции $\vec{R}_1^{\text{ин}}$ и $\vec{R}_2^{\text{ин}}$ грузов 1 и 2, движущихся поступательно, приложены в центрах масс грузов и направлены противоположно векторам ускорений тел. Главный вектор $\vec{R}_3^{\text{ин}}$ сил инерции блока 3 приложен в центре масс блока 3 и направлен противоположно вектору ускорения его центра масс. Главный момент сил инерции $M_3^{\text{ин}}$ относительно оси, проходящей через центр масс блока 3 перпендикулярно плоскости движения, направлен в сторону, противоположную направлению углового ускорения блока 3, совпадающего с направлением углового движения. Направления главных векторов и главного момента сил инерции тел показаны на рис. 6.23.

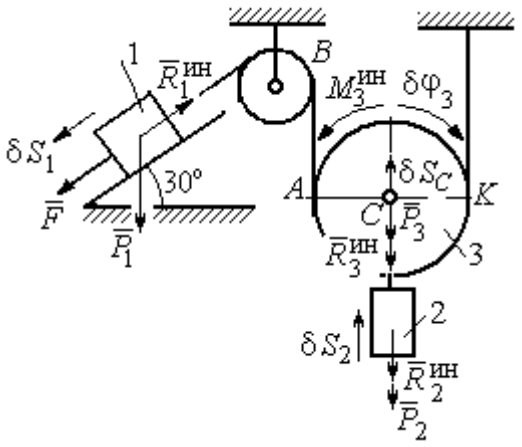


Рис.6.23. Активные силы и силы инерции, приложенные к системе

Дадим системе возможное перемещение, при котором груз 1 спустился вниз по наклонной плоскости на расстояние δS_1. В соответствии с приложенными в системе связями центр масс подвижного блока 2 и груз 2 переместились вверх на высоту δS_C, а сам блок повернулся на угол $\delta\varphi_3$ (см. рис. 6.23).

Составим общее уравнение динамики $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0$. Получим

$$F\delta S_1 + P_1 \delta S_1 \cos 60° - P_2 \delta S_2 - P_3 \delta S_C -$$

$$- R_1^{\text{ин}} \delta S_1 - R_2^{\text{ин}} \delta S_C - R_3^{\text{ин}} \delta S_C - M_3^{\text{ин}} \delta \varphi_3 = 0,$$

где модули сил инерции $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$, $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$, $R_3^{\text{ин}} = m_3 a_C$, $M_3^{\text{ин}} = \dfrac{m_3 r^2}{2} \varepsilon_3$.

Выразим перемещение δS_2 и ускорение a_2 груза 2, а также поворот $\delta \varphi_3$ и угловое ускорение ε_3 подвижного блока 3 через перемещение δS_1 и ускорение a_1 груза 1.

Угловая скорость блока 3 $\omega_3 = \dfrac{V_A}{AK} = \dfrac{V_1}{2r}$. Здесь учтено, что точка K блока 3 является его мгновенным центром скоростей. Тогда, элементарный поворот блока $\delta \varphi_3 = \dfrac{\delta S_1}{2r}$, а его угловое ускорение $\varepsilon_3 = \dfrac{a_1}{2r}$.

Скорость центра масс блока 3 и скорость груза 2: $V_2 = V_C = \dfrac{V_1}{2}$. Из этого равенства следует, что: $\delta S_2 = \delta S_C = \dfrac{\delta S_1}{2}$, $a_2 = a_C = \dfrac{a_1}{2}$.

Подставляя найденные соотношения в общее уравнение динамики с учётом данных задачи, окончательно получим уравнение: $\dfrac{1}{2} P \delta S_1 = \dfrac{17}{8g} P a_1 \delta S_1$. Отсюда $a_1 = \dfrac{4}{17} g = 0{,}23g$. Ускорение груза 2, $a_2 = \dfrac{a_1}{2} = 0{,}12g$.

Представим ускорение груза 2 в виде второй производной координаты его движения. Получим дифференциальное уравнение: $\ddot{S}_2 = 0{,}12g$. Дважды проинтегрировав его с нулевыми начальными условиями, найдём закон движения груза: $S_2 = 0{,}06gt^2$.

Задача 70. Грузы 1 и 2 весом $P_1 = 20$ Н и $P_2 = 30$ Н привязаны к нерастяжимой нити. Нить переброшена через неподвижные блоки B и D и охватывает снизу подвижный блок 3 весом $P_3 = 40$ Н (рис. 6.24). Определить ускорения грузов 1 и 2 и центра масс блока 3. Весом неподвижных блоков B и D пренебречь.

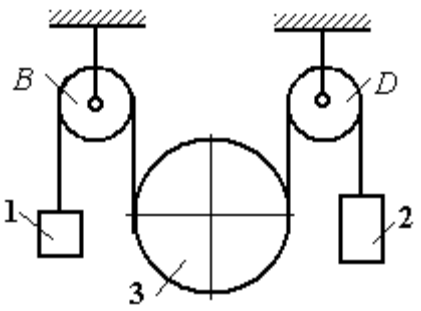


Рис. 6.24. Механическая система с двумя степенями свободы

Решение

В данной механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ (рис. 6.25), а реакциями связей – реакции шарниров блоков B и D. Связи идеальные, так как оси вращения блоков B и D неподвижны.

Применим к решению задачи общее уравнение динамики. Система имеет две степени свободы. В этом случае общее уравнение динамики необходимо составлять для каждого из независимых перемещений.

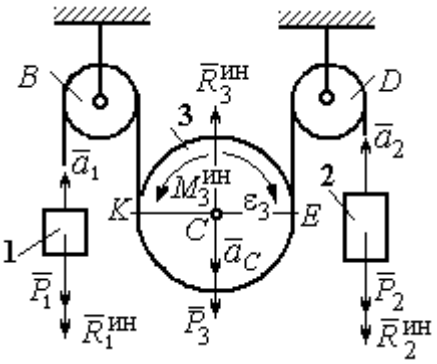


Рис.6.25. Активные силы и силы инерции, приложенные к системе

Предположим, система движется так, что оба груза 1 и 2 равноускоренно перемещаются вверх. Скорости грузов $\vec{V}_1$, $\vec{V}_2$, ускорения – $\vec{a}_1$ и $\vec{a}_2$. Блок 3 опускается вниз с ускорением центра $\vec{a}_C$, вращается и имеет угловое ускорение ε_3, направленное по ходу часовой стрелки (см. рис. 6.25).

Приложим к телам системы силы инерции (см. рис. 6.25). Модули сил инерции: $R_1^{ин} = m_1 a_1$, $R_2^{ин} = m_2 a_2$, $R_3^{ин} = m_3 a_C$. Главный момент сил инерции блока 3 $M_3^{ин} = J_{3C}\varepsilon_3$, где осевой момент инерции $J_{3C} = \dfrac{m_3 r^2}{2}$. Направления векторов сил и моментов сил инерции показаны на рис. 6.25.

Для вычисления углового ускорения блока 3 воспользуемся векторным представлением ускорения точки при плоскопараллельном движении тела. Выберем точку K за полюс. Ускорение точки E определяется равенством $\vec{a}_E = \vec{a}_K + \vec{a}^{\,n}_{EK} + \vec{a}^{\,\tau}_{EK}$, где $\vec{a}_K$ – ускорение полюса K; $\vec{a}^{\,n}_{EK}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{EK}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки E при вращении блока 3 вокруг полюса K (рис. 6.26). Спроектируем векторное равенство на вертикальную ось $E\tau$. Получим: $a_{E\tau} = a_{K\tau} + a^{\tau}_{EK}$, где $a_{E\tau}$ и $a_{K\tau}$ – проекции ускорений точек E и K на вертикальную ось.

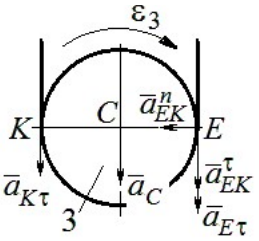


Рис. 6.26. Схема вычисления углового ускорения блока 3

Поскольку модуль ускорения точки K нити равен модулю ускорения груза 1, то $a_{K\tau} = a_1$. Модуль ускорения точки E нити равен модулю ускорения груза 2 и $a_{E\tau} = a_2$. Так как $a^{\tau}_{EK} = \varepsilon_3 AK = \varepsilon_3 2r$, то $\varepsilon_3 = \dfrac{a_{E\tau} - a_{K\tau}}{2r} = \dfrac{a_2 - a_1}{2r}$.

Составляя такое же векторное уравнение для определения ускорения центра масс блока 3 (точки C) и проектируя его на вертикальную ось, найдём:

$$a_C = a_{K\tau} + a^{\tau}_{CK} = a_1 + \varepsilon_3 r = \frac{a_2 + a_1}{2}.$$

Выберем в качестве независимых координат s_1, s_2 – положения грузов 1 и 2, отсчитываемые от неподвижных осей вращения блоков B и D. Возможные перемещения грузов обозначим δs_1 и δs_2.

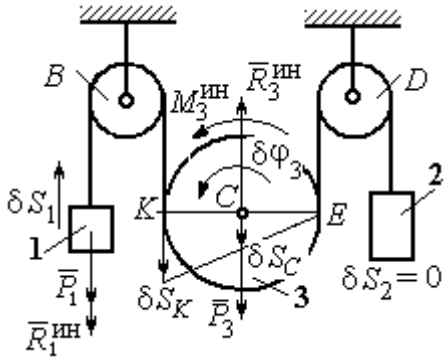


Рис.6.27. Движение системы при перемещении груза 1.

Дадим системе возможное перемещение, при котором груз 1 поднимается вверх на расстояние δs_1, а груз 2 – неподвижен. При таком движении нить, соединяющая груз 2 с блоком 3, неподвижна вплоть до точки E (рис. 6.27).

Вращение блока 3 происходит против направления хода часовой стрелки. Точка E является мгновенным центром скоростей блока 3, и угловая скорость блока $\omega_3 = \dfrac{V_K}{2r} = \dfrac{V_1}{2r}$. Скорость центра масс блока $V_C = \dfrac{1}{2}V_1$. Тогда элементарный поворот блока 3 $\delta\varphi_3 = \dfrac{\delta s_1}{2r}$ и элементарное перемещения центра масс $\delta s_C = \dfrac{1}{2}\delta s_1$.

На данном возможном перемещении работу совершают как активные силы – силы тяжести $\vec{P}_1$ и $\vec{P}_3$ груза 1 и блока 3, так и силы инерции – $\vec{R}_1^{\text{ин}}$, $\vec{R}_3^{\text{ин}}$ и пара сил инерции с моментом $M_3^{\text{ин}}$.

Составим общее уравнение динамики:

$$\sum \delta A\left(\vec{F}_k^{\text{акт}}\right) + \sum \delta A\left(\vec{R}_k^{\text{ин}}\right) = -P_1\delta s_1 + P_3\delta s_C - R_1^{\text{ин}}\delta s_1 - R_3^{\text{ин}}\delta s_C + M_3^{\text{ин}}\delta\varphi_3 = 0.$$

Здесь работа сил инерции

$$R_1^{\text{ин}}\delta s_1 = m_1 a_1 \delta s_1, \quad R_3^{\text{ин}}\delta s_C = m_3 a_C \delta s_C = \frac{P_3}{g}\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}\delta s_1;$$

$$M_3^{\text{ин}}\delta\varphi_3 = J_{3C}\varepsilon_3\delta\varphi_3 = \frac{P_3 r^2}{2g}\cdot\frac{a_2 - a_1}{2r}\cdot\frac{\delta s_1}{2r}.$$

В результате общее уравнение динамики представляется выражением

$$-P_1\delta s_1 + \frac{1}{2}P_3\delta s_1 - \frac{P_1}{g}a_1\delta s_1 - \frac{P_3}{g}\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}\delta s_1 + \frac{P_3 r^2}{2g}\cdot\frac{a_2 - a_1}{2r}\cdot\frac{\delta s_1}{2r} = 0,$$

которое преобразуется к виду:

$$(3P_3 + 8P_1)a_1 + P_3 a_2 = (4P_3 - 8P_1)g.$$

Дадим системе другое независимое возможное перемещение, при котором груз 2 движется вверх ($\delta s_2 \neq 0$), а груз 1 неподвижен ($\delta s_1 = 0$).

При этом перемещении нить, соединяющая груз 1 и блок 3 неподвижна вплоть до точки K (рис. 6.28). Вращение блока 3 происходит по направлению хода часовой стрелки. Точка K является мгновенным центром скоростей бло-

ка 3. Тогда $\omega_3 = \frac{V_E}{2r} = \frac{V_2}{2r}$ и скорость центра масс блока $V_C = \frac{1}{2}V_2$. Элементарный поворот блока 3 $\delta\varphi_3 = \frac{\delta s_2}{2r}$ и перемещение центра масс $\delta s_C = \delta s_E = \frac{1}{2}\delta s_2$.

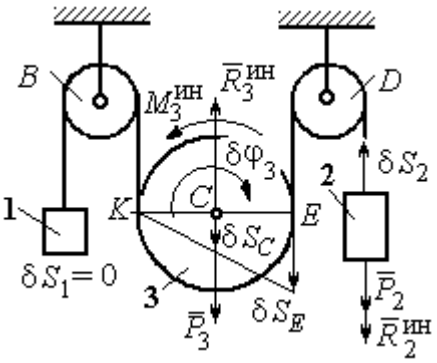


Рис. 6.28. Движение системы при перемещении груза 2

При таком движении работу совершают силы тяжести $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$, силы инерции $\vec{R}_2^{ин}$, $\vec{R}_3^{ин}$ и пара сил с моментом $M_3^{ин}$.

Составим общее уравнение динамики на возможном перемещении δs_2 (см. рис. 6.28):

$$-P_2\delta s_2 - R_2^{ин}\delta s_2 + P_3\delta s_C - R_3^{ин}\delta s_C - M_3^{ин}\delta\varphi_3 = 0,$$

которое преобразуется к виду

$$-P_2\delta s_2 - \frac{P_2}{g}a_2\delta s_2 + \frac{1}{2}P_3\delta s_2 - \frac{P_3}{g}\left(\frac{a_1+a_2}{2}\right)\frac{1}{2}\delta s_2 - \frac{P_3 r^2}{2g}\left(\frac{a_2-a_1}{2r}\right)\frac{\delta s_2}{2r} = 0$$

или к виду

$$(8P_2 + 3P_3)a_2 + P_3 a_1 = (4P_3 - 8P_2)g.$$

Подставляя данные задачи в оба уравнения динамики, соответствующие независимым перемещениям δs_1 и δs_2, получим систему уравнений:

$$7a_1 + a_2 = 0, \quad 2g + 9a_2 + a_1 = 0.$$

Решение системы: $a_1 = \frac{1}{31}g$, $a_2 = -\frac{7}{31}g$ представляет ускорения грузов 1 и 2. Ускорение центра масс блока 3 находится по формуле $a_C = \frac{a_1 + a_2}{2} = -\frac{3}{31}g$.

Знаки ускорений определяют направления движений тел: груз 1 движется в выбранном направлении – вверх, груз 2 – вниз, центр блока 3 – вверх.

Упражнения

Упражнение 6.4. В механической системе (рис. 6.29) блок 1 радиуса r и каток 2 соединены горизонтальным невесомым стержнем. Скольжение между стержнем и катками отсутствует. Каток 2 состоит из двух шкивов радиусов r и $R = 2r$, скреплённых на одной оси. Каток катится, опираясь малым шкивом на горизонтальную поверхность, без проскальзывания. Груз 3 представляет собой поршень, двигающийся по горизонтальной поверхности без трения и прикреплённый к центру масс катка 2. К блоку 1 приложена пара сил с переменным моментом $M_{\text{вр}} = mgr\sin\omega t$.

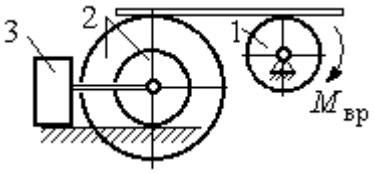


Рис. 6.29. Схема движения механической системы

Найти закон движения поршня 3, если массы грузов $m_1 = m_3 = m$, общая масса катка 2 $m_2 = 2m$, момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, $i_2 = 1{,}5r$. Движение началось из состояния покоя.

Упражнение 6.5. Груз 1, двигаясь горизонтально, приводит в движение ступенчатый барабан 2 посредством нерастяжимой нити, намотанной на его малую ступень (рис. 6.30). К барабану на нитях, намотанных на большую и малую ступеньки, подвешены два груза 3 и 4. На груз 1 действует сила $F = P(t+1)$. Определить закон движения груза 3, если веса грузов одинаковы и равны P, вес барабана 2 равен $2P$, радиусы ступенек барабана r и $2r$, радиус инерции барабана $i_2 = r\sqrt{2}$, и движение началось из состояния покоя.

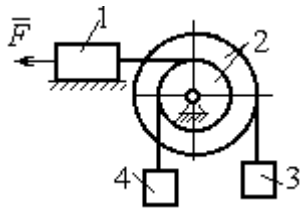


Рис. 6.30. Схема подъёмника

6.4. Уравнения Лагранжа II рода

Обобщенными координатами называется совокупность любых s независимых параметров $q_1, q_2, \ldots, q_S$, однозначно определяющих положение системы в любой момент времени.

Если системе сообщить возможное перемещение, при котором все обобщенные координаты изменятся на элементарные (бесконечно малые) величины $\delta q_1, \delta q_2, \ldots, \delta q_S$, называемые **вариациями обобщенных координат**, то все действующие активные силы совершат элементарную работу, которая может быть представлена в виде: $\delta A = Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \ldots + Q_s \cdot \delta q_s$.

Величина Q_k, $k = 1, 2, \ldots, s$, равная коэффициенту при вариации δq_k обобщенной координаты, называется **обобщенной силой**, соответствующей данной обобщенной координате. Расчет обобщенных сил осуществляется путем последовательного придания системе возможных перемещений, при которых варьируется только одна из обобщенных координат, а вариации остальных координат равны нулю.

Для материальной системы с идеальными связями дифференциальные уравнения движения в обобщенных координатах – **уравнения Лагранжа II рода** – имеют вид: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k$, $k = 1,2,...,s$, где s – число степеней свободы системы; T – кинетическая энергия системы; $q_1, q_2, \ldots, q_s$ – обобщенные координаты; $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \ldots, \dot{q}_s$ – обобщенные скорости.

Примеры решения задач на составление уравнений Лагранжа

Задача 71. В механизме домкрата (рис. 6.31) движение зубчатого колеса 1 передаётся шестерне 2, к которой соосно прикреплено зубчатое колесо 3, имеющее зацепление с зубчатой рейкой 4, на которой поднимается груз 5 массы m_5 = 50 кг.

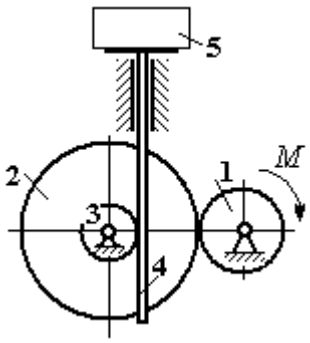


Рис. 6.31. Схема механизма домкрата

Радиусы зубчатых колёс r_1 = 5 см, r_2 = 12 см, r_3 = 6 см. Зубчатые колёса считать сплошными однородными дисками. Массы колёс m_1 = 0,8 кг, m_2 = 1,6 кг, m_3 = 0,6 кг, масса зубчатой рейки m_4 = 1 кг.

Какой величины постоянный вращающий момент нужно приложить к колесу 1 для того, чтобы в момент времени $t = 2$ с груз 5 имел скорость V_5 = 1 м/с, если движение системы начинается из состояния покоя.

Решение

Домкрат является механической системой с одной степенью свободы. Выберем в качестве обобщённой координаты координату *x*, отмечающую положение груза 5 (рис. 6.32).

Уравнение Лагранжа для обобщённой координаты *x* имеет вид: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right)-\frac{\partial T}{\partial x}=Q_x$, где T – кинетическая энергия системы; $\dot{x}$ – обобщённая скорость; Q_x – обобщённая сила.

Кинетическая энергия колеса 1: $T_1=\frac{J_1\omega_1^2}{2}$, где ω_1 – угловая скорость колеса 1; J_1 – момент инерции колеса, $J_1=\frac{m_1 r_1^2}{2}$.

Кинетические энергии шестерни 2 и зубчатого колеса 3, у которых угловые скорости одинаковы, соответственно: $T_2=\frac{J_2\omega_2^2}{2}$, $T_3=\frac{J_3\omega_2^2}{2}$, где ω_2 – угловая скорость шестерни 2; J_2, J_3 – моменты инерции шестерни 2 и зубчатого колеса 3 относительно оси, проходящей через общий центр масс, $J_2=\frac{m_2 r_2^2}{2}$, $J_3=\frac{m_3 r_3^2}{2}$. Скорость груза 5 равна скорости зубчатой линейки $V_5=V_4$. Кинетическая энергия зубчатой линейки 4 и груза 5: $T_4=\frac{m_4 V_4^2}{2}$, $T_5=\frac{m_5 V_4^2}{2}$.

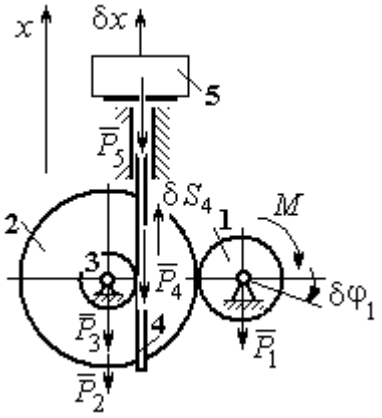


Рис. 6.32. Возможные перемещения звеньев механизма

Выразим угловые скорости колёс через скорость груза (зубчатой линейки).

Имеем: $\omega_2 = \omega_3 = \dfrac{V_4}{r_3}$ (см. рис. 6.32). Кроме того, из равенства $\omega_2 r_2 = \omega_1 r_1$ следует $\omega_1 = \dfrac{\omega_2 r_2}{r_1} = \dfrac{V_4 r_2}{r_1 r_3}$.

Подставляя полученные соотношения в выражения кинетических энергий тел и с учётом данных задачи, получим кинетическую энергию системы:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 =$$

$$= \frac{m_1 r_1^2}{4}\left(\frac{V_4 r_2}{r_1 r_3}\right)^2 + \frac{m_2 r_2^2}{4}\left(\frac{V_4}{r_3}\right)^2 + \frac{m_3 r_3^2}{4}\left(\frac{V_4}{r_3}\right)^2 + \frac{m_4 V_4^2}{2} + \frac{m_5 V_4^2}{2} =$$

$$= \left[\frac{m_1 + m_2}{2}\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 + \frac{m_3}{2} + m_4 + m_5\right]\frac{V_4^2}{2} = 28{,}05\, V_4^2 = 28{,}05\, \dot{x}^2 .$$

Вычислим обобщённую силу.

Дадим возможное перемещение δx грузу 5. При этом линейка 4 переместится на расстояние δs_4, а зубчатое колесо 1 повернётся на угол $\delta\varphi_1$. Найдём сумму работ всех сил, приложенных к системе, на этом возможном перемещении. Получим: $\delta A = -P_5 \delta x - P_4 \delta s_4 + M \delta\varphi_1$. Работа сил тяжести зубчатых колёс $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$ равна нулю, так как точки приложения этих сил неподвижны.

Из ранее полученных скоростных соотношений следуют равенства перемещений: $\delta s_4 = \delta x$, $\delta\varphi_1 = \dfrac{r_2}{r_1 r_3}\delta x$. В результате сумма работ сил на возможном перемещении системы выражается в виде $\delta A = \left(-m_5 g - m_4 g + M\dfrac{r_2}{r_1 r_3}\right)\delta x$. Отсюда обобщённая сила Q_x, соответствующая координате x: $Q_x = -(m_5 + m_4)g + M\dfrac{r_2}{r_1 r_3} = -500{,}31 + 40M$.

Составим уравнение Лагранжа.

С учётом, что $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) = 56{,}1\,\ddot{x}$ и $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$, дифференциальное уравнение движения имеет вид: $56{,}1\,\ddot{x} = -500{,}31+40M$ или $\ddot{x} = -8{,}92+0{,}71M$.

Интегрируя это уравнение с нулевыми начальными условиями, получим закон изменения скорости груза 5: $V_5 = \dot{x} = (-8{,}92+0{,}71M)t$.

По условию задачи при $t = 2$ с $V_5 = 1$ м/с. Подставляя эти данные в уравнение, получим: $M = 13{,}27$ Н·м.

Задача 72. Механическая система состоит из ступенчатого блока 2, катка 3, соединённых невесомым брусом 1, и невесомой пружины жесткостью c. Радиусы ступеней блока r и $R = 1{,}5r$, радиус катка 3 равен r. Брус, лежащий на катке 3 и блоке 2, во время движения остаётся параллельным линии качения катка 3 (рис. 6.33). В центре катка 3 приложена сила $\vec{F}$, направленная вверх параллельно наклонной плоскости, а к блоку 2 – пара сил с моментом M. Качение катка по неподвижной поверхности без скольжения. Проскальзывание между брусом 1 и дисками отсутствует. Передача движения пружины блоку 2 производится посредством невесомого жесткого вертикального стержня, прижатого к малой ступеньке блока без скольжения. Радиус инерции блока 2 относительно оси вращения $i_z = r\sqrt{2}$. Веса тел: $P_3 = P$, $P_2 = 2P$, приложенная сила $F = 2P$, момент $M = Pr$, жесткость пружины $c = P/r$.

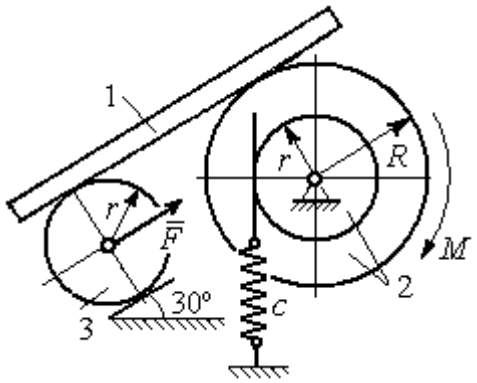


Рис. 6.33. Механическая система с одной степенью свободы

Определить закон угловых колебаний блока 2 при $P = 10$ Н, $r = 0{,}2$ м, если в начальный момент пружина находилась в нерастянутом состоянии, а блоку 2 придали угловую скорость $\omega_0 = 0{,}5$ рад/с в сторону вращения, создаваемого заданным моментом.

Решение

Рассматриваемая механическая система (рис. 6.34) имеет одну степень свободы. В качестве обобщённой координаты q выберем перемещение x верхнего края пружины, отсчитываемого от уровня недеформируемой пружины (см. рис. 6.34). Обобщённая скорость $\dot{q} = \dot{x}$.

Уравнение Лагранжа II рода, описывающее движение системы, имеет вид $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x$, где T – кинетическая энергия системы; Q_x – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате x.

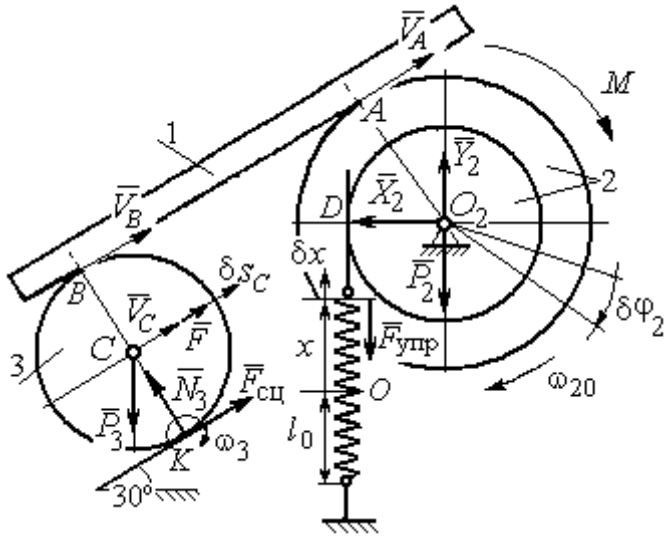


Рис. 6.34 Расчётная схема колебаний механической системы с одной степенью свободы

Вычислим кинетическую энергию системы. Энергия вращательного движения блока 2: $T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2$, где ω_2 – угловая скорость блока; J_{2z} – момент инерции блока 2 относительно оси z, $J_{2z} = m_2 i_z^2$. Каток 3 совершает плоскопараллельное движение. Его кинетическая энергия $T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2$, где V_C, ω_3 – скорость центра масс катка 3 и его угловая скорость; J_{zC} – момент инерции катка относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{zC} = \frac{1}{2} m_3 r^2$; r – радиус катка.

Выразим угловые скорости ω_2, ω_3, а также скорость V_C через обобщённую скорость $\dot{x}$.

Заметим, что скорость точки D блока 2 равна скорости движения верхнего края пружины: $V_D = \dot{x}$ (см. рис. 6.34). Угловая скорость блока 2: $\omega_2 = \dfrac{V_D}{r} = \dfrac{\dot{x}}{r}$. Скорость точки A блока 2: $V_A = \omega_2 R = \dfrac{\dot{x}R}{r}$.

Так как брус совершает поступательное движение, то скорости точек A и B равны: $V_B = V_A$. Угловая скорость катка 3 (точка K касания катка 3 с неподвижной поверхностью является его мгновенным центром скоростей): $\omega_3 = \dfrac{V_B}{2r} = \dfrac{V_A}{2r} = \dfrac{\dot{x}R}{2r^2}$. Скорость центра катка 3: $V_C = \dfrac{V_B}{2} = \dfrac{\dot{x}R}{2r}$.

Подставляя найденные кинематические соотношения с учётом исходных данных задачи, получим кинетическую энергию тел системы:

$$T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2P}{g} \left(r\sqrt{2}\right)^2 \left(\frac{\dot{x}}{r}\right)^2 = \frac{2P}{g} \dot{x}^2;$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2 = \frac{1}{2} \frac{P}{g} \left(\frac{\dot{x}R}{2r}\right)^2 + \frac{1}{2} \frac{Pr^2}{2g} \left(\frac{\dot{x}R}{2r^2}\right)^2 = \frac{3P}{4g} \left(\frac{R}{2r}\right)^2 \dot{x}^2.$$

Полная кинетическая энергия системы:

$$T = T_2 + T_3 = \frac{P}{g} \left(2 + \frac{3}{4} \left(\frac{R}{2r}\right)^2\right) \dot{x}^2.$$

Найдём обобщённую силу. Произвольное положение системы определяется обобщённой координатой x, показывающей растяжение пружины. Дадим пружине в произвольном положении возможное (бесконечно малое) перемещение δx в положительном направлении оси x (см. рис. 6.34). При этом блок 2 повернётся на угол $\delta\varphi_2 = \dfrac{\delta x}{r}$, центр масс катка 3 сдвинется на расстояние $\delta s_C = \dfrac{R}{2r} \delta x$. На заданном перемещении системы работу совершают сила тяжести катка 3, пара сил с моментом M, сила $\vec{F}$ и сила упругости пружины.

Элементарная работа вращающего момента M: $\delta A(M) = M\delta\varphi_2 = M\dfrac{\delta x}{r}$.

Работа силы тяжести катка 3: $\delta A(\vec{P}_3) = P_3\delta s_C\cos 120^\circ = -P_3\dfrac{R}{4r}\delta x$.

Работа силы F: $\delta A(\vec{F}) = F\delta s_C = F\dfrac{R}{2r}\delta x$.

Модуль силы упругости пружины, растянутой из недеформированного положения на расстояние x: $F_{\text{упр}} = cx$. Сила упругости направлена в сторону, противоположную растяжению (см. рис. 6.34). Её работа при перемещении δx вычисляется по формуле $\delta A(\vec{F}_{\text{упр}}) = F_{\text{упр}}\delta x\cos 180° = -cx\delta x$.

Сумма работ сил на рассматриваемом возможном перемещении системы с учётом данных задачи:

$$\delta A = M\frac{\delta x}{r} - P_3\frac{R}{4r}\delta x + F\frac{R}{2r}\delta x - cx\delta x = P\left(\frac{17}{8} - \frac{x}{r}\right)\delta x,$$

откуда обобщённая сила $Q_x = P\left(\dfrac{17}{8} - \dfrac{x}{r}\right)$.

Вычислим необходимые производные кинетической энергии: $\dfrac{d}{dt}\left(\dfrac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) = \dfrac{2P}{g}\left(2 + \dfrac{3}{4}\left(\dfrac{R}{2r}\right)^2\right)\ddot{x}$, $\dfrac{\partial T}{\partial x} = 0$ и, подставляя их в общий вид уравнений Лагранжа, получим дифференциальное уравнение колебаний верхнего края пружины:

$$\frac{2P}{g}\left(2 + \frac{3}{4}\left(\frac{R}{2r}\right)^2\right)\ddot{x} = P\left(\frac{17}{8} - \frac{x}{r}\right), \text{ или } \ddot{x} + 10{,}2x = 4{,}34 \text{ (здесь } g = 9{,}81 \text{ м/с}^2\text{)}.$$

Решение дифференциального уравнения представляется в виде суммы: $x = x_{\text{одн}} + x_{\text{частн}}$. Общее решение однородного уравнения имеет вид $x_{\text{одн}} = C_1\sin kt + C_2\cos kt$, где C_1, C_2 – произвольные постоянные; k – круговая частота собственных колебаний пружины, $k = \sqrt{10{,}2}$ = 3,19 рад/с. Частное ре-

шение неоднородного уравнения ищется в виде константы $x_{\text{част}} = b$. Подставив его в уравнение колебаний, получим: $b = 0{,}42$. Таким образом, общее решение неоднородного уравнения имеет вид $x(t) = C_1 \sin 3{,}19t + C_2 \cos 3{,}19t + 0{,}42$.

Произвольные постоянные C_1, C_2 находятся из начальных условий. По условию задачи в начальный момент пружина была в нерастянутом состоянии. Тогда начальная координата пружины (её верхнего края) $x(0) = 0$. Подставляя значение начальной координаты в общее решение неоднородного уравнения при $t = 0$, получим $C_2 = -0{,}42$. Скорость верхнего края пружины в начальный момент времени $\dot{x}(0)$ равна начальной скорости $V_D(0)$ точки D блока 2. Поскольку в начальный момент времени блоку 2 сообщили угловую скорость $\omega_{20} = 0{,}5$ рад/с, то при $r = 0{,}2$ м $\dot{x}(0) = V_D(0) = \omega_{20} r = 0{,}1$ м/с.

Вычисляем скорость движения края пружины, взяв производную: $\dot{x}(t) = 3{,}19 C_1 \cos 3{,}19t - 3{,}19 C_2 \sin 3{,}19t$. Подставляя начальное значение скорости, получим $C_1 = 0{,}03$.

Окончательно уравнение движения верхнего края пружин: $x(t) = 0{,}03 \sin 3{,}19t - 0{,}42 \cos 3{,}19t + 0{,}42$ м. Уравнение колебательного движения блока 2: $\varphi_2 = \dfrac{x}{r} = 0{,}15 \sin 3{,}19t - 2{,}1 \cos 3{,}19t + 2{,}1$ рад.

Задача 73. Прямоугольная призма 3 весом $2P$ лежит на катке 1 радиуса r и веса P и опирается на невесомый блок 2 (рис. 6.35). Каток 1 катится по неподвижной горизонтальной поверхности без скольжения. По наклонной поверхности призмы скатывается без скольжения каток 4 весом P и радиуса r. Угол наклона поверхности призмы к горизонту составляет

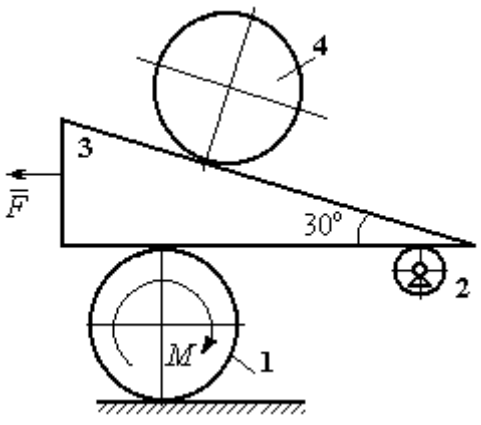


Рис. 6.35. Механическая система с двумя степенями свободы

30º. На каток 1 действует пара сил с постоянным моментом $M = 3Pr$, а на призму 3 – горизонтальная сила $\vec{F}$ с модулем $F = P$. Катки считать однородными дисками. Проскальзывание между катками 1, 4 и призмой отсутствует. В начальный момент система находилась в покое.

Определить закон движения призмы 3 и закон движения катка 4 относительно призмы.

Решение

Рассматриваемая механическая система – катки и призма имеет две степени свободы, так как перемещение катка 4 относительно призмы 3 не зависит от перемещения самой призмы и катка 1. За обобщенные координаты выберем перемещение x_4 центра масс катка 4 относительно края призмы и перемещение x_3 края призмы 3 относительно произвольной неподвижной вертикальной плоскости (рис. 6.36). Обобщенные скорости: $\dot{x}_4$, $\dot{x}_3$.

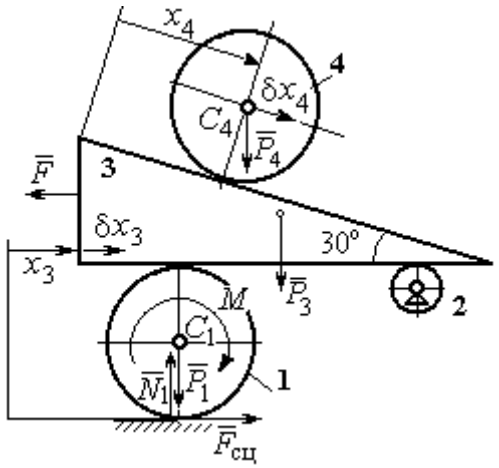


Рис. 6.36. Возможные перемещения механической системы

Уравнения Лагранжа II рода, описывающие движение системы в обобщённых координатах:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_4}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_4} = Q_{x_4};$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_3} = Q_{x_3},$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_{x_4}, Q_{x_3} – обобщенные силы, соответствующие указанным обобщенным координатам.

Вычислим кинетическую энергию тел в системе.

Каток 1 совершает плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия катка $T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_{C_1}^2 + \frac{1}{2} J_{C_1} \omega_1^2$, где V_{C_1} – скорость центра масс катка, $V_{C_1} = \frac{1}{2}\dot{x}_3$; J_{C_1} – момент инерции катка относительно оси, проходящей через центр масс

перпендикулярно плоскости движения, $J_{C_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$; ω_1 – угловая скорость катка 1, $\omega_1 = \frac{\dot{x}_3}{2r}$.

Призма 3 совершает поступательное движение со скоростью $V_3 = \dot{x}_3$. Её кинетическая энергия $T_3 = \frac{m_3 V_3^2}{2} = \frac{m_3 \dot{x}_3^2}{2}$.

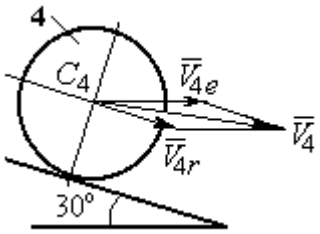


Рис. 6.37. Скорость центра масс катка 4

При расчёте кинетической энергии катка 4 по формуле $T_4 = \frac{1}{2} m_4 V_4^2 + \frac{1}{2} J_{C_4} \omega_4^2$ необходимо учитывать, что каток 4 совершает сложное движение. Здесь относительное движение катка – его качение по наклонной поверхности призмы, переносное – поступательное перемещение вместе с призмой.

Вектор абсолютной скорости центра масс катка 4 $\vec{V}_4$ представляется в виде суммы $\vec{V}_4 = \vec{V}_{4e} + \vec{V}_{4r}$ (рис. 6.37), где $\vec{V}_{4e}$ – вектор переносной скорости катка, равный по модулю скорости призмы: $V_{4e} = \dot{x}_3$; $\vec{V}_{4r}$ – вектор относительной скорости центра масс катка, равный по величине $V_{4r} = \dot{x}_4$. Модуль абсолютной скорости центра масс катка 4 (по теореме косинусов):

$$V_4^2 = V_{4e}^2 + V_{4r}^2 - 2V_{4e}V_{4r}\cos 150^\circ = \dot{x}_3^2 + \dot{x}_4^2 + 2\dot{x}_3\dot{x}_4\cos 30^\circ .$$

Поскольку переносное движение катка 4 поступательное, угловая скорость катка ω_4 равна его угловой скорости в относительном движении $\omega_4 = \frac{V_{4r}}{r} = \frac{\dot{x}_4}{r}$.

В результате выражение кинетической энергии системы, в обобщённых скоростях имеет вид:

$$T = \frac{1}{2} m_1 V_{C_1}^2 + \frac{1}{2} J_{C_1} \omega_1^2 + \frac{1}{2} m_3 V_3^2 + \frac{1}{2} m_4 V_4^2 + \frac{1}{2} J_{C_4} \omega_4^2 =$$

$$= \frac{P}{2g}\left(\frac{27}{8}\dot{x}_3^2 + \frac{3}{2}\dot{x}_4^2 + \dot{x}_3\dot{x}_4\sqrt{3}\right).$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_3, оставляя координату x_4 без изменения: $\delta x_3 > 0, \delta x_4 = 0$. При таком движении системы каток 4 не скатывается по призме, а движется поступательно вместе с ней. В этом случае работа сил тяжести катков 1, 4 и призмы равна нулю, так как нет вертикального перемещения точек приложения этих сил. Работу на этом перемещении будет производить только сила $\vec{F}$ и пара сил с моментом M, приложенная к катку 1. Суммарная элементарная работа

$$\delta A = -F\delta x_3 + M\delta\varphi_1 = \left(-F + \frac{M}{2r}\right)\delta x_3 .$$

Здесь учтено, что элементарный угол поворота катка 1 связан с перемещением призмы соотношением: $\delta\varphi_1 = \frac{\delta x_3}{2r}$. Отсюда обобщённая сила, соответствующая координате x_3: $Q_{x_3} = -F + \frac{M}{2r} = \frac{1}{2}P$.

Дадим системе другое независимое перемещение – по координате x_4, оставляя координату x_3 без изменения: $\delta x_4 > 0, \delta x_3 = 0$. При этом возможном перемещении вся система стоит, кроме катка 4, который скатывается по наклонной поверхности призмы. При таком движении системы работу совершает только сила тяжести катка 4. Выражая элементарную работу $\delta A = P_4\delta x_4\cos 60^\circ = \frac{1}{2}P\delta x_4$, найдём обобщённую силу, соответствующую координате x_4: $Q_{x_4} = \frac{1}{2}P$.

Составим уравнения Лагранжа. С этой целью вычислим необходимые производные кинетической энергии

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right) = \frac{27P}{8g}\ddot{x}_3 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_4;\ \ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_4}\right) = \frac{3P}{2g}\ddot{x}_4 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_3;\ \ \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0,\ \frac{\partial T}{\partial x_4} = 0.$$

Подставляя результаты расчётов в общий вид уравнений Лагранжа, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{27P}{8g}\ddot{x}_3 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_4 = \frac{1}{2}P, \quad \frac{3P}{2g}\ddot{x}_4 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_3 = \frac{1}{2}P$$

или

$$6{,}75\ddot{x}_3 + 1{,}73\ddot{x}_4 = g; \quad 3\ddot{x}_4 + 1{,}73\ddot{x}_3 = g.$$

Решаем данную систему как алгебраическую относительно ускорений $\ddot{x}_3$, $\ddot{x}_4$. Получим: $\ddot{x}_3 = 0{,}07g$, $\ddot{x}_4 = 0{,}29g$.

Интегрируя дважды эти уравнения с нулевыми начальными условиями, получим закон движения призмы ($x_3 = 0{,}035gt^2$) и центра масс катка 4 относительно призмы ($x_4 = 0{,}145gt^2$). Движение призмы и катка 4 относительно призмы происходит в положительном направлении осей.

Задача 74. Механическая система состоит из трёх тел – груза 1, катка 2 и блока 3 (рис. 6.38). Невесомый стержень, соединяющий каток 2 с блоком 3, параллелен горизонтальной плоскости качения катка 2. К центру катка 2 прикреплена горизонтальная пружина, другой конец которой соединён с грузом 1. Коэффициент жесткости пружины *c*. Груз 1 весом P_1 движется без трения по горизонтальной поверхности. Каток 2 весом P_2 катится по горизонтальной поверхности без скольжения. Радиус катка 2 равен *r*. Блок 3 считать однородным диском весом P_3 радиуса *R*. К блоку 3 приложена пара сил с моментом *M*. Движение катка 2 блоку 3 передаётся горизонтальным невесомым стержнем. Скольжение между стержнем и дисками отсутствует. В начальный момент система находилась в покое. При этом груз 1 находился в положении, при котором

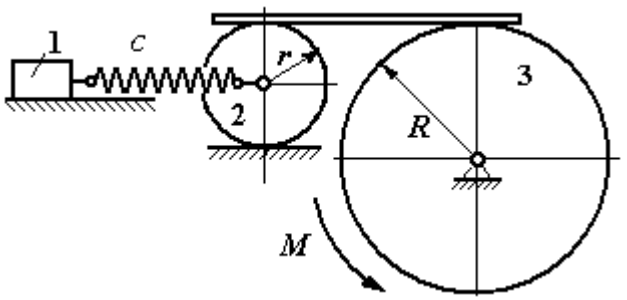


Рис. 6.38. Колебания механической системы с двумя степенями свободы

пружина была растянута относительно своего недеформированного состояния на величину Δl_0.

Найти закон абсолютного движения груза 1, если известно P_1 = 10 Н, P_2 = 20 Н, P_3 = 30 Н, M = 5 Н·м, R = 24 см, c = 207 Н/м, Δl_0 = 5 см.

Решение

Рассматриваемая механическая система имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат выберем удлинение пружины x_1 относительно недеформированного состояния и угол φ_3 поворота блока 3 (рис. 6.39). При этом x_1 является относительной координатой движения груза, а φ_3 – абсолютной координатой вращения блока 3.

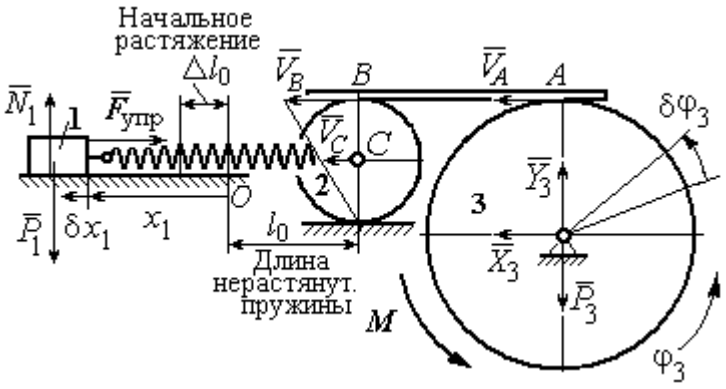


Рис. 6.39. Расчётная схема колебаний механической системы

Рассмотрим сложное движение груза 1. Относительное движение груза – это его движение на пружине в предположении, что точка крепления пружины неподвижна. Относительная скорость $V_{1r} = \dot{x}_1$. Переносное движение – это перемещение груза вместе с фиксированной длиной пружины (иначе, заменяя пружину жестким стержнем). Переносная скорость груза 1 $V_{1e} = V_C$, где V_C – скорость центра масс катка 2.

На рис. 6.39 показано распределение скоростей точек катка 2, откуда следует: $V_C = \frac{1}{2} V_B$. Имеем: $V_B = V_A = \omega_3 R = \dot{\varphi}_3 R$ и $V_C = \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R$.

Для того чтобы найти модуль абсолютной скорости груза 1, спроектируем векторное равенство теоремы сложения скоростей $\vec{V}_1 = \vec{V}_{1r} + \vec{V}_{1e}$ на горизон-

тальную ось. Полагая, что движение системы происходит в положительном направлении отсчета обобщённых координат, получим: $V_1 = \dot{x}_1 + \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R$.

Уравнения Лагранжа II рода, описывающие движение системы:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_x, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = Q_\varphi,$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_x, Q_φ – обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам x_1 и φ_3.

Вычислим кинетическую энергию системы и выразим её через обобщённые скорости.

Кинетическая энергия поступательного движения груза 1 определяется выражением $T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2$, где V_1 следует рассматривать как абсолютную скорость груза. Тогда $T_1 = \frac{1}{2} m_1 \left(\dot{x}_1 + \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R\right)^2$. Каток 2 совершает плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия катка $T_2 = \frac{3}{4} m_2 V_C^2$, причём $V_C = \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R$. Тогда $T_2 = \frac{3}{16} m_2 \dot{\varphi}_3^2 R^2$. Кинетическая энергия вращающегося блока 3: $T_3 = \frac{1}{2} J_{3z} \omega_3^2$, где J_{3z} – осевой момент инерции блока 3, $J_{3z} = \frac{m_3 R^2}{2}$. Окончательно $T_3 = \frac{1}{4} m_3 \dot{\varphi}_3^2 R^2$.

Кинетическая энергия системы имеет вид:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_1 + \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R)^2 + \frac{3}{16} m_2 \dot{\varphi}_3^2 R^2 + \frac{m_3 R^2}{4} \dot{\varphi}_3^2 =$$

$$= \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1 \dot{\varphi}_3 R + \left(\frac{1}{8} m_1 + \frac{3}{16} m_2 + \frac{1}{4} m_3\right) \dot{\varphi}_3^2 R^2.$$

Дадим системе возможное перемещение, при котором изменяется координата груза x_1 ($\delta x_1 > 0$), а другая координата – угол поворота блока 3 φ_3 остаётся постоянной ($\delta\varphi_3 = 0$). В этом случае груз 1 движется горизонтально, блок 3 и каток 2 – неподвижны. При таком движении работу будет производить только упругая сила пружины.

Модуль силы упругости пружины пропорционален её растяжению и в произвольном положении груза равен: $F_{\text{упр}} = c\Delta\ell = cx_1$. Направление силы упругости противоположно растяжению (см. рис. 6.39).

Сумма элементарных работ сил на заданном перемещении системы δx_1: $\delta A = -F_{\text{упр}}\delta x_1 = -cx_1\delta x_1$. Отсюда обобщенная сила Q_x, соответствующая координате x_1: $Q_x = -cx_1 = -207x_1$ Н.

Дадим системе другое возможное перемещение, при котором пружина не растягивается: $\delta x_1 = 0$, а блок 3 повернулся на угол $\delta\varphi_3$: $\delta\varphi_3 > 0$. В этом случае пружина рассматривается как жёсткий стержень, связывающий груз 1 с центром масс катка 2. В результате при повороте блока 3 груз 1 и точка *C* движутся одинаково в горизонтальном направлении. На этом перемещении системы работу совершает только пара сил с моментом *M*, приложенная к блоку 3. Имеем $\delta A = M\delta\varphi_3$, и, следовательно, обобщённая сила $Q_\varphi = M = 5$ Н·м.

Составим уравнения Лагранжа, для чего вычислим производные от кинетической энергии по обобщенным скоростям и координатам:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} = m_1\dot{x}_1 + \frac{1}{2}m_1R\dot{\varphi}_3;\quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} = \frac{1}{2}m_1R\dot{x}_1 + \left(\frac{1}{4}m_1 + \frac{3}{8}m_2 + \frac{1}{2}m_3\right)\dot{\varphi}_3R^2;$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0,\quad \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = 0.$$

Полные производные по времени:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right) = m_1\ddot{x}_1 + \frac{1}{2}m_1R\ddot{\varphi}_3;\quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3}\right) = \frac{1}{2}m_1R\ddot{x}_1 + \left(\frac{1}{4}m_1 + \frac{3}{8}m_2 + \frac{1}{2}m_3\right)\ddot{\varphi}_3R^2.$$

Приравнивая полные производные обобщённым силам, получим уравнения Лагранжа окончательно в виде системы алгебраических уравнений относительно ускорений $\ddot{x}_1$ и $\ddot{\varphi}_3$:

$$1{,}02\ddot{x}_1 + 0{,}12\ddot{\varphi}_3 = -207x_1;\ \ 0{,}12\ddot{x}_1 + 0{,}15\ddot{\varphi}_3 = 5.$$

Разрешая систему относительно ускорения $\ddot{x}_1$, получим уравнение относительных колебаний груза:

$$\ddot{x}_1 + 225x_1 = -4{,}35.$$

Решение линейного неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами представляется в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного: $x_1 = x_{\text{одн}} + x_{\text{частн}}$.

Общее решение однородного уравнения $x_{\text{одн}} = C_1\sin kt + C_2\cos kt$, где C_1, C_2 – произвольные постоянные; k – круговая частота собственных колебаний груза 1, $k = \sqrt{225} = 15$ рад/с. Частное решение неоднородного уравнения ищется в виде константы $x_{\text{част}} = b$. Подставив его в уравнение колебаний, получим: $b = -0{,}02$.

Таким образом, общее решение неоднородного уравнения

$$x_1(t) = C_1\sin 15t + C_2\cos 15t - 0{,}02.$$

Начальная координата x_{01} груза 1 определяется из условия, что в начальный момент времени при $t = 0$ груз находился в положении, при котором пружина была растянута относительно своего недеформированного состояния на расстояние $\Delta l_0 = 0{,}05$ м. Следовательно, $x_{01} = 0{,}05$. Подставляя значение начальной координаты в общее решение неоднородного уравнения при $t = 0$, получим: $C_2 = 0{,}07$.

Относительная скорость груза 1 в любой момент времени: $\dot{x}_1(t) = C_1 15\cos 15t - C_2 15\sin 15t$. По условию задачи начальная скорость груза 1

$\dot{x}_1(0) = 0$. После подстановки начального условия в выражение для скорости груза 1 получим: $C_1 = 0$.

Окончательно уравнение относительного движения груза 1:

$$x_1(t) = 0{,}07\cos 15t - 0{,}02 \text{ м}.$$

Найдём уравнение вращательного движения блока 3. Для этого в дифференциальное уравнение $0{,}12\ddot{x}_1 + 0{,}15\ddot{\varphi}_3 = 5$ подставим значение второй производной решения относительных колебаний груза 1. Получим: $\ddot{\varphi}_3 = 33{,}33 + 12{,}6\cos 15t$. Полагая $\ddot{\varphi}_3 = \dfrac{d\omega_3}{dt}$, получим дифференциальное уравнение первого порядка: $\dfrac{d\omega_3}{dt} = 33{,}33 + 12{,}6\cos 15t$, откуда найдём угловую скорость блока 3: $\omega_3 = 33{,}33t + 0{,}84\sin 15t + C_3$.

Аналогично, положив $\omega_3 = \dfrac{d\varphi_3}{dt}$, найдём закон вращательного движения блока 3: $\varphi_3 = 16{,}665t^2 - 0{,}056\cos 15t + C_3 t + C_4$.

Начальные условия движения блока: при $t = 0$, $\varphi_3(0) = 0$, $\omega_3(0) = 0$. Подставляя начальные условия в уравнения движения, получим: $C_4 = 0{,}056$, $C_3 = 0$.

Окончательно уравнение вращательного движения блока 3:

$$\varphi_3 = 16{,}665t^2 - 0{,}056\cos 15t + 0{,}056.$$

Абсолютное движение s_1 груза 1 представляется суммой относительного и переносного движений:

$$s_1 = x_1 + S_C = x_1 + \frac{1}{2}R\varphi_3 = 2t^2 - 0{,}06\cos 15t - 0{,}01.$$

Упражнения

Упражнение 6.6. Каток весом $P_1 = 2P$, радиуса r, движущийся без проскальзывания по вертикальной стене, удерживается вертикальной пружиной жесткостью $C = 4P / r$, прикреплённой одним концом к центру катка, другим – к неподвижной поверхности (рис. 6.40). К нити, намотанной на барабан катка, подвешен груз 2 весом $P_2 = P$. На груз действует сила $F = P$, к катку приложена пара сил с моментом $M = Pr$.

Найти закон движения груза 2 и максимальное растяжение пружины, если движение системы началось из состояния покоя при недеформированной пружине.

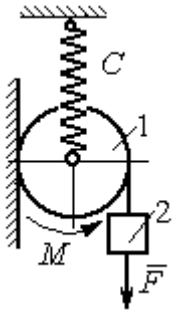


Рис. 6.40. Схема движения катка

Упражнение 6.7. Грузы 1 и 2 весом $P_1 = 20$ Н и $P_2 = 30$ Н привязаны к нерастяжимой нити. Нить переброшена через неподвижные блоки B и D и охватывает снизу подвижный блок 3 весом $P_3 = 40$ Н (рис. 6.41).

Определить ускорения грузов 1 и 2 и центра масс блока 3. Весом нити и неподвижных блоков B и D пренебречь.

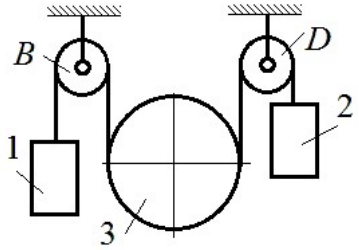


Рис. 6.41. Механическая система с двумя степенями свободы

Упражнение 6.8. Каток 1, радиуса r весом P катится по горизонтальной поверхности. К катку приложена пара сил с моментом $M = 2Pr$. Каток передаёт движение невесомой тележке (см. рис. 6.42). В кузове тележки находится каток 2 такого же радиуса r и веса P, который движется по горизонтальной поверхности кузова под действием силы $F = P$, приложенной в центре катка. Найти закон движения центра катка 2 относительно тележки, если движение системы началось из состояния покоя.

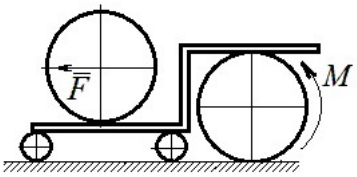


Рис. 6 42. Движение катка в кузове тележки

7. ОТВЕТЫ И КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

7.1. Ответы к упражнениям главы 1

1.1

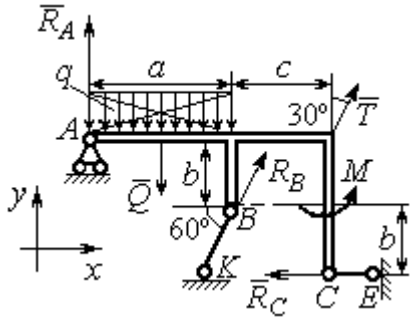


Рис. 7.1. Расчётная схема к упражнению 1.1

$T = 15$ кН, $Q = 15$ кН.

$$R_B\cos60^\circ + T\cos60^\circ - R_C = 0;$$

$$R_A - Q + R_B\cos30^\circ + T\cos30^\circ = 0;$$

$$-Q\cdot\frac{a}{2} + R_B\cos30^\circ\cdot a + R_B\cos60^\circ\cdot b + T\cos30^\circ\cdot(a+c) + M - R_C\cdot 2b = 0.$$

$R_B = -3{,}8$ кН, $R_C = 5{,}6$ кН, $R_A = 5{,}3$ кН.

1.2

$Q = 9$ кН. $T = 2$ кН.

$$X_A + T\cos30^\circ + Q\cos30^\circ = 0;$$

$$Y_A - Q\cos60^\circ + R_B - T\cos60^\circ - F = 0;$$

$$-Q\cdot\frac{c}{2} + R_B(b + c\cos60^\circ) - Fc\cos60^\circ + M - T\cos60^\circ(b + c\cos60^\circ) - T\cos30^\circ(a + c\sin60^\circ) = 0.$$

$R_B = 10{,}02$ кН, $X_A = -9{,}53$ кН, $Y_A = -0{,}52$ кН.

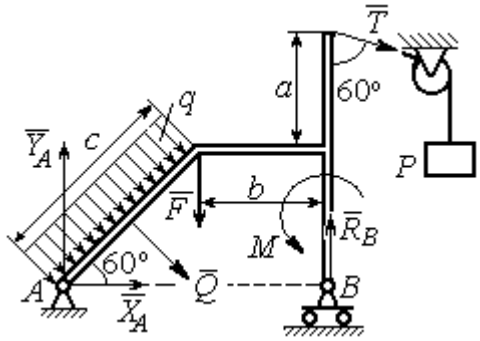


Рис. 7.2. Расчётная схема к упражнению 1.2

1.3

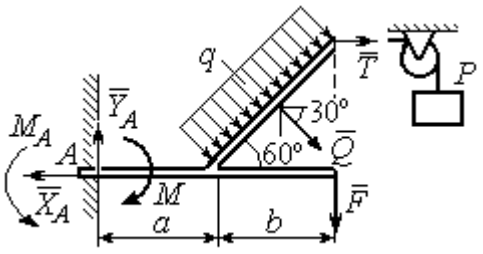


Рис. 7.3. Расчётная схема к упражнению 1.3

$Q = 8$ кН. $T = 3$ кН.

$$-X_A + T + Q\cos30^\circ = 0;$$

$$Y_A - Q\cos60° - F = 0;$$

$$-T2b\cos30° - F(a+b) + M_A - M - Q\cos60°\left(a + \frac{b}{2}\right) - Q\cos30^\circ\left(b\cos30^\circ\right) = 0.$$

$M_A = 18{,}61$ кН·м, $X_A = 9{,}93$ кН, $Y_A = 6$ кН.

1.4

$Q = 6{,}93$ кН, $T = 2$ кН.

$$-X_B - T + Q\cos 30^\circ + F\cos 60^\circ = 0;$$

$$R_A - Q\cos 60^\circ + Y_B - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$-\frac{Qa}{2\cos 30^\circ} + Y_B\left(b + \frac{a}{2\cos 30^\circ}\right) + Ta - Fa\cos 60^\circ -$$

$$-F\cos 30^\circ\left(b + \frac{a}{2\cos 30^\circ}\right) + M = 0.$$

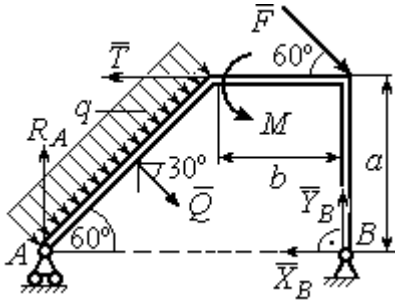


Рис.7.4. Расчётная схема к упражнению 1.4

$R_A = 0{,}72$ кН, $X_B = -5{,}5$ кН, $Y_B = 5{,}34$ кН.

1.5

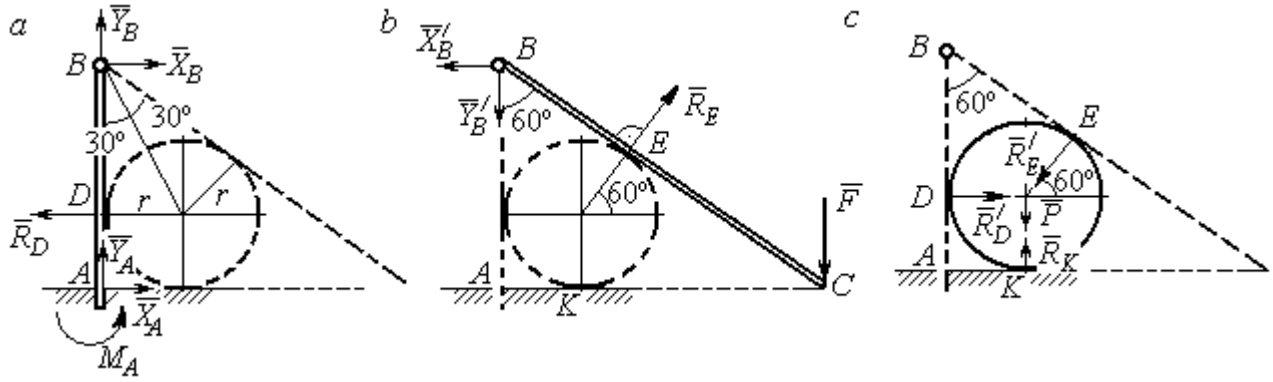


Рис. 7.5. Расчётные схемы к упражнению 1.5:
a – равновесие балки *AB*; *b* – равновесие балки *BC*; *c* – равновесие шара

$X_B = X'_B$, $Y_B = Y'_B$, $R_D = R'_D$, $R_E = R'_E$.

Балка *AB*. $AB = r + BD = r + r\operatorname{ctg}30^\circ = 2{,}73$ м.

$$X_A - R_D + X_B = 0, \quad Y_A + Y_B = 0, \quad M_A + R_D \cdot r - X_B \cdot AB = 0.$$

Балка *BC*. $BE = BD = 1{,}73$ м. $AC = BC\cos 30^\circ = 2AB\cos 30^\circ = 4{,}73$ м.

$$R_E\cos 60^\circ - X'_B = 0, \quad RE\sin 60\circ - Y'B - F = 0, \quad R_E \cdot BE - F \cdot AC = 0.$$

Шар.

$$R'_D - R'_E\cos 60^\circ = 0, \quad R_K - P - R'_E\cos 30^\circ = 0.$$

$R_E = 21{,}87$ кН, $Y_B = 10{,}94$ кН, $X_B = 10{,}94$ кН, $R_D = 10{,}94$ кН;

$R_K = 20{,}94$ кН, $X_A = 0$, $Y_A = -10{,}94$ кН, $M_A = 18{,}93$ кН·м.

1.6

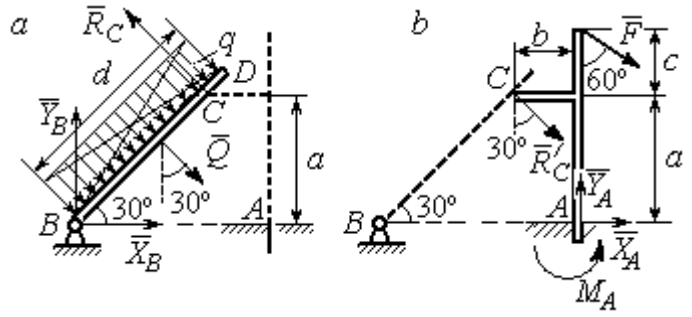


Рис. 7.6. Расчётные схемы к упражнению № 1.6:
a – равновесие балки *BD*; *b* – равновесие балки *AC*

Балка *BD*. $Q = 15$ кН.

$$X_B + Q\cos 60^\circ - R_C\cos 30^\circ = 0;$$

$$Y_B - Q\cos 30^\circ + R_C\cos 60^\circ = 0;$$

$$-Q\frac{d}{2} + R_C\, 2a = 0.$$

Балка *AC*. $R_C = R'_C$.

$$X_A + R'_C\cos 60^\circ + F\cos 30^\circ = 0,\ Y_A - R'_C\cos 30^\circ - F\cos 60^\circ = 0;$$

$$M_A - R'_C\cos 60^\circ \cdot a + R'_C\cos 30^\circ \cdot b - F\cos 30^\circ (a + c) = 0.$$

$$X_B = 0{,}61 \text{ кН},\ \ Y_B = 8{,}3 \text{ кН},\ R_C = 9{,}37 \text{ кН};$$

$$X_A = -8{,}15 \text{ кН},\ \ Y_A = 10{,}11 \text{ кН},\ \ M_A = 11{,}65 \text{ кН·м}.$$

1.7

Балка *AB*. $Q_1 = 6$ кН.

$T = P = 3$ кН.

$$X_A + R_B - T\cos 60^\circ + F = 0;$$

$$Y_A - Q_1 - T\cos 30^\circ = 0;$$

$$M_A - R_B(b + c)\cos 30^\circ + Q_1\frac{a}{2} +$$

$$+ T\cos 30^\circ a + T\cos 60^\circ c\cos 30^\circ -$$

$$- F\left[c + (b + c)\cos 30^\circ\right] = 0.$$

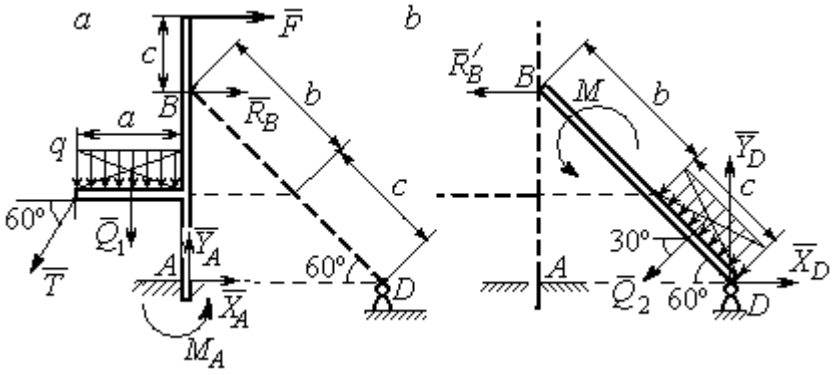


Рис. 7.7. Расчётные схемы к упражнению 1.7:
a – равновесие балки *AB*; *b* – равновесие балки *BD*

Балка *DB*. $Q_2 = 3$ кН. $R'_B = R_B$.

$$X_D - R'_B - Q_2\cos 30^\circ = 0,\ \ Y_D - Q_2\cos 60^\circ = 0,\ M + R'_B(b + c)\cos 30^\circ + Q_2\frac{c}{2} = 0.$$

$$X_A = -1{,}49 \text{ кН},\ Y_A = 8{,}6 \text{ кН},\ M_A = 8{,}86 \text{ кН},\ R_B = -1{,}01 \text{ кН};$$

$$X_D = 1{,}59 \text{ кН},\ \ Y_D = 1{,}5 \text{ кН}.$$

1.8

Шар.

$$R_B\cos60^\circ - R_D\cos60^\circ = 0;$$

$$R_B\cos30^\circ + R_D\cos30^\circ - P = 0.$$

Балка AC. $R'_B = R_B$.

$$X_A - R'_B\cos60^\circ = 0;$$

$$Y_A - R'_B\cos30^\circ + F = 0;$$

$$M_A - R'_B AB + F \cdot AC\cos30^\circ = 0.$$

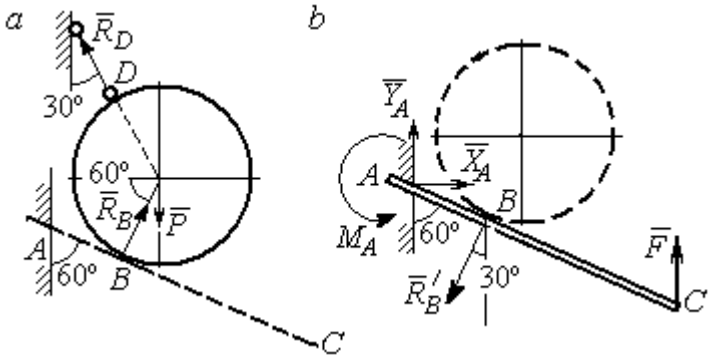


Рис. 7.8. Расчётные схемы к упражнению 1.8:
a – равновесие шара; *b* – равновесие балки *AC*

$X_A = 2{,}89$ кН, $Y_A = 0$ кН, $M_A = -11{,}55$ кН·м, $R_B = 5{,}77$ кН, $R_D = 5{,}77$ кН.

1.9

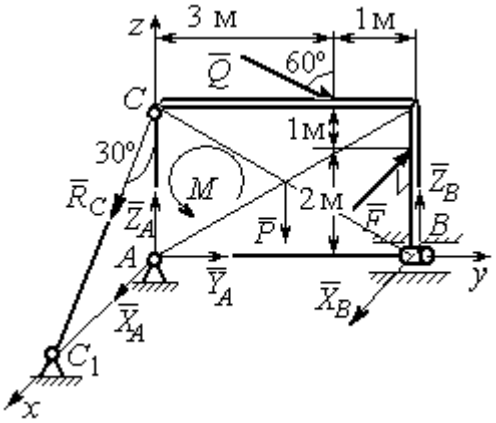


Рис. 7.9. Расчётная схема
к упражнению 1.9

$$X_A + R_C\cos60^\circ + X_B - F = 0;$$

$$Y_A + Q\cos30^\circ = 0;$$

$$Z_A - R_C\cos30^\circ - Q\cos60^\circ + Z_B - P = 0;$$

$$M - Q\cos60^\circ \cdot 3 - Q\cos30^\circ \cdot 3 + Z_B \cdot 4 - P \cdot 2 = 0;$$

$$R_C\cos60^\circ \cdot 3 - F \cdot 2 = 0,\ -X_B \cdot 4 + F \cdot 4 = 0.$$

$X_A = 5{,}34$ кН, $Y_A = 2{,}6$ кН;

$Z_A = 8{,}92$ кН, $R_C = 10{,}67$ кН;

$X_B = 8$ кН, $Z_B = 3{,}82$ кН.

1.10

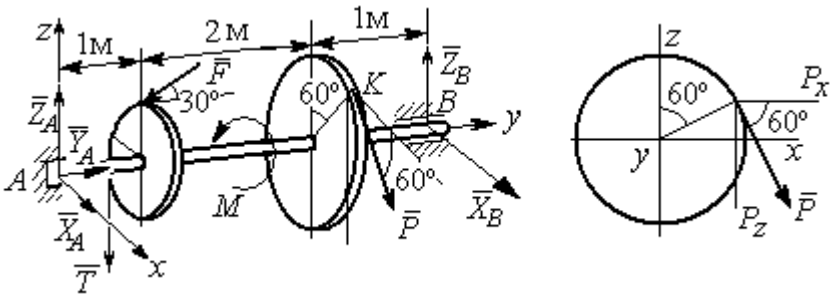


Рис. 7.10. Расчётные схемы к упражнению 1.10

$T = Q = 3$ кН.

$$X_A + P\cos 60^\circ + X_B = 0,\ \ Y_A - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$Z_A - F\cos 60^\circ - P\cos 30^\circ - T + Z_B = 0.$$

$$-T\cdot 1 - F\cos 60^\circ \cdot 1 + F\cos 30^\circ \cdot r - P\cos 30^\circ \cdot 3 + Z_B \cdot 4 = 0;$$

$$-Tr + PR - M = 0,\ \ -P\cos 60^\circ \cdot 3 + X_B \cdot 4 = 0.$$

$X_A = 5{,}6$ кН, $Y_A = 3{,}46$ кН, $Z_A = 5{,}48$ кН, $P = 6{,}4$ кН, $X_B = 2{,}4$ кН, $Z_B = 5{,}06$ кН.

1.11

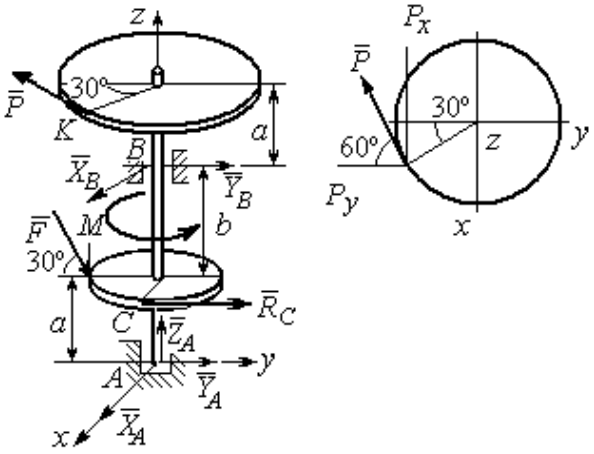


Рис. 7.11. Расчётные схемы к упражнению 1.11

$R_C = Q = 3$ кН.

$$X_A + X_B - P\cos 30^\circ = 0;$$

$$Y_A + Y_B - P\cos 60^\circ + R_C + F\cos 30^\circ = 0;$$

$$Z_A - F\cos 60^\circ = 0;$$

$$-Y_B(a+b) + P\cos 60^\circ(2a+b) - R_C a - -$$

$$F\cos 30^\circ \cdot a + F\cos 60^\circ \cdot r = 0;$$

$$X_B(a+b) - P\cos 30^\circ(2a+b) = 0;$$

$$-PR + R_C r + M = 0.$$

$X_A = -1{,}85$ кН, $Y_A = -5{,}64$ кН, $Z_A = 2$ кН, $P = 6{,}4$ кН, $X_B = 7{,}39$ кН, $Y_B = 2{,}38$кН.

1.12

$$T = Q = 3 \text{ кН}.$$

$$X_A + T + X_D = 0;\ Y_A - F + P\cos 60^\circ = 0,$$

$$Z_A + Z_D + P\cos 30^\circ = 0;$$

$$Fa\sin 30^\circ + Z_D(b+2a) + P(2b+2a)\cos 30^\circ = 0;$$

$$Ta\sin 30^\circ - Pa\cos 30^\circ + M = 0;$$

$$-Ta - X_D(b+2a) + Pa\cos 60^\circ + Fa\cos 30^\circ = 0.$$

$$X_A = 0{,}8 \text{ кН},\quad Y_A = 2{,}56 \text{ кН},\ \ Z_A = 1{,}3 \text{ кН};$$

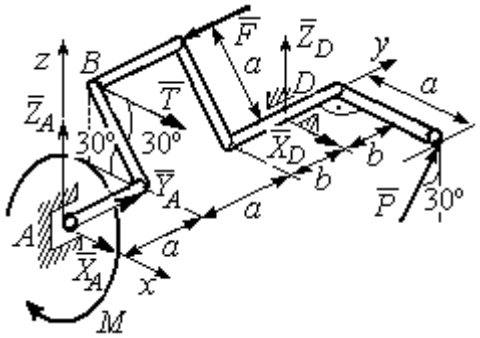


Рис. 7.12. Расчётная схема к упражнению 1.12

$$P = 2{,}89 \text{ кН},\ X_D = 0{,}76 \text{ кН},\ Z_D = -3{,}80 \text{ кН}.$$

1.13

Минимальный вес груза P:

$$T_{\min} + F_{\text{тр}\,A} - N_B = 0;$$

$$F_{\text{тр}\,B} + N_A - Q = 0;$$

$$F_{\text{тр}\,B} \cdot AB\sin 30° + N_B \cdot AB\cos 30° - Q \cdot AC\sin 30° = 0$$

Максимальный вес груза P:

$$T_{\max} - F_{\text{тр}\,A} - N_B = 0;$$

$$-F_{\text{тр}\,B} + N_A - Q = 0;$$

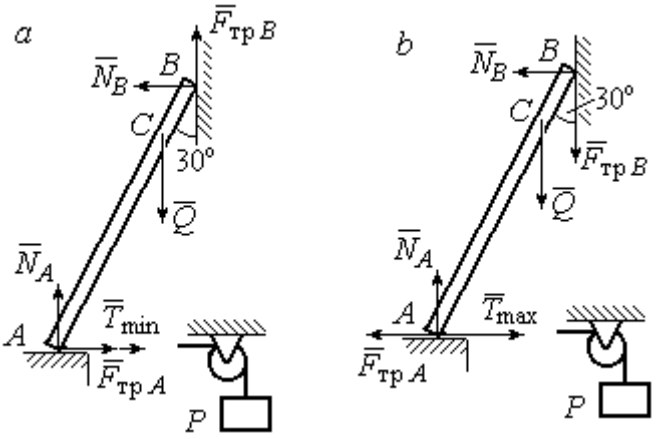


Рис. 7.13. Расчётные схемы к упражнению 1.13:
a – расчёт минимального веса груза;
b – расчёт максимального веса груза

$$-F_{\text{тр}\,B} \cdot AB\sin 30° + N_B \cdot AB\cos 30° - Q \cdot AC\sin 30° = 0;$$

$$F_{\text{тр}\,A} = f N_A,\ F_{\text{тр}\,B} = f N_B.$$

$$T_{\min} = 31.77 \text{ Н} < P < T_{\max} = 130{,}51 \text{ Н}.$$

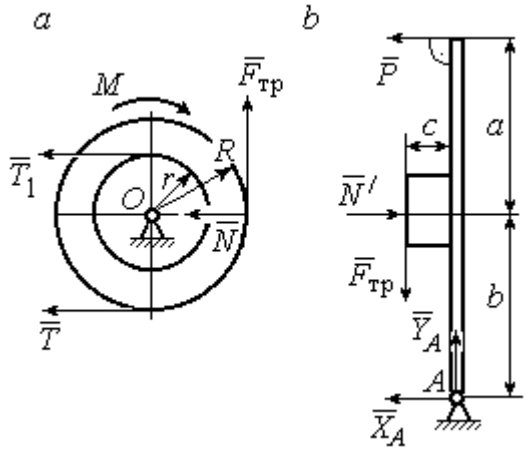


Рис. 7.14. Расчётные схемы
к упражнению 1.14:
a – равновесие шкива; *b* – равновесие рычага

1.14

Шкив. $T = T_1 = Q$.

$$T \cdot R - T_1 r + M - F_{\text{тр}} R = 0.$$

$$F_{\text{тр}} = 266{,}67 \text{ Н};$$

$$N = \frac{F_{\text{тр}}}{f} = 666{,}67 \text{ Н}.$$

Рычаг. $N = N'$. $F_{\text{тр}} = F'_{\text{тр}}$.

$$P(a+b) - N' \cdot b + F'_{\text{тр}} c = 0.$$

$$P = 320 \text{ Н}.$$

$$-X_A - P + N' = 0;$$

$$Y_A - F'_{\text{тр}} = 0.$$

$$X_A = 346{,}67 \text{ Н},\ Y_A = 266{,}67 \text{ Н}.$$

7.2. Ответы к упражнениям главы 2

2.1

$$\omega_{1z} = \dot{\varphi}_1 = 3 + \pi\cos\frac{\pi t}{2},\ \omega_1(1) = |\omega_{1z}(1)| = 3 \text{ рад/с}.$$

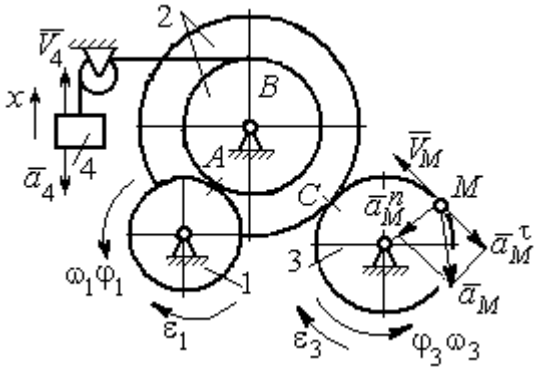


Рис. 7.15. Расчётная схема к упражнению 2.1

$$\omega_{3z} = \omega_{1z}\frac{R_1}{r_2}\frac{R_2}{R_3} = \left(3 + \pi\cos\frac{\pi t}{2}\right)\frac{4}{3};$$

$$\omega_3(1) = |\omega_{3z}(1)| = 4 \text{ рад/с}.$$

$$V_M(1) = \omega_3(1)R_3 = 40 \text{ см/с}.$$

$$\varepsilon_{3z} = \dot{\omega}_{3z} = -\frac{2\pi^2}{3}\sin\frac{\pi t}{2},\quad \varepsilon_{3z}(1) = -\frac{2\pi^2}{3};$$

$$\varepsilon_3(1) = |\varepsilon_{3z}(1)| = \frac{2\pi^2}{3} = 6{,}58 \text{ рад/с}^2.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_M^n + \bar{a}_M^\tau,\ a_M^n(1) = \omega_3^2(1)R_3 = 160 \text{ см/с}^2,\ a_M^\tau(1) = \varepsilon_3(1)R_3 = 65{,}8 \text{ см/с}^2.$$

$$a_M(1) = 173 \text{ см/с}^2.$$

$$V_{4x} = V_A = \omega_{1z}R_1 = \left(3 + \pi\cos\frac{\pi t}{2}\right)8;\ V_4(1) = |V_{4x}(1)| = 24 \text{ см/с}.$$

$$\dot{V}_{4x} = -4\pi^2\sin\frac{\pi t}{2},\ \dot{V}_{4x}(1) = -4\pi^2;\ a_4(1) = |\dot{V}_{4x}(1)| = 39{,}48 \text{ см/с}^2.$$

2.2

$$V_{4x} = \dot{x}_4 = 1 - \frac{\pi}{3}\cos\frac{\pi t}{3} - \frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi t}{3};$$

$$V_{4x}(3) = 2{,}05 \text{ м/с},\ V_4 = |V_{4x}(3)|$$

$$\omega_{3z} = \frac{V_{4x}}{r_3} = \frac{1}{r_3}\left(1 - \frac{\pi}{3}\cos\frac{\pi t}{3} - \frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi t}{3}\right);$$

$$\omega_{3z}(3) = 6{,}83 \text{ рад/с};\ \omega_3 = |\omega_{3z}(3)|.$$

$$\varepsilon_{3z} = \dot{\omega}_{3z} = \frac{1}{r_3}\left(\frac{\pi^2}{9}\sin\frac{\pi t}{3} - \frac{\pi^2}{9}\cos\frac{\pi t}{3}\right).$$

$$\varepsilon_{3z}(3) = 3{,}65 \text{ рад/с}^2;\ \varepsilon_3 = |\varepsilon_{3z}(3)|.$$

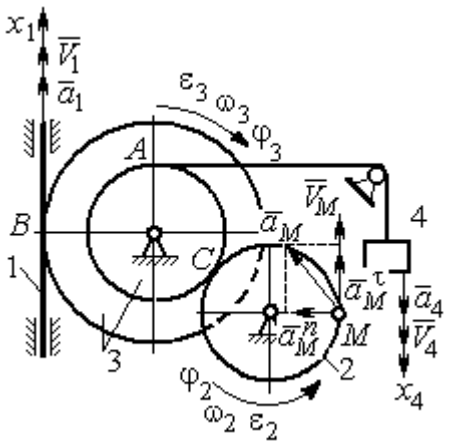


Рис. 7.16. Расчётная схема к упражнению 2.2

$$\frac{\omega_3}{\omega_2}=\frac{R_2}{r_3};\ \ \omega_2=\omega_3\frac{r_3}{R_2}=10{,}25\ \text{рад/с};\ V_M=\omega_2 R_2=2{,}05\ \text{м/с}.$$

$$\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2}=\frac{R_2}{r_3};\ \ \varepsilon_2=\varepsilon_3\frac{r_3}{R_2}=5{,}47\ \text{рад/с}^2.$$

$$a_M^n=\omega_2^2 R_2=20{,}4\ \text{м/с}^2;\ \ a_M^\tau=\varepsilon_2 R_2=1{,}09\ \text{м/с}^2.$$

$$a_M=\sqrt{\left(a_M^n\right)^2+\left(a_M^\tau\right)^2}=20{,}43\ \text{м/с}^2.$$

$$V_1=\omega_3 R_3=2{,}73\ \text{м/с};\ a_1=\dot V_1=\dot\omega_3 R_3=\varepsilon_3 R_3=2{,}19\ \text{м/с}^2.$$

2.3

$$BP_2=BC\cos30^\circ=4{,}33\ \text{см};\ CP_2=2{,}5\ \text{см}.$$

$$\omega_{BC}=\frac{V_B}{BP_2}=1{,}15\ \text{рад/с};\ \ V_C=\omega_{BC}CP_2=2{,}87\ \text{см/с};$$

$$\omega_1=\frac{V_C}{CP_1}=0{,}72\ \text{рад/с};\ EP_1=2R_1\cos30^\circ=3{,}46\ \text{см};$$

$$V_E=\omega_1 EP_1=2{,}49\ \text{см/с};\ EP_3=2AE\cos30^\circ=10{,}39\ \text{см};$$

$$\omega_{AE}=\frac{V_E}{EP_3}=0{,}24\ \text{рад/с};\ EA=AP_3;$$

$$V_A=\omega_{AE}AP_3=1{,}44\ \text{см/с},\ \ \omega_{AO}=\frac{V_A}{AO}=0{,}24\ \text{рад/с}.$$

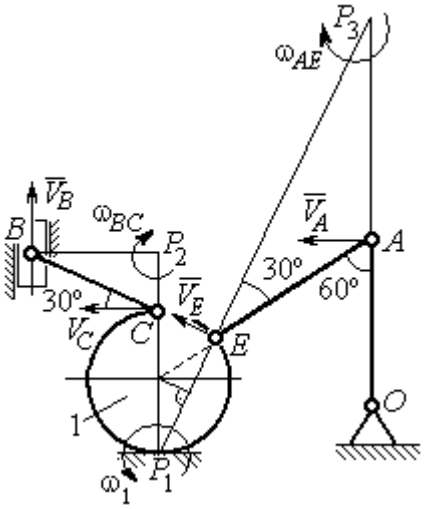


Рис. 7.17. Расчётная схема к упражнению 2.3

2.4

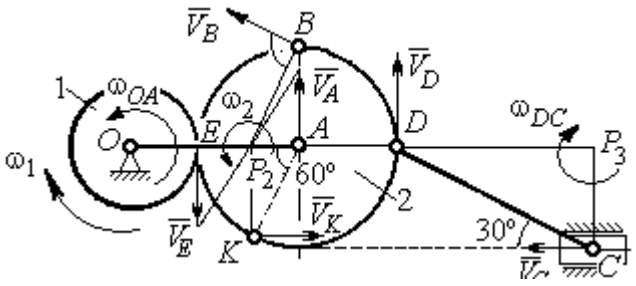


Рис. 7.18. Расчётная схема к упражнению 2.4

E – точка касания дисков.

$$V_E=\omega_1 r_1=18\ \text{см/с}.$$

$$V_A=\omega_{OA}(r_1+r_2)=18\ \text{см/с}.$$

$$EP_2=P_2A=3\ \text{см},\ \omega_2=\frac{V_E}{EP_2}=6\ \text{рад/с}.$$

$$V_K=\omega_2 P_2K=31{,}18\ \text{см/с}.$$

$$V_B=\omega_2 P_2B=40{,}25\ \text{см/с};\ V_D=\omega_2 P_2D=54\ \text{см/с}.$$

$$DC = 2r_2,\ \omega_{DC} = \frac{V_D}{DP_3} = 5{,}197 \text{ рад/с};\ V_C\cos 30^\circ = V_D\cos 60^\circ,\ V_C = 31{,}18 \text{ см/с}.$$

2.5

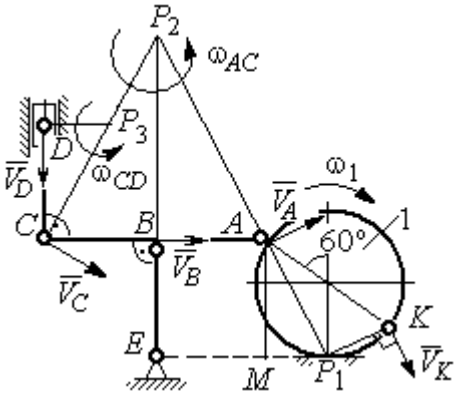


Рис. 7. 19. Расчётная схема к упражнению 2.5.

$$BE = 1{,}5R_1;\ R_1 = 2{,}67 \text{ см}.$$

$$KP_1 = R_1;\ \omega_1 = \frac{V_K}{KP_1} = 0{,}75 \text{ рад/с}.$$

$$AP_1 = \frac{AM}{\cos 30^\circ} = 4{,}62 \text{ см};\ V_A = \omega_1 P_1 A = 3{,}46 \text{ см/с}.$$

$$AP_2 = 2AB = 8 \text{ см};\ \omega_{AC} = \frac{V_A}{AP_2} = 0{,}43 \text{ рад/с}.$$

$$V_B\cos 0^\circ = V_A\cos 30^\circ;\ V_B = 2{,}99 \text{ см/с}.$$

$$\omega_{BE} = \frac{V_B}{BE} = 0{,}75 \text{ рад/с};\ V_C = V_A = 3{,}46 \text{ см/с};\ CP_3 = \frac{DC}{\cos 30^\circ} = 4{,}62 \text{ см};$$

$$\omega_{CD} = \frac{V_C}{CP_3} = 0{,}75 \text{ рад/с};\ V_D\cos 0^\circ = V_C\cos 60^\circ;\ V_D = 1{,}73 \text{ см/с}.$$

2.6

$$V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 12 \text{ см/с};\ \omega_{AD} = 0,\ V_D = V_A.$$

$$\omega_{O_1C} = \frac{V_D}{DO_1} = 3 \text{ рад/с};$$

$$V_C = \omega_{O_1C} \cdot O_1C = 48 \text{ см/с}.$$

$$CB = CP = 16 \text{ см};\ \omega_{CB} = \omega_{CL} = \frac{V_C}{CP} = 3 \text{ рад/с}.$$

$$PL = \frac{CP}{\cos 30^\circ} = 18{,}48 \text{ см};\ PB = 2BC\cos 30^\circ.$$

$$V_L = \omega_{CL} \cdot PL = 55{,}44 \text{ см/с};$$

$$V_B = \omega_{CB} \cdot PB = 83{,}13 \text{ см/с}.$$

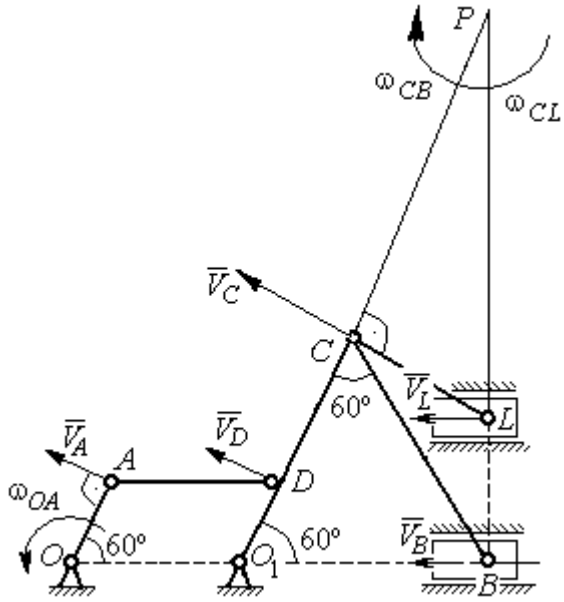


Рис. 7.20. Расчётная схема к упражнению 2.6.

2.7

$V_D = \omega_1 R_1 = 30$ см/с; $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 15$ см/с.

$$\omega_2 = \frac{V_A}{AP_2} = 3 \text{ рад/с}.$$

$$V_B = \omega_2 \cdot P_2 B = 21{,}21 \text{ см/с}.$$

$V_C \cos 0^\circ = V_B \cos 45^\circ$; $V_C = 15$ см/с.

$CP_3 = CB$; $\omega_{BC} = \dfrac{V_C}{CP_3} = 1{,}87$ рад/с.

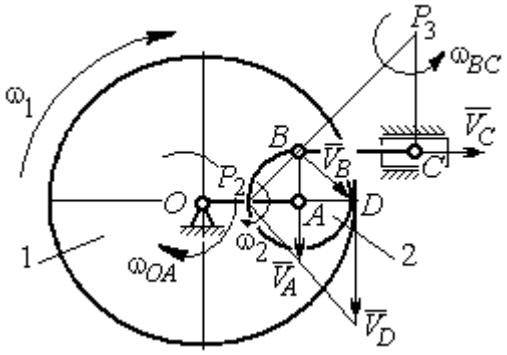


Рис. 7.21. Расчётная схема к упражнению 2.7

2.8

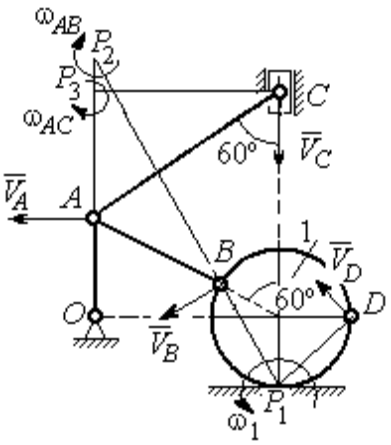


Рис. 7.22. Расчётная схема к упражнению 2.8

$AC = AB + R_1 = 12$ см; $CP_3 = AC \cos 30^\circ = 10{,}39$ см.

$\omega_{AC} = \dfrac{V_C}{CP_3} = 0{,}48$ рад/с; $V_A = \omega_{AC} \cdot AP_3 = 2{,}89$ см/с.

$$AB = AP_2; \quad \omega_{AB} = \frac{V_A}{AP_2} = 0{,}29 \text{ рад/с}.$$

$$BP_2 = 2AB \cos 30^\circ = 17{,}32 \text{ см}.$$

$$V_B = \omega_{AB} BP_2 = 5{,}02 \text{ см/с}.$$

$OA = (AB + R_1)\sin 30° = 6$ см; $\omega_{OA} = \dfrac{V_A}{AO} = 0{,}48$ рад/с.

$BP_1 = 2R_1 \cos 30^\circ = 3{,}46$ см; $\omega_1 = \dfrac{V_B}{BP_1} = 1{,}45$ рад/с.

$DP_1 = R_1\sqrt{2} = 2{,}82$ см; $V_D = \omega_1 DP_1 = 4{,}09$ см/с.

2.9

$V_A = \omega_{OA} OA = 12$ см/с; $AP = 2AB = 2BC \cdot \text{tg}60^\circ = 27{,}71$ см.

$\omega_{AB} = \dfrac{V_A}{AP} = 0{,}43$ рад/с; $V_B \cos 0^\circ = V_A \cos 30^\circ$; $V_B = 10{,}38$ см/с.

$$\omega_{BC} = \frac{V_B}{BC} = 1{,}29 \text{ рад/с}.$$

$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}^n_{BA} + \bar{a}^\tau_{BA}$; $\bar{a}_B = \bar{a}_C + \bar{a}^n_{BC} + \bar{a}^\tau_{BC}$, $a_C = 0$.

$$\bar{a}_A = \bar{a}_O + \bar{a}^n_{AO} + \bar{a}^\tau_{AO},\ a_O = 0.$$

$$\bar{a}^n_{BC} + \bar{a}^\tau_{BC} = \bar{a}^n_{AO} + \bar{a}^\tau_{AO} + \bar{a}^n_{BA} + \bar{a}^\tau_{BA}.$$ Найти a^τ_{BC}

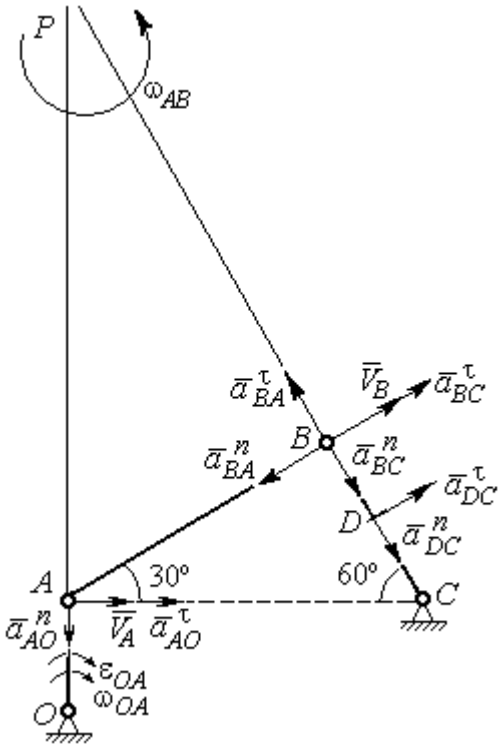


Рис. 7.23. Расчётная схема к упражнению 2.9

$$a^n_{AO} = \omega^2_{AO} \cdot AO = 36 \text{ см/с}^2;$$

$$a^\tau_{AO} = \varepsilon_{AO} \cdot AO = 8 \text{ см/с}^2;$$

$$AB = BC \cdot \text{tg}60^\circ = 13{,}86 \text{ см}.$$

$$a^n_{BA} = \omega^2_{AB} \cdot AB = 2{,}56 \text{ см/с}^2;\ \ a^\tau_{AB} = \varepsilon_{AB} AB.$$

$$a^n_{BC} = \omega^2_{BC} \cdot BC = 13{,}31 \text{ см/с}^2;\ \ a^\tau_{BC} = \varepsilon_{BC} BC.$$

Проекция на AB:

$$a^\tau_{BC} = -a^n_{AO}\cos 60^\circ +$$

$$+ a^\tau_{AO}\cos 30^\circ - a^n_{BA} = 13{,}63 \text{ см/с}^2.$$

$$\varepsilon_{BC} = \frac{\left|a^\tau_{BC}\right|}{BC} = 1{,}7 \text{ рад/с}^2.$$

$$\bar{a}_D = \bar{a}^n_{DC} + \bar{a}^\tau_{DC}.$$

$$a^n_{DC} = \omega^2_{BC} \cdot DC = 6{,}65 \text{ см/с}^2;\ \ a^\tau_{DC} = \varepsilon_{BC} \cdot DC = 6{,}8 \text{ см/с}^2.$$

$$a_D = \sqrt{\left(a^n_{DC}\right)^2 + \left(a^\tau_{DC}\right)^2} = 9{,}51 \text{ см/с}^2.$$

2.10

$$V_A = \omega_1 r_1 = 12 \text{ см/с};\ P_2 A = \frac{1}{2} BC = 5 \text{ см}.$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A}{P_2 A} = 2{,}4 \text{ рад/с}.$$

$$V_B \cos 30^\circ = V_A \cos 60^\circ;\ V_B = 6{,}93 \text{ см/с}.$$

$$P_3 B = BC\cos 30^\circ = 8{,}66 \text{ см};$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B}{P_3 B} = 0{,}8 \text{ рад/с}.$$

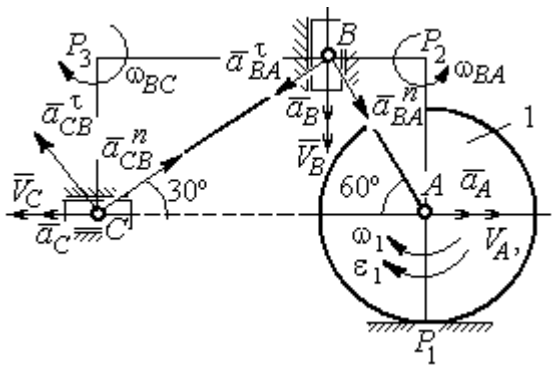


Рис. 7.24. Расчётная схема к упражнению 2.10

$$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}^n_{BA} + \bar{a}^\tau_{BA}.$$ Найти a_B.

Проекция на BA: $a_B\cos30° = a_A\cos60° + a^n_{BA}$.

$$a_A = a^\tau_A = \varepsilon_1 r_1 = 8 \text{ см/с}^2;\ AB = BC\operatorname{tg}30° = 5{,}77 \text{ см}.$$

$$a^n_{BA} = \omega^2_{BA} \cdot BA = 33{,}23 \text{ см/с}^2;\ \ a_B = 43{,}03 \text{ см/с}^2.$$

$$\bar{a}_C = \bar{a}_B + \bar{a}^n_{CB} + \bar{a}^\tau_{CB}.$$

Проекция на BC: $a_C\cos60° = a_B\cos60° - a^n_{CB}$,

$$a^n_{CB} = \omega^2_{CB} \cdot CB = 6{,}4 \text{ см/с}^2;\ \ a_C = a_B - 2a^n_{CB} = 30{,}23 \text{ см/с}^2.$$

7.3. Ответы к упражнениям главы 3

3.1

$$CM_1 = S_r(1) = \frac{40}{3}\sin\frac{\pi}{3} = 11{,}55 \text{ см}.$$

Так как $CM_1\cos30° = 10$ см $= R$, то точка M_1 лежит на вертикальном диаметре.

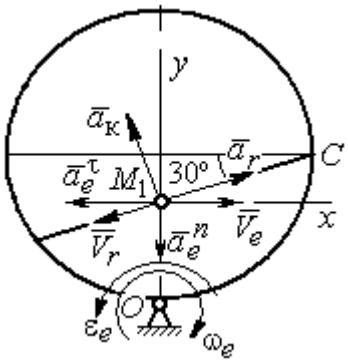


Рис. 7.25. Расчётная схема к упражнению 3.1

$$V_r = \dot{S}_r = \frac{40\pi}{9}\cos\frac{\pi t}{3};\ V_r(1) = 6{,}98 \text{ см/с}.$$

$$\omega_e(1) = 0{,}5 \text{ рад/с};\ OM_1 = R - \frac{1}{2}CM_1 = 4{,}23 \text{ см}.$$

$$V_e = \omega_e OM_1;\ \ V_e(1) = 2{,}12 \text{ см/с}.$$

$$\bar{V}_M = \bar{V}_e + \bar{V}_r.$$

$$V_{Mx} = V_e - V_r\cos30° = -3{,}93 \text{ м/с};\ V_{My} = -V_r\cos60° = -3{,}49 \text{ м/с};$$

$$V_M = \sqrt{(V_{Mx})^2 + (V_{My})^2} = 5{,}26 \text{ см/с}.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_к.$$

$$\bar{a}_e = \bar{a}^n_e + \bar{a}^\tau_e,\ \ a^n_e = \omega^2_e OM_1;\ \ a^n_e(1) = 1{,}06 \text{ см/с}^2.$$

$$\dot{\omega}_e = -\frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi t}{3},\ \ \dot{\omega}_e(1) = -0{,}91 \text{ рад/с}^2;\ \ \varepsilon_e = |\dot{\omega}_e(1)| = 0{,}91 \text{ рад/с}^2,$$

$$a^\tau_e(1) = \varepsilon_e \cdot OM_1 = 3{,}85 \text{ см/с}^2.$$

$$\dot{V}_r = -\frac{40\pi^2}{27}\sin\frac{\pi t}{3},\ \dot{V}_r(1) = -12{,}66;\ a_r = \left|\dot{V}_r(1)\right| = 12{,}66 \text{ см/с}^2$$

$$a_к = 2\left|\omega_e\right| \cdot \left|V_r\right|;\ \ a_к(1) = 6{,}98 \text{ см/с}^2.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau + \bar{a}_r + \bar{a}_к.$$

$$a_{Mx} = -a_e^\tau + a_r\cos 30° - a_к\cos 60° = 3{,}62 \text{ см/с}^2;$$

$$a_{My} = -a_e^n + a_r\cos 60° + a_к\cos 30° = 11{,}31 \text{ см/с}^2.$$

$$a_M = \sqrt{(a_{Mx})^2 + (a_{My})^2} = 11{,}87 \text{ см/с}^2.$$

3.2

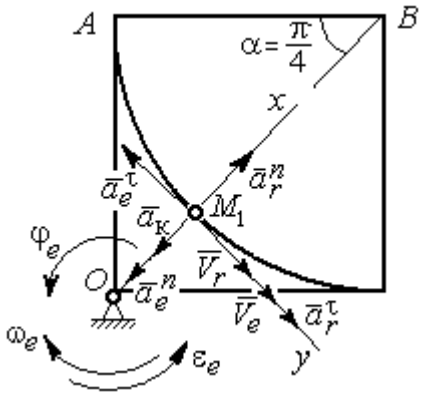


Рис. 7.26. Расчётная схема к упражнению 3.2

Положение M_1:

$$\alpha = \frac{S_r(1)}{R} = \frac{\pi}{4};\ \ OM_1 = 8{,}28 \text{ см}.$$

$$\dot{S}_r = 10\pi t;\ \ V_r = \left|\dot{S}_r(1)\right| = 31{,}42 \text{ см/с}.$$

$$\dot{\varphi}_e = 2t - 5,$$

$$\dot{\varphi}_e(1) = -3 \text{ рад/с},\ \ \omega_e = \left|\dot{\varphi}_e(1)\right| = 3 \text{ рад/с}.$$

$$V_e = \omega_e \cdot OM_1 = 24{,}6 \text{ см/с}.$$

$$\bar{V}_M = \bar{V}_e + \bar{V}_r \cdot\ V_{Mx} = V_e + V_r = 56{,}02 \text{ см/с};$$

$$V_{My} = 0;\ V_M = 56{,}02 \text{ см/с}.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_к = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau + \bar{a}_r^n + \bar{a}_r^\tau + \bar{a}_к.$$

$$\bar{a}_e = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau\ \cdot\ a_e^n = \omega_e^2 \cdot OM_1 = 74{,}52 \text{ см/с}^2;$$

$$\dot{\omega}_e = 2 \text{ рад/с}^2;\ \varepsilon_e = \left|\dot{\omega}_e\right|;\ \ a_e^\tau(1) = \varepsilon_e OM_1 = 16{,}56 \text{ см/с}^2;$$

$$\bar{a}_r = \bar{a}_r^n + \bar{a}_r^\tau \cdot \dot{V}_r = 10\pi;\ a_r^\tau = \left|\dot{V}_r\right| = 10\pi = 31{,}42 \text{ см/с}^2;$$

$$a_r^n(1) = \frac{V_r^2}{R} = 49{,}36 \text{ см/с}^2;\ \ a_к = 2\left|\omega_e\right| \cdot \left|V_r\right|;\ \ a_к(1) = 62{,}84 \text{ см/с}^2.$$

$$a_{Mx} = -a_e^n + a_r^n - a_к = -88 \text{ см/с}^2;\ a_{My} = -a_e^\tau + a_r^\tau = 14{,}86 \text{ см/с}^2.$$

$$a_M = \sqrt{(a_{Mx})^2 + (a_{My})^2} = 89{,}24 \text{ см/с}^2.$$

7.4. Ответы к упражнениям главы 4

4.1

$$m\ddot{x} = F - P\cos 60° - F_{\text{тр}}, \quad m\ddot{y} = N - P\cos 30° = 0.$$

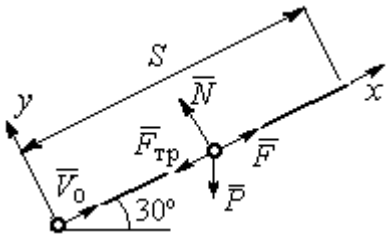


Рис. 7.27. Расчётная схема к упражнению 4.1

$$F_{\text{тр}} = fN = fmg\cos 30°;$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{2}kt - 3{,}4, \quad \dot{x} = \frac{1}{4}kt^2 - 3{,}4t + V_0;$$

$$x = \frac{1}{12}kt^3 - 1{,}7t^2 + V_0 t.$$

Конечные условия: $t = 2$ с; $x = S = 2$ м; $V = 2V_0$.

$$V_0 = k - 6{,}8; \quad 1 = \frac{1}{3}k - 3{,}4 + V_0.$$

$$k = 8{,}4; \; V_0 = 1{,}6 \text{ м/с}.$$

4.2

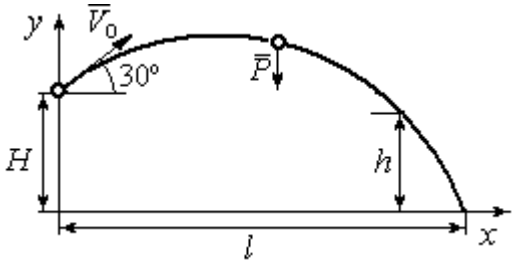


Рис. 7.28. Расчётная схема к упражнению 4.2

Уравнения движения точки:

$$m\ddot{x} = 0; \; \dot{x} = V_0\cos 30°; \; x = V_0 t\cos 30°.$$

$$m\ddot{y} = -P; \dot{y} = -gt + V_0\cos 60°;$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 t\cos 60° + H.$$

Краевое условие пролёта высоты h:

$$t = 1 \text{ с}; \; y = h = 7 \text{ м}.$$

Подставляя краевые условия в уравнение движения, находим: $V_0 = 3{,}81$ м/с.

Краевое условие падения точки:

$$t = t_{\text{пад}}; \; x = l; \; y = 0.$$

Подстановка в уравнения движения условия приводит к системе:

$$l = V_0 t_{\text{пад}}\cos 30°; \; 0 = -\frac{1}{2}gt_{\text{пад}}^2 + V_0 t_{\text{пад}}\cos 60° + H.$$

Находим: $t_{\text{пад}} = 1{,}64$ с; $l = 5{,}41$ м.

4.3

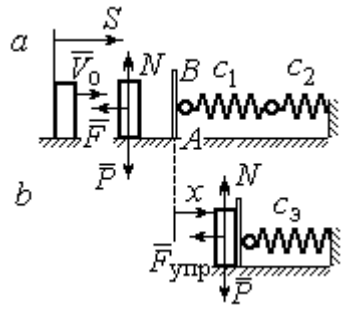


Рис. 7.29. Расчётная схема к упражнению 4.3: *a* – движение груза до начала колебаний; *b* – колебания груза

Уравнение движения груза (рис. 7.29, *a*):

$$m\ddot{S} = -F = -k\dot{S}.$$

Начальные условия: $t = 0;\ S = 0;\ \dot{S} = V_0$.

Решение: $S = \dfrac{mV_0}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right) = 6\left(1 - e^{-t}\right)$ м.

Скорость груза: $\dot{S} = 6e^{-t}$.

Скорость груза в момент соединения с площадкой AB: $V_1 = \dot{S}(1) = 0{,}21$ м/с.

Уравнение колебаний груза на эквивалентной пружине (рис. 7.29, *b*):

$$m\ddot{x} = -F_{упр} = -c_э x;\ c_э = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} = 30 \text{ Н/м}.$$

Начальные условия движения: $t = 0;\ x = 0;\ \dot{x} = V_1$.

Общий вид решения: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t;\ \omega = \sqrt{\dfrac{c_э}{m}} = 7{,}75$ рад/с,

где константы: $C_1 = 0;\ C_2 = \dfrac{V_1}{\omega} = 0{,}28$ м. Закон движения груза $x = 0{,}28\sin 7{,}75t$.

Максимальное сжатие 0,28 м.

4.4

Жесткость эквивалентной пружины

$$c_э = \frac{c \cdot 2c}{c + 2c} = \frac{2}{3}c.$$

Уравнение колебаний:

$$m\ddot{x} = P - F_{упр} = P - c_э(\lambda_{ст} + x) = -c_э x.$$

Общее решение:

$$x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t;\ \omega = \sqrt{\frac{c_э}{m}} = 10{,}33 \text{ рад/с}.$$

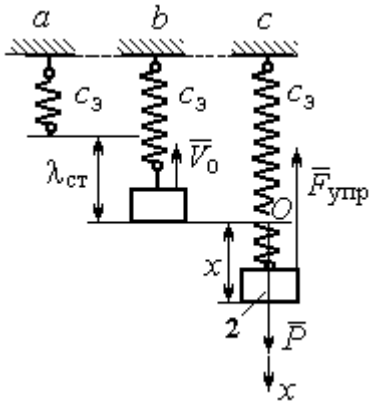


Рис. 7.30. Расчётная схема к упражнению 4.4: *a* – нерастянутая пружина; *b* – положение статического равновесия; *c* – произвольное положение груза

Начальные условия: $t = 0;\ x = 0;\ \dot{x} = -V_0$.

Находим константы интегрирования: $C_1 = 0;\ C_2 = \dfrac{V_0}{\omega} = 0{,}39$ м.

Закон движения груза: $x = 0{,}39\sin 10{,}33t$.

Амплитуда $A = 0{,}39$ м, частота $\omega = 10{,}33$ рад/с.

4.5

Скорость человека, находящегося в самолёте, в нижней точке траектории (точка C):

$$\frac{mV_C^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = mg\left[l\sin\varphi + r(1-\cos\varphi)\right].$$

Откуда $V_C^2 = V_0^2 + 2g\left[l\sin\varphi + r(1-\cos\varphi)\right]$.

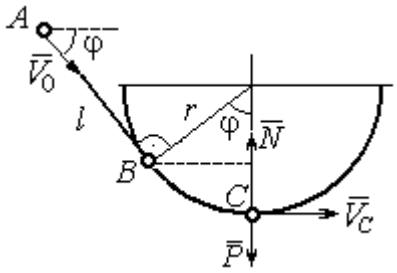


Рис. 7.31. Расчётная схема к упражнению 4.5

Уравнение движения человека, двигающегося вместе с самолётом, в проекции на нормаль в точке C: $\dfrac{mV_C^2}{r} = N - P$, где N – реакция корпуса самолёта. Сила давления человека на корпус самолёта по величине равна реакции, но направлена в противоположную сторону.

Из условия $N \le 3P$ следует неравенство: $V_C^2 \le 2gr$, или

$V_0^2 + 2g\left[l\sin\varphi + r(1-\cos\varphi)\right] \le 2gr$. Откуда $r \ge \dfrac{V_0^2 + 2gl\sin\varphi}{2g\cos\varphi}$.

4.6

Из уравнения теоремы об изменении кинетической энергии шарика в точке B с учётом, что $V_A = 0$, найдём:

$$\frac{mV_B^2}{2} = \frac{ca^2}{2} + mg\left[R + R\cos 60° - a\cos 30°\right].$$

Составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки на участке BD:

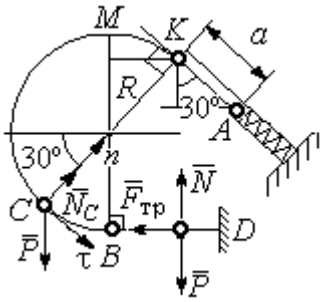


Рис. 7.32. Расчётная схема к упражнению 4.6

$-\frac{mV_B^2}{2} = -fNs$, где s – путь точки до остановки. С учётом данных задачи, получим: s = 5,39 м.

Уравнение движения шарика в проекции на нормальную ось в точке C

$$\frac{mV_C^2}{R} = N_C - P\cos 60°.$$

Для вычисления реакции опоры шарика на трубу имеем равенство $N_C = \frac{mV_C^2}{R} + P\cos 60° = \frac{1}{R}\left[mV_B^2 - 2mgR(1-\cos 60°)\right] + mg\cos 60°$, где кинетическая энергия шарика в точке B: $mV_B^2 = ca^2 + 2mgR\left[(1+\cos 60°) - \frac{a}{R}\cos 30°\right]$. Получим: $N_C = 18{,}71$ Н. Давление шарика на трубку равно реакции опоры и направлено в противоположную сторону.

7.5. Ответы к упражнениям главы 5

5.1

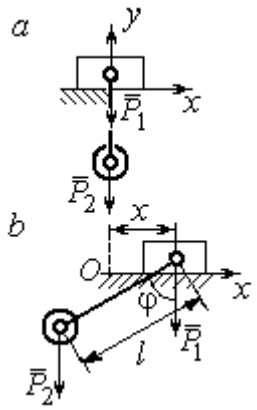


Рис. 7.33. Расчётная схема к упражнению 5.1:
a – начальное положение системы;
b – произвольное положение

x_0 – координата центра тяжести системы в начальном положении, x_0 = 0 (см. рис.7.33); x – текущая координата центра тележки; x_1 – координата центра тяжести системы в её произвольном положении: $x_1 = \frac{m_1 x - m_2(l\sin\varphi - x)}{m_1 + m_2}$.

Уравнение закона сохранения движения центра масс системы: $x_1 = x_0$, или

$$m_1 x - m_2(l\sin\varphi - x) = 0.$$

Отсюда зависимость координаты движения тележки от положения груза 2: $x = \frac{m_2 l}{m_1 + m_2}\sin\varphi$.

5.2

Теорема об изменении кинетического момента системы относительно оси z: $\dfrac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$.

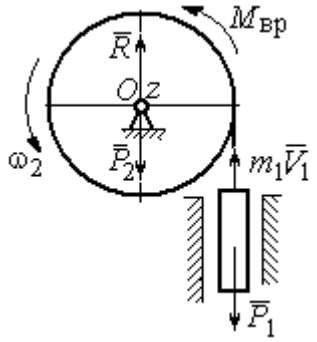


Рис. 7.34. Расчётная схема к упражнению 5.2

Кинетический момент системы:

$$L_z = L_z^{\text{бар}} + L_z^{\text{гр}} = \frac{m_2 r^2}{2}\omega + m_1 V_1 r = \left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)\omega r^2.$$

Суммарный момент внешних сил относительно оси z: $\sum M_z(\vec{F}_k^e) = M_{\text{вр}} - P_1 r = kt - m_1 g r$.

Дифференциальное уравнение вращения барабана:

$$\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right) r^2 \frac{d\omega}{dt} = kt - m_1 g r.$$

При нулевых начальных условиях $\omega = \dfrac{kt^2 - 2m_1 grt}{(2m_1 + m_2)r^2}$.

5.3

Уравнение теоремы об изменении кинетической энергии для неизменяемых систем на конечном перемещении: $T - T_0 = \sum A(F_k)$, $T_0 = 0$.

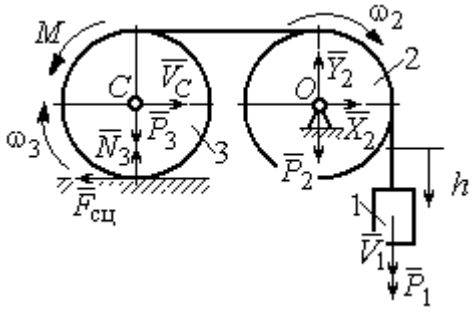


Рис. 7.35. Расчётная схема к упражнению 5.3

Кинетическая энергия груза 1: $T_1 = \dfrac{m_1 V_1^2}{2}$. Энергия вращательного движения блока 2: $T_2 = \dfrac{1}{2} J_O \omega_2^2$, где осевой момент инерции блока: $J_O = \dfrac{m_2 r^2}{2}$, угловая скорость блока $\omega_2 = \dfrac{V_1}{r}$. Кинетическая энергия катка 3: $T_3 = \dfrac{1}{2} m_3 V_C^2 + \dfrac{1}{2} J_C \omega_3^2$, где момент инерции катка относительно оси, проходя-

щей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_C = \frac{m_3 r^2}{2}$, угловая скорость катка и скорость его центра масс $\omega_3 = \frac{V_1}{2r}$, $V_C = \frac{V_1}{2}$.

Энергия системы: $T = T_1 + T_2 + T_3 = (8m_1 + 4m_2 + 3m_3)\frac{V_1^2}{16}$.

Суммарная работа вешних сил на перемещении h: $\sum A(F_k) = P_1 h - M\frac{h}{2r}$.

Уравнение теоремы об изменении кинетической энергии:

$$(8m_1 + 4m_2 + 3m_3)\frac{V_1^2}{16} = \left(m_1 g - \frac{M}{2r}\right)h.$$

Скорость груза на высоте h: $V_1 = 4\sqrt{\frac{\left(m_1 g - \frac{M}{2r}\right)h}{8m_1 + 4m_2 + 3m_3}}$.

5.4

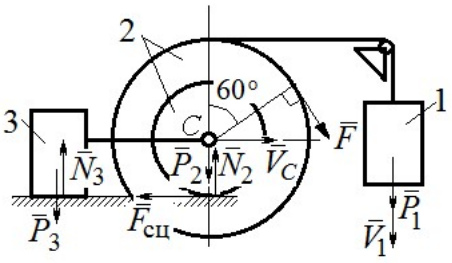


Рис. 7.36. Расчётная схема к упражнению 5.4

Для решения задачи используется теорема об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме: $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e)$, где T – энергия системы в её текущем положении; $\sum N(\vec{F}_k^e)$ – суммарная мощность внешних сил.

Допустим, груз 1 движется вниз со скоростью V_1. Скорость центра масс катка V_C.

Кинетическая энергия катка 2: $T_2 = \frac{1}{2}m_2 V_C^2 + \frac{1}{2}J_{zC}\omega_2^2$. Здесь $m_2 = \frac{2P}{g}$, $J_{zC} = m_2 i_z^2$, $\omega_2 = \frac{V_C}{r}$. В результате кинетическая энергия катка $T_2 = \frac{3P}{g}V_C^2$.

Скорость груза 3 $V_3 = V_C$. Кинетическая энергия груза 3 $T_3 = \frac{P}{g}V_C^2$.

Скорость груза 1 $V_1 = \omega_2 3r = 3V_C$. Кинетическая энергия груза 1: $T_1 = \dfrac{9P}{2g}V_C^2$.

Суммарная кинетическая энергия (энергия системы): $T = T_1 + T_2 + T_3 = \dfrac{17P}{2g}V_C^2$. Производная $\dfrac{dT}{dt} = \dfrac{17P}{g}V_C\dfrac{dV_C}{dt} = \dfrac{17}{g}V_C a_C$.

Мощности сил $\vec{P}_2$, $\vec{N}_2$, $\vec{F}_{\text{сц}}$, $\vec{P}_3$, $\vec{N}_3$ равны нулю.

Мощность силы $\vec{F}$, приложенной к колесу, определяется по формуле: $N(\vec{F}) = \vec{F}\cdot\vec{V}_C + \vec{M}_C(\vec{F})\cdot\vec{\omega}_2 = FV_C\cos 60° + FR\omega_2$. Мощность силы $\vec{P}_1$ $N(\vec{P}_1) = P_1V_1$. Суммарная мощность внешних сил: $\sum N(F^e) = 7PV_C$.

Составляем уравнение теоремы об изменении кинетической энергии системы: $\dfrac{17P}{g}V_C a_C = 7PV_C$, откуда $a_C = \dfrac{7}{17}g$ м/с^2.

5.5

Рассмотрим движение катков отдельно, заменив невесомый стержень реакцией. Предположим, катки движутся направо (см. рис. 7.37). Уравнения движения катков:

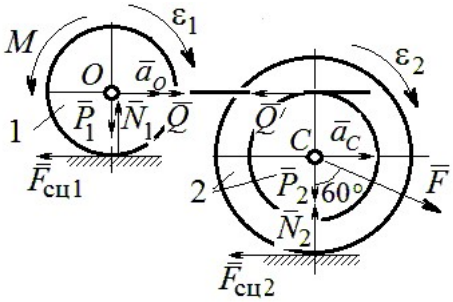


Рис. 7.37. Расчётная схема к упражнению 5.5

$$m_1 a_O = Q - F_{\text{сц1}},\ J_{1O}\varepsilon_1 = F_{\text{сц1}}r - M;$$

$$m_2 a_C = -Q' - F_{\text{сц2}} + F\cos 30°;$$

$$J_{2C}\varepsilon_2 = F_{\text{сц2}}3r - Q'r.$$

Здесь $\vec{Q}$ – реакция невесомого стержня, $|\vec{Q}| = |\vec{Q}'|$; $\vec{F}_{\text{сц1}}$, $\vec{F}_{\text{сц2}}$ – силы сцепления катков с поверхностями качения; моменты инерции катков $J_{1O} = \dfrac{m_1 r^2}{2}$, $J_{2C} = m_2 i_2^2$. Подставляя кинематические соотношения $\varepsilon_2 = \dfrac{a_C}{3r}$; $a_O = \dfrac{4}{3}a_C$; $\varepsilon_1 = \dfrac{4a_C}{3r}$, с учётом данных задачи, получим систему уравнений:

$$\frac{4P}{3g}a_C = Q - F_{сц1};\ \ \frac{2P}{3g}a_C = F_{сц1} - 4P;$$

$$\frac{2P}{g}a_C = -Q - F_{сц2} + P\sqrt{3};\ \ \frac{4P}{3g}a_C = 3F_{сц2} - Q.$$

Находим ускорение центра катка 2: $a_C = \dfrac{3\left(3\sqrt{3}-16\right)g}{46} \approx -\ 0{,}7g$. Каток движется в противоположную сторону. Реакция стержня $Q = 2{,}6P$.

5.6

Выделяем звенья механизма, заменяя действия нитей их реакциями. Допустим, направления движений тел в системе соответствуют подъёму груза 1.

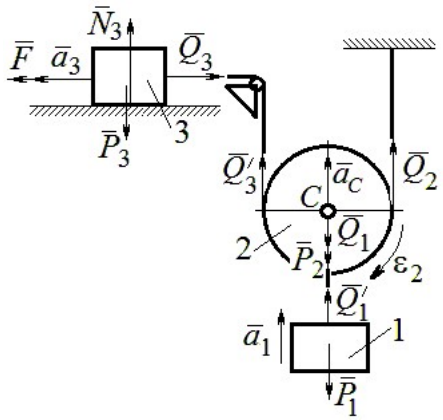


Рис. 7.38. Расчётная схема к упражнению 5.6

Уравнения движения тел:

$$m_3a_3 = F - Q_3,\ m_2a_C = Q_3' + Q_2 - P_2 - Q_1;$$

$$J_{2C}\varepsilon_2 = Q_3'r - Q_2r,\ m_1a_1 = Q_1' - P_1.$$

С учётом, что $\left|\vec{Q}_3\right| = \left|\vec{Q}_3'\right|$, $\left|\vec{Q}_1\right| = \left|\vec{Q}_1'\right|$ и $a_C = a_1$, $a_3 = 2a_1$, $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{r}$, $J_{2C} = \dfrac{m_2r^2}{2}$, подставляя данные задачи, получим систему уравнений:

$$2ma_1 = 2{,}5mg - Q_3;\ \ ma_1 = Q_3 + Q_2 - mg - Q_1;$$

$$\frac{ma_1}{2} = Q_3 - Q_2;\ m_1a_1 = Q_1 - P_1.$$

Решая систему, находим: $a_1 = \dfrac{2}{17}g \approx 0{,}12g$; $Q_3 = 2{,}26mg$; $Q_2 = 2{,}15mg$.

5.7

Заменяем действия нитей реакциями. Предположим, груз 1 спускается по наклонной плоскости. Уравнения движения тел:

$$m_1a_1 = P_1\cos 30° - Q_1;\ \ m_3a_3 = Q_3;$$

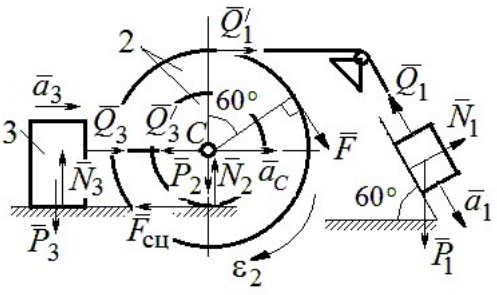


Рис. 7.39. Расчётная схема к упражнению 5.7

$$m_2 a_C = Q_1' - Q_3' - F_{\text{сц}} + F\cos 60^\circ;\ J_{2C}\varepsilon_2 = Q_1' R + FR + F_{\text{сц}} r,\ J_{2C} = m_2 i_2^2.$$

Соотношения ускорений: $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{R+r}$, $a_C = \dfrac{a_1 r}{R+r}$, $a_3 = a_C$. Подставляя данные задачи, с учётом, что модули сил $Q_1' = Q_1$ и $Q_3' = Q_3$, получим систему уравнений:

$$ma_1 = mg\frac{\sqrt{3}}{2} - Q_1;\ \frac{2}{3}ma_1 = Q_3;$$

$$ma_1 = Q_1 - Q_3 - F_{\text{сц}} + \frac{1}{2}mg;\ 3ma_1 = 2Q_1 + 2mg + F_{\text{сц}}.$$

Находим $a_1 = \dfrac{3}{46}\left(5+3\sqrt{3}\right)g \approx 0{,}44g;\ Q_1 = 0{,}21mg;\ Q_3 = 0{,}44mg$.

7.6. Ответы к упражнениям главы 6

6.1

Внешние силы, действующие на систему: силы тяжести – $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и реакции опор $\vec{N}_3$, $\vec{R}_3$ Приложим к телам системы, силы инерции $\vec{R}_1^{\text{ин}}$, $\vec{R}_2^{\text{ин}}$ (рис. 7.40, *a*). В соответствии с принципом Даламбера, полученная система сил находится в равновесии. Составляем условие равновесия системы сил в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси:

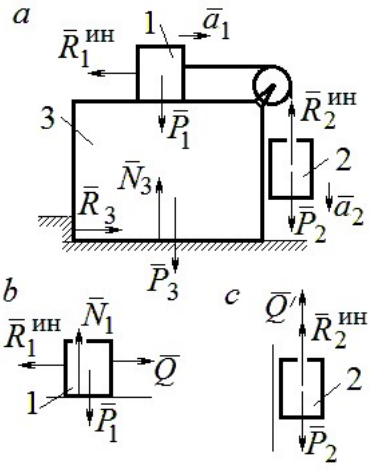


Рис. 7.40. Расчётная схема к упражнению 6.1

$$R_3 - R_1^{\text{ин}} = 0,\ N_3 - P_3 - P_1 - P_2 + R_2^{\text{ин}} = 0.$$

Для вычисления сил инерции рассмотрим отдельно грузы 1 и 2, заменяя действие соединяющей их нити реакцией (рис. 7.40, *b*, *c*). Присоединим к грузам силы инерции и, применив принцип Даламбера, составим уравнения равновесия систем сил - для груза 1 в проекции на горизонтальную ось, для груза 2 – на вертикальную:

$$Q - R_1^{\text{ин}} = 0;\ P_2 - Q' - R_2^{\text{ин}} = 0,$$

где $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$, $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$.

Решая полученную систему с учётом равенства модулей сил $Q = Q'$ и ускорений грузов $a_1 = a_2$, находим ускорение грузов: $a_1 = a_2 = 0{,}5g$. Тогда давление призмы на горизонтальную поверхность: $N_3 = 2{,}5mg$.

6.2

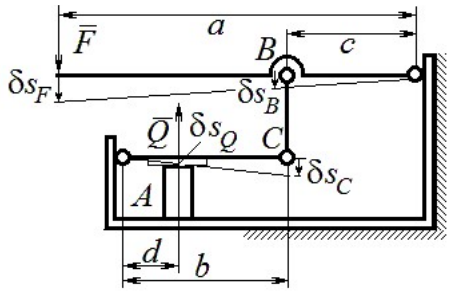


Рис. 7.41. Расчётная схема к упражнению 6.2

Активными силами в системе являются силы $\vec{F}$ и $\vec{Q}$. Для равновесия системы необходимо и достаточно выполнения условия: $\delta A\left(\vec{F}\right) + \delta A\left(\vec{Q}\right) = 0$ или $F\delta s_F - Q\delta s_Q = 0$, где δs_F и δs_Q – возможные перемещения точек приложения сил $\vec{F}$ и $\vec{Q}$.

Имеем соотношения: $\dfrac{\delta s_F}{\delta s_B} = \dfrac{a}{c}$, $\dfrac{\delta s_C}{\delta s_Q} = \dfrac{b}{d}$, где δs_B и δs_C – возможные перемещения точек B и C, причём $\delta s_B = \delta s_C$. Тогда $\delta s_Q = \dfrac{cd}{ab}\delta s_F$ и сила, сжимающая деталь A под прессом, равна $Q = \dfrac{ab}{cd}F$.

6.3

Активными силами, совершающими работу при движении системы, являются силы тяжести $\vec{P}_3$, $\vec{P}_4$ и пары сил с моментами M_1 и M_2. Связи идеальные.

Для равновесия системы необходимо и достаточно выполнения условия:

$$\delta A\left(\vec{P}_3\right) + \delta A\left(\vec{P}_4\right) + \delta A(M_1) + \delta A(M_2) = 0 \text{ или}$$

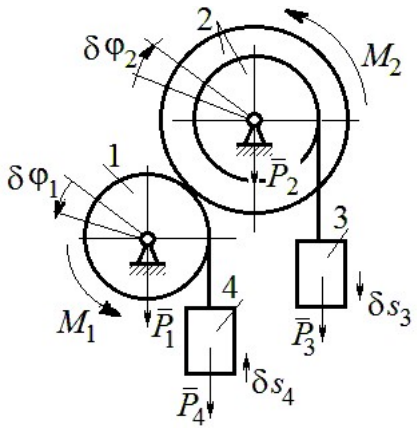


Рис. 7.42. Расчётная схема к упражнению 6.3

$$P_3\delta s_3 - P_4\delta s_4 + M_1\delta\varphi_1 - M_2\delta\varphi_2 = 0,$$

где $\delta s_3, \delta s_4$ – элементарные перемещения грузов 3, 4; $\delta\varphi_1, \delta\varphi_2$ – элементарные повороты валов 1 и 2. Выразим все перемещения через угол поворота вала 2: $\delta s_3 = \delta\varphi_2 r$, $\delta\varphi_1 = 3\delta\varphi_2$, $\delta s_4 = 3r\delta\varphi_2$ и подставим в уравнение равновесия. Получим: $M_2 = 4Pr$.

6.4

Система с идеальными связями. Активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и пара сил с моментом $M_{\text{вр}}$ (рис. 7.43).

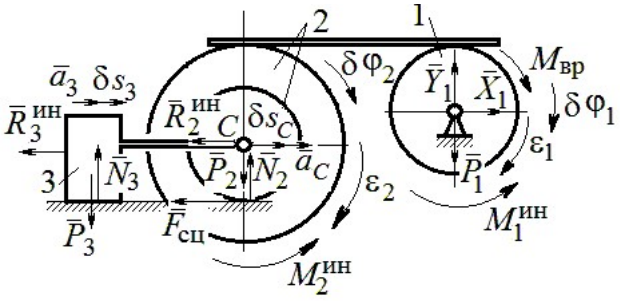


Рис. 7.43. Расчётная схема к упражнению 6.4

Направления поворотов дисков и их угловые ускорения показаны на рис. 7.43 дуговыми стрелками $\delta\varphi_1, \varepsilon_1$ и $\delta\varphi_2, \varepsilon_2$. Направления движения центра масс катка 2, груза 3 и их ускорения обозначены: $\delta s_C, a_C$ и $\delta s_3, a_3$.

Кинематические соотношения между перемещениями и ускорениями:

$$\delta s_C = \delta s_3,\ a_C = a_3,\ \delta\varphi_2 = \frac{\delta s_3}{r},\ \varepsilon_2 = \frac{a_3}{r},\ \delta\varphi_1 = \frac{3\delta s_3}{r},\ \varepsilon_1 = \frac{3a_3}{r}.$$

Присоединим к телам системы силы инерции.

Модули главных векторов сил инерции: $R_3^{\text{ин}} = m_3 a_3 = ma_3$;

$$R_2^{\text{ин}} = m_2 a_C = 2ma_3;\ M_2^{\text{ин}} = m_2 i_2^2 \varepsilon_2 = 4{,}5mra_3;\ M_1^{\text{ин}} = \frac{m_1 R_1^2}{2}\varepsilon_1 = 1{,}5mra_3.$$

Элементарные работы активных сил:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = M_{\text{вр}}\delta\varphi_1 = (mg\sin\omega t)3\delta s_3.$$

Элементарные работы сил инерции:

$$\sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = -R_3^{\text{ин}}\delta s_3 - R_2^{\text{ин}}\delta s_C - M_2^{\text{ин}}\delta\varphi_2 - M_1^{\text{ин}}\delta\varphi_1 =$$

$$= -ma_3\delta s_3 - 2ma_3\delta s_3 - 4{,}5ma_3\delta s_3 - 1{,}5ma_3 3\delta s_3 = -12ma_3\delta s_3.$$

Общее уравнение динамики имеет вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = m(3g\sin\omega t - 12a_3)\delta s_3 = 0.$$

Ускорение груза 3: $a_3 = 0{,}25g\sin\omega t$, или $\ddot{s}_3 = 0{,}25g\sin\omega t$. Интегрируя дифференциальное уравнение с нулевыми начальными условиями, получим закон движения груза: $s_3 = \dfrac{0{,}25g}{\omega}\left(t - \dfrac{1}{\omega}\sin\omega t\right)$.

6.5

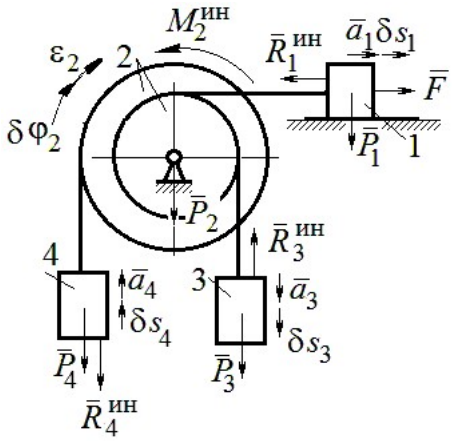


Рис. 7.44. Расчётная схема к упражнению 6.5

Система с идеальными связями. Активные силы и главные вектора сил инерции показаны на рис. 7.44.

Элементарные работы активных сил: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = F\delta s_1 + P_3\delta s_3 - P_4\delta s_4$ и сил инерции $\sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = -R_1^{\text{ин}}\delta s_1 - R_3^{\text{ин}}\delta s_3 - R_4^{\text{ин}}\delta s_4 - M_2^{\text{ин}}\delta\varphi_2$, где модули сил инерции: $R_1^{\text{ин}} = \dfrac{P_1}{g}a_1$, $R_3^{\text{ин}} = \dfrac{P_3}{g}a_3$, $R_4^{\text{ин}} = \dfrac{P_1}{g}a_4$, $M_2^{\text{ин}} = \dfrac{P_2}{g}i_2^2\varepsilon_2$.

Кинематические соотношения: $\delta s_3 = \delta s_1$, $a_3 = a_1$, $\delta s_4 = 2\delta s_1$, $a_4 = 2a_1$, $\delta\varphi_2 = \dfrac{\delta s_1}{r}$, $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{r}$. Общее уравнение динамики:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = P(t+1)\delta s_1 + P\delta s_1 - 2P\delta s_1 -$$

$$-\left(\frac{P}{g}a_1\delta s_1 + \frac{P}{g}a_1\delta s_1 + \frac{2P}{g}2a_1 2\delta s_1 + \frac{2P}{g}2r^2\frac{a_1}{r}\frac{\delta s_1}{r}\right) = P\left(t - \frac{14a_1}{g}\right)\delta s_1 = 0.$$

Находим уравнение движения груза 3: $a_3 = a_1 = \dfrac{1}{14}gt$, или $\ddot{x}_3 = \dfrac{1}{14}gt$.

Проинтегрировав дифференциальное уравнение с нулевыми начальными условиями, получим закон движения груза 3: $x_3 = \dfrac{1}{84}gt^3 \approx 0{,}012gt^3$.

6.6

Рассматриваемая механическая система (рис. 7.45) имеет одну степень свободы. Уравнение Лагранжа: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right)-\frac{\partial T}{\partial x}=Q_x$, где T – кинетическая энергия системы: Q_x – обобщенная сила.

В качестве обобщённой координаты x выберем положение точки C относительно недеформированной пружины, отмеченной на рис. 7.45 величиной l_0. Обобщённая скорость $\dot{x}$.

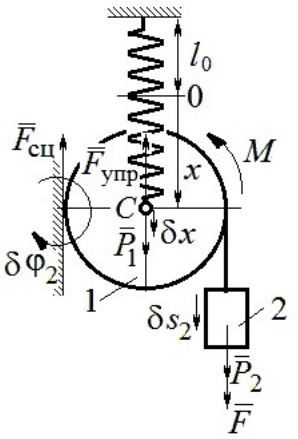


Рис. 7.45. Расчётная схема к упражнению 6.6

Кинетическая энергия катка: $T_1=\frac{1}{2}m_1V_C^2+\frac{1}{2}J_{zC}\omega_1^2$, где ω_1, V_C – угловая скорость катка и скорость его центра масс, $V_C=\dot{x}$, $\omega_1=\frac{V_C}{r}=\frac{\dot{x}}{r}$; момент инерции $J_{zC}=\frac{1}{2}m_1r^2$. Кинетическая энергия груза 2: $T_2=\frac{1}{2}m_2V_2^2$, где V_2 – скорость груза 2, $V_2=2V_C=2\dot{x}$. Кинетическая энергия системы, выраженная через обобщённую скорость: $T=T_1+T_2=\frac{7P}{2g}\dot{x}^2$.

В произвольном положении системы, определяемом координатой x, дадим центру масс катка возможное перемещение δx (см. рис. 7.45). Элементарная работа активных сил $\sum\delta A(F_{\text{к}})=P_1\delta x-F_{\text{упр}}\delta x+(P_2+F)\delta s_2-M\delta\varphi_1$. Полагая перемещения $\delta s_2=2\delta x$, $\delta\varphi_1=\frac{\delta x}{r}$, модуль силы упругости $F_{\text{упр}}=cx$ и с учётом данных задачи, получим $\sum\delta A(F_{\text{к}})=(3P-cx)\delta x$. Обобщённая сила $Q_x=3P-cx$.

Уравнение Лагранжа $\frac{7P}{g}\ddot{x}=3P-cx$, или $\ddot{x}+\frac{4g}{7r}x=\frac{3g}{7}$.

Решение уравнения (с нулевыми начальными условиями): $x = \frac{3}{4} r\left(1 - \cos\omega t\right)$. Закон движения груза: $s_2 = 2x = \frac{3}{2} r\left(1 - \cos\omega t\right)$.

6.7

Рассматриваемая система имеет две степени свободы. Обобщённые координаты – расстояния x_1, x_2 соответственно до грузов 1 и 2, отсчитываемые от неподвижных центров блоков *B* и *D* (рис. 7.46, *a*). Обобщённые скорости $\dot{x}_1$, $\dot{x}_2$. Кинетическая энергия грузов и блока 3:

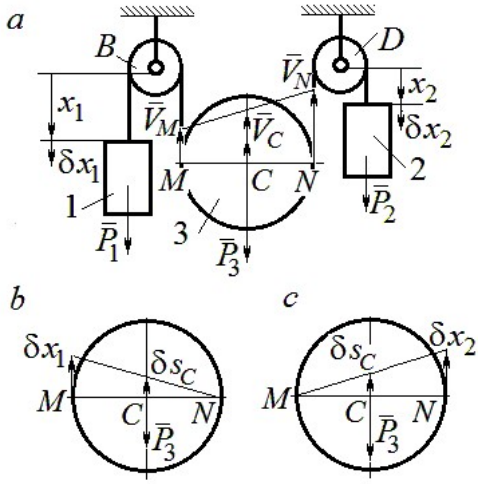


Рис. 7.46. Расчётная схема к упражнению 6.7:
a – кинематика механизма;
b, *c* – возможные перемещения блока 3 при вычислении обобщённых сил

$$T_1 = \frac{P_1 \dot{x}_1^2}{2g},\ T_2 = \frac{P_2 \dot{x}_2^2}{2g};$$

$$T_3 = \frac{P_3}{2g}\left(\frac{\dot{x}_1 + \dot{x}_2}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}\frac{P_3 r^2}{2g}\left(\frac{\dot{x}_2 - \dot{x}_1}{2r}\right)^2.$$

Здесь учтено (см. рис. 7.46, *a*): что

$$V_C = \frac{V_N + V_M}{2} = \frac{\dot{x}_2 + \dot{x}_1}{2};$$

$$\omega_2 = \frac{V_N - V_M}{2r} = \frac{\dot{x}_2 - \dot{x}_1}{2r}.$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_1, оставляя координату x_2 постоянной: $\delta x_1 \neq 0$, $\delta x_2 = 0$. На этом перемещении сумма элементарных работ внешних сил (см. рис. 7.46, *a*, *b*):

$$\sum \delta A(F_к) = P_1 \delta x_1 - P_3 \delta s_C = \left(P_1 - \frac{1}{2} P_3\right)\delta x_1.$$

Обобщённая сила $Q_{x_1} = P_1 - \frac{1}{2} P_3$.

Дадим системе другое независимое возможное перемещение – по координате x_2, так, что $\delta x_1 = 0$, $\delta x_2 \neq 0$. При этом перемещении сумма элементарных работ внешних сил (см. рис. 7.46, *a*, *c*):

$$\sum \delta A(F_{\text{к}}) = P_2 \delta x_2 - P_3 \delta s_C = \left(P_2 - \frac{1}{2} P_3 \right) \delta x_2 .$$

Обобщённая сила $Q_{x_2} = P_2 - \frac{1}{2} P_3$.

Уравнения Лагранжа

$$\left(P_1 + \frac{3}{8} P_3 \right) \frac{\ddot{x}_1}{g} + \frac{1}{8} P_3 \frac{\ddot{x}_2}{g} = P_1 - \frac{1}{2} P_3 , \quad \frac{1}{8} P_3 \frac{\ddot{x}_1}{g} + \left(P_2 + \frac{3}{8} P_3 \right) \frac{\ddot{x}_2}{g} = P_2 - \frac{1}{2} P_3 \text{ или}$$

$$7\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 = 0 , \; \ddot{x}_1 + 9\ddot{x}_2 = 2g .$$

Ускорения грузов: $\ddot{x}_1 = -\frac{1}{31} g$, $\ddot{x}_2 = \frac{7}{31} g$. Ускорение центра масс блока $\ddot{x}_C = \frac{\ddot{x}_2 + \ddot{x}_1}{2} = \frac{6}{31} g$. Груз 1 и центр блока 3 движутся вверх, груз 2 – вниз. (Сравнить с задачей 70.)

6.8

Система с двумя степенями свободы. Обобщённые координаты: x_1 – положение центра масс катка 1 (точки C_1) относительно неподвижной вертикальной стены; x_2 – положение центра масс катка 2 (точки C_2) относительно подвижного края платформы.

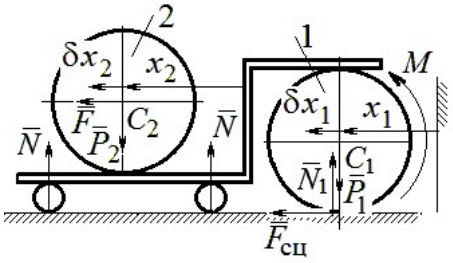


Рис. 7.47. Расчётная схема к упражнению 6.8

Кинетическая энергия системы

$$T = \frac{3}{4} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} \left[m_2 \left(\dot{x}_2 + 2\dot{x}_1 \right)^2 + \frac{m_2 r^2}{2} \left(\frac{\dot{x}_2}{r} \right)^2 \right] = \frac{P}{g} \left(\frac{11}{4} \dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + 2\dot{x}_1 \dot{x}_2 \right).$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_1 $\left(\delta x_1 \neq 0 \right)$, оставляя другую координату x_2 неизменной $\left(\delta x_2 = 0 \right)$. Работу совершают момент M и сила $\overline{F}$. Суммарная работа

$$\sum \delta A(F_{\text{к}}) = M \delta \varphi_1 + F \delta s_{C_2} = M \frac{\delta x_1}{r} + F 2\delta x_1 = 4P \delta x_1 .$$

Обобщённая сила $Q_{x_1} = 4P$.

При другом независимом возможном перемещении $\delta x_1 = 0$, $\delta x_2 \neq 0$ суммарная работа внешних сил $\sum \delta A(F_к) = F\delta x_2$ и обобщённая сила, соответствующая координате x_2, равна $Q_{x_2} = P$.

Уравнения Лагранжа

$$\frac{P}{g}\left(\frac{11}{2}\ddot{x}_1 + 2\ddot{x}_2\right) = 4P,\ \frac{P}{g}\left(2\ddot{x}_2 + 2\ddot{x}_1\right) = P, \text{ или}$$

$$11\ddot{x}_1 + 4\ddot{x}_2 = 8g,\ 2\ddot{x}_2 + 2\ddot{x}_1 = g$$

Ускорение центра катка 1 $\ddot{x}_1 = \frac{6}{7}g$. Тележка катится в направлении оси x_1. Ускорение центра катка 2 относительно тележки $\ddot{x}_2 = -\frac{5}{14}g$. Закон относительного движения центра катка 2 при нулевых начальных условиях: $x_2 = -\frac{5}{28}gt^2$. Каток катится к правому борту тележки.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бать М. И., *Джанелидзе Г. Ю.*, *Кельзон А. С.* Теоретическая механика в примерах и задачах: Т. 1–2.– СПб.: Лань, 2010.

Бутенин Н. В., *Лунц Я. Л.*, *Меркин Д. Р.* Курс теоретической механики: В 2-х томах.– М.: Наука, 2009.

Вебер Г. Э., *Ляпцев*, *С. А*. Лекции по теоретической механике. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов. – М.: Высшая школа, 2010.

Учебное издание

Валерий Григорьевич Брагин
Евгений Борисович Волков
Юрий Михайлович Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебное пособие

Редактор *Л.В. Устьянцева*

Компьютерная версия

Подписано в печать 26.10.2018 г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 15,625. Уч. изд. л. 10,5. Тираж экз. Заказ №
Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

4. ДИНАМИКА ТОЧКИ

4.1. Дифференциальные уравнения движения точки

Движение точки под действием системы сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, …, $\vec{F}_K$ в прямоугольной декартовой системе координат *Oxyz* описывается **дифференциальными уравнениями:** $m\frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx}$, $m\frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky}$, $m\frac{d^2z}{dt^2} = \sum F_{kz}$ или, обозначая вторые производные от координат по времени двумя точками, уравнениями: $m\ddot{x} = \sum F_{kx}$, $m\ddot{y} = \sum F_{ky}$, $m\ddot{z} = \sum F_{kz}$, где m – масса точки; x, y, z – текущие координаты точки; $\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{z}$ – проекции вектора ускорения точки на оси координат; $\sum F_{kx}$, $\sum F_{ky}$, $\sum F_{kz}$ – алгебраические суммы проекций сил на оси координат.

Интегрирование дифференциальных уравнений производится в зависимости от их вида методами, известными из курса математики.

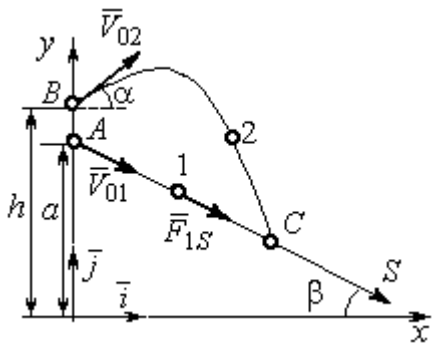
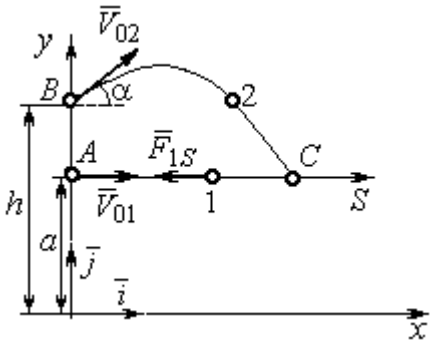
4.2. Задание Д1. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки

Две материальные точки движутся в вертикальной плоскости *xOy*. Точка 1 массой m_1, получив в начальном положении *A* скорость V_{01}, движется вдоль гладкой оси *AS*, наклоненной под углом β к горизонту. Во время движения на точку 1 действуют сила тяжести и постоянная сила $\vec{F}_1$, направленная вдоль оси *AS*. Направление вектора проекции силы на ось $\vec{F}_{1S}$ показано на схеме.

Одновременно с точкой 1 начинает движение точка 2 массой m_2 из положения *B* на оси *y*. На точку 2 действуют сила тяжести и постоянная сила $\vec{F}_2$. Направление вектора силы $\vec{F}_2$ определяется его разложением по единичным векторам $\vec{i}$, $\vec{j}$ координатных осей *x*, *y*.

Определить величину и направление (угол α) начальной скорости V_{02} точки 2, чтобы в момент времени t_1 точки 1 и 2 встретились на оси AS в точке C. Момент времени t_1 задаётся в условиях задачи или определяется по дополнительным условиям встречи.

Варианты заданий представлены на рис. 4.1, 4.2. Исходные данные приведены в табл. 4.1.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
 Встреча в точке C в момент, когда скорость точки 1 увеличилась в 1,5 раза относительно начальной	 Встреча в точке C в момент, когда точка 1 максимально удалилась от места старта

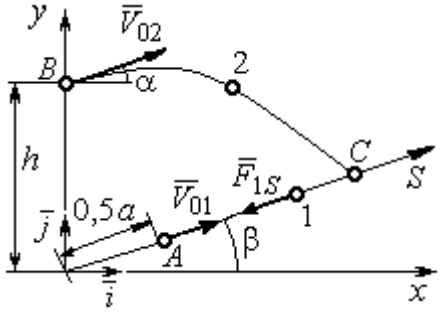
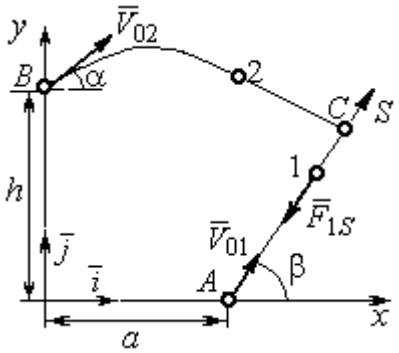
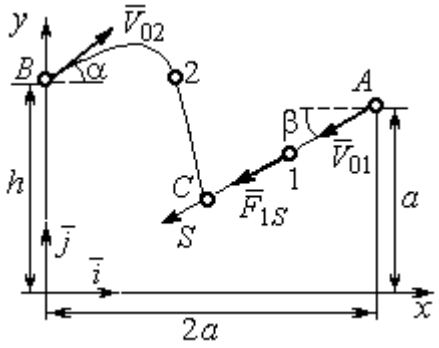
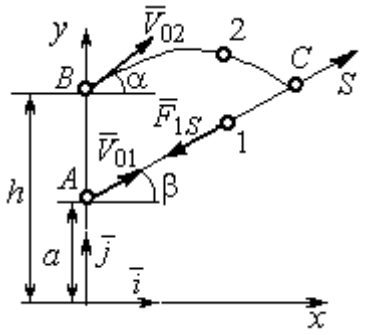
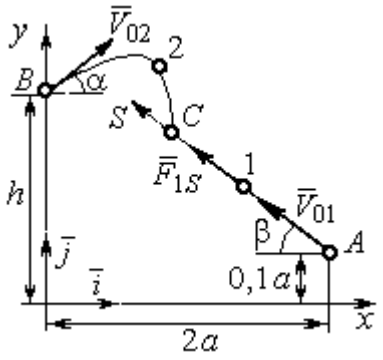
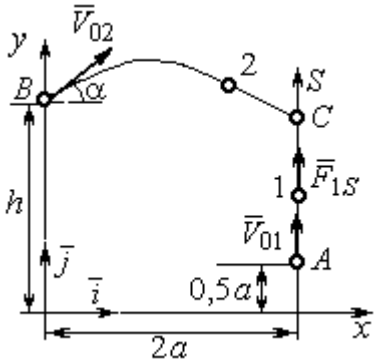
Варианты № 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
 Встреча в точке C в момент, когда скорость точки 1 уменьшилась в 2 раза относительно начальной	 Встреча в точке C в момент времени $t_1 = 0{,}5$ с

Рис. 4.1. Задание Д1. Интегрирование уравнений движения точки.
Номера вариантов задания 1 – 4, 11 – 14, 21 – 24

Варианты № 5, 15, 25	**Варианты № 6, 16, 26**
	
Встреча в точке *C* в момент, когда скорость точки 1 увеличилась в 1,5 раза относительно начальной	Встреча в точке *C*, когда точка 1 максимально удалилась от места старта

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	
Встреча в точке *C* в момент времени $t_1 = 0{,}4$ с	Встреча в точке *C* в момент максимального подъёма точки 1

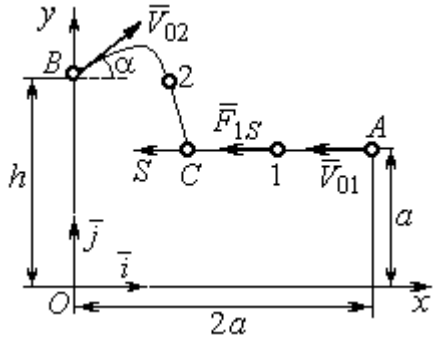
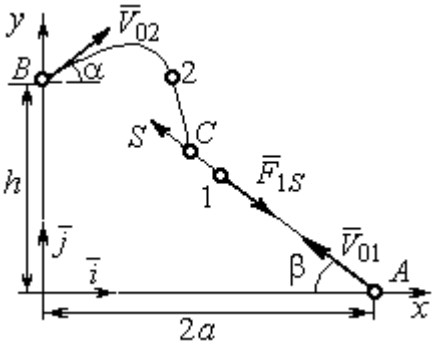
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	
Встреча в точке *C* в момент времени $t_1 = 0{,}6$ с	Встреча в точке *C* в момент, когда точка 1 достигла максимальной высоты подъёма

Рис. 4.2. Задание Д1. Интегрирование уравнений движения точки.
Номера вариантов задания 5 – 10, 15 – 20, 25 – 30

Таблица 4.1

Исходные данные задания Д1. Интегрирование уравнений движения точки

Номер варианта задания	m_1, кг	F_{1S}, Н	V_{01}, м/с	β, град	m_2, кг	$\vec{F}_2$, Н	a, м	h, м
1	1	3	3	30	2	$7\vec{i}$	2	4
2	3	6	2	0	2	$4\vec{i}+12\vec{j}$	1,5	1
3	2	5	4	35	1,5	$10\vec{i}+4\vec{j}$	2	2,5
4	1	10	2	60	2	$4\vec{i}+8\vec{j}$	2,2	2
5	1	3	3	30	2	$5\vec{i}$	3	4,5
6	0,8	6	6	50	3	$3\vec{i}+12\vec{j}$	1,5	4
7	2	5	4,5	40	1	$10\vec{i}+2\vec{j}$	3	2,5
8	1	2	3,5	90	2	$6\vec{i}+8\vec{j}$	1,2	2
9	2	4	4	0	1	$3\vec{i}+2\vec{j}$	2	2,5
10	1	3	3	55	1,5	$4\vec{i}$	1	1,5
11	0,5	2	3	60	2	$3\vec{i}+8\vec{j}$	1,5	2,5
12	0,2	3	4	0	1	$5\vec{i}-2\vec{j}$	1	2,5
13	1	2	6	50	1,5	$6\vec{i}-4\vec{j}$	0,8	2
14	0,5	6	4	35	1	$3\vec{i}-2\vec{j}$	2,5	2
15	0,2	3	3	50	2	$2\vec{i}-2\vec{j}$	3	4
16	2	4	6	40	2	$3\vec{i}+12\vec{j}$	1	1,5
17	1	6	5	60	1,5	$5\vec{i}+4\vec{j}$	3	2,5
18	1	2	2	90	2	$4\vec{i}+4\vec{j}$	2	2
19	1	3	2	2	2	$2\vec{i}+10\vec{j}$	1	1,5
20	5	4	2	30	1	$3\vec{i}-2\vec{j}$	1,5	1,5
21	0,2	4	4	45	1	$6\vec{i}-2\vec{j}$	1	3
22	0,4	3	2	0	2	$4\vec{i}+6\vec{j}$	1,5	2,5
23	1	3	8	60	2	$4\vec{i}+2\vec{j}$	1,2	1,5
24	0,5	8	3	30	2	$6\vec{i}+7\vec{j}$	2	1,5
25	2	4	4	60	1	$2\vec{i}-2\vec{j}$	3,5	4
26	1	3	5	50	2	$4\vec{i}+6\vec{j}$	0,5	1,5
27	1,5	3	6	30	2	$4\vec{i}+4\vec{j}$	2	2,5
28	2	5	3	90	2	$6\vec{i}+7\vec{j}$	2	1,5
29	2	4	4	0	1	$5\vec{i}-2\vec{j}$	1,5	2
30	1	3	2,5	70	2	$4\vec{i}+6\vec{j}$	1	1

Пример выполнения задания Д1. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки

На рис. 4.3 представлена схема движения материальных точек в вертикальной плоскости *xOy*. Точка 1 массой $m_1 = 2$ кг, получив в начальном положении *A* скорость $V_{01} = 4$ м/с, движется вдоль гладкой оси *AS* с углом наклона $\beta = 30^{\circ}$. Во время движения на точку 1 действуют сила тяжести $\vec{P}_1$ и постоянная сила $\vec{F}_1$, проекция которой на ось *AS* равна $F_{1S} = 4{,}5$ Н. Направление вектора проекции силы $\vec{F}_{1S}$ на ось *AS* показано на рис. 4.3.

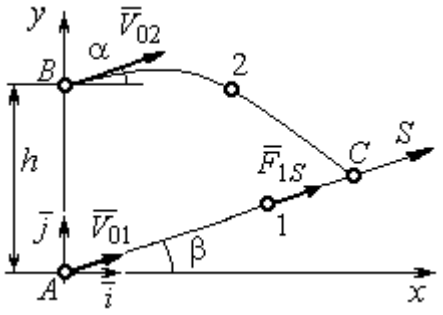


Рис. 4.3. Схема совместного движения точек

Одновременно с началом движения точки 1 из положения *B* на оси *y* высотой $h = 1$ м начинает движение точка 2 массой $m_2 = 1{,}2$ кг. На точку 2 действуют сила тяжести $\vec{P}_2$ и сила $\vec{F}_2$, направление которой определяется разложением по единичным векторам $\vec{i}$, $\vec{j}$ осей *x*, *y* декартовой системы координат: $\vec{F}_2 = 2{,}4\vec{i} + 4{,}5\vec{j}$, Н. Определить величину и направление (угол α) начальной скорости V_{02} точки 2, чтобы в момент времени t_1, когда скорость точки 1 уменьшилась в 2 раза по сравнению с начальным значением, обе они встретились на оси *AS* в точке *C*.

Решение

Рассмотрим движение точки 1. В текущий момент времени на точку 1 действует сила тяжести $\vec{P}_1$, нормальная реакция $\vec{N}_1$ наклонной оси *AS* и сила $\vec{F}_1$, величина проекции которой на ось *AS* равна F_{1S} (рис. 4.4). Дифференциальное уравнение движения точки 1 $m_1\ddot{S} = F_{1S} - P_1\sin\beta$, или $m_1\dfrac{dV_{1S}}{dt} = 4{,}5 - m_1 g\sin\beta$. С учетом исходных данных, полагая ускорение свободного падения $g = 9{,}81$ м/с^2, дифференциальное уравнение движения точки 1

приводится к виду: $\frac{dV_{1S}}{dt} = -2{,}66$. Разделим переменные, представив дифференциальное уравнение в виде $dV_{1S} = -2{,}66dt$. Проинтегрировав его, получим зависимость скорости точки 1 от времени: $V_{1S} = -2{,}66t + C_1$. Для того чтобы определить закон движения точки 1, представим скорость точки как производную от координаты $V_{1S} = \frac{dS}{dt}$. Получим дифференциальное уравнение $\frac{dS}{dt} = -2{,}66t + C_1$, проинтегрировав которое, найдём уравнение движения точки 1: $S = -1{,}33t^2 + C_1 t + C_2$. Константы интегрирования C_1, C_2 находятся из начальных условий: при $t = 0$, $S = 0$, $\dot{S} = V_{1S} = V_{01} = 4$ м/с. Подставляя первое из условий в уравнение движения точки 1, получим $C_2 = 0$. Подставим начальное значение скорости в уравнение $\dot{S} = -2{,}66t + C_1$, выражающее зависимость скорости точки 1 от времени. Получим $C_1 = 4$. Таким образом, движение точки 1 вдоль оси AS описывается уравнением: $S = -1{,}33t^2 + 4t$.

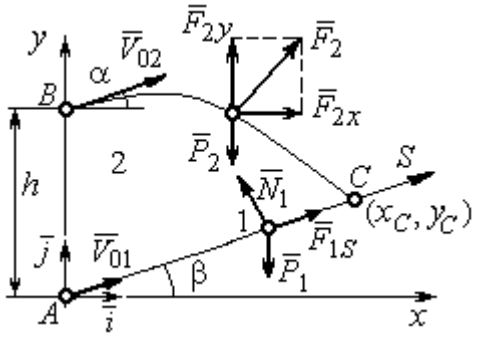


Рис. 4.4. Силы, действующие на точки 1 и 2, во время их движения

По условию задачи встреча двух точек происходит в момент времени t_1, когда скорость первой точки уменьшилась в 2 раза по сравнению с начальной: $V_{1S}(t_1) = \frac{V_{01}}{2} = 2$ м/с. Подставляя это условие в уравнение, выражающее зависимость скорости точки 1 от времени, получим: $2 = -2{,}66t_1 + 4$, откуда найдём момент времени встречи $t_1 = 0{,}75$ с. Расстояние AC, пройденное точкой 1 до встречи, определяется как путь, пройденный этой точкой за время $t_1 = 0{,}75$ с, $AC = S(t_1) = -1{,}33 \cdot 0{,}75^2 + 4 \cdot 0{,}75 = 2{,}25$ м. Координаты точки встречи x_C, y_C определяются из равенств: $x_C = S(t_1)\cos 30^\circ = 1{,}95$ м; $y_C = S(t_1)\sin 30^\circ = 1{,}12$ м.

Рассмотрим движение точки 2. В текущий момент времени на нее действует сила тяжести $\vec{P}_2$ и сила $\vec{F}_2 = 2{,}4\vec{i} + 4{,}5\vec{j}$, проекции которой на оси координат $F_{2x} = 2{,}4$ Н, $F_{2y} = 4{,}5$ Н. Дифференциальные уравнения движения точки 2 в проекциях на оси координат *x*, *y* имеют вид:

$$m_2\ddot{x} = F_{2x} = 2{,}4, \quad m_2\ddot{y} = -P_2 + F_{2y} = -m_2 g + 4{,}5,$$

или после подстановки исходных данных: $\ddot{x} = 2$, $\ddot{y} = -6{,}06$.

Представим в первом уравнении проекцию ускорения точки 2 на ось *x* как производную от соответствующей проекции скорости $\ddot{x} = \dfrac{dV_{2x}}{dt}$. После разделения переменных получим дифференциальное уравнение $dV_{2x} = 2dt$. Проинтегрируем его и найдем зависимость горизонтальной составляющей скорости точки 2 от времени: $V_{2x} = 2t + C_3$. Заменим в этом уравнении проекцию скорости точки на ось *x* на производную от координаты $V_{2x} = \dfrac{dx}{dt}$. После интегрирования получим уравнение, описывающее движение точки 2 вдоль оси *x*, $x = t^2 + C_3 t + C_4$. Для того чтобы найти постоянные C_3 и C_4, воспользуемся граничными условиями движения точки 2 – известной начальной координатой движения точки и вычисленной координатой точки встречи, то есть при $t = 0$, $x = 0$, а при $t_1 = 0{,}75$ с $x(t_1) = x_C = 1{,}95$ м. Подставляя граничные условия в уравнение движения точки 2, получим $C_4 = 0$, $C_3 = 1{,}85$. Таким образом, уравнение движения точки 2 вдоль оси *x*: $x = t^2 + 1{,}85t$.

Закон движения точки 2 вдоль оси *y* находим путем интегрирования второго дифференциального уравнения. Его представим в виде: $\dfrac{dV_{2y}}{dt} = -6{,}06$. После разделения переменных и первого интегрирования получим зависимость проекции скорости точки 2 на ось *y* от времени: $V_{2y} = -6{,}06t + C_5$. Заменив проекцию скорости точки 2 на ось *y* производной от координаты $V_{2y} = \dfrac{dy}{dt}$, вто-

рично проинтегрируем. В результате движение точки 2 вдоль оси y описывается уравнением: $y = -3{,}03t^2 + C_5 t + C_6$. Для определения констант C_5 и C_6 используем граничные условия: при $t = 0$ $y(0) = h = 1$ м, а при $t_1 = 0{,}75$ с $y(t_1) = y_C$ =1,12 м. Получим $C_6 = 1$, $C_5 = 2{,}43$. Таким образом, точка 2 движется вдоль оси y по закону: $y = -3{,}03t^2 + 2{,}43t + 1$.

Проекции скорости точки 2 на оси координат как функции времени имеют вид: $V_{2x}(t) = \dot{x} = 2t + 1{,}85$, $V_{2y}(t) = \dot{y} = -6{,}06t + 2{,}43$. Значения проекций при $t = 0$: $V_{02x} = V_{2x}(0) = 1{,}85$ м/с, $V_{02y} = V_{2y}(0) = 2{,}43$ м/с. Величина начальной скорости: $V_{02} = \sqrt{{V_{02x}}^2 + {V_{02y}}^2} = 3{,}05$ м/с.

Угол наклона вектора скорости в начальный момент определяется из равенства: $\mathrm{tg}\alpha = \dfrac{V_{02y}}{V_{02x}} = \dfrac{2{,}43}{1{,}85} = 1{,}31$. Откуда $\alpha = 52{,}64^\circ$.

4.3. Колебания материальной точки

Силы, возникающие при отклонении материальной точки от положения равновесия и направленные так, чтобы вернуть точку в это положение, называются **восстанавливающими**. Восстанавливающие силы, линейно зависящие от расстояния от точки до положения её равновесия, называются **линейными восстанавливающими силами**. Так, сила упругости пружины $F = c\Delta\ell$, где c – коэффициент жесткости (или просто жёсткость) пружины; $\Delta\ell$ – удлинение пружины, является линейной восстанавливающей силой.

Дифференциальное уравнение движения материальной точки массой m вдоль оси Оx под действием линейной восстанавливающей силы, представляет собой уравнение гармонических колебаний и имеет вид:

$$m\ddot{x} + cx = 0, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = 0,$$

где x – отклонение точки от положения равновесия, куда поместили начало

координат; ω – угловая частота колебаний, $\omega^2 = \frac{c}{m}$. Единица измерения угловой частоты – рад/с.

Решение дифференциального уравнения свободных колебаний представляется суммой $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$, где постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий. **Амплитуда свободных колебаний** $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$. Промежуток времени, в течение которого точка совершает одно полное колебание, называется **периодом колебаний**: $T = \frac{2\pi}{\omega}$. Величина, обратная периоду $\nu = \frac{1}{T}$ определяет число полных колебаний точки за 1 с и называется **частотой колебаний**. Частота колебаний измеряется в герцах (Гц). Частота, равная 1 Гц, соответствует одному полному колебанию в секунду. Угловая частота связана с частотой колебаний соотношением $\omega = 2\pi\nu$.

Если на материальную точку кроме восстанавливающей силы действует сила сопротивления движению, пропорциональная скорости точки, $\vec{R} = -\mu\vec{V}$, где μ – коэффициент сопротивления, то дифференциальное уравнение движения точки с сопротивлением относительно положения равновесия имеет вид $m\ddot{x} + \mu\dot{x} + cx = 0$, или $\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega^2 x = 0$, где n – коэффициент затухания, $n = \frac{\mu}{2m}$; ω – угловая частота собственных колебаний точки без учёта сопротивления, $\omega^2 = \frac{c}{m}$.

При $n < \omega$ движение точки представляет затухающие колебания. Общее решение дифференциального уравнения колебаний с сопротивлением $x = e^{-nt}(C_1\cos\omega_1 t + C_2\sin\omega_1 t) = Ae^{-nt}\sin(\omega_1 t + \alpha)$, где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования; ω_1 – угловая частота затухающих колебаний, $\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - n^2}$;

$A_1 = Ae^{-nt}$ – амплитуда затухающих колебаний, $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$; α – начальная фаза колебаний, $\text{tg}\alpha = \dfrac{C_1}{C_2}$.

При $n > \omega$ движение точки апериодическое, затухающее. Общее решение дифференциального уравнения движения точки с таким сопротивлением имеет вид $x = e^{-nt}(C_1 e^{\omega_2 t} + C_2 e^{-\omega_2 t})$, где $\omega_2 = \sqrt{n^2 - \omega^2}$.

При $n = \omega$ движение точки происходит согласно уравнению $x = e^{-nt}(C_1 t + C_2)$.

Если кроме восстанавливающей силы на материальную точку действует переменная возмущающая сила, колебания точки называются **вынужденными.**

При действии гармонической возмущающей силы $F = H\sin pt$, где H, p – амплитуда и угловая частота колебаний возмущающей силы, дифференциальное уравнение вынужденных колебаний материальной точки относительно положения равновесия и при отсутствии сил сопротивления имеет вид

$$m\ddot{x} + cx = H\sin pt, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt,$$

где ω – угловая частота собственных гармонических колебаний, $\omega^2 = \dfrac{c}{m}$; h – относительная амплитуда возмущающей силы, $h = \dfrac{H}{m}$.

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения вынужденных колебаний представляется как сумма общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного.

При отсутствии резонанса, когда частота собственных колебаний не совпадает с частотой возмущающей силы $p \neq \omega$, решение имеет вид: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \dfrac{h}{\omega^2 - p^2}\sin pt$, а в случае резонанса, когда $p = \omega$, – вид: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t - \dfrac{ht}{2p}\cos pt$. Значения произвольных постоянных C_1 и C_2

определяются из общего решения неоднородного уравнения с учетом начальных условий движения. Амплитуда собственных колебаний груза $A_{\text{соб}} = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$. Амплитуда вынужденных колебаний при отсутствии резонанса $A_{\text{вын}} = \dfrac{h}{\omega^2 - p^2}$. При резонансе амплитуда вынужденных колебаний растет как линейная функция времени $A_{\text{вын}} = \dfrac{ht}{2p}$.

Если возмущающее воздействие заключается в **принудительном гармоническом колебании точки подвеса пружины**, например, по закону $S = a\sin pt$, где a, p – амплитуда и угловая частота колебаний точки подвеса пружины, дифференциальное уравнение вынужденных колебаний материальной точки относительно положения равновесия при отсутствии сил сопротивления имеет вид $\ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt$, где ω – угловая частота собственных гармонических колебаний, $\omega^2 = \dfrac{c}{m}$; h – относительная амплитуда возмущающего колебания, $h = \dfrac{ca}{m}$. Общее решение неоднородного дифференциального уравнения вынужденных колебаний при принудительном гармоническом колебании точки подвеса пружины может быть получено аналогично случаю возмущения гармонической силой.

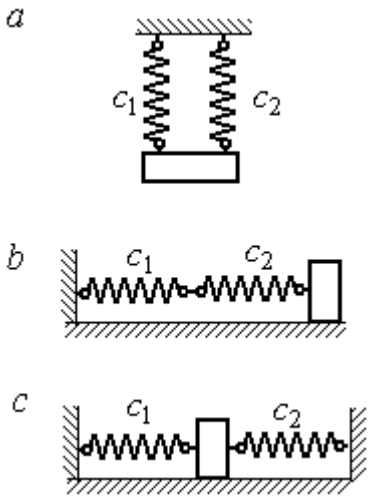


Рис. 4.5. Способы крепления груза на двух пружинах:
a – две параллельные пружины;
b – последовательно соединённые пружины; *c* – крепление груза между пружинами

Система пружин заменяется одной с эквивалентной жесткостью. Так, колебания груза на двух параллельных пружинах с коэффициентами жесткости c_1 и c_2 (рис. 4.5, *a*) можно рассматривать как колебания груза на одной пружине эквивалент-

ной жесткости $c_{экв} = c_1 + c_2$, где $c_{экв}$ – коэффициент жесткости эквивалентной пружины. При последовательном соединении пружин (рис. 4.5, *b*) коэффициент жесткости эквивалентной пружины $c_{экв} = \dfrac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$. Если груз расположен между двумя пружинами (рис. 4.5, *c*), тогда $c_{экв} = c_1 + c_2$. Коэффициент жесткости эквивалентной пружины равен сумме коэффициентов жесткости пружин.

4.4. Задание Д2. Исследование колебаний точки

Задание Д2 на исследование колебаний точки включает две задачи.

Задача 1. Исследование гармонических колебаний точки.

Найти уравнение движения груза массой m_1 (или одновременно двух грузов массой m_1 и m_2) на пружине жесткостью c_1 (или на двух пружинах жесткостью c_1 и c_2). Расположение грузов на пружине и описание условий, при которых начались колебания, приведено на схемах. Определить амплитуду и частоту колебаний.

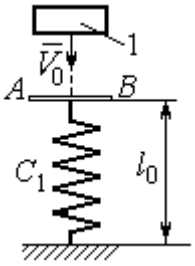
Задача 2. Исследование вынужденных колебаний точки.

Груз движется на пружинах, расположенных вертикально или горизонтально. При движении груза по горизонтальной поверхности трение не учитывается. Жёсткость пружин c_1 и c_2. Направление возмущающего усилия $F = F(t)$, приложенного к грузу, или возмущающего движения точки крепления пружин $S = S(t)$, а также описание условий начала колебаний приведено на схемах. В задачах, где на схемах присутствует амортизатор, создающий сопротивление движению груза, сила сопротивления пропорциональна скорости движения груза и находится по формуле: $\vec{R} = -\mu \vec{V}$ Н, где μ – коэффициент сопротивления; V – скорость груза. Определить уравнение колебаний груза, амплитуды собственных и вынужденных колебаний.

Варианты заданий даны на рис. 4.6 – 4.9. Исходные данные в табл. 4.2.

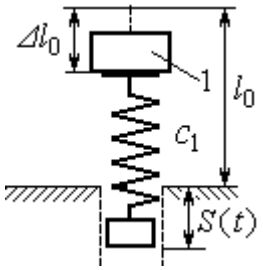
Варианты № 1, 11, 21

Задача 1



Невесомая пластина AB укреплена на нерастянутой пружине. Груз 1, получив начальную скорость V_0, падает вертикально вниз. Через 1 с после начала падения груз достигает пластины и продолжает движение вместе с ней

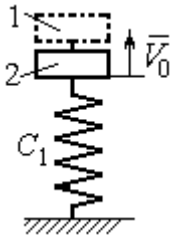
Задача 2



К верхнему концу пружины, сжатой на величину $\Delta\ell_0$, прикрепляют груз 1 и отпускают без начальной скорости. Одновременно нижний конец пружины начинает двигаться по закону $S = S(t)$

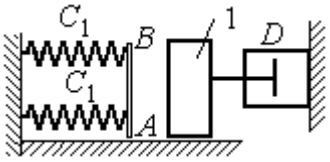
Варианты № 2, 12, 22

Задача 1



В положении статического равновесия двух грузов (1 и 2), установленных на пружине, груз 1 убрали, а грузу 2 сообщили скорость V_0, направленную вверх

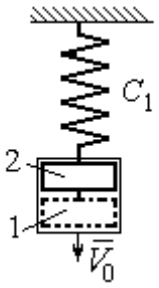
Задача 2



Груз 1 движется по гладкой горизонтальной поверхности с начальной скоростью V_0. Через 1 с груз упирается в площадку AB, укреплённую на недеформированных пружинах, соединённых параллельно, и продолжает движение вместе с ней. Во время движения (до упора в площадку AB и вместе с ней) груз испытывает сопротивление, создаваемое демпфером D

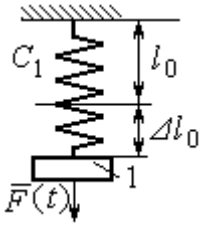
Варианты № 3, 13, 23

Задача 1



В положении статического равновесия груза 2, укреплённого на пружине, к нему присоединили груз 1 и оба груза толкнули вниз со скоростью V_0

Задача 2

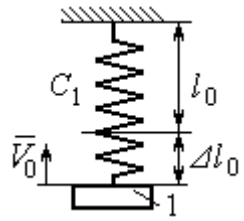


Недеформированную пружину оттянули вниз на расстояние $\Delta\ell_0$, подцепили груз 1 и отпустили без начальной скорости. Одновременно на груз стала действовать возмущающая сила $\vec{F}(t)$

Рис. 4.6. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 1 – 3, 11 – 13, 21 – 23

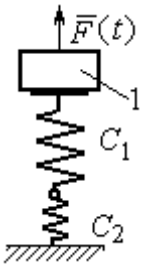
Варианты № 4, 14, 24

Задача 1



К недеформированной пружине подцепили груз 1, оттянули его вниз на расстояние $\Delta\ell_0$ и сообщили скорость V_0, направленную вверх

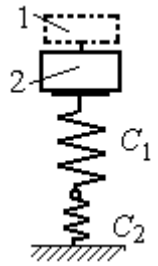
Задача 2



Грузу 1, укреплённому на двух последовательно соединённых пружинах в положении статического равновесия, сообщили начальную скорость V_0, направленную вниз. Одновременно на груз стала действовать возмущающая сила $\vec{F}(t)$

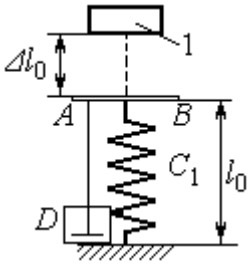
Варианты № 5, 15, 25

Задача 1



В положении статического равновесия грузов 1 и 2, укреплённых на двух вертикальных последовательно соединённых пружинах, убрали груз 1, а груз 2 отпустили без начальной скорости

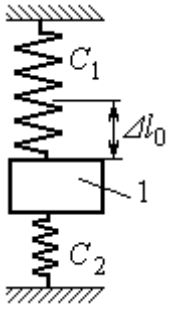
Задача 2



Груз 1 падает с высоты $\Delta\ell_0$ на площадку AB, установленную на недеформированной пружине, и продолжает движение вместе с ней. Демпфер D создаёт сопротивление движению груза на пружине

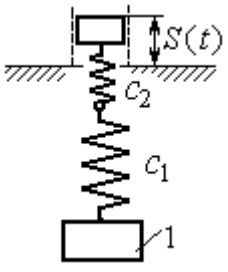
Варианты № 6, 16, 26

Задача 1



Груз 1 поместили между двумя недеформированными пружинами, затем оттянули вниз на расстояние $\Delta\ell_0$ и отпустили без начальной скорости

Задача 2

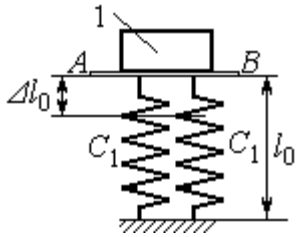


К недеформированным пружинам, соединённым последовательно, подцепили груз 1 и толкнули его вниз со скоростью V_0. Одновременно верхний конец пружины начинает двигаться по закону $S = S(t)$

Рис. 4.7. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 4 – 6, 14 – 16, 24 – 26

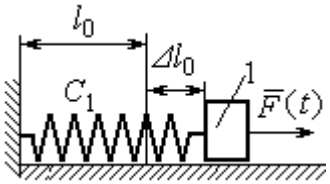
Варианты № 7, 17, 27

Задача 1



К недеформированным пружинам приложили груз 1, переместили его вниз на величину $\Delta\ell_0$ и сообщили скорость V_0, направленную вниз

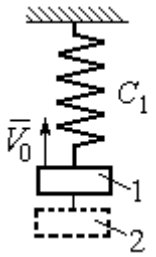
Задача 2



К нерастянутой пружине, расположенной на горизонтальной гладкой поверхности, подцепили груз 1, оттянули его на расстояние $\Delta\ell_0$ и отпустили. Одновременно на груз стала действовать горизонтальная возмущающая сила $\vec{F}(t)$

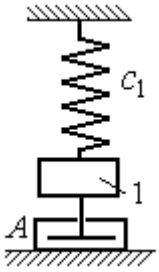
Варианты № 8, 18, 28

Задача 1



Грузы 1 и 2 находятся на пружине в положении статического равновесия. Груз 2 удаляют, а грузу 1 сообщают скорость V_0, направленную вверх

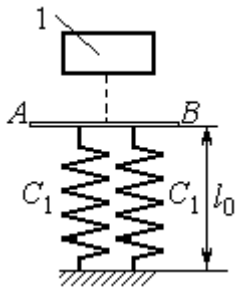
Задача 2



В положении статического равновесия груза 1 ему сообщили скорость V_0, направленную вниз. Демпфер A создаёт сопротивление движению груза

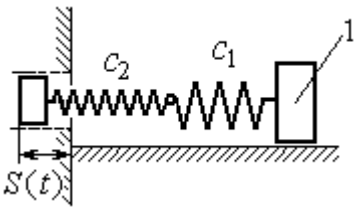
Варианты № 9, 19, 29

Задача 1



Груз 1 без начальной скорости падает вниз. Пройдя путь 1 м, груз достигает невесомой пластины AB, укреплённой на недеформированных, параллельно соединённых пружинах, и дальше движется вместе с ней

Задача 2



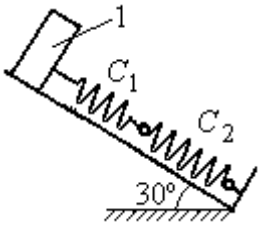
К двум горизонтальным пружинам, соединённым последовательно, в положении их нерастянутого состояния прицепили груз 1 и сообщили ему горизонтальную скорость V_0, направленную в сторону сжатия пружин. Одновременно левый конец пружинной системы начинает двигаться по закону $S = S(t)$

Рис. 4.8. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 7 – 9, 17 – 19, 27 – 29

Окончание вариантов задания Д2

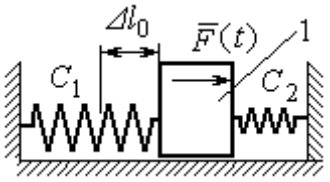
Варианты № 10, 20, 30

Задача 1



В положении статического равновесия груза 1, укреплённого на двух последовательно соединённых пружинах, сообщили скорость V_0, направленную вниз по наклонной плоскости

Задача 2



Между двумя горизонтальными недеформированными пружинами на гладкую поверхность поместили груз 1, оттянули его влево на расстояние $\Delta\ell_0$ и отпустили без начальной скорости. Одновременно на груз стала действовать возмущающая сила $\vec{F}(t)$

Рис. 4.9. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 10, 20, 30

Таблица 4.2

Исходные данные задания Д2. Исследование колебаний точки

Номер варианта задания	Номер задачи	m_1, кг	m_2, кг	V_0, м/с	c_1, Н/м	c_2, Н/м	$\Delta\ell_0$, м	μ, Н·с/м	$F(t)$, Н	$S(t)$, м
1	1	2,5	–	2,0	200	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	–	210	–	0,1	–	–	0,02sin12t
2	1	1,5	2,0	4	250	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	4	220	–	–	1,0	–	–
3	1	2,0	1,5	3	250	–	–	–	–	–
	2	1,2	–	–	200	–	0,14	–	12sin5t	–
4	1	2,0	–	3	180	–	0,1	–	–	–
	2	1,5	–	2	150	120	–	–	8sin12t	–
5	1	1,0	2,0	–	120	100	–	–	–	–
	2	1,0	–	–	50	–	0,5	18	–	–
6	1	1,2	–	–	120	180	0,12	–	–	–
	2	1,4	–	2,4	120	180	–	–	–	0,03sin14t
7	1	1,6	–	3,2	140	–	0,15	–	–	–
	2	1,5	–	–	120	–	0,12	–	12sin6t	–
8	1	1,0	2,0	3,0	150	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	3,5	120	–	–	15	–	–

Продолжение табл. 4.2

Номер варианта задания	Номер задачи	m_1, кг	m_2, кг	V_0, м/с	c_1, Н/м	c_2, Н/м	$\Delta\ell_0$, м	μ, Н·с/м	$F(t)$, Н	$S(t)$, м
9	1	1,5	–	–	100	–	–	–	–	–
	2	1,4	–	2,0	100	110	–	–	–	0,015sin8t
10	1	2,5	–	2,5	110	100	–	–	–	–
	2	2,0	–	–	110	52	0,08	–	5sin9t	–
11	1	2,0	–	4,0	300	–	–	–	–	–
	2	1,0	–	–	200	–	0,12	–	–	0,01sin4t
12	1	1,8	2,4	4	220	–	–	–	–	–
	2	1,0	–	5	240	–	–	0,6	–	–
13	1	1,5	1,5	2	200	–	–	–	–	–
	2	1,8	–	–	180	–	0,08	–	10sin10t	–
14	1	2,0	–	2	200	–	0,12	–	–	–
	2	2,0	–	2	150	120	–	–	10sin8t	–
15	1	1,5	2,0	–	120	250	–	–	–	–
	2	1,5	–	–	120	–	0,4	4	–	–
16	1	2,0	–	–	150	75	0,1	–	–	–
	2	2,0	–	2,5	150	75	–	–	–	0,01sin5t
17	1	1,5	–	2,1	160	–	0,11	–	–	–
	2	1,8	–	–	150	–	0,1	–	8sin12t	–
18	1	2,0	1,0	2,5	80	–	–	–	–	–
	2	1,5	–	2,5	50	–	–	21	–	–
19	1	1,6	–	–	120	–	–	–	–	–
	2	1,2	–	2,0	85	120	–	–	–	0,015sin7t
20	1	2,0	–	2,0	90	100	–	–	–	–
	2	2,5	–	–	100	90	0,12	–	6sin10t	–
21	1	2,0	–	1,6	220	–	–	–	–	–
	2	2,5	–	–	250	–	0,14	–	–	0,01sin10t
22	1	2,2	1,5	3	180	–	–	–	–	–
	2	1,5	–	4	280	–	–	0,8	–	–
23	1	2,2	1,2	2	220	–	–	–	–	–
	2	1,6	–	–	200	–	0,12	–	5sin7t	–

Окончание табл. 4.2

Номер варианта задания	Номер задачи	m_1, кг	m_2, кг	V_0, м/с	c_1, Н/м	c_2, Н/м	$\Delta\ell_0$, м	μ, Н·с/м	$F(t)$, Н	$S(t)$, м
24	1	1,6	–	2,4	160	–	0,13	–	–	–
	2	1,0	–	3	150	300	–	–	6sin10t	–
25	1	0,8	1,2	–	120	80	–	–	–	–
	2	0,8	–	–	180	–	0,4	12	–	–
26	1	1,4	–	–	100	120	0,15	–	–	–
	2	1,8	–	2,2	150	120	–	–	–	0,015sin8t
27	1	2	–	4,0	150	–	0,12	–	–	–
	2	2	–	–	162	–	0,13	–	5sin9t	–
28	1	1,5	2,0	2,0	140	–	–	–	–	–
	2	1,5	–	3,1	180	–	–	12	–	–
29	1	1,0	–	–	140	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	2,4	75	150	–	–	–	0,08sin5t
30	1	1,6	–	3	75	150	–	–	–	–
	2	1,5	–	3	80	70	0,15	–	8sin10t	–

Пример выполнения задания Д2. Исследование колебаний точки

Задача 1. Груз 1 весом P = 20 Н, лежащий на гладкой наклонной плоскости, прикреплён к недеформированной пружине, расположенной параллельно плоскости (рис. 4.10). Угол наклона плоскости к горизонту 30º, коэффициент жесткости пружины c = 400 Н/м. В начальный момент груз переместили вверх по наклонной плоскости (сжали пружину) на расстояние $\Delta\ell_0$ = 0,1 м относительно нерастянутой пружины и отпустили без начальной скорости.

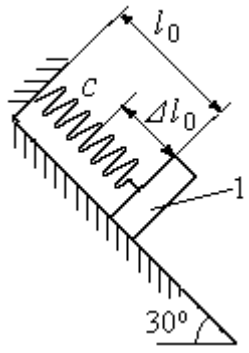


Рис. 4.10. Схема крепления груза и условия начала колебаний

Определить уравнение колебаний груза 1, а также частоту и амплитуду колебаний.

Решение

Расчетная схема колебаний груза 1 показана на рис. 4.11. Направим ось *Ox*, вдоль которой происходят колебания груза, вниз вдоль наклонной плоскости. Начало отсчёта координаты *x* выберем в положении статического равновесия груза (см. рис. 4.11) В произвольном положении груза, обозначенном координатой *x*, к нему приложены три силы: сила тяжести $\vec{P}$, реакция опоры наклонной плоскости $\vec{N}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$. Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*: $F_{\text{упр}\,x} = -c\Delta\ell$, где $\Delta\ell$ – удлинение пружины относительно её нерастянутого положения, включающее её растяжение *x* относительно выбранного начала координат и растяжение $\lambda_{\text{ст}}$ при статическом равновесии груза на наклонной плоскости.

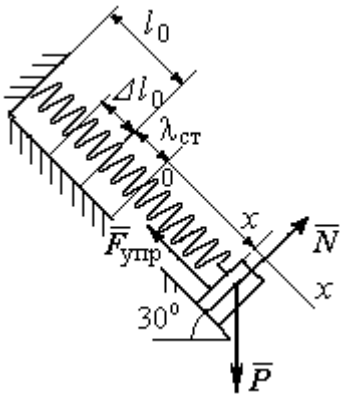


Рис. 4.11. Расчётная схема колебаний груза

С учетом выражения силы упругости получим дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*:

$$m\ddot{x} = P\sin 30^\circ - c(x + \lambda_{\text{ст}}).$$

В положении статического равновесия сила упругости уравновешивается силой, равной проекции силы тяжести на ось *x*: $P\sin 30^\circ - c\lambda_{\text{ст}} = 0$. Подставляя это выражение условия статического равновесия груза в уравнение движения, получим дифференциальное уравнение колебаний груза:

$$m\ddot{x} = -cx, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = 0,$$

где ω – угловая частота колебаний; $\omega = \sqrt{\dfrac{c}{m}} = 14{,}01$ рад/с.

Общее решение уравнения колебаний $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$.

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 вычислим координату x_0 начального положения груза на оси *Ox*.

Растяжение пружины в положении статического равновесия $\lambda_{ст} = \dfrac{P\sin 30^\circ}{c} = 0{,}025$ м. Координата начального положения груза определяется величиной сжатия пружины и, поскольку начало отсчёта координаты x выбрано в положении статического равновесия груза, равна (со знаком!): $x_0 = -(\Delta\ell_0 + \lambda_{ст}) = -0{,}125$ м (см. рис. 4.11).

Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения колебаний при $t = 0$, получим $C_1 = -0{,}125$ м. Для определения второй константы вычислим скорость груза в произвольный момент времени: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t$. Подставим сюда начальное значение скорости груза при $t = 0$ $\dot{x} = V_0 = 0$, получим $C_2 = 0$. Окончательно уравнение движения груза 1 относительно положения статического растяжения пружины:

$$x(t) = -0{,}125\cos 14{,}01t \text{ м}.$$

Амплитуда колебаний груза $A = 0{,}125$ м.

Задача 2. Груз 1 весом $P = 20$ Н подвешен на недеформированной вертикальной пружине (рис. 4.12). Жесткость пружины $c = 800$ Н/м. В начальный момент груз был оттянут вниз в положение, при котором пружина растянулась на расстояние $\Delta\ell_0 = 0{,}1$ м, и в этом положении ему сообщена начальная скорость $V_0 = 2$ м/с, направленная вверх.

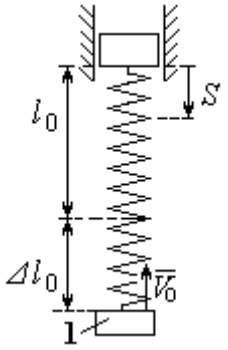


Рис. 4.12. Схема крепления груза и условия начала колебаний

Одновременно с началом движения груза верхний конец пружины стал совершать гармонические колебания по закону $S = a\sin 10t$, где $a = 0{,}02$ м.

Определить уравнение колебаний груза 1, а также частоту и амплитуду собственных колебаний.

Решение

Расчетная схема колебаний груза 1 показана на рис. 4.13. Направим ось *Ox*, вдоль которой происходят колебания груза, вертикально вниз. Начало отсчёта координаты *x* выберем в положении статического равновесия груза (см. рис. 4.13, *c*, *d*). В произвольном положении груза, обозначенном координатой *x*, к нему приложены две силы: сила тяжести $\vec{P}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$.

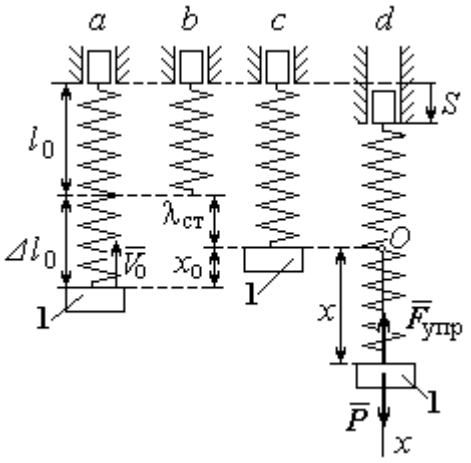


Рис. 4.13. Расчётная схема вынужденных колебаний груза: *a* – положение груза на начало колебаний; *b* – недеформированная пружина; *c* – статическое растяжение пружины под действием веса груза; *d* – положение груза в произвольный момент времени и перемещение точки подвеса пружины

Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*

$$F_{\text{упр}\,x} = -c\Delta\ell = -c(x + \lambda_{\text{ст}} - S),$$

где $\Delta\ell$ – удлинение пружины, включающее её растяжение *x* относительно начала координат, растяжение $\lambda_{\text{ст}}$ при статическом равновесии груза и уменьшение растяжения при смещении верхнего конца, $\Delta\ell = (x + \lambda_{\text{ст}} - S)$.

С учетом выражения силы упругости получим дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*:

$$m\ddot{x} = P - c(x + \lambda_{\text{ст}} - S).$$

В положении статического равновесия выполняется условие равенства сил: $P - c\lambda_{\text{ст}} = 0$.

После подстановки его в уравнение движения груза получаем дифференциальное уравнение вынужденных колебаний:

$$m\ddot{x} = -cx + cS, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt,$$

где ω – угловая частота собственных колебаний, $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$, ω = 19,81 рад/с; h – относительная амплитуда вынужденных колебаний, $h = \frac{ca}{m}$ = 7,85 м/с^2; p – угловая частота вынужденных колебаний, p = 10 рад/с.

При отсутствии резонанса (здесь $\omega \neq p$) общее решение уравнения вынужденных колебаний имеет вид $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \frac{h}{\omega^2 - p^2}\sin pt$.

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 вычислим координату x_0 начального положения груза на оси Ox. Координата начального положения груза (см. рис. 4.13, *b*) $x_0 = \Delta\ell_0 - \lambda_{ст}$. Растяжение пружины в положении статического равновесия $\lambda_{ст} = \frac{P}{c}$ = 0,02 м, тогда x_0 = 0,08 м. Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения вынужденных колебаний при t = 0, получим: $C_1 = x_0$ = 0,08 м.

Для определения второй константы вычислим скорость груза в произвольный момент времени: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t + \frac{hp}{\omega^2 - p^2}\cos pt$. Проекция скорости груза в начальный момент на ось Ox $V_{0x} = -V_0$. Подставив начальное значение скорости груза при t = 0 $\dot{x} = V_{0x} = -V_0$, получим: $C_2 = -\frac{V_0}{\omega} - \frac{hp}{\omega(\omega^2 - p^2)}$ = – 0,11 м. Окончательно уравнение движения груза 1 относительно положения статического равновесия, м.

$$x(t) = 0{,}08\cos 19{,}82t - 0{,}11\sin 19{,}82t - 0{,}03\sin 10t.$$

Амплитуда вынужденных колебаний $A_{вын} = \frac{h}{\omega^2 - p^2}$ = 0,03 м. Амплитуда собственных колебаний груза $A_{соб} = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$ = 0,14 м.

4.5. Теорема об изменении кинетической энергии точки

Работой $A(\vec{F})$ силы $\vec{F}$, постоянной по модулю и направлению, на конечном прямолинейном перемещении S_1 точки приложения силы называется величина $A(\vec{F}) = FS_1\cos\alpha$. Если угол α острый, работа силы положительна. Если угол α тупой, – отрицательна. При $\alpha = 90°$ сила перпендикулярна перемещению точки и работа силы равна нулю.

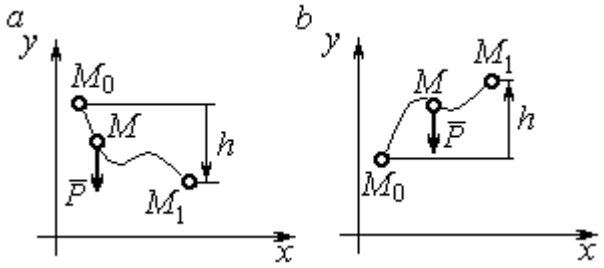


Рис. 4.14. Схема для вычисления работы силы тяжести:
a – перемещение точки сверху вниз;
b – перемещение точки снизу вверх

Работа силы тяжести материальной точки (вертикальной силы) при перемещении точки из положения M_0 в положение M_1 равна произведению модуля силы тяжести на вертикальное перемещение точки $A_{(M_0M_1)} = \pm Ph$, где P – величина силы тяжести точки; h – величина вертикального перемещения точки (рис. 4.14). Работа силы тяжести положительная, если начальная точка движения выше конечной, и отрицательная, – если ниже.

Работа силы упругости пружины на прямолинейном перемещении вдоль линии действия силы из положения недеформированной пружины на расстояние h определяется формулой $A(F_{\text{упр}}) = -\dfrac{ch^2}{2}$, где c – коэффициент жесткости (или просто жёсткость) пружины.

Кинетической энергией материальной точки называется скалярная величина $T = \dfrac{1}{2}mV^2$, где m – масса точки; V – её скорость. **Теорема об изменении кинетической энергии точки** заключается в том, что изменение кинетической энергии точки за конечный промежуток времени равно алгебраической сумме работ всех действующих на неё сил: $\dfrac{mV_1^2}{2} - \dfrac{mV_0^2}{2} = \sum A_{(M_0M_1)}$, где V_0,

V_1 – скорость точки в начальном положении M_0 и в положении M_1; $\sum A_{(M_0M_1)}$ – сумма работ всех сил, действующих на точку, при её перемещении из положения M_0 в положение M_1.

При несвободном движении точки сумма работ сил включает работу реакций связи. Если движение происходит без трения по неподвижной гладкой поверхности, то реакция связи направлена по нормали к поверхности и её работа при любом перемещении точки равна нулю.

Для определения реакций связи при несвободном движении точки используются уравнения движения точки в проекциях на оси естественной системы координат – касательную и нормальную: $m\frac{dV}{dt} = \sum F_\tau$, $m\frac{V^2}{\rho} = \sum F_n$, где $\sum F_\tau$, $\sum F_n$ – суммы проекций сил на касательную и нормальную оси естественной системы координат; ρ – радиус кривизны траектории точки.

4.6. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии

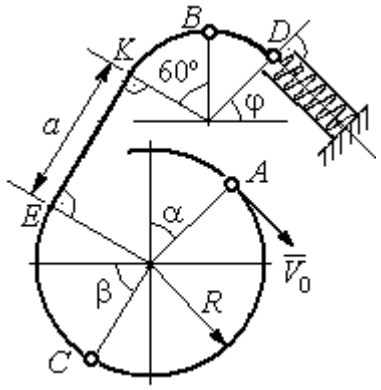
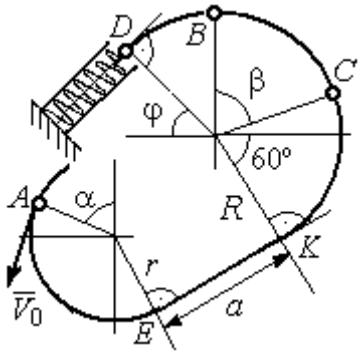
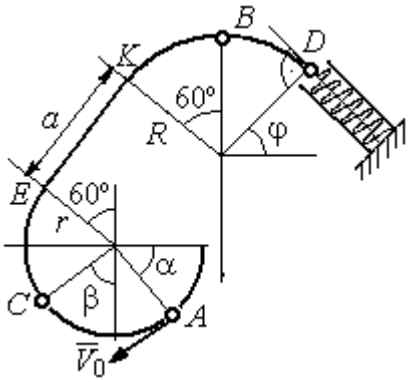
Тонкий стержень с надетым на него шариком массой *m* расположен в вертикальной плоскости и состоит из дуг окружностей радиусами *r* и *R* = 2*r*, соединённых прямолинейным отрезком *EK*, сопряжённым с дугами окружностей в точках *E* и *K*. В этих точках шарик переходит с одного участка стержня на другой, не изменяя величины и направления скорости. Длина отрезка *EK* = *a*.

В точке *A*, положение которой на дуге окружности определяется углом α, шарику сообщают начальную скорость V_0. По дугам окружностей шарик скользит без трения, а при движении по прямолинейному отрезку *EK* на него действует постоянная сила трения с коэффициентом трения *f*. На участках с вертикальным отрезком *EK* считать, что шарик прижимается к стержню силой, равной половине веса шарика.

Достигнув на дуге окружности точки *D*, шарик упирается в недеформированную пружину жёсткостью *c* и, продолжая движение по сопряженной прямой, сжимает её. Положение точки *D* определяется углом φ.

Определить величину максимального сжатия пружины, если шарик проходит наивысшее положении траектории – точку *B* со скоростью $V_B = kV_0$. При найденном значении начальной скорости рассчитать давление шарика на стержень в точке *C*, положение которой на дуге определяется углом β.

Варианты заданий приведены на рис. 4.15, 4.16. Исходные данные задания в табл. 4.3.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**	**Варианты № 3, 13, 23**
		

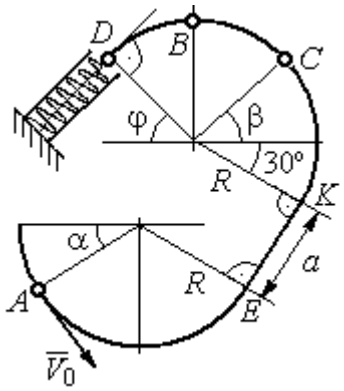
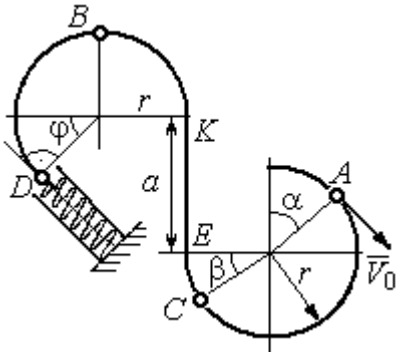
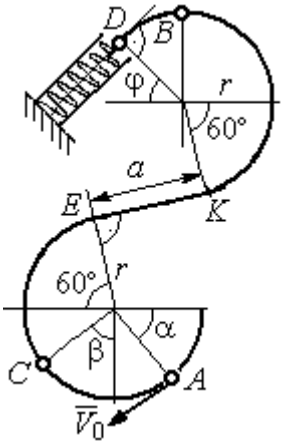
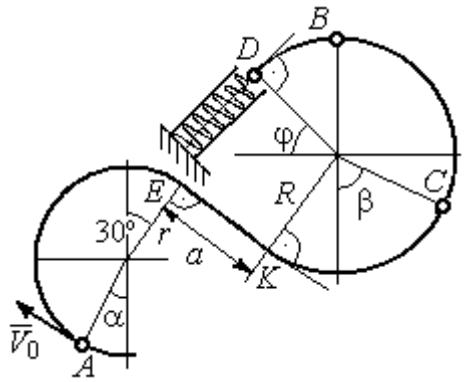
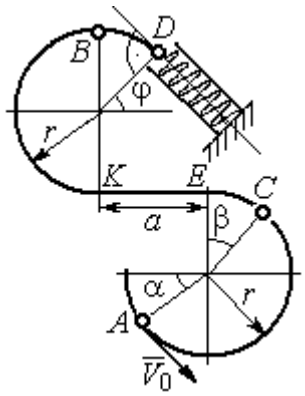
Варианты № 4, 14, 24	**Варианты № 5, 15, 25**	**Варианты № 6, 16, 26**
		

Рис. 4.15. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии.
Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д3

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

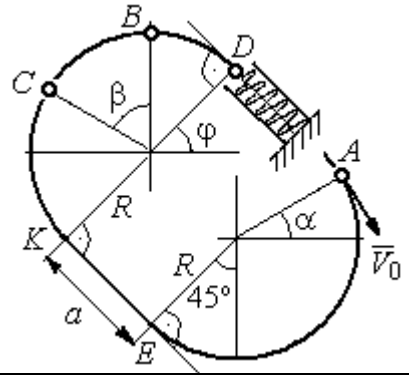
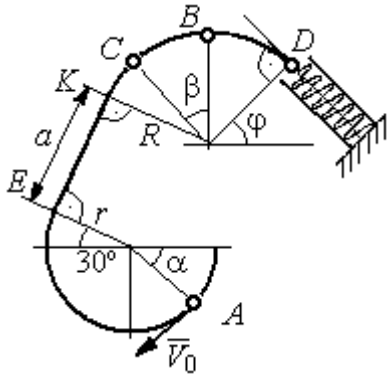
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 4.16. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии.
Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 4.3

Исходные данные задания Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Номер варианта задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
m, кг	0,8	0,5	0,6	0,4	1,0	0,6	0,9	0,5	0,3	0,4	0,8	0,6	0,5	0,3	1,0
α, град	30	45	0	30	30	0	0	45	30	0	60	30	30	45	60
β , град	60	30	60	0	60	30	60	60	30	45	30	60	60	30	30
φ, град	0	60	30	0	0	30	45	0	30	45	30	30	0	30	45
r, м	0,4	0,4	0,5	0,3	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,8
a, м	0,5	0,6	0,9	1,4	0,8	1,2	0,5	0,5	1,4	0,5	0,8	0,5	0,8	0,6	0,6
f	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
k	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
c, Н/м	100	80	90	80	120	100	90	80	60	80	90	60	80	60	110

Окончание табл. 4.3

Номер варианта задания	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
m, кг	0,6	0,5	0,6	0,4	0,8	0,5	0,4	1,0	0,6	0,5	0,4	0,8	0,4	0,6	0,8
α, град	60	30	0	45	60	90	90	60	60	90	30	60	60	45	90
β , град	60	30	45	90	60	45	90	60	60	30	30	60	60	0	60
φ, град	45	60	60	60	30	90	0	90	45	60	60	90	30	60	0
r, м	0,6	0,4	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,8	0,4	0,4	0,8	0,6	0,4
a, м	0,4	1,2	0,9	1,2	1,2	0,9	0,6	1,5	1,4	0,8	1,2	0,9	0,6	0,8	0,5
f	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4
k	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
c, Н/м	80	60	90	60	100	90	80	110	80	60	60	80	60	80	100

Пример выполнения задания Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Тонкий стержень, расположенный в вертикальной плоскости, состоит из двух дуг окружностей, сопряженных в точках E и K с прямолинейным отрезком EK длиной a = 0,6 м (рис. 4.17). Радиусы окружностей R = 1 м и r = 0,5 м. Диаметры дуг окружностей, проведённые в точках E и K, составляют с горизонтом угол 30°. На стержень надет шарик массой m = 0,5 кг. В точке A, положение которой на дуге радиуса R определяется углом α = 60° (см. рис. 4.17), шарику сообщают начальную скорость V_0, после чего он начинает движение. По дугам окружностей шарик скользит без трения. При движении по прямой EK на него действует постоянная сила трения с коэффициентом трения f = 0,2. Достигнув точки D на верхней дуге, шарик упирается в пружину жесткостью c = 100 Н/м и, двигаясь по сопряжённой прямой без трения, сжимает её. Найти величину максимального сжатия пружины, если наивысшее положение на траектории (точку B) шарик проходит со скоростью $V_B = kV_0$ при k = 0,3. При

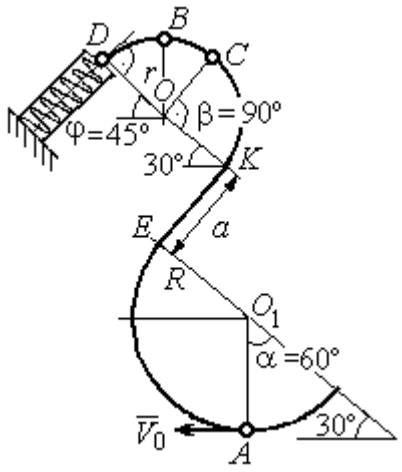


Рис. 4.17. Схема движения шарика

найденном значении начальной скорости рассчитать давление шарика на стержень в точке *C*, положение которой на дуге определяется углом $\beta = 90°$.

Решение

Рассмотрим движение шарика по стержню из начального положения *A* в наивысшее положение – точку *B*.

При движении шарика по дугам окружностей работу совершает только сила тяжести. Реакция гладкой поверхности стержня в любой момент времени перпендикулярна поверхности стержня, и потому её работа при перемещении шарика равна нулю.

На участке движении шарика по прямой *EK* на него действуют сила тяжести $\vec{P}$, нормальная реакция опоры $\vec{N}_{EK}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (рис. 4.18, *b*). Работу совершают сила тяжести и сила трения. Работа реакции опоры стержня равна нулю.

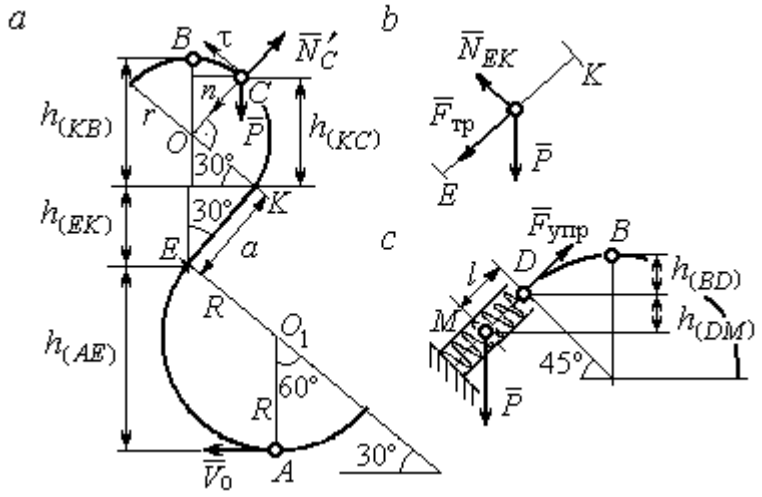


Рис. 4.18. Силы, действующие на шарик во время движения и перепады высот

Обозначим $h_{(AB)}$ – перепад высот точек *A* и *B* на траектории; V_A – начальная скорость шарика в точке *A*, $V_A = V_0$; V_B – его скорость в точке *B*, $V_B = 0{,}3V_0$.

Для вычисления перепада высот точек *A* и *B* имеем выражение (рис. 4.18, *a*):

$$h_{(AB)} = h_{(AE)} + h_{(EK)} + h_{(KB)} = R(1+\sin 30^\circ) + a\cos 30^\circ + r(1+\sin 30^\circ).$$

Будем считать шарик материальной точкой. Применяя теорему об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из положения *A* в положение *B*, получим: $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_A^2}{2} = A(\vec{P}) + A(\vec{F}_{\text{тр}})$, где $A(\vec{P}) = -Ph_{(AB)}$,

$A(\vec{F}_{\text{тр}}) = -F_{\text{тр}}a$ – работы, соответственно, силы тяжести на участке движения *AB* и силы трения на отрезке *EK*. Сила трения равна $F_{\text{тр}} = f \cdot N_{EK} = f \cdot mg\cos 60^\circ$ (рис. 4.18, *a*, *b*).

В результате, теорема об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из начального положения *A* в конечное положение *B* принимает вид: $\frac{m(0{,}3V_0)^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = -\,mg\left[(R+r)(1+\sin 30^\circ) + a(\cos 30^\circ + f \cdot \cos 60^\circ)\right]$.

После подстановки данных задачи, получим: $0{,}91V_0^2 = 55{,}517$, откуда находим необходимое значение начальной скорости шарика: $V_0 = 7{,}81$ м/с.

Найдём давление шарика на стержень в точке *C*.

Проведём в точке *C* оси естественной системы координат – касательную $C\tau$ и нормаль Cn (рис. 4.18, *a*). Уравнение движения шарика в точке *C* в проекции на нормальную ось имеет вид: $m\frac{V_C^2}{r} = P\cos 30^\circ - N'_C$, где V_C – скорость шарика в точке *C*, N'_C – реакция стержня, приложенная к шарику. Направление реакции на рис. 4.18, *a* соответствует предположению, что шарик давит на стержень в направлении центра дуги окружности.

Для определения скорости шарика в точке *C* воспользуемся тем, что скорость шарика в точке *B* уже известна, и применим теорему об изменении кинетической энергии при движении шарика из начального положения *C* в конечное положение *B*. На этом участке движения работу совершает только сила тяжести шарика. Получим $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_C^2}{2} = -Ph_{(CB)}$, где V_C, V_B – значения скорости шарика в точках *C* и *B*; $h_{(CB)}$ – перепад высот точек *C* и *B*; $h_{(CB)} = r(1-\sin 30^\circ) = 0{,}5r$ (см. рис. 4.18, *a*). В результате теорема об изменении кинетической энергии принимает вид: $mV_C^2 = mV_B^2 + 2mgh_{(CB)}$ или $V_C^2 = V_B^2 + gr$. Отсюда, при условии $V_B = 0{,}3V_0 = 2{,}34$ м/с, найдём $V_C = 3{,}22$ м/с.

Реакция опоры шарика: $N'_C = P\cos 30^\circ - m\dfrac{V_C^2}{r} = -6{,}12$ Н.

Отрицательное значение реакции опоры шарика означает, что вектор реакции $\vec{N}'_C$ в точке C (см. рис. 4.18, *а*) направлен в противоположную сторону. Давление шарика на стержень в точке C равно модулю реакции опоры.

Найдём величину максимального сжатия пружины.

Рассмотрим движение шарика на участке от точки *B* до положения максимально сжатой пружины – точки *M*. Движение на этом участке происходит по дуге окружности *BD* и по прямой *DM*. При этом сила тяжести совершает работу на всём участке движения, а сила упругости – на отрезке сжатия пружины. Обозначим величину максимального сжатия пружины $MD = l$.

По теореме об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из положения *B* в *M* получим: $\dfrac{mV_M^2}{2} - \dfrac{mV_B^2}{2} = A(\vec{P}) + A(\vec{F}_{\text{упр}})$, где V_M, V_B – скорость шарика в точках *M* и *B*. Работа силы тяжести $A(\vec{P}) = Ph_{(BM)} =$ $= P\left[h_{(BD)} + h_{(DM)}\right] = mg\left[r\left(1 - \cos 45^\circ\right) + l\cos 45^\circ\right]$. Работа силы упругости на прямолинейном участке *DM* длиной *l*: $A(\vec{F}_{\text{упр}}) = -\dfrac{cl^2}{2}$. Условие максимального сжатия пружины означает, что в точке *M* скорость шарика обращается в нуль: $V_M = 0$, тогда теорема об изменении кинетической энергии точки принимает вид: $-\dfrac{mV_B^2}{2} = mg\left[r\left(1 - \cos 45^\circ\right) + l\cos 45^\circ\right] - \dfrac{cl^2}{2}$. Подставляя данные задачи и с учётом того, что скорость шарика в наивысшей точке *B* найдена из предыдущих рассуждений $V_B = 2{,}34$ м/с, получим квадратное уравнение для определения величины максимального сжатия пружины $50l^2 - 3{,}468l - 2{,}085 = 0$. В качестве ответа принимается положительный корень уравнения $l = 0{,}24$ м.

5. ДИНАМИКА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

5.1. Описание движений твёрдых тел на основе общих теорем динамики системы

Поступательное движение твердого тела описывается теоремой о движении центра масс механической системы. В проекциях на координатные оси дифференциальные уравнения поступательного движения твердого тела имеют вид: $m\ddot{x}_C = \sum F^e_{kx}$, $m\ddot{y}_C = \sum F^e_{ky}$, $m\ddot{z}_C = \sum F^e_{kz}$, где m – масса тела; x_C, y_C, z_C – координаты центра масс тела; F^e_{kx}, F^e_{ky}, F^e_{kz} – проекции на оси координат внешних сил, действующих на твердое тело.

Вращательное движение твердого тела относительно неподвижной оси z описывается теоремой об изменении кинетического момента.

Дифференциальное уравнения вращательного движения тела имеет вид:

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = \sum M_z(\vec{F}^e_k) \quad \text{или} \quad J_z\ddot{\varphi} = \sum M_z(\vec{F}^e_k),$$

где ω – угловая скорость тела; $\omega = \dot{\varphi}$; φ – угол поворота тела; $\sum M_z(\vec{F}^e_k)$ – моменты внешних сил относительно оси z; J_z – момент инерции тела относительно оси z.

Уравнение вращательного движения можно представить в алгебраической форме: $J_z\varepsilon = \sum M_z(\vec{F}^e_k)$, где ε – угловое ускорение тела; $\varepsilon = \dot{\omega}$.

Плоскопараллельное движение твердого тела описывается на основании теорем о движении центра масс и изменении кинетического момента относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения. В проекции на координатные оси уравнения плоскопараллельного движения тела имеют вид:

$$ma_{Cx} = \sum F^e_{kx}, \quad ma_{Cy} = \sum F^e_{ky}, \quad J_{zC}\varepsilon = \sum M_{zC}(\vec{F}^e_k),$$

где a_{Cx}, a_{Cy} – проекции ускорения центра масс тела на координатные оси; F^e_{kx},

F_{ky}^{e} – проекции на оси координат внешних сил, действующих на тело; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси *z*, проходящей через центр масс, перпендикулярно плоскости движения; ε – угловое ускорение тела; $M_{zC}(\vec{F}_k^{\,e})$ – моменты внешних сил относительно оси, проходящей через центр масс.

Проводя динамический расчет механической системы, следует рассматривать движение тел системы в отдельности, предварительно освободив их от связей и заменив действие связей реакциями. Далее на основании общих теорем динамики системы следует составить уравнения движения каждого тела.

5.2. Задание Д4. Динамический расчет механической системы

Механизм состоит из трёх тел – груза 1, катка 2 и блока 3, соединенных нерастяжимыми нитями или невесомыми стержнями.

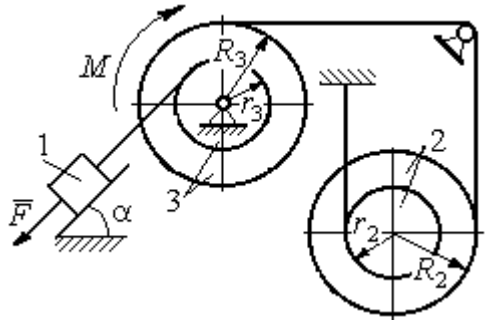
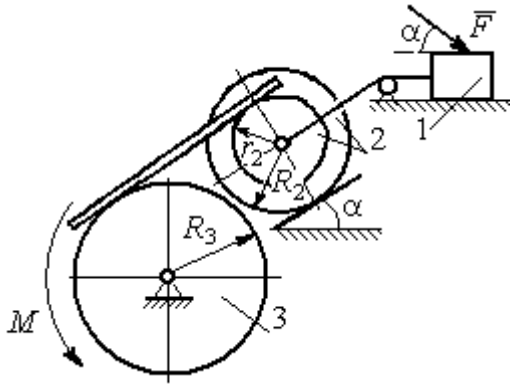
Движение механизма происходит в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом *M*. Направление действия силы $\vec{F}$ определяется углом α. Качение катка 2 происходит без скольжения. Проскальзывание между дисками и соединяющими их невесомыми стержнями или нитями отсутствует.

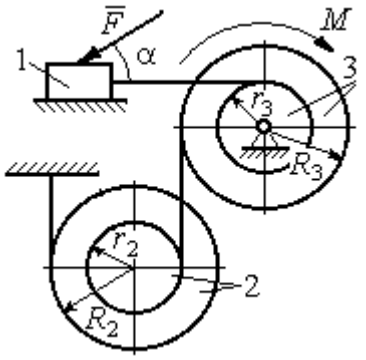
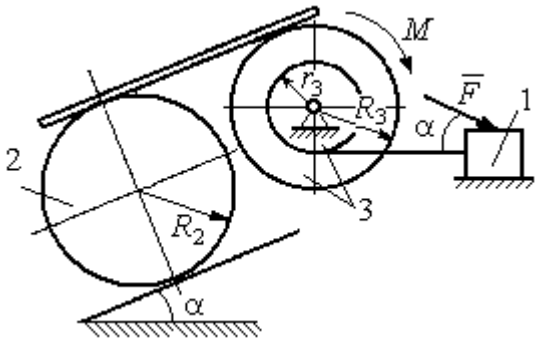
Радиусы ступеней катка 2 и блока 3 на схемах обозначены R_2, r_2 и R_3, r_3.

Сплошные диски считать однородными. Радиусы инерции неоднородных (ступенчатых) дисков относительно осей, проходящих через центры масс перпендикулярно плоскости движения, равны i_{z2}, i_{z3}.

Найти ускорение груза 1 и динамические реакции, действующие на ось блока 3.

Варианты заданий представлены на рис. 5.1, 5.2. Исходные данные приведены в табл. 5.1.

Варианты № 1, 11, 21	Варианты № 2, 12, 22
	

Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

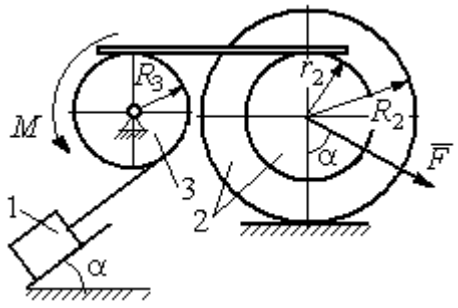
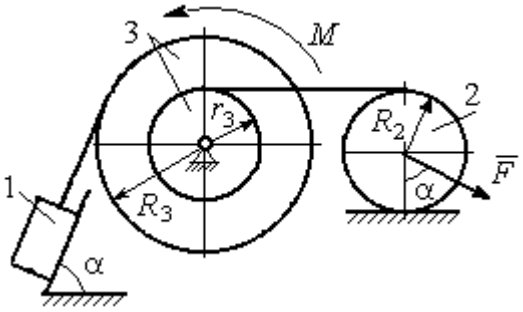
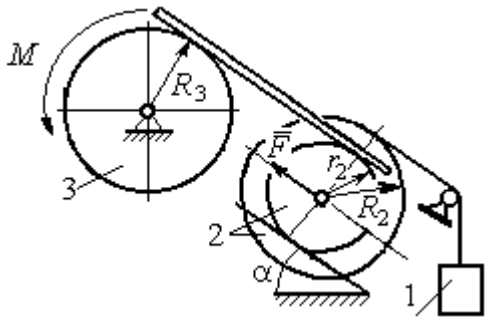
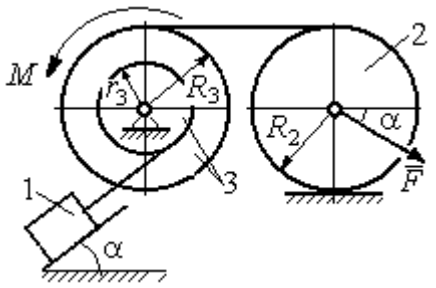
Варианты № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 5.1. Задание Д4. Динамический расчёт механической системы.
Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д4

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

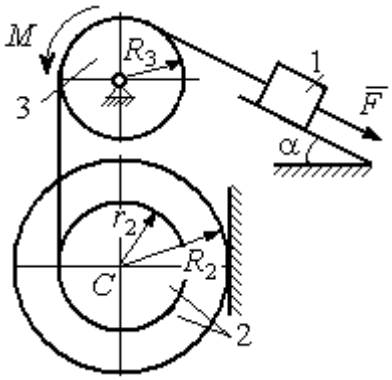
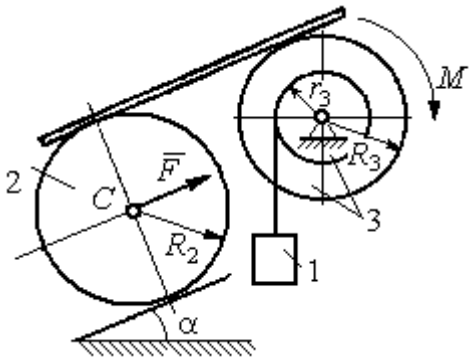
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 5.2. Задание Д4. Динамический расчёт механической системы.
Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 5.1

Исходные данные задания Д4. Динамический расчёт механической системы

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	α, град	R_2, м	r_2, м	R_3, м	r_3, м	i_{z2}, м	i_{z3}, м
1	P	P	$2P$	P	$2Pr$	60	$3r$	r	$2r$	r	$2r$	$r\sqrt{2}$
2	$3P$	P	$3P$	$3P$	Pr	30	$2r$	r	$2r$	–	$2r$	–
3	$4P$	$3P$	$4P$	$2P$	$2Pr$	60	$2r$	r	$2r$	r	$2r$	$2r$
4	$2P$	$2P$	$4P$	P	$4Pr$	45	$3r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{2}$
5	P	$3P$	$3P$	$2P$	$3Pr$	30	$3r$	r	r	–	$2r$	–
6	P	$2P$	$4P$	$4P$	$6Pr$	60	$3r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{2}$
7	P	$2P$	$3P$	$2P$	$3Pr$	45	$3r$	r	r	-	$r\sqrt{3}$	–

Окончание табл. 5.1

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	α, град	R_2, м	r_2, м	R_3, м	r_3, м	i_{z2}, м	i_{z3}, м
8	$2P$	$3P$	$3P$	P	$3Pr$	30	$2r$	–	$2r$	r	–	$r\sqrt{3}$
9	$3P$	P	$3P$	P	$2Pr$	30	$2r$	r	$2r$	–	$r\sqrt{2}$	–
10	P	P	$3P$	P	$2Pr$	60	$3r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{3}$
11	P	P	$3P$	$2P$	$3Pr$	30	$3r$	$2r$	$2r$	r	$r\sqrt{2}$	$r\sqrt{2}$
12	$2P$	P	$2P$	$4P$	Pr	60	$3r$	r	$3r$	–	$r\sqrt{3}$	–
13	$3P$	P	$3P$	$3P$	$2Pr$	30	$3r$	$2r$	$2r$	r	$2r$	$r\sqrt{2}$
14	$2P$	P	$3P$	$2P$	$4Pr$	60	$2r$	–	$3r$	$2r$	–	$2r$
15	P	$2P$	$4P$	P	$4Pr$	45	$3r$	$2r$	$2r$	–	$r\sqrt{3}$	–
16	P	$3P$	$4P$	$2P$	$3Pr$	30	$2r$	–	$2r$	r	–	$r\sqrt{2}$
17	P	P	$3P$	$2P$	$6Pr$	60	$3r$	r	$3r$	-	$r\sqrt{3}$	
18	$2P$	$2P$	$3P$	P	$3Pr$	60	$2r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{2}$
19	$2P$	P	$2P$	$3P$	$4Pr$	30	$3r$	r	$3r$	–	$2r$	–
20	P	P	$3P$	P	$2Pr$	45	$2r$	–	$2r$	r	–	$r\sqrt{3}$
21	$2P$	P	$4P$	$2P$	$4Pr$	60	$2r$	r	$3r$	r	$r\sqrt{2}$	$2r$
22	P	P	$2P$	$5P$	$2Pr$	45	$3r$	$2r$	$2r$	–	$2r$	–
23	$2P$	$2P$	$3P$	$3P$	$2Pr$	60	$3r$	r	$2r$	r	$2r$	$r\sqrt{2}$
24	$4P$	P	$3P$	P	$3Pr$	30	$2r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{3}$
25	P	$3P$	$2P$	P	$2Pr$	60	$3r$	r	r	–	$r\sqrt{3}$	–
26	P	$3P$	$4P$	$3P$	$3Pr$	45	$2r$	–	$3r$	$2r$	–	$r\sqrt{3}$
27	P	P	$4P$	$2P$	$4Pr$	30	$2r$	r	$2r$	-	$r\sqrt{3}$	
28	$2P$	$3P$	$3P$	P	$6Pr$	30	$2r$	–	$3r$	$2r$	–	$r\sqrt{2}$
29	$2P$	P	$2P$	$2P$	$2Pr$	45	$2r$	r	r	–	$2r$	–
30	P	P	$4P$	P	$4Pr$	60	$3r$	–	$3r$	$2r$	–	$2r$

Пример выполнения задания Д4. Динамический расчёт механической системы

Механизм (рис. 5.3) состоит из груза 1, однородного диска – катка 2 и неоднородного диска – блока 3, соединённых друг с другом нерастяжимыми нитями. Система движется в вертикальной плоскости из состояния покоя.

Движение происходит под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, равных по модулю: $P_1 = 2P$, $P_2 = 2P$, $P_3 = 3P$, силы $\vec{F}$, приложенной в центре масс катка 2, равной по величине: $F = 3P$, и пары сил с моментом $M = Pr$,

приложенных к блоку 3. Механизм является неизменяемой механической системой. Радиус катка 2 $R_2 = 2r$. Качение катка по наклонной плоскости происходит без проскальзывания. Радиусы ступенчатого блока 3: $R_3 = 3r$, $r_3 = r$. Радиус инерции блока 3 $i_3 = r\sqrt{3}$.

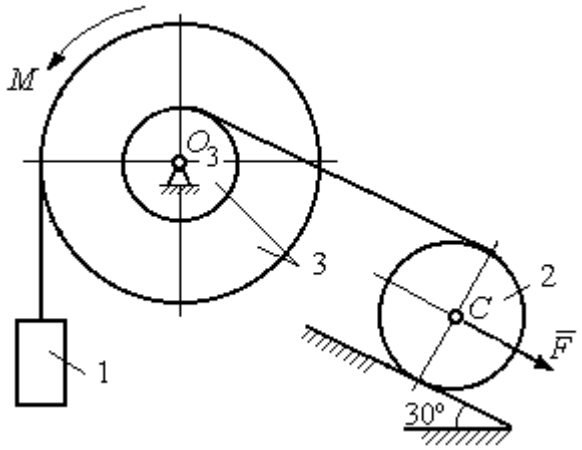


Рис. 5.3. Схема механической системы

Применяя метод динамического расчета механической системы найти ускорение груза 1 и динамические реакции, действующие на ось вращающегося блока 3.

Решение

Освобождаем систему от связей. На рис. 5.4 изображены внешние силы, действующие на каждое тело, после освобождения его от связей.

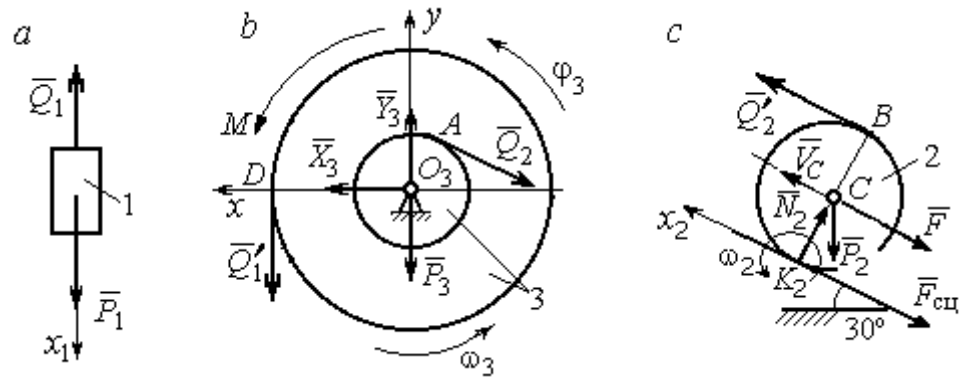


Рис. 5.4. Расчетные схемы для описания движения тел, входящих в систему:
a – поступательное движение груза 1; *b* – вращательное движение блока 3;
c – плоское движение катка 2

Груз 1 совершает поступательное движение. К нему приложены сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция нити $\vec{Q}_1$ (рис. 5.4, *a*). Предположим, груз 1 движется вниз, и направим ось x_1 в сторону движения груза.

Уравнение движения груза в проекции на ось x_1 в соответствии с теоремой о движении центра масс механической системы имеет вид:

$$m_1 a_1 = \sum F_{kx} = P_1 - Q_1 = 2P - Q_1,$$

где m_1, a_1 – соответственно, масса груза 1 и его ускорение, $m_1 = \frac{P_1}{g} = \frac{2P}{g}$.

Блок 3 вращается вокруг неподвижной оси *z*, проходящей через его центр масс O_3, перпендикулярно плоскости диска. Направление вращения блока, соответствующее выбранному движению вниз груза 1, показано на рис. 5.4, *b* дуговой стрелкой ω_3.

На блок действуют сила тяжести $\vec{P}_3$, силы реакции подшипника $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, момент *M* и реакции нитей $\vec{Q}_1'$ и $\vec{Q}_2$ (см. рис. 5.4, *b*). При составлении уравнения вращательного движения блока 3 моменты сил считаем положительными, если они поворачивают блок в сторону его вращения.

Уравнение вращения блока 3 имеет вид:

$$J_{zO_3} \varepsilon_3 = \sum M_{zO_3}(F_k) = Q_1' R_3 + M - Q_2 r_3 = Q_1 3r + Pr - Q_2 r,$$

где J_{zO_3} – момент инерции блока 3 относительно оси *z*; ε_3 – угловое ускорение диска 3, $J_{zO_3} = m_3 i_3^2 = \frac{P_3}{g}(r\sqrt{3})^2 = \frac{9Pr^2}{g}$.

Каток 2 совершает плоскопараллельное движение. К нему приложены сила тяжести $\vec{P}_2$, сила $\vec{F}$, реакция нити $\vec{Q}_2'$ и реакция наклонной плоскости, состоящая из нормальной реакции опоры $\vec{N}_2$ и силы сцепления катка с поверхностью $\vec{F}_{\text{сц}}$. Согласно принципу равенства действия и противодействия, модули сил $\vec{Q}_2$ и $\vec{Q}_2'$ равны. На рис. 5.4, *c* показаны направления действия сил, приложенных к диску 2. В соответствии с направлением движения груза 1, центр масс катка 2 движется вверх параллельно наклонной плоскости. Направление движения центра масс катка 2 показано направлением оси x_2. Направление вращения катка 2 показано дуговой стрелкой угловой скорости ω_2 (см. рис 5.4, *c*).

Плоскопараллельное движение катка 2 описывается уравнением движения его центра масс и уравнением вращения вокруг оси, проходящей через

центр масс, перпендикулярно плоскости диска. Составляя уравнение движения, получим:

$$m_2 a_C = Q_2' - F - F_{\text{сц}} - P_2 \cos 60^\circ = Q_2 - 3P - F_{\text{сц}} - P,$$

$$J_C \varepsilon_2 = Q_2' R_2 + F_{\text{сц}} R_2 = Q_2 2r + F_{\text{сц}} 2r,$$

где m_2 – масса катка 2, $m_2 = \frac{P_2}{g} = \frac{2P}{g}$; a_C, ε_2 – ускорение центра масс и угловое ускорение катка 2; J_C – момент инерции однородного катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс, перпендикулярно плоскости диска, $J_C = \frac{m_2 R_2^2}{2} = \frac{P R_2^2}{g} = \frac{4 P r^2}{g}$. В уравнении вращательного движения диска момент силы считается положительным, если создаваемый им поворот направлен в сторону вращения диска,

К системе четырех уравнений, описывающих движения тел в системе, необходимо добавить уравнения связей. Если предположить, что скорость центра масс катка 2 равна V_C, то угловая скорость катка определится по формуле: $\omega_2 = \frac{V_C}{CK_2} = \frac{V_C}{R_2}$, где CK_2 – расстояние от центра масс катка 2 до его мгновенного центра скоростей (см. рис. 5.4, *c*). Продифференцировав по времени последнее равенство, получим уравнение связи между ускорением центра масс катка 2 и его угловым ускорением: $\varepsilon_2 = \dot{\omega}_2 = \frac{\dot{V}_C}{R_2} = \frac{a_C}{R_2} = \frac{a_C}{2r}$.

Скорость точки *B* катка 2 (см. рис. 5.4, *c*) $V_B = \omega_2 \cdot BK_2 = \frac{V_C}{R_2} 2R_2 = 2V_C$.

Точка *B* катка 2 и точка *A* блока 3 соединены нитью (см. рис. 5.3), поэтому их скорости равны. Приравняв скорости точек *A* и *B*, получим равенство: $2V_C = V_B = V_A = \omega_3 r_3 = \omega_3 r$, откуда $\omega_3 = \frac{2V_C}{r}$. После дифференцирования последнего выражения найдём соотношение между ускорениями: $\varepsilon_3 = \frac{2a_C}{r}$.

Скорость груза 1 связана со скоростью центра масс диска 2 следующим образом: $V_1 = V_D = \omega_3 R_3 = \dfrac{2V_C}{r} 3r = 6V_C$. Тогда $a_1 = 6a_C$.

В результате получены четыре уравнения, описывающие движение тел в системе:

$$\frac{2P}{g} a_1 = 2P - Q_1, \quad \frac{9Pr^2}{g} \varepsilon_3 = Q_1 3r + Pr - Q_2 r;$$

$$\frac{2P}{g} a_C = Q_2 - 3P - F_{\text{сц}} - P, \quad \frac{4Pr^2}{g} \varepsilon_2 = Q_2 2r + F_{\text{сц}} 2r$$

и три уравнения связей: $\varepsilon_2 = \dfrac{a_C}{2r}$, $\varepsilon_3 = \dfrac{2a_C}{r}$, $a_1 = 6a_C$.

После подстановки уравнений связи в уравнения движения тел получим систему четырёх уравнений с четырьмя неизвестными:

$$\frac{12P}{g} a_C = 2P - Q_1, \quad \frac{18P}{g} a_C = 3Q_1 + P - Q_2,$$

$$\frac{2P}{g} a_C = Q_2 - 4P - F_{\text{сц}}, \quad \frac{P}{g} a_C = Q_2 + F_{\text{сц}},$$

которая может быть решена любым известным из курса математики способом.

Например, исключив из первых двух уравнений величину Q_1, а из третьего и четвёртого уравнений – величину $F_{\text{сц}}$, получим систему двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\frac{54P}{g} a_C = 7P - Q_2, \; \frac{3P}{g} a_C = 2Q_2 - 4P,$$

откуда $a_C = \dfrac{10}{111} g$, $Q_2 = \dfrac{79}{37} P$. Величину натяжения нити Q_1 находим из первого уравнения исходной системы: $Q_1 = \dfrac{34}{37} P$.

Для вычисления динамической реакции R_3 оси блока 3 заметим, что центр масс блока 3 неподвижен и его ускорение равно нулю, $\vec{a}_{O_3} = 0$. Тогда уравнения движения центра масс блока 3 в проекциях на оси x, y имеют вид :

$$m_3 a_{O_3 x} = X_3 - Q_2 \cos 30^\circ = 0,\ m_3 a_{O_3 y} = Y_3 - Q_1 - P_3 - Q_2 \cos 60^\circ = 0,$$

где X_3, Y_3, – проекции реакции R_3 оси вращающегося блока 3 на оси x, y (см. рис. 5.4, *b*). Отсюда, с учетом значений $Q_1 = 0{,}919P$ и $Q_2 = 2{,}135P$, проекции динамической реакции оси блока 3: $X_3 = Q_2 \cos 30^\circ = 1{,}85P$, $Y_3 = Q_1 + P_3 + Q_2 \cos 60^\circ = 4{,}98P$. Полная величина динамической реакции оси блока 3: $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2} = 5{,}31P$.

5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы

Кинетическая энергия тела при поступательном движении: $T = \frac{1}{2} m V_C^2$, где m – масса тела; V_C – скорость центра масс тела. **Кинетическая энергия тела при вращательном движении** вокруг неподвижной оси z: $T = \frac{1}{2} J_z \omega^2$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ω – угловая скорость тела. Для дисков с равномерно распределённой массой момент инерции относительно оси z, проходящей через центр масс: $J_z = \frac{1}{2} m R^2$, где R – радиус диска. Для тел с неравномерно распределённой массой $J_z = m i_z^2$, где i_z – радиус инерции. **Кинетическая энергия тела при плоскопараллельном движении:** $T = \frac{1}{2} m V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega^2$, где m – масса тела; V_C, ω – скорость центра масс и угловая скорость тела; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения.

Работа постоянной по модулю и направлению силы $\vec{F}$ на конечном прямолинейном перемещении S точки приложения силы: $A(F) = FS\cos\alpha$, где α – угол между вектором силы и перемещением. Если угол α острый, работа

положительна. Если тупой – отрицательна. При $\alpha = 90°$ сила перпендикулярна перемещению точки и работа силы равна нулю.

Работа пары сил с постоянным моментом M при повороте тела на конечный угол φ: $A = \pm M\varphi$, где φ – угол поворота тела. Работа считается положительной, если пара сил стремится повернуть тело в направлении его вращения, и отрицательной – в противном случае.

Мощностью силы $\vec{F}$ называют величину $N(F)$, равную скалярному произведению силы на скорость точки её приложения: $N(F) = \vec{F} \cdot \vec{V} = F \cdot V\cos\alpha$, где V – скорость точки приложения силы; α – угол между вектором силы и вектором скорости точки приложения силы.

При плоском движении тела мощность силы выражается суммой скалярных произведений векторов: $N = \vec{F} \cdot \vec{V}_O + \vec{M}_O(\vec{F}) \cdot \vec{\omega} = F \cdot V_O\cos\alpha \pm F h_O \omega$, где $\vec{V}_O$ – вектор скорости точки, выбранной полюсом; $\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости тела; $\vec{M}_O$ – вектор момента силы $\vec{F}$ относительно полюса; h_O – плечо силы $\vec{F}$ относительно полюса *O*.

Теорема об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме. Производная по времени от кинетической энергии системы равна сумме мощностей внешних и внутренних сил $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e) + \sum N(\vec{F}_k^i)$, где T – кинетическая энергия системы; $\sum N(\vec{F}_k^e)$, $\sum N(\vec{F}_k^i)$ – сумма мощностей, соответственно, внешних и внутренних сил.

Теорема об изменении кинетической энергии системы на конечном перемещении. Изменение кинетической энергии системы на её конечном перемещении равно сумме работ внешних и внутренних сил, действующих на систему $T - T_0 = \sum A(\vec{F}_k^e) + \sum A(\vec{F}_k^i)$, где T, T_0 – кинетическая энергия системы, соответственно, в текущем и начальном состояниях; $\sum A(\vec{F}_k^e)$, $\sum A(\vec{F}_k^i)$ – сум-

ма работ внешних и внутренних сил при перемещении системы из начального состояния в текущее.

Механические системы, состоящие из абсолютно твердых тел, соединенных гибкими нерастяжимыми нитями, называются **неизменяемыми**. В неизменяемых системах сумма работ внутренних сил и, следовательно, сумма мощностей этих сил равны нулю. Поэтому для таких систем в теореме об изменении кинетической энергии достаточно учитывать только внешние силы.

5.4. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Неизменяемая механическая система состоит из ступенчатого и однородного дисков, соединённых нерастяжимой нитью или невесомым стержнем. Нити и стержни, соединяющие диски, параллельны плоскостям качения дисков. Качение дисков без скольжения. Скольжение между невесомым стержнем и дисками отсутствует.

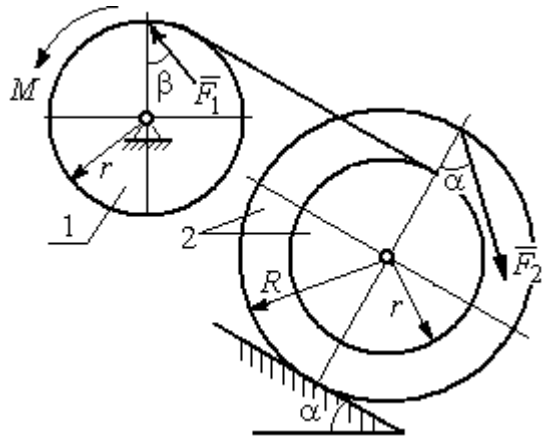
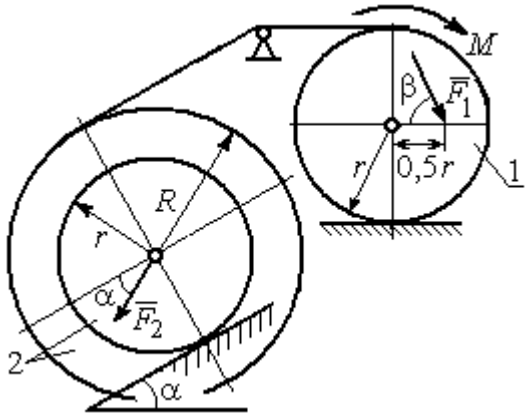
Вес дисков P_1 и P_2. Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и пары сил с моментом *M*. Направления действия сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и наклон плоскости (если он есть) определяются углами α или β, показанными на схемах механизмов.

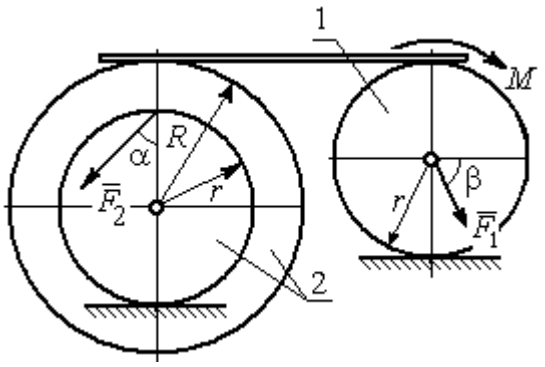
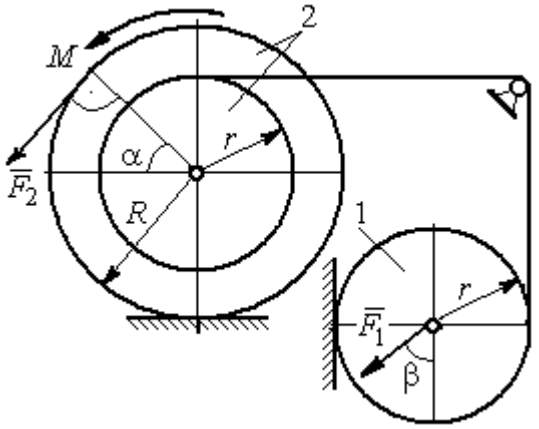
Радиус однородного диска *r*. Радиусы ступеней ступенчатого диска *R* и *r*. Радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, равен i_z.

1. Найти ускорение центра масс диска 2.

2. Найти реакцию опоры диска 2 на плоскость (её нормальную составляющую и силу сцепления диска с плоскостью).

Варианты задания приведены на рис. 5.5, 5.6, исходные данные представлены в табл. 5.2.

Варианты № 1, 11, 21	Варианты № 2, 12, 22
	

Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

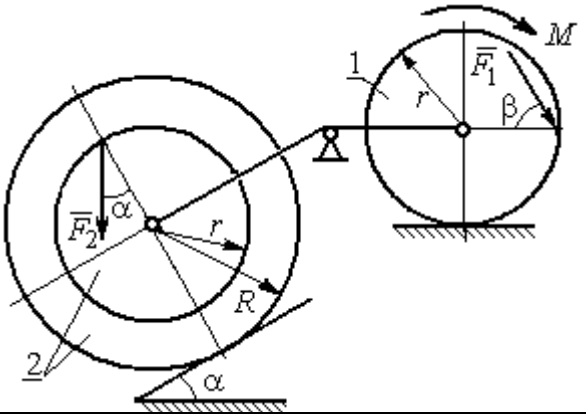
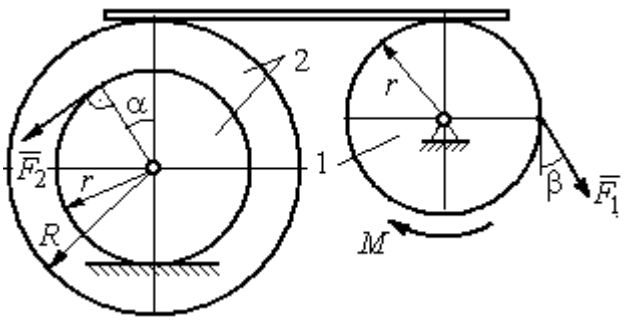
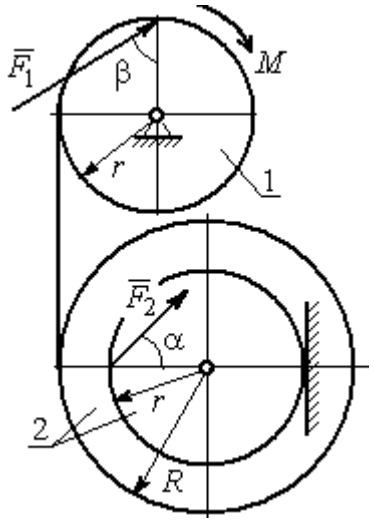
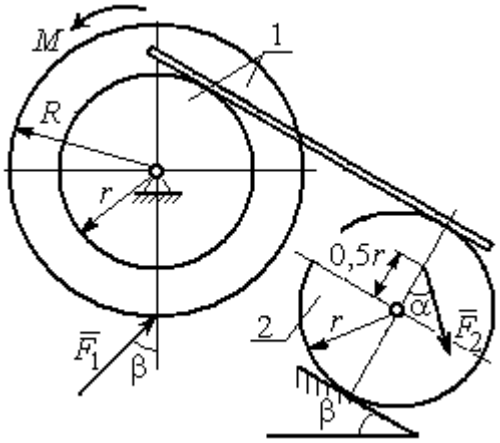
Вариант № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 5.5. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии. Варианты задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д5

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

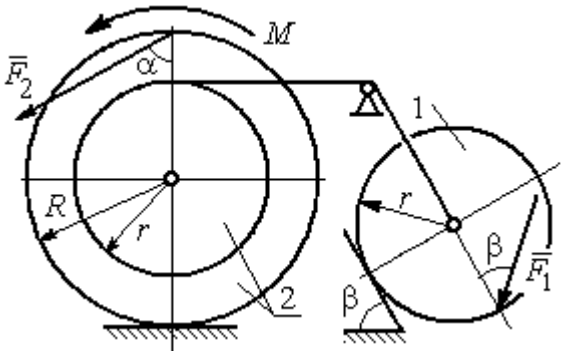
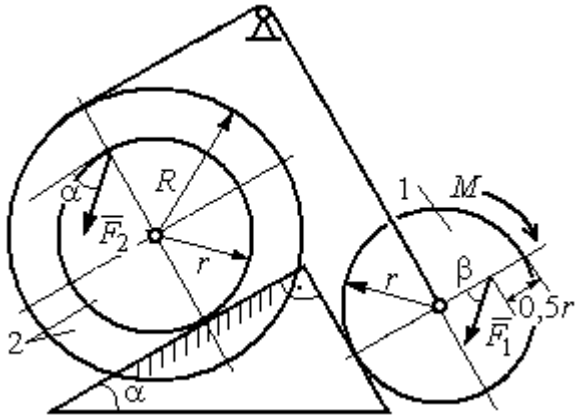
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты 10, 20, 30**
	

Рис. 5.6. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии. Варианты задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 5.2

Исходные данные задания Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	F_1, Н	F_2, Н	M, Н·м	α, град	β, град	R, м	r, м	i_z, м
1	10	20	15	20	25	30	60	0,4	0,3	0,3
2	20	30	10	20	20	60	30	0,6	0,3	0,4
3	10	15	12	20	25	60	60	1,2	0,6	0,8
4	12	25	20	25	35	30	30	1,5	0,5	1,2

Окончание табл. 5.2

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	F_1, Н	F_2, Н	M, Н·м	α, град	β, град	R, м	r, м	i_z, м
5	15	20	10	20	30	60	30	0,8	0,4	0,7
6	18	20	18	22	22	45	60	1,2	0,4	0,9
7	15	25	10	8	20	45	45	0,9	0,6	0,7
8	25	22	10	12	30	45	60	1,0	0,8	0,9
9	12	25	18	10	32	30	30	0,8	0,6	0,7
10	10	15	8	10	28	60	30	1,4	0,7	1,2
11	15	22	20	25	30	60	45	0,6	0,4	0,5
12	20	25	15	40	30	30	60	0,8	0,4	0,6
13	10	20	10	25	30	45	30	1,0	0,5	0,9
14	12	15	18	15	25	30	30	0,9	0,3	0,8
15	20	25	20	20	30	45	60	1,0	0,5	0,8
16	10	15	10	15	16	60	45	1,2	0,4	1,1
17	18	25	12	10	30	30	30	1,5	0,9	1,3
18	25	20	10	15	20	60	60	0,8	0,5	0,7
19	12	25	10	10	32	60	60	1,2	0,9	1,1
20	15	20	8	20	25	30	45	0,8	0,4	0,7
21	10	25	25	15	30	45	30	0,7	0,5	0,6
22	18	20	20	20	35	60	45	1,4	0,7	0,9
23	10	15	10	30	30	30	30	1,4	0,7	0,8
24	10	15	12	20	20	30	30	1,2	0,4	0,8
25	12	18	20	18	30	60	30	1,2	0,6	1,1
26	10	12	12	15	15	30	30	0,9	0,3	0,8
27	15	22	10	12	20	45	60	0,8	0,6	0,7
28	22	20	8	16	8	30	45	0,6	0,2	0,4
29	18	25	10	8	32	60	60	1,2	0,8	1,1
30	20	25	8	20	28	30	30	0,8	0,4	0,6

Пример выполнения задания Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Механическая система состоит из ступенчатого и однородного дисков, соединённых невесомым стержнем (рис. 5.7). Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести, сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и пары сил с моментом M. Направления действия сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ определяются углами α и β.

Диск 1 вращается вокруг неподвижной оси O_1. Диск 2 катится прямолинейно по горизонтальной поверхности. Качение диска 2 без проскальзывания.

Невесомый стержень, соединяющий диски, расположен горизонтально. Скольжение между стержнем и дисками отсутствует.

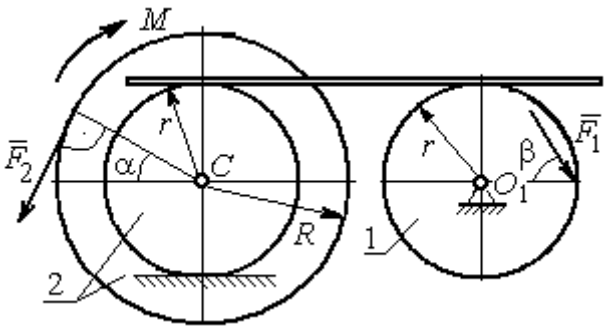


Рис. 5.7. Схема движения механической системы

Определить ускорение центра масс диска 2, угловое ускорение дисков, усилие в стержне, динамическую реакцию шарнира O_1, реакцию опоры диска 2 (её нормальную составляющую и силу сцепления диска с поверхностью качения), если модули сил тяжести $P_1 = 40$ Н, $P_2 = 60$ Н, модули сил $F_1 = 80$ Н, $F_2 = 30$ Н, величина момента $M = 35$ Н·м, углы наклона сил $\alpha = 30°$, $\beta = 45°$, радиусы дисков $R = 0{,}8$ м, $r = 0{,}6$ м, радиус инерции диска 2 $i_z = 0{,}4$ м.

Решение

Предположим, что во время движения системы диск 1 вращается по ходу часовой стрелки. Угловые скорости ω_1 и ω_2 дисков 1 и 2 и скорость центра масс диска 2 показаны на рис. 5.8.

На диск 1 действуют силы: $\vec{F}_1$, сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция шарнира O_1, разложенная на составляющие $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$. На диск 2: сила $\vec{F}_2$, сила тяжести $\vec{P}_2$, пара сил с моментом M, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила сцепления диска 2 с поверхностью $\vec{F}_{сц}$. Направления действия сил показаны на рис. 5.8.

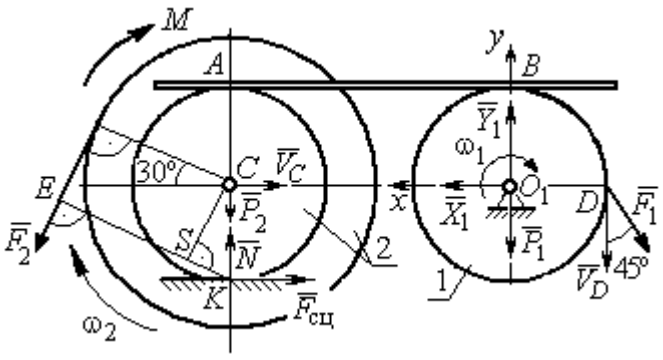


Рис. 5.8. Расчетная схема для исследования движения системы

Для решения задачи воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме. По условию задачи рассматриваемая система неизменяемая и, следовательно, сумма мощностей внутренних сил равна нулю. В этом случае теорема об изменении кинетической энергии системы принимает вид $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e)$, где T – энергия системы в текущем положении; $\sum N(\vec{F}_k^e)$ – суммарная мощность внешних сил.

Найдём кинетическую энергию системы и выразим её через скорость центра масс диска 2.

Кинетическая энергия вращательного движения диска 1: $T_1 = \frac{1}{2} J_{zO_1} \omega_1^2$, где ω_1 – угловая скорость диска 1; J_{zO_1} – осевой момент инерции диска 1, $J_{zO_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$. Диск 2 движется плоскопараллельно. Его кинетическая энергия определяется по формуле: $T_2 = \frac{1}{2} m_2 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_2^2$, где V_C, ω_2 – скорость центра масс и угловая скорость диска 2; J_{zC} – момент инерции ступенчатого диска 2 относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_{zC} = m_2 i_z^2$.

У диска 2 мгновенный центр скоростей находится в точке касания его с неподвижной поверхностью (точка *K* на рис. 5.8). Тогда скорость точки *C* определяется по формуле $V_C = \omega_2 \cdot CK = \omega_2 r$, откуда $\omega_2 = \frac{V_C}{r}$. Скорость точки *A* $V_A = \omega_2 \cdot AK = \omega_2 2r$, или $V_A = 2V_C$.

Так как нет проскальзывания между стержнем и дисками, скорость точки *A* на диске 2 равна скорости точки *B* на диске 1, причём $V_B = \omega_1 r$. Приравнивая скорости $V_B = V_A$, найдем $\omega_1 = \frac{2V_C}{r}$.

С учетом найденных зависимостей кинетические энергии дисков 1 и 2 и суммарная энергия системы имеют вид

$$T_1 = \frac{1}{2} J_{zO_1} \omega_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_1 r^2}{2g} \left(\frac{2V_C}{r} \right)^2 = \frac{P_1}{g} V_C^2;$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_2}{g} V_C^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{P_2}{g} i_z^2 \left(\frac{V_C}{r} \right)^2;$$

$$T = T_1 + T_2 = \frac{P_1}{g} V_C^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} \left(1 + \frac{i_z^2}{r^2} \right) V_C^2 .$$

Производная по времени от кинетической энергии системы

$$\frac{dT}{dt} = 2V_C \frac{dV_C}{dt} \left[\frac{P_1}{g} + \frac{P_2}{2g} \left(1 + \frac{i_z^2}{r^2} \right) \right].$$

Найдем сумму мощностей внешних сил. Отметим, что мощности силы тяжести $\vec{P}_1$ и сил реакции $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$ подшипника O_1 равны нулю, так как нет перемещения точек приложения этих сил. Мощности сил $\vec{N}$ и $\vec{F}_{\text{сц}}$ – нормальной реакции опоры диска 2 и силы сцепления диска с плоскостью также равны нулю, так как точкой приложения этих сил является мгновенный центр скоростей диска 2, скорость которого равна нулю. Мощность силы $\vec{P}_2$ равна нулю, так как угол между вектором силы и скоростью точки приложения силы – точки C – равен 90° (см. рис. 5.8). Для определения мощности силы $\vec{F}_2$, приложенной к диску 2, воспользуемся формулой расчета мощности силы при плоскопараллельном движении тела. Выберем в качестве полюса точку K – мгновенный центр скоростей диска 2, скорость которого $V_K = 0$ (см. рис. 5.8). В этом случае мощность силы $\vec{F}_2$ равна: $N(\vec{F}_2) = \vec{M}_K \cdot \vec{\omega}_2 = -F_2 h_K \omega_2$, где $\vec{M}_K = M_K(\vec{F}_2)$ – вектор момента силы $\vec{F}_2$ относительно центра K; $\vec{\omega}_2$, ω_2 – вектор и модуль угловой скорости диска 2; h_K – плечо силы $\vec{F}_2$ относительно центра K. Мощ-

ность силы $\vec{F}_2$ отрицательная, так как направление момента силы $\vec{F}_2$ относительно точки K противоположно направлению угловой скорости диска 2.

В результате, мощность силы $\vec{F}_2$:

$$N(\vec{F}_2) = -F_2 h_K \omega_2 = -F_2(R + r\cos 60^\circ)\omega_2 = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right).$$

Здесь $h_K = EK = ES + SK = R + r\cos 60^\circ$ (см. рис. 5.8).

Заметим, что для вычисления мощности силы F_2 можно использовать в качестве полюса центр масс диска – точку C. Имеем:

$$N(\vec{F}_2) = \vec{F}_2 \cdot \vec{V}_C + \vec{M}_C(F_2) \cdot \vec{\omega}_2 = F_2 V_C \cos 120^\circ - F_2 R\omega_2 = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right).$$

Момент M направлен в сторону вращения диска 2. Его мощность положительная: $N(M) = M\omega_2 = M\dfrac{V_C}{r}$. Мощность силы $\vec{F}_1$, приложенной в точке D, $N(\vec{F}_1) = F_1 V_D \cos 45^\circ = F_1 V_C \sqrt{2}$. Здесь учтено очевидное равенство $V_D = V_A = 2V_C$ (см. рис. 5.8).

Суммарная мощность внешних сил:

$$\sum N(F^e) = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right) + M\frac{V_C}{r} + F_1 V_C\sqrt{2}.$$

В результате теорема об изменении кинетической энергии системы приводится к виду

$$2V_C\frac{dV_C}{dt}\left[\frac{P_1}{g} + \frac{P_2}{2g}\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right] = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right) + M\frac{V_C}{r} + F_1 V_C\sqrt{2},$$

откуда ускорение центра масс диска 2:

$$a_C = \frac{dV_C}{dt} = \frac{\left[-F_2\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right) + \frac{M}{r} + F_1\sqrt{2}\right]g}{\left[2P_1 + P_2\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right]}.$$

Подставляя исходные данные задачи, получим: $a_C = 6{,}85$ м/с^2.

Для определения углового ускорения диска 2 продифференцируем по времени равенство $\omega_2 = \frac{V_C}{CK} = \frac{V_C}{r}$. Дифференцирование здесь допустимо, так как во время движения диска 2 расстояние от точки *C* до мгновенного центра скоростей диска 2 – точки *K* – не меняется.

Найдем $\varepsilon_2 = \dot{\omega}_2 = \frac{\dot{V}_C}{r} = \frac{a_C}{r}$ = 11,42 рад/с^2. Угловое ускорение диска 1 находится путём дифференцирования равенства $\omega_1 = 2\omega_2$. Имеем: $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2 = 22{,}84$ рад/с^2.

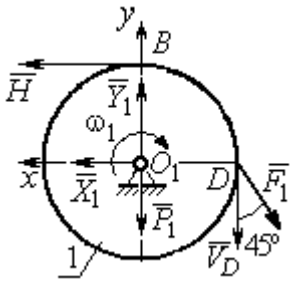


Рис. 5.9. Силы, действующие на диск 1 во время движения

Для того чтобы определить реакцию стержня, освобождаемся от стержня, заменяем его реакцией $\vec{H}$ и составляем уравнения движения дисков 1 и 2.

Силы, действующие на диск 1 во время движения, показаны на рис. 5.9. Уравнение вращательного движения диска 1 в алгебраической форме: $J_{zO_1}\varepsilon_1 = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$, где ε_1 – угловое ускорение диска; J_{zO_1} – момент инерции диска 1 относительно оси *z*, проходящей через точку O_1 перпендикулярно плоскости диска, $J_{zO_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$; $\sum M_{zO_1}(\vec{F}_k^e)$ – сумма моментов внешних сил относительно оси *z*.

Считая моменты сил положительными, если они создают поворот диска в сторону его вращения, составим сумму моментов внешних сил относительно оси *z*: $\sum M_{zO_1}(\vec{F}_k^e) = F_1 r\cos 45^\circ - Hr$. В результате уравнение вращательного движения диска 1 принимает вид: $\frac{P_1 r^2}{2g}\varepsilon_1 = F_1 r\cos 45^\circ - Hr$.

Подставляя в уравнение исходные данные задачи с учетом найденного значения углового ускорения диска 1 ε_1 = 22,84 рад/с^2, найдем реакцию стержня *H* = 28,63 Н.

Для определения динамической реакции шарнира O_1 диска 1 применим теорему о движении центра масс. Выберем оси координат O_1x и O_1y, как показано на рис. 5.9, и составим уравнение движения центра масс диска 1 в проекциях на оси координат с учётом того, что сам центр масс неподвижен и его ускорение равно нулю.

Получим систему:

$$H + X_1 - F_1\sin 45^\circ = 0, \quad Y_1 - P_1 - F_1\cos 45^\circ = 0.$$

Отсюда, с учётом найденной величины усилия в стержне $H = 28{,}63$ Н, находим составляющие динамической реакции шарнира: $X_1 = 27{,}94$ Н, $Y_1 = 96{,}57$ Н. Полная реакция шарнира $R_{O_1} = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} = 100{,}53$ Н.

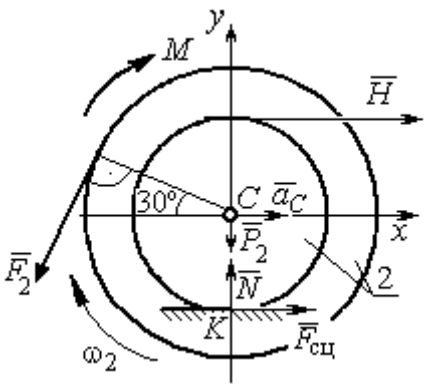


Рис. 5.10. Силы, действующие на диск 2 во время движения

Для определения величины силы сцепления диска 2 с поверхностью качения и нормальной составляющей реакции опоры диска используем теорему о движении центра масс. Силы, приложенные к диску 2, и выбранная система координат xCy показаны на рис. 5.10. Уравнения движения центра масс диска 2 в проекциях на оси x, y имеют вид:

$$m_2 a_C = H + F_{\text{сц}} - F_2\cos 60^\circ;$$

$$0 = -F_2\cos 30^\circ - P_2 + N.$$

С учетом найденных значений реакции стержня $H = 28{,}63$ Н и ускорения центра масс диска 2 $a_C = 6{,}85$ м/с^2, находим силу сцепления и нормальную реакцию опоры: $F_{\text{сц}} = 28{,}27$ Н, $N = 85{,}98$ Н.

Полная реакция опоры $R_K = \sqrt{N^2 + F_{\text{сц}}^2} = 90{,}51$ Н.

6. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

6.1. Принципы механики. Общее уравнение динамики

Силой инерции материальной точки называют векторную величину, модуль которой равен произведению массы точки на модуль её ускорения, направленную противоположно этому ускорению $\vec{R}^{\text{и}} = -m\vec{a}$, где m – масса точки; $\vec{a}$ – вектор ускорения точки.

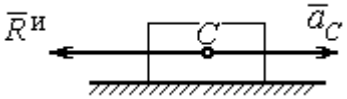


Рис. 6.1. Главный вектор сил инерции при поступательном движении твердого тела

При поступательном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ система сил инерции, приложенных к каждой точке тела, приводится к главному вектору сил инерции $\vec{R}^{\text{и}}$, равному по величине $R^{\text{и}} = ma_C$, приложенному в центре масс тела и направленному в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$ (рис. 6.1).

При вращении тела вокруг неподвижной оси z, проходящей через центр масс, главный вектор сил инерции, приведённый к центру масс тела, обращается в нуль (так как ускорение центра масс равно нулю). Таким образом, система сил инерции приводится к паре сил с моментом $\vec{M}^{\text{и}}$, равным главному моменту сил инерции относительно оси вращения. Величина главного момента сил инерции $M^{\text{и}} = J_z\varepsilon$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ε – угловое ускорение тела. Направлен главный момент сил инерции в сторону, противоположную угловому ускорению (рис. 6.2).

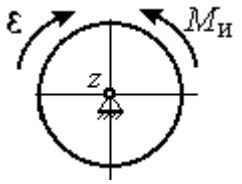


Рис. 6.2. Главный момент сил инерции при вращении тела вокруг оси, проходящей через центр масс

При плоскопараллельном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ и угловым ускорением ε система сил инерции, приложенных к каждой точке тела, приводится к силе $\vec{R}^{\text{и}}$, равной главному вектору сил инерции, и паре сил с моментом $\vec{M}^{\text{и}}$, равным главному моменту сил инерции относительно оси,

проходящей через центр масс тела перпендикулярно плоскости движения (рис. 6.3). Главный вектор сил инерции равен по модулю произведению массы тела на ускорение его центра масс: $R^{и} = ma_C$, приложен в центре масс тела и направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$ центра масс. Главный момент сил инерции равен по величине произведению момента инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, на угловое ускорение тела: $M^{и} = J_C\varepsilon$, где J_C – момент инерции тела. Направлен главный момент сил инерции в сторону, противоположную угловому ускорению (см. рис. 6.3).

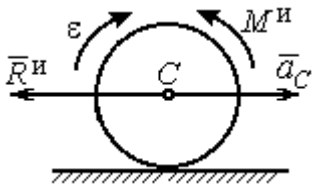


Рис. 6.3. Главный вектор и главный момент сил инерции при плоскопараллельном движении твердого тела

Принцип Даламбера для системы. Если в любой момент времени к каждой из точек системы кроме действующих на нее внешних и внутренних сил присоединить соответствующие силы инерции, то полученная система сил будет уравновешенной. Принцип Даламбера даёт возможность составлять уравнения движения механической системы в виде уравнений равновесия:

$$\sum \vec{F}_k^e + \vec{R}^{и} = 0, \ \sum \vec{M}_O(\vec{F}_k^e) + \vec{M}_O^{и} = 0,$$

где $\vec{F}_k^e$ – внешние силы, приложенные к системе; $\vec{R}^{и}$ – главный вектор сил инерции; $\vec{M}_O(\vec{F}_k^e)$ – момент внешних сил, приложенных к системе, относительно произвольного центра *O*; $\vec{M}_O^{и}$ – главный момент сил инерции относительно центра *O*.

Силы, действующие на систему, можно подразделить на активные и реакции связей. **Идеальными связями** в механической системе называют такие связи, для которых сумма элементарных работ их реакций на любом возможном перемещении равна нулю.

Принцип возможных перемещений. Для равновесия механической системы с идеальными связями необходимо и достаточно, чтобы сумма

элементарных работ всех активных сил, приложенных к точкам системы, была равна нулю на любом возможном перемещении системы: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = 0$, где $\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}})$ – элементарная работа активных сил на возможном перемещении.

Совместное применение принципа Даламбера и принципа возможных перемещений приводит к формулировке общего уравнения динамики.

Общее уравнение динамики. При движении механической системы с идеальными связями в каждый момент времени сумма элементарных работ всех приложенных активных сил и сил инерции на любом возможном перемещении равна нулю: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0$, где $\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}})$, $\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}})$ – элементарные работы активных сил и сил инерции, приложенных к системе, на её возможном перемещении.

При вычислении элементарных работ активных сил и сил инерции используют обычные формулы для вычисления работы сил на элементарном перемещении точек их приложения. При этом переменные силы на элементарном перемещении точек их приложения считаются постоянными.

6.2. Задание Д6. Исследование механической системы с применением общего уравнения динамики

Механическая система с идеальными связями включает груз и два диска – однородного радиусом R или r и ступенчатого. Ступенчатый диск состоит из двух одноосных цилиндров радиусом R и r. Радиусы дисков указаны на схеме. Тела соединены нерастяжимыми нитями или невесомыми стержнями. Система движется в вертикальной плоскости из состояния покоя под действием сил тяжести, постоянной силы $\vec{F}$, а также пары сил с переменным моментом M. Направление действия силы $\vec{F}$ и наклон плоскости движущихся тел определяются углами α и β. Радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, равен i_z.

Качение дисков без проскальзывания. Скольжение между невесомым стержнем и дисками отсутствует. Движение грузов по плоскости без трения. Нити и стержни, соединяющие груз и диски, параллельны соответствующим плоскостям, по которым двигаются тела.

Найти уравнение движения центра масс диска 3. Определить реакцию шарнира диска 2 в момент времени $t = 1$ с.

Варианты задания приведены на рис. 6.4, 6.5. Исходные данные выбираются из табл. 6.1.

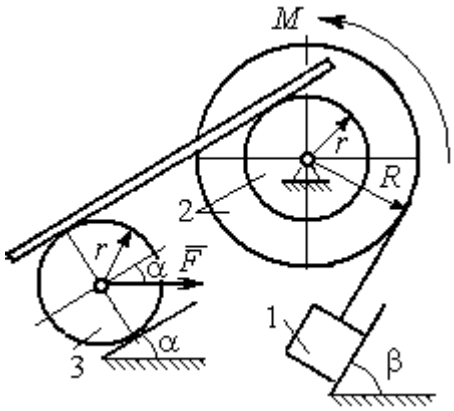
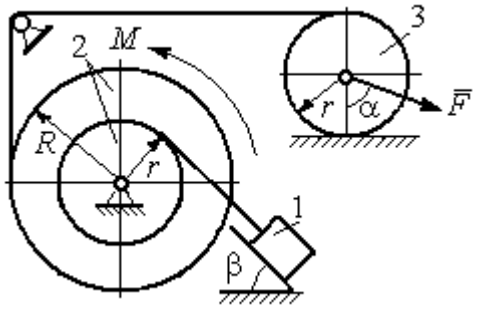
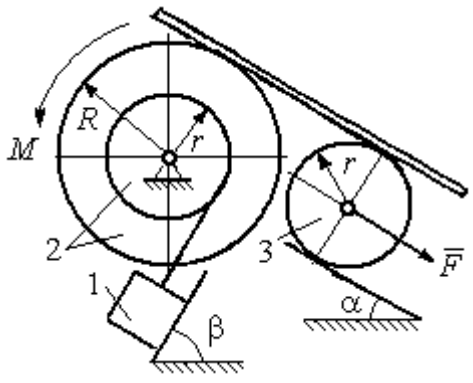
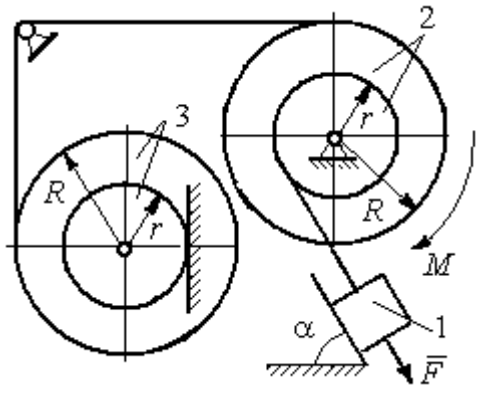
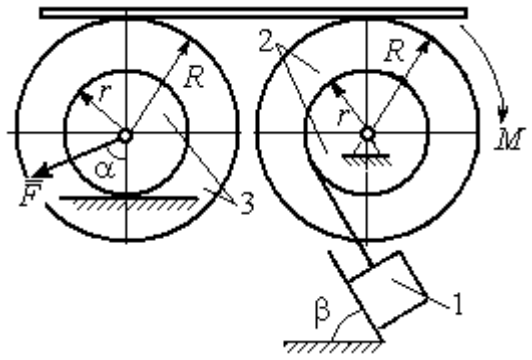
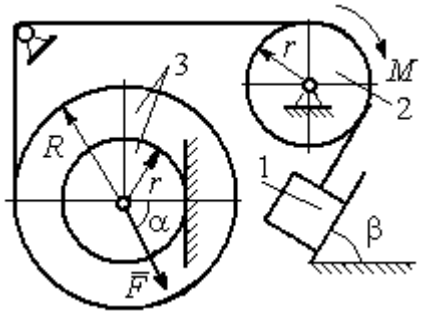
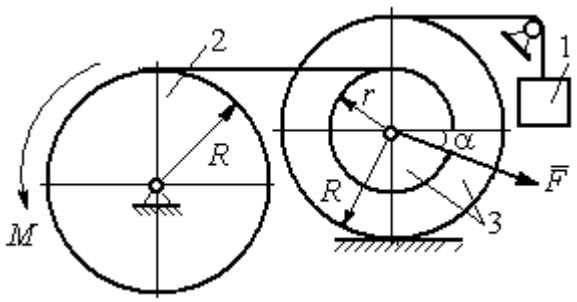
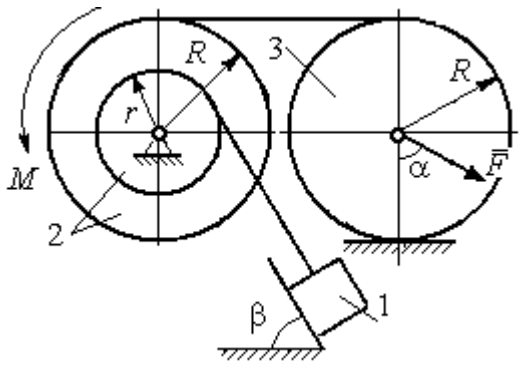
Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
	
Варианты 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
	

Рис. 6.4. Задание Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики.
Номера вариантов задания 1 – 4, 11 – 14, 21 – 24

Варианты № 5, 15, 25	**Варианты № 6, 16, 26**
	

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

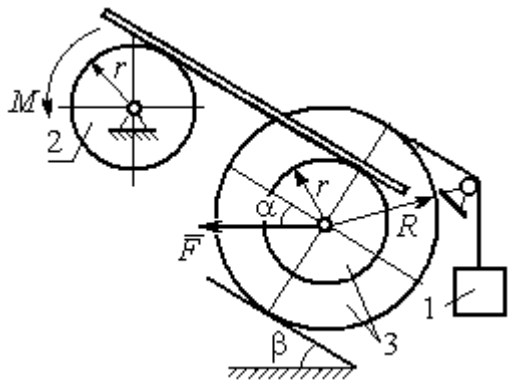
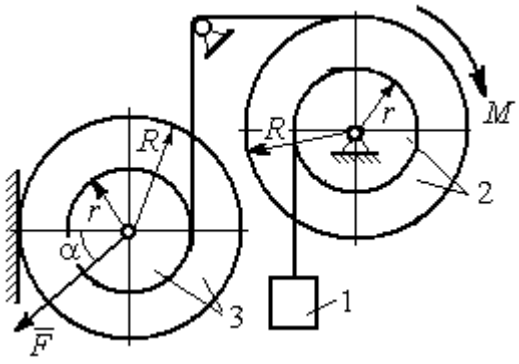
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 6.5. Задание Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики. Номера вариантов задания 5 – 10, 15 – 20, 25 – 30

Таблица 6.1

Исходные данные задания Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	α, град	β, град	R, м	r, м	i_z, м
1	10	20	8	20	$3(2+t^2)$	30	60	0,6	0,3	0,4
2	10	22	15	15	$4(t+3)$	30	30	0,8	0,4	0,6
3	5	18	10	6	$8(t^2+1)$	90	30	0,4	0,3	0,3
4	5	22	10	5	$14(t^2+t+1)$	30	–	0,6	0,5	0,6
5	5	20	16	9	$3(t^2+4)$	45	60	0,6	0,3	0,5
6	10	16	14	15	$4(5+t)$	60	30	1,0	0,6	0,8
7	6	20	20	8	$9(3t^2+2)$	45	–	0,8	0,6	0,8
8	16	25	15	12	$5(t^2+4)$	30	60	1,2	0,6	0,8
9	5	20	12	8	$4(3+5t)$	60	30	0,6	0,4	0,5
10	6	25	8	10	$5(3t+6)$	30	–	1,0	0,8	0,9
11	4	22	8	15	$2+ t^2$	45	45	0,8	0,4	0,6
12	15	18	15	10	$5(t+3)$	30	60	1,0	0,5	0,7
13	6	20	10	4	$5(t^2+2)$	30	60	0,6	0,5	0,4
14	10	25	15	8	$16(t+2)$	60	–	0,8	0,6	0,7
15	8	18	20	10	$6(t+2)$	30	90	1,2	0,6	1,0
16	8	18	12	12	$5(3+t^2)$	90	60	0,8	0,6	0,7
17	5	20	10	10	$2t^2+20$	60	–	0,9	0,6	0,8
18	20	15	20	15	$3(t+4)$	60	30	0,8	0,4	0,7
19	8	20	12	10	$4(3+t)$	45	45	1,2	0,4	0,8
20	12	20	10	6	$6(3t+4)$	45	–	1,0	0,6	0,9
21	15	25	12	12	$6+t^2$	60	60	0,6	0,3	0,5
22	20	22	18	15	$2(2t+9)$	45	45	0,8	0,4	0,6
23	8	24	12	8	$7(3t^2+2)$	30	45	0,8	0,5	0,6
24	12	20	18	10	$6(t+4)$	90	–	0,5	0,3	0,4
25	5	20	12	12	$9(2+t^2)$	60	30	1,4	0,7	1,2
26	10	12	10	8	$6(2+t)$	30	45	1,2	0,8	0,9
27	6	18	16	14	$8(2t^2+3)$	30	–	0,8	0,2	0,6
28	10	20	20	20	$3(t^2+3)$	45	30	0,6	0,3	0,5
29	10	18	8	12	$5(4+t+ t^2)$	30	60	1,2	0,8	0,9
30	8	18	10	15	$8(t^2+5)$	60	–	1,0	0,8	0,9

Пример выполнения задания Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики

Механическая система состоит из груза 1, движущегося поступательно, ступенчатого диска 2 (каток), катящегося по неподвижной поверхности цилин-

дрической ступенькой, и однородного диска 3 (блок), вращающегося вокруг неподвижной оси, проходящей через центр масс блока (рис. 6.6). Качение катка 2 без проскальзывания, скольжение груза 1 – без трения. Движение системы происходит под действием сил тяжести, силы $\vec{F}$, приложенной к грузу 1 и пары сил с моментом M, приложенной к диску 3.

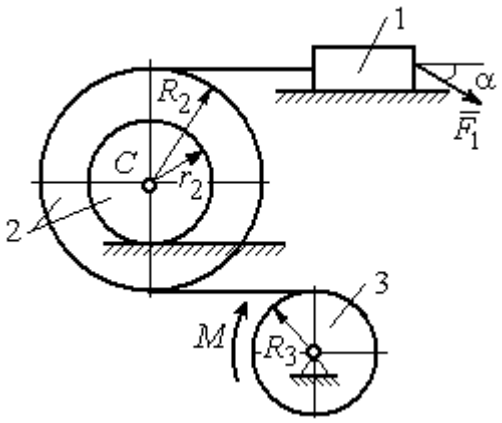


Рис. 6.6. Схема движения механической системы

Найти уравнение движения центра масс катка 2 если движение системы началось из состояния покоя. Определить реакцию шарнира диска 3 в момент t = 1 с, если: P_1 = 10 Н; $P_2 = 20$ Н; $P_3 =$ 15 Н; $F = 5(t+1)$ Н; $M = 6(1+2t)$ Н·м; R_2 = 0,8 м; r_2 = 0,2 м; R_3 = 0,4 м; i_{2C} = 0,6 м.

Решение

В рассматриваемой механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, сила $\vec{F}$ и пара сил с моментом M (рис. 6.7). Связи идеальные, так как скольжение груза 1 происходит по гладкой поверхности без трения, качение диска 2 без проскальзывания, а ось вращения блока 3 неподвижна.

Предположим, направление движения в системе задаёт пара сил с моментом M, приложенная к блоку 3. Обозначим ω_3, ε_3 – угловая скорость и угловое ускорение блока 3, V_C, a_C – скорость и ускорение центра масс катка 2, V_1, a_1 – скорость и ускорение груза 1. Направления векторов скоростей и ускорений точек и угловых скоростей и ускорений тел в соответствии с выбранным направлением движения системы показаны на рис. 6.7.

Общее уравнение динамики имеет вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0 .$$

Присоединим к телам системы силы инерции. Груз 1 движется поступательно. Главный вектор сил инерции груза 1 $\vec{R}_1^{\text{и}}$ приложен в центре масс груза и направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_1$ груза 1. Модуль главного вектора сил инерции груза 1 $R_1^{\text{и}} = m_1 a_1$, где m_1 – масса груза 1; a_1 – величина ускорения груза 1.

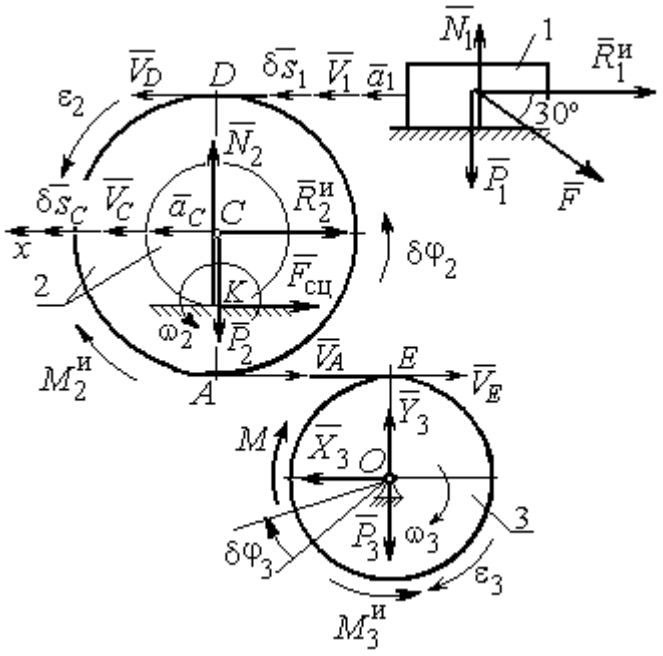


Рис. 6.7. Расчётная схема исследования движения механической системы

Система сил инерции катка 2, приводятся к силе, равной главному вектору сил инерции $\vec{R}_2^{\text{и}}$, приложенному в центре масс катка 2, и паре сил с моментом, равным главному моменту сил инерции $\vec{M}_2^{\text{и}}$ относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения. Главный вектор сил инерции направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$, и составляет $R_2^{\text{и}} = m_2 a_C$, где m_2 – масса катка 2; a_C – величина ускорения центра масс. Главный момент сил инерции: $M_2^{\text{и}} = J_{2C}\varepsilon_2$, где J_{2C} – момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения; ε_2 – угловое ускорение катка 2. Направлен главный момент сил инерции $M_2^{\text{и}}$ в сторону, противоположную угловому ускорению ε_2.

Главный вектор сил инерции, приложенных к блоку 3 и приведённых к центру масс блока, равен нулю, так как блок вращается вокруг неподвижной оси, проходящей через центр масс, и ускорение центра масс блока равно нулю. В результате силы инерции блока 3 приводятся к паре сил, момент которой ра-

вен главному моменту сил инерции $\vec{M}_3^{\text{и}}$ относительно оси вращения. Главный момент сил инерции блока 3 равен по величине $M_3^{\text{и}} = J_{3O}\varepsilon_3$, где J_{3O} – момент инерции блока 3 относительно оси вращения; ε_3 – угловое ускорение блока 3, и направлен в сторону, противоположную угловому ускорению ε_3. Главные векторы и главные моменты сил инерции показаны на рис. 6.8.

Определим кинематические соотношения между скоростями точек системы и выразим их через скорость V_C центра масс катка 2. Каток 2 катится по неподвижной поверхности без скольжения. Мгновенный центр скоростей катка находится в точке *K* касания катка с поверхностью (см. рис. 6.7). Угловая скорость катка 2 $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK} = \dfrac{V_C}{r_2}$. Скорость точки *A* катка 2: $V_A = \omega_2 \cdot AK = \omega_2(R_2 - r_2) = V_C \dfrac{R_2 - r_2}{r_2}$. Скорость точки *E* блока 3 равна скорости точки *A* катка 2, $V_E = V_A$. Тогда угловая скорость блока 3:

$$\omega_3 = \frac{V_E}{R_3} = \frac{V_A}{R_3} = V_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Скорость груза 1 равна скорости точки *D* катка 2:

$$V_1 = V_D = \omega_2 \cdot DK = \omega_2(R_2 + r_2) = V_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}.$$

Соотношения между ускорениями определяются путем дифференцирования установленных кинематических равенств:

$$a_1 = a_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \quad \varepsilon_2 = \frac{a_C}{r_2}, \quad \varepsilon_3 = a_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Для того чтобы найти соотношения между перемещениями, выразим кинематические равенства между скоростями в дифференциальном виде и, полагая, что действительное перемещение является возможным, т. е. $ds = \delta s$, $d\varphi = \delta\varphi$, получим соотношения между возможными перемещениями:

$$\delta s_1 = \delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \ \ \delta\varphi_2 = \frac{\delta s_C}{r_2}, \ \ \delta\varphi_3 = \delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Сообщим системе возможное перемещение, совпадающее с действительным. Элементарная работа реакций связи на любом возможном перемещении системы равна нулю, так как связи в системе идеальные.

Найдем элементарные работы активных сил и выразим их через перемещение центра масс катка 2. Прежде заметим, что элементарные работы сил тяжести груза 1 и катка 2 равны нулю, так как направления перемещений точек приложения этих сил перпендикулярны векторам сил:

$$\delta A(\vec{P}_1) = P_1 \delta s_1 \cos 90^\circ = 0, \ \delta A(\vec{P}_2) = P_2 \delta s_C \cos 90^\circ = 0.$$

Элементарная работа силы тяжести блока 3 равна нулю, так как точка приложения силы тяжести блока 3 не перемещается: $\delta A(\vec{P}_3) = 0$.

Элементарная работа пары сил с моментом M, приложенных к блоку 3:

$$\delta A(\vec{M}) = M\delta\varphi_3 = M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Элементарная работа силы $\vec{F}$:

$$\delta A(\vec{F}) = F\delta s_1 \cos 150^\circ = -F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2} \cos 30^\circ.$$

Сумма элементарных работ всех активных сил:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = \delta A(\vec{M}) + \delta A(\vec{F}) = M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} - F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2} \cos 30^\circ =$$

$$= \left[6(1 + 2t)\left(\frac{0{,}8 - 0{,}2}{0{,}4 \cdot 0{,}2} \right) - 5(t + 1)\left(\frac{0{,}8 + 0{,}2}{0{,}2} \right) 0{,}866 \right] \delta s_C = (23{,}35 + 68{,}35t)\delta s_C.$$

Определим модули главных векторов и главных моментов сил инерции в зависимости от ускорения a_C центра масс катка 2:

$$R_1^{\text{и}} = m_1 a_1 = \frac{P_1}{g} a_1 = \frac{P_1 (R_2 + r_2)}{g r_2} a_C, \quad R_2^{\text{и}} = m_2 a_C = \frac{P_2 a_C}{g},$$

$$M_2^{\text{и}} = J_{2C}\varepsilon_2 = m_2 i_{2C}^2 \varepsilon_2 = \frac{P_2}{g} i_{2C}^2 \frac{a_C}{r_2},$$

$$M_3^{\text{и}} = J_{3O}\varepsilon_3 = \frac{m_3 R_3^2}{2}\varepsilon_3 = \frac{P_3 R_3^2}{2g}\frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}a_C = \frac{P_3 R_3 (R_2 - r_2)}{2g r_2}a_C,$$

где J_{2C} – момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$; i_{2C} – радиус инерции катка 2; J_{3O} – момент инерции блока 3 относительно оси вращения, проходящей через его центр масс, $J_{3O} = \frac{m_3 R_3^2}{2}$.

Найдем элементарные работы сил инерции на возможном перемещении системы и выразим их в зависимости от перемещения δs_C центра масс катка 2:

$$\delta A(\vec{R}_1^{\text{и}}) = R_1^{\text{и}}\delta s_1 \cos 180^\circ = -\frac{P_1 (R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{R}_2^{\text{и}}) = R_2^{\text{и}}\delta s_C \cos 180^\circ = -\frac{P_2 a_C}{g}\delta s_C,\ \delta A(\vec{M}_2^{\text{и}}) = -M_2^{\text{и}}\delta\varphi_2 = -\frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{M}_3^{\text{и}}) = -M_3^{\text{и}}\delta\varphi_3 = -\frac{P_3 (R_2 - r_2)^2 a_C}{2 g r_2^2}\delta s_C.$$

Сумма элементарных работ сил инерции:

$$\sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = -\frac{P_1 (R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C - \frac{P_2 a_C}{g}\delta s_C - \frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C - \frac{P_3 (R_2 - r_2)^2 a_C}{2 g r_2^2}\delta s_C =$$

$$= -\frac{a_C \delta s_C}{g}\left[\frac{10(0{,}8 + 0{,}2)^2}{0{,}2^2} + 20 + \frac{20 \cdot 0{,}6^2}{0{,}2^2} + \frac{15(0{,}8 - 0{,}2)^2}{2 \cdot 0{,}2^2}\right] = -52{,}75\, a_C \delta s_C,$$

где $g = 9{,}81$ м/с^2.

С учетом проделанных вычислений общее уравнение динамики принимает вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = (23{,}35 + 68{,}35t)\delta s_C - 52{,}75\, a_C \delta s_C = 0,$$

откуда ускорение центра масс катка 2:

$$a_C = 0{,}44 + 1{,}29t.$$

Выберем ось x по направлению движения центра масс катка 2 (см. рис. 6.7). Проектируя вектор $\vec{a}_C$ ускорения точки C на ось x, получим дифференциальное уравнение $a_C = \ddot{x}_C = 0{,}44 + 1{,}29t$. Интегрируя дважды это уравнение, найдём закон движения: $x_C = 0{,}44\dfrac{t^2}{2} + 1{,}29\dfrac{t^3}{6} + C_1 t + C_2$. Подставляя сюда начальные условия: $t = 0$, $V_C = 0$, $x_C = 0$, найдём константы интегрирования: $C_1 = C_2 = 0$. Окончательно уравнение движения центра масс диска 2 представим в виде:

$$x_C = 0{,}22t^2 + 0{,}21t^3.$$

Рассмотрим вращательное движение блока 3, освободив его от связей. На блок действуют сила тяжести $\vec{P}_3$, реакция подшипника, разложенная на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, пара сил с моментом M и реакция нити $\vec{H}_3$ (см. рис. 6.8). Реакция нити, равная силе натяжения нити, приложена к блоку 3, направлена вдоль нити, связывающей каток 2 и блок 3. Присоединим к блоку 3 силы инерции. Направления сил, моментов пар сил и главного момента сил инерции, действующих на блок 3, показаны на рис. 6.8.

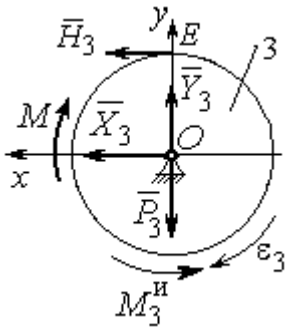


Рис. 6.8. Расчётная схема определения натяжения нити и реакции шарнира блока 3

По принципу Даламбера система сил, приложенных к блоку 3, включая силы инерции, находится в равновесии. Составим уравнение равновесия в виде равенства нулю суммарного момента всех сил (включая силы инерции) относительно оси вращения. Получим $M - H_3 R_3 - M_3^{и} = 0$, где $M_3^{и} = J_{3O}\varepsilon_3 = \dfrac{P_3 R_3 (R_2 - r_2) a_C}{2 g r_2}$. Из уравнения находим величину натяжения нити:

$$H_3 = \frac{M}{R_3} - \frac{P_3(R_2 - r_2)a_C}{2gr_2} = \frac{6(1+2t)}{R_3} - \frac{P_3(R_2 - r_2)}{2gr_2}(0{,}44 + 1{,}29t) = 13{,}99 + 27{,}04t.$$

В момент времени $t = 1$ с натяжение нити: $H_3 = 41{,}04$ Н.

Так как главный вектор сил инерции блока 3 равен нулю, то составленные по принципу Даламбера уравнения равновесия блока 3 в виде проекций сил на вертикальную и горизонтальную оси содержат только внешние силы. Имеем: $X_3 + H_3 = 0$, $Y_3 - P_3 = 0$ (см. рис. 6.8). Отсюда находим составляющие реакции шарнира блока 3 в момент времени t = 1 с: $X_3 = -H_3$= – 41,04 Н, $Y_3 = P_3$= 15 Н. Отрицательное значение горизонтальной составляющей реакции шарнира X_3 означает её противоположное направление.

Полная реакция шарнира $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2}$ = 43,69 Н.

6.3. Уравнения Лагранжа II рода

Обобщенными координатами механической системы называется совокупность любых s независимых параметров $q_1, q_2, \ldots, q_S$, однозначно определяющих положение системы в любой момент времени.

Если системе сообщить возможное перемещение, при котором все обобщенные координаты изменяются на элементарные (бесконечно малые) величины $\delta q_1, \delta q_2, \ldots, \delta q_S$, называемые вариациями обобщенных координат, то все действующие активные силы совершат элементарную работу, которая может быть представлена в виде $\delta A = Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \ldots + Q_s \cdot \delta q_S$. Величина Q_k, равная коэффициенту при вариации δq_k обобщенной координаты, называется **обобщенной силой**, соответствующей данной обобщенной координате. Расчет обобщенных сил осуществляется путем последовательного придания системе возможных перемещений, при которых варьируется только одна из обобщенных координат, а вариации остальных координат равны нулю.

Для материальной системы с идеальными связями дифференциальные уравнения движения в обобщенных координатах – **уравнения Лагранжа II рода** – имеют вид:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k, \quad k = 1, 2, \ldots, s,$$

где T – кинетическая энергия системы; $q_1, q_2, \ldots, q_S$ – обобщенные координаты; $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \ldots, \dot{q}_S$ – обобщенные скорости; s – число степеней свободы системы.

6.4. Задание Д7. Исследование механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа

Механическая система состоит из трёх тел – бруса 1, блока 2, катка 3 и невесомой пружины жесткостью *c*. Брус 1, соединяющий каток 3 с блоком 2, расположен параллельно линии качения катка 3. Радиусы ступеней ступенчатого диска и радиус однородного диска указаны на схеме.

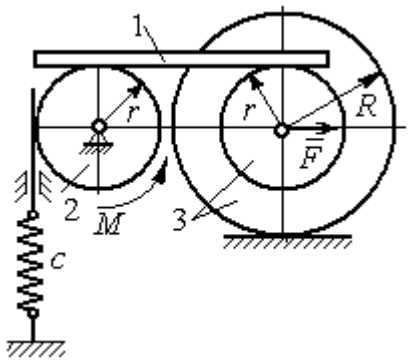
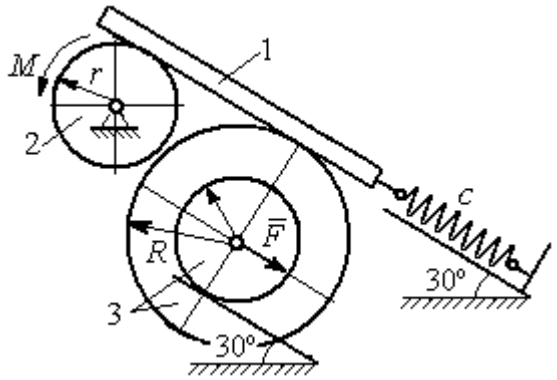
Качение катка 3 происходит без проскальзывания. Скольжение между брусом и дисками отсутствует. В задачах, где пружина соединяется с блоком 2, передача движения блоку 2 производится посредством невесомого стержня без скольжения.

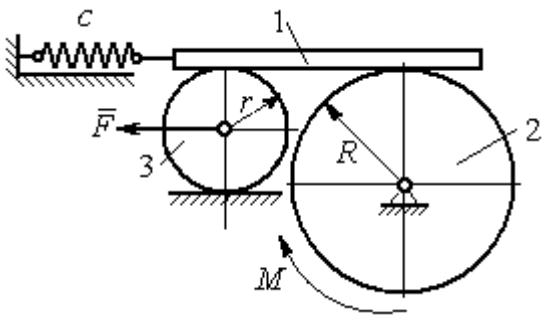
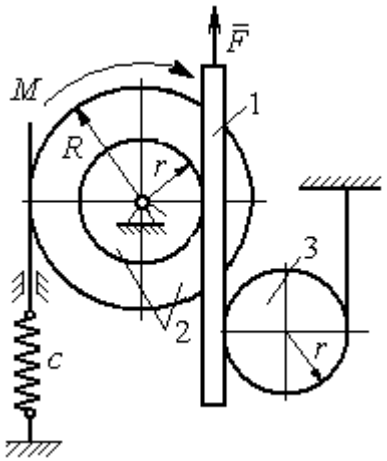
Радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, равен i_z.

Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M.

Определить закон движения бруса 1 и закон угловых колебаний блока 2, если в начальный момент пружина находилась в нерастянутом состоянии, а блоку 2 придали угловую скорость ω_{20}, направленную в сторону заданного момента пары сил.

Варианты заданий даны на рис. 6.9, 6.10. Варианты исходных данных в табл. 6.2. Отрицательные значения величин *F* или *M* в табл. 6.2 означают, что при заданных модулях силы или момента направление вектора силы $\vec{F}$ или момента *M* на схеме следует изменить на противоположные.

Варианты № 1, 11, 21	Варианты № 2, 12, 22
	

Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

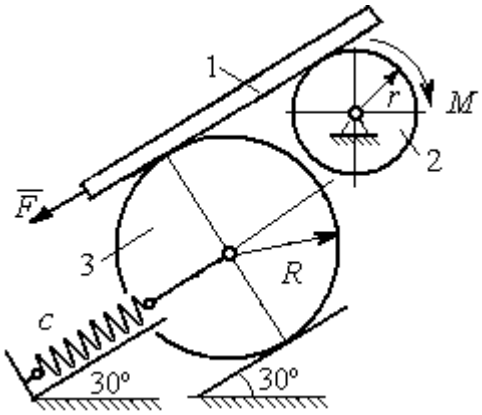
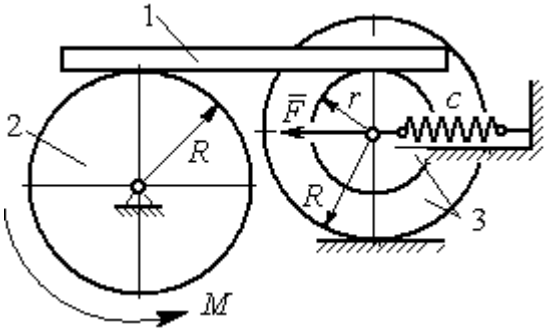
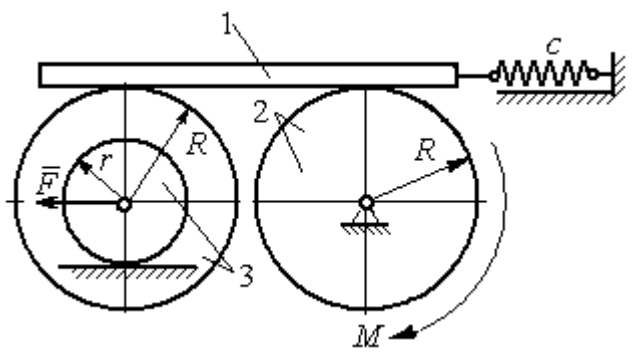
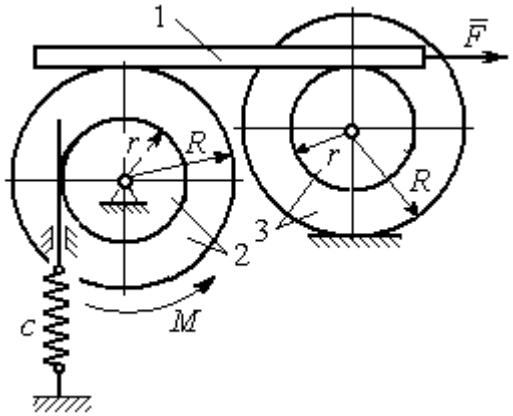
Варианты № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 6.9. Задание Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы. Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

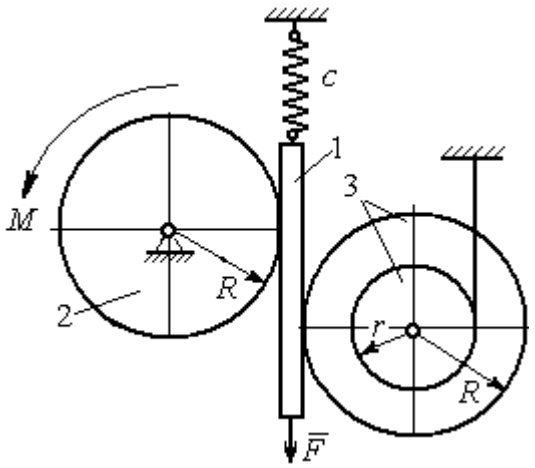
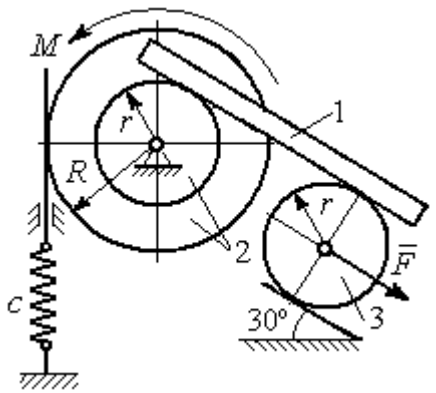
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 6.10. Задание Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы. Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 6.2

Исходные данные задания Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	c, Н/м	ω_{20}, рад/с	R, м	r, м	i_z, м
1	8	12	18	15	3	50	0,3	0,6	0,3	0,4
2	10	8	15	12	5	55	0,4	0,8	0,5	0,6
3	5	18	10	8	4	60	0,2	0,5	0,3	–
4	5	20	12	10	6	70	0,5	0,6	0,5	0,6
5	5	8	16	8	8	65	0,2	0,6	0,3	–

Окончание табл. 6.2

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	c, Н/м	ω_{20}, рад/с	R, м	r, м	i_z, м
6	8	10	14	6	2	50	0,1	1,0	0,6	0,8
7	10	12	15	12	3	65	0,2	0,8	0,6	0,7
8	12	15	15	6	2	50	0,3	1,2	0,6	0,8
9	5	20	12	8	4	75	0,1	0,6	0,4	0,5
10	6	25	8	5	12	60	0,4	1,0	0,8	0,9
11	4	10	12	–10	–2	60	0,2	0,8	0,4	0,6
12	5	8	15	–8	3	50	0,5	1,0	0,5	0,7
13	6	15	8	–12	–4	65	0,4	0,6	0,5	–
14	10	25	10	6	10	55	0,1	0,8	0,6	0,7
15	8	6	20	–10	2	70	0,2	1,2	0,6	–
16	10	12	12	–5	6	60	0,3	0,8	0,6	0,7
17	12	16	12	–6	–2	55	0,4	0,9	0,6	0,8
18	10	20	20	10	4	60	0,1	0,8	0,4	0,7
19	8	20	12	–10	6	65	0,2	1,2	0,4	0,8
20	12	20	10	–3	6	50	0,24	1,0	0,6	0,9
21	5	12	15	12	–3	55	0,3	0,6	0,5	0,55
22	10	15	18	6	–2	65	0,1	0,8	0,4	0,6
23	8	20	12	–8	2	45	0,2	0,8	0,6	–
24	12	20	18	–4	–8	70	0,4	0,5	0,3	0,4
25	6	10	15	–6	–2	60	0,1	1,4	0,7	–
26	8	12	10	10	–3	65	0,2	1,2	0,8	0,9
27	6	18	16	5	–3	70	0,2	0,8	0,2	0,6
28	8	12	12	–6	2	65	0,3	0,6	0,3	0,5
29	10	18	20	–10	4	60	0,2	1,2	0,8	0,9
30	8	18	10	8	6	75	0,1	1,0	0,8	0,9

Пример выполнения задания Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа

Механическая система состоит из трёх тел – бруса 1, блока 2, катка 3 и невесомой пружины жесткостью c. Брус, соединяющий каток 3 с блоком 2, расположен параллельно линии качения катка 3 (рис. 6.11). Радиусы ступеней ступенчатого диска R и r, радиус однородного диска r. Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M. Движение катка 3 по неподвижной поверхности происходит без проскальзывания. Скольжение между брусом и дисками отсутствует.

Передача движения от пружины блоку 2 производится посредством невесомого вертикального стержня без скольжения. Радиус инерции блока 2 относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, i_z.

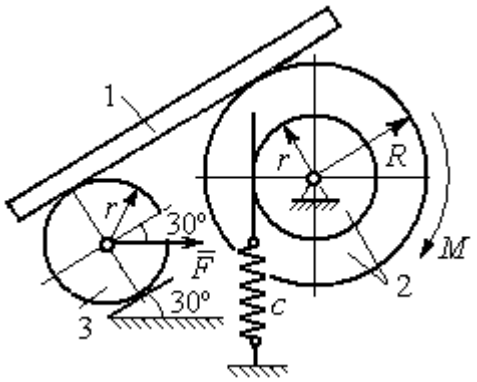


Рис. 6.11. Механическая система с одной степенью свободы

Исходные данные задачи: $P_1 = P$ Н, $P_2 = 2P$ Н, $P_3 = P$ Н, $F = 2P$ Н, $M = Pr$ Н·м, $R = 1{,}5r$ м, $i_z = r\sqrt{2}$ м, $c = P/r$ Н/м.

Определить законы движения блока 2 и бруса 1 при $P = 10$ Н, $r = 0{,}2$ м, если в начальный момент пружина находилась в нерастянутом состоянии, а блоку 2 придали угловую скорость $\omega_0 = 0{,}5$ рад/с, направленную в сторону заданного момента пары сил.

Решение

Рассматриваемая механическая система (рис. 6.11) имеет одну степень свободы, так как в системе не допускается независимое друг от друга движение тел. В качестве обобщённой координаты q выберем перемещение x верхнего края пружины, отсчитываемого от уровня, при котором пружина длиной l_0 находилась в нерастянутом состоянии (рис. 6.12). Обобщённая скорость $\dot{q} = \dot{x}$.

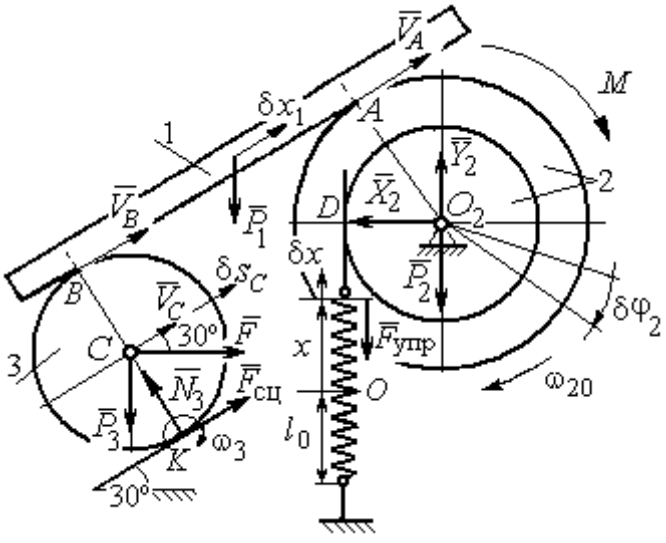


Рис. 6.12. Расчётная схема колебаний механической системы с одной степенью свободы

Уравнение Лагранжа II рода, описывающее движение системы с одной степенью свободы, имеет вид $\dfrac{d}{dt}\left(\dfrac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) - \dfrac{\partial T}{\partial x} = Q_x$, где T –

кинетическая энергия системы, Q_x – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате *x*.

Вычислим кинетическую энергию системы как сумму кинетических энергий бруса, блока и катка: $T = T_1 + T_2 + T_3$. Кинетическая энергия поступательного движения бруса 1: $T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2$, где m_1, V_1 – масса и скорость бруса. Энергия вращательного движения блока 2: $T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2$, где ω_2 – угловая скорость блока, J_{2z} – момент инерции блока 2 относительно оси *z*, $J_{2z} = m_2 i_z^2$.

Каток 3 совершает плоскопараллельное движение. Его кинетическая энергия $T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2$, где V_C – скорость центра масс катка 3; J_{zC} – момент инерции катка относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{zC} = \frac{1}{2} m_3 r^2$; *r* – радиус катка; ω_3 – угловая скорость катка.

Выразим скорость V_1 бруса 1, угловые скорости ω_2, ω_3 блока 2 и катка 3, а также скорость V_C центра масс катка 3 через обобщённую скорость $\dot{x}$.

Заметим, что скорость точки *D* блока 2 равна скорости верхнего края пружины $V_D = \dot{x}$. Угловая скорость блока 2 $\omega_2 = \frac{V_D}{r} = \frac{\dot{x}}{r}$. Скорость бруса 1 равна скорости точки *A* блока 2 и вычисляется по формуле $V_1 = V_A = \omega_2 R = \frac{\dot{x} R}{r}$. Так как брус совершает поступательное движение, то $V_B = V_1$. Угловая скорость катка 3 $\omega_3 = \frac{V_B}{2r} = \frac{V_1}{2r} = \frac{\dot{x} R}{2r^2}$. Здесь при определении угловой скорости катка 3 учтено, что точка *K* касания катка 3 с неподвижной поверхностью является мгновенным центром скоростей катка. Скорость центра катка 3 $V_C = \frac{V_B}{2} = \frac{\dot{x} R}{2r}$.

Подставляя исходные данные задачи с учётом найденных кинематических соотношений, получим кинетическую энергию тел системы

$$T_1=\frac{1}{2}m_1V_1^2=\frac{P}{2g}\left(\frac{\dot{x}R}{r}\right)^2=1{,}125\frac{P}{g}\dot{x}^2,\ \ T_2=\frac{1}{2}J_{2z}\omega_2^2=\ \frac{1}{2}\cdot\frac{2P}{g}\left(r\sqrt{2}\right)^2\left(\frac{\dot{x}}{r}\right)^2=2\frac{P}{g}\dot{x}^2,$$

$$T_3=\frac{1}{2}m_3V_C^2+\frac{1}{2}J_{zC}\omega_3^2=\frac{1}{2}\frac{P}{g}\left(\frac{\dot{x}R}{2r}\right)^2+\frac{1}{2}\frac{Pr^2}{2g}\left(\frac{\dot{x}R}{2r^2}\right)^2=0{,}422\frac{P}{g}\dot{x}^2.$$

Тогда полная кинетическая энергия системы:

$$T=T_1+T_2+T_3=3{,}547\frac{P}{g}\dot{x}^2.$$

Произвольное положение системы определяется обобщённой координатой *x*, показывающей растяжение пружины. Дадим пружине, находящейся в произвольном положении, возможное (бесконечно малое) перемещение δx в положительном направлении оси *x* (см. рис. 6.12). При этом блок 2 повернётся на угол $\delta\varphi_2$: $\delta\varphi_2=\frac{\delta x}{r}$, брус 1 переместится на расстояние δx_1: $\delta x_1=\frac{\delta xR}{r}$, центр масс катка 3 сдвинется на расстояние δS_C: $\delta S_C=\frac{\delta xR}{2r}$. Все перемещения получены из установленных ранее кинематических соотношений и показаны на рис. 6.12.

При заданном возможном перемещении системы работу совершают силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_3$ бруса 1 и катка 3, пара сил с моментом *M*, сила $\vec{F}$ и сила упругости пружины (см. рис. 6.12). Элементарная работа вращающего момента *M*, приложенного к блоку 2, будет $\delta A(M)=M\delta\varphi_2=M\frac{\delta x}{r}$. Работа силы тяжести бруса 1 определяется равенством $\delta A(P_1)=P_1\delta x_1\cos120^\circ=-P_1\delta x_1\cos60^\circ=-\frac{P_1\delta xR}{2r}$. Работы силы тяжести катка 3 и силы *F*: $\delta A(P_3)=P_3\delta s_C\cos120^\circ=-P_3\frac{\delta xR}{4r}$, $\delta A(F)=F\frac{\delta xR}{2r}\cos30^\circ$. Модуль силы упругости пружины, растянутой из неде-

формированного положения на расстояние x: $F_{\text{упр}} = cx$. Сила $\vec{F}_{\text{упр}}$ упругости направлена в сторону, противоположную растяжению (см. рис. 6.12). Работа силы упругости при перемещении вдоль линии действия на расстояние δx вычисляется по формуле $\delta A(\vec{F}_{\text{упр}}) = F_{\text{упр}}\delta x\cos 180^\circ = -cx\delta x$.

Сумма работ сил на рассматриваемом возможном перемещении системы с учётом данных задачи составляет

$$\delta A = \delta A(M) + \delta A(P_1) + \delta A(P_3) + \delta A(F) + \delta A(F_{\text{упр}}) =$$

$$= M\frac{\delta x}{r} - \frac{P_1\delta xR}{2r} - P_3\frac{\delta xR}{4r} + F\frac{\delta xR}{2r}\cos 30^\circ - cx\delta x = P(1{,}174 - 5x)\delta x,$$

откуда обобщённая сила $Q_x = P(1{,}174 - 5x)$.

Составим уравнения Лагранжа. Вычислим частные производные от кинетической энергии по обобщенной скорости $\dot{x}$ и координате x: $\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = 7{,}094\frac{P}{g}\dot{x}$, $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$. Определим полную производную по времени: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) = 7{,}094\frac{P}{g}\ddot{x}$. Результаты расчетов подставим в уравнения Лагранжа II рода и получим дифференциальное уравнение колебаний верхнего края пружины:

$$7{,}094\frac{P}{g}\ddot{x} = P(1{,}174 - 5x), \text{ или при } g = 9{,}81 \text{ м/с}^2,\ \ddot{x} + 6{,}91x = 1{,}62.$$

Решение дифференциального уравнения представляется в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного: $x = x_{\text{одн}} + x_{\text{частн}}$. Общее решение однородного уравнения имеет вид $x_{\text{одн}} = C_1\sin kt + C_2\cos kt$, где C_1, C_2 – произвольные постоянные; k – круговая частота собственных колебаний пружины, $k = \sqrt{6{,}91} = 2{,}63$ рад/с. Частное решение неоднородного уравнения ищется в виде константы $x_{\text{частн}} = b$. Подставив его в уравнение колебаний, получим $b = 0{,}23$. Таким образом, общее решение неоднородного уравнения имеет вид $x(t) = C_1\sin 2{,}63t + C_2\cos 2{,}63t + 0{,}23$.

Произвольные постоянные C_1, C_2 находятся из начальных условий. По условию задачи в начальный момент пружина была в нерастянутом состоянии. Тогда начальная координата пружины (её верхнего края) $x(0) = 0$. Скорость верхнего края пружины в начальный момент времени $\dot{x}(0)$ равна начальной скорости $V_D(0)$ точки *D* блока 2. Поскольку в начальный момент времени блоку 2 сообщили угловую скорость ω_{20}, то $\dot{x}(0) = V_D(0) = \omega_{20} r = 0{,}1$ м/с.

Подставляя значение начальной координаты в общее решение неоднородного уравнения при $t = 0$, получим $C_2 = -0{,}23$.

Вычисляем скорость движения пружины, взяв производную: $\dot{x}(t) = 2{,}63C_1 \cos 2{,}63t - 2{,}63C_2 \sin 2{,}63t$. Подставляя начальное значение скорости, получим $C_1 = 0{,}038$. Окончательно уравнение движения верхнего края пружин: $x(t) = 0{,}038 \sin 2{,}63t - 0{,}23 \cos 2{,}63t + 0{,}23$ м.

Уравнения колебательных движений бруса 1 и блока 2 найдём из ранее полученных кинематических соотношений:

$$x_1 = \frac{xR}{r} = 1{,}5\, x(t) = 0{,}057 \sin 2{,}63t - 0{,}34 \cos 2{,}63t + 0{,}34 \text{ м};$$

$$\varphi_2 = \frac{x}{r} = 5\, x(t) = 0{,}19 \sin 2{,}63t - 1{,}15 \cos 2{,}63t + 1{,}15 \text{ рад}.$$

Амплитуда колебаний бруса $A = \sqrt{0{,}057^2 + 0{,}34^2} = 0{,}35$ м.

6.5. Задание Д8. Исследование механической системы с двумя степенями свободы

Механическая система, состоящая из четырёх тел, из состояния покоя движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, $\vec{P}_4$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом *M*. Качение тел во всех случаях происходит без проскальзывания, скольжение грузов по поверхностям – без трения. Радиусы дисков одинаковы и равны *R*. Найти уравнения движения системы в обоб-

щённых координатах. Варианты заданий и рекомендуемые обобщённые координаты даны на рис. 6.13, 6.14, варианты исходных данных – в табл. 6.3.

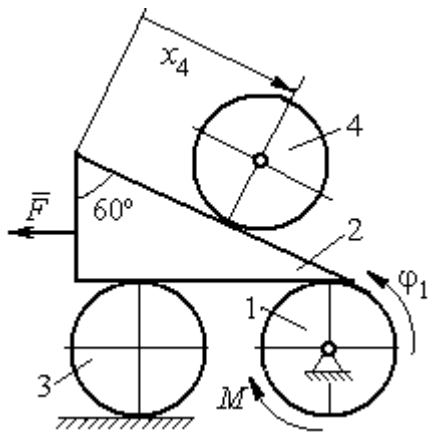
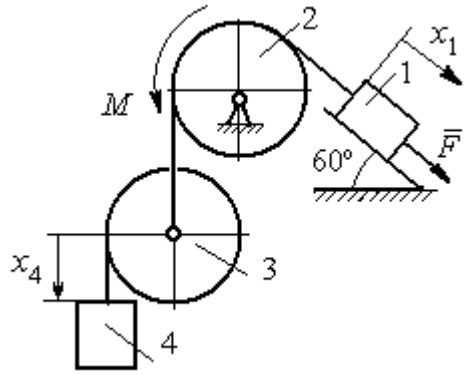
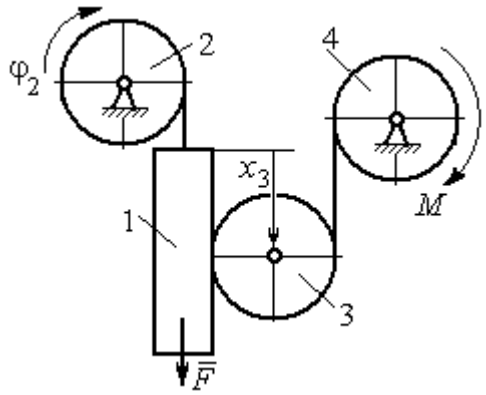
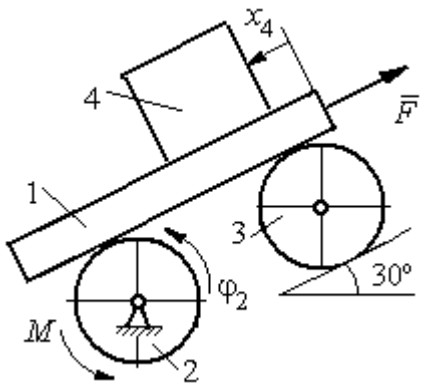
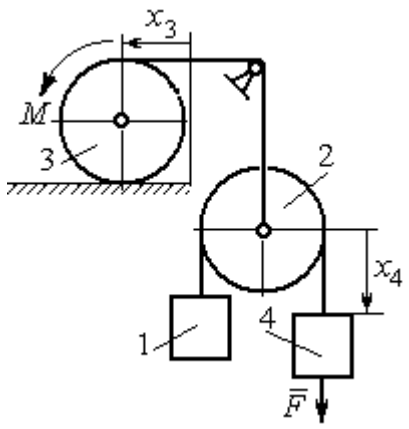
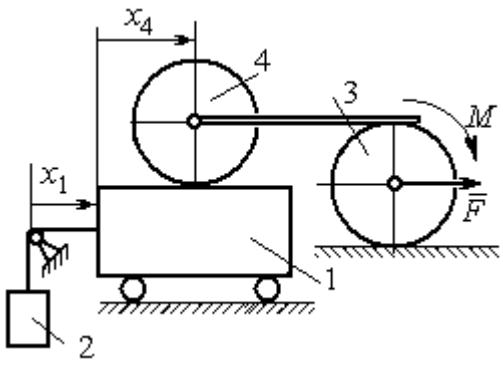
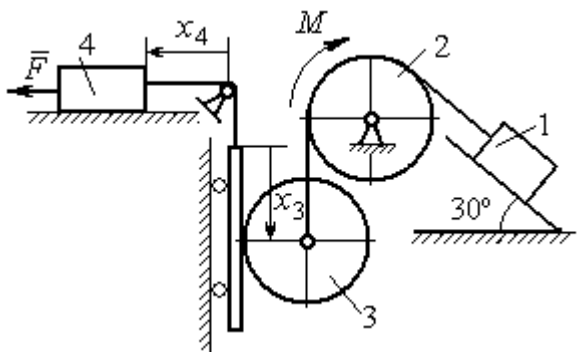
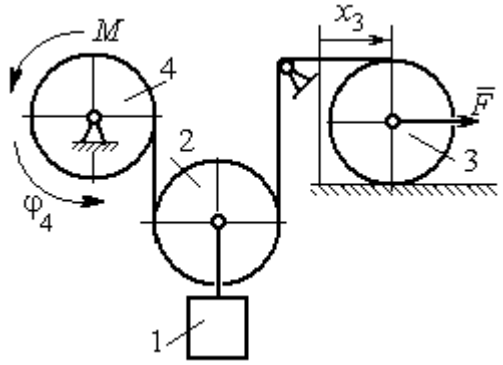
Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
	
Варианты № 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
	
Варианты № 5, 15, 25	**Варианты № 6, 16, 26**
	

Рис. 6.13. Задание Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы. Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д8

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

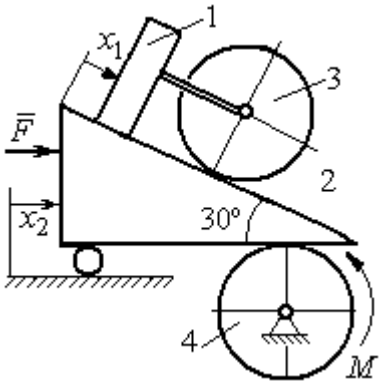
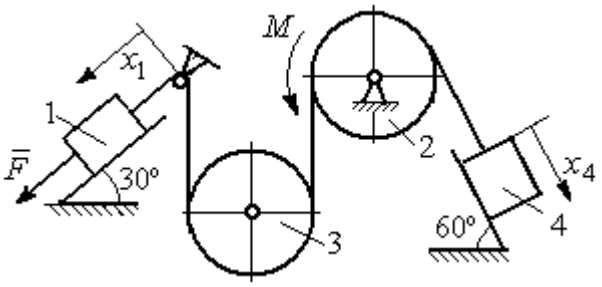
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 6.14. Задание Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы. Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 6.3

Исходные данные задания Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы

Номер варианта задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
P_1, Н	P	$2P$	P	$1{,}5P$	P	$3P$	P	$1{,}2P$	$3P$	P	$2P$	P	P	$2P$	P
P_2, Н	$3P$	$3P$	$4P$	$3P$	$2P$	P	$2P$	$3P$	P	$2P$	$3P$	$2P$	$3P$	$4P$	$3P$
P_3, Н	$2P$	$2P$	$3P$	$2P$	$2P$	$2P$	$3P$	P	$2P$	$3P$	$2P$	$2P$	$2P$	P	$2P$
P_4, Н	$2P$	P	P	$2P$	$3P$	$3P$	P	P	$2P$	P	P	P	$2P$	$2P$	$2P$
R, м	$2r$	$1{,}5r$	$2{,}5r$	$1{,}2r$	$2r$	r	$1{,}5r$	r	$2r$	r	$1{,}5r$	$1{,}2r$	$2r$	$2r$	$2r$
F, Н	P	$2P$	P	$3P$	P	P	$2P$	$4P$	P	$2P$	P	$2P$	$1{,}5P$	$4P$	$2P$
M, Н·м	$2Pr$	$3Pr$	$4Pr$	$3Pr$	$3Pr$	$4Pr$	$2Pr$	$2Pr$	$3Pr$	$2Pr$	$3Pr$	$4Pr$	$3Pr$	$3Pr$	$2Pr$

Окончание табл. 6.3

Номер варианта задания	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
P_1, Н	4P	1,5P	P	2P	P	P	1,5P	1,5P	2P	P	P	2P	1,2P	3P	1,2P
P_2, Н	2P	2P	2P	4P	3P	4P	3P	4P	3P	2P	2P	1,2P	2P	3P	2P
P_3, Н	2P	2P	3P	2P	2P	3P	2P	2P	P	2P	3P	2P	P	P	3P
P_4, Н	1,5P	2P	3P	P	2P	2P	2P	P	2P	3P	P	P	2P	P	2P
R, м	1,5r	r	1,5r	2r	r	1,2r	2r	1,5r	2r	r	1,5r	2r	r	1,2r	2r
F, Н	2P	2P	P	3P	4P	2P	3P	2P	3P	P	3P	1,5P	4P	2P	3P
M, Н·м	3Pr	2Pr	4Pr	Pr	4Pr	4Pr	2Pr	Pr	4Pr	2Pr	4Pr	2Pr	2Pr	3Pr	2Pr

Пример выполнения задания Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы

Платформа 3 лежит горизонтально на катке 5 и блоке 4 одинакового радиуса R (рис. 6.15). На платформу действует горизонтальная сила $\vec{F}$. К блоку 4, вращающемуся вокруг неподвижной оси, приложена пара сил с моментом M. Каток 5 катится по горизонтальной поверхности. К краю платформы одним концом прикреплена горизонтальная нить, а к другому концу, перекинутому через невесомый блок, прикреплён груз 6, движущийся вертикально. На платформе 3 установлен каток 2 радиуса R. К центру катка прикреплена нить, расположенная параллельно платформе и натянутая грузом 1, движущимся вертикально (см. рис. 6.15). Движение системы началось из состояния покоя. Качение тел без проскальзывания. Определить уравнения движения системы в обобщённых координатах, если $R = 2r$, веса тел $P_1 = P_6 = P$, $P_3 = 3P$, $P_4 = P_5 = P_2 = 2P$, $F = P$, $M = 3Pr$.

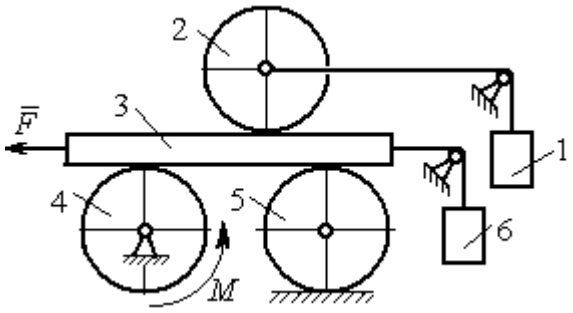


Рис. 6.15. Механическая система с двумя степенями свободы

Решение

Рассматриваемая механическая система, включающая катки 2, 5, платформу 3, блок 4 и грузы 1, 6, имеет две степени свободы, так как перемещение

катка 2 относительно платформы 3 не зависит от перемещения самой платформы. За обобщенные координаты выберем перемещение x_2 центра масс катка 2 относительно края платформы и перемещение x_3 платформы 3 относительно произвольной неподвижной вертикальной плоскости (рис. 6.16). Обобщенные скорости – скорость $\dot{x}_2$ центра масс катка 2 относительно края платформы и скорость платформы $\dot{x}_3$ относительно неподвижной вертикали. Уравнения Лагранжа II рода, описывающие движение системы:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_2}=Q_{x_2}, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_3}=Q_{x_3},$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_{x_2}, Q_{x_3} – обобщенные силы, соответствующие указанным обобщенным координатам.

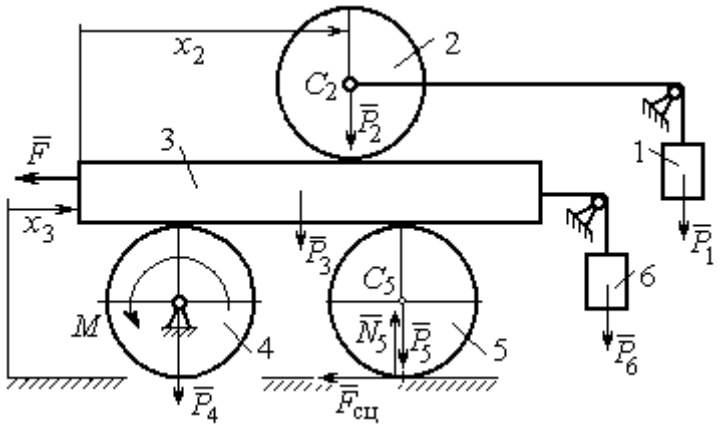


Рис. 6.16. Действующие силы
и обобщённые координаты механической системы

Вычислим кинетическую энергию системы как сумму кинетических энергий тел.

Платформа 3 совершает поступательное движение. Кинетическая энергия платформы $T_3=\frac{P_3}{2g}V_3^2$, где V_3 – скорость платформы, причём, в соответствии с выбором обобщённых координат и скоростей, $V_3=\dot{x}_3$.

Блок 4 вращается вокруг неподвижной оси. Энергия вращательного движения блока $T_4=\frac{1}{2}J_4\omega_4^2$, где J_4, ω_4 – осевой момент инерции блока 4 и его угловая скорость. Угловая скорость блока 4 $\omega_4=\frac{V_3}{R_4}=\frac{\dot{x}_3}{2r}$.

Каток 5 совершает плоскопараллельное движение, его кинетическая энергия вычисляется по формуле: $T_5 = \frac{1}{2}\frac{P_5}{g}V_{C_5}^2 + \frac{1}{2}J_5\omega_5^2$, где J_5 – момент инерции катка относительно оси вращения, проходящей через его центр масс; ω_5, V_{C_5} – угловая скорость и скорость центра масс катка 5. Для определения скорости центра масс катка 5 заметим, что точка касания катка с платформой имеет скорость, равную скорости платформы, а точка *K* касания катка с неподвижной горизонтальной поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Следовательно, скорость центра катка равна половине скорости платформы: $V_{C_5} = \frac{1}{2}V_3 = \frac{1}{2}\dot{x}_3$. Угловая скорость катка 5 $\omega_5 = \frac{V_3}{2R_5} = \frac{\dot{x}_3}{4r}$ (рис. 6.17, *a*).

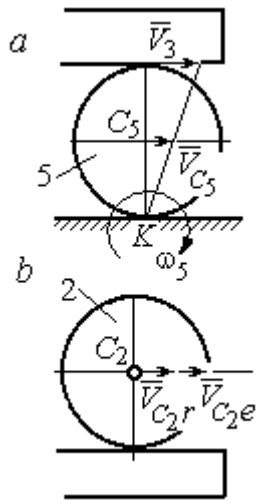


Рис. 6.17. Скорости центров катков 2 и 5

При расчёте кинетической энергии катка 2 необходимо учитывать, что каток совершает сложное движение. Качение катка по поверхности платформы является относительным движением, перемещение его вместе с платформой – переносным. Абсолютная скорость V_{C_2} центра масс катка 2 представляется в виде векторной суммы $\vec{V}_{C_2} = \vec{V}_{C_2r} + \vec{V}_{C_2e}$ (рис. 6.17, *b*), где $\vec{V}_{C_2e}$ – вектор переносной скорости катка, равный по модулю скорости платформы, $V_{C_2e} = V_3 = \dot{x}_3$; $\vec{V}_{C_2r}$ – вектор относительной скорости центра масс катка, равный по величине скорости центра масс катка 2 относительно края платформы, $V_{C_2r} = \dot{x}_2$. Модуль абсолютной скорости центра масс катка 2 равен сумме $V_{C_2} = V_{C_2r} + V_{C_2e} = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$ (рис. 6.17, *b*).

Угловая скорость переносного движения катка 2 равна нулю, поскольку переносное движение катка – это поступательное движение платформы. В результате угловая скорость катка 2 равна его угловой скорости в относительном

движении: $\omega_2 = \dfrac{V_{C_2 r}}{R_2} = \dfrac{\dot{x}_2}{2r}$. Кинетическая энергия катка 2 рассчитывается по формуле: $T_2 = \dfrac{1}{2}\dfrac{P_2}{g}V_{C_2}^2 + \dfrac{1}{2}J_2\omega_2^2$, где J_2 – осевой момент инерции катка 2; ω_2 – угловая скорость катка; V_{C_2} – абсолютная скорость центра масс катка 2.

Движение грузов 1 и 6 поступательное, их кинетические энергии вычисляются по формулам: $T_1 = \dfrac{P_1}{2g}V_1^2$, $T_6 = \dfrac{P_6}{2g}V_6^2$. При этом скорость груза 1 равна абсолютной скорости центра катка 2: $V_1 = V_{C_2} = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$, а скорость груза 6 равна скорости платформы: $V_6 = V_3 = \dot{x}_3$.

Выразим кинетическую энергию системы через обобщённые скорости. Кинетическая энергия:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 =$$

$$= \frac{P_1}{2g}V_1^2 + \frac{1}{2}\frac{P_2}{g}V_{C_2}^2 + \frac{1}{2}J_2\omega_2^2 + \frac{P_3}{2g}V_3^2 + \frac{1}{2}J_4\omega_4^2 + \frac{1}{2}\frac{P_5}{g}V_{C_5}^2 + \frac{1}{2}J_5\omega_5^2 + \frac{P_6}{2g}V_6^2,$$

где значения скоростей: $V_1 = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$, $V_{C_2} = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$, $\omega_2 = \dfrac{\dot{x}_2}{2r}$, $V_3 = \dot{x}_3$, $\omega_4 = \dfrac{\dot{x}_3}{2r}$, $V_{C_5} = \dfrac{1}{2}\dot{x}_3$, $\omega_5 = \dfrac{\dot{x}_3}{4r}$, $V_6 = \dot{x}_3$. Значения осевых моментов инерции катков: $J_2 = \dfrac{P_2 R_2^2}{2g} = \dfrac{4Pr^2}{g}$, $J_4 = \dfrac{P_4 R_4^2}{2g} = \dfrac{4Pr^2}{g}$, $J_5 = \dfrac{P_5 R_5^2}{2g} = \dfrac{4Pr^2}{g}$. Подставляя значения скоростей, моментов инерции и данные задачи, получим выражение кинетической энергии системы в виде

$$T = \frac{P}{2g}(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{2P}{g}(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{4Pr^2}{g}\left(\frac{\dot{x}_2}{2r}\right)^2 + \frac{3P}{2g}\dot{x}_3^2 +$$

$$+\frac{1}{2}\cdot\frac{4Pr^2}{g}\left(\frac{\dot{x}_3}{2r}\right)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{2P}{g}\left(\frac{\dot{x}_3}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{4Pr^2}{g}\left(\frac{\dot{x}_3}{4r}\right)^2 + \frac{P}{2g}\dot{x}_3^2 =$$

$$= \frac{1}{2}\frac{P}{g}\dot{x}_2^2 + \frac{3P}{2g}(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)^2 + \frac{23P}{8g}\dot{x}_3^2 = \frac{2P}{g}\dot{x}_2^2 + \frac{3P}{g}\dot{x}_2\dot{x}_3 + \frac{35P}{8g}\dot{x}_3^2.$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_3, оставляя координату x_2 без изменения: $\delta x_3 > 0, \delta x_2 = 0$ (рис. 6.18). При таком перемещении каток 2 стоит на платформе и движется поступательно вместе с ней. В этом случае работа сил тяжести $\vec{P}_2$, $\vec{P}_5$, $\vec{P}_3$ катков 2, 5 и платформы 3 равна нулю, так как перемещения точек приложения этих сил перпендикулярны векторам сил (см. рис. 6.18). Работа силы тяжести $\vec{P}_4$ равна нулю, так как точка приложения силы лежит на неподвижной оси вращения блока 4.

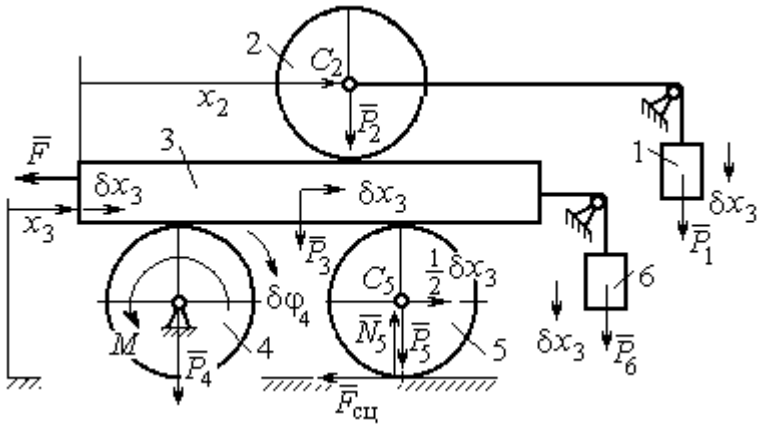


Рис. 6.18. Возможное перемещение системы при вариации обобщённых координат $\delta x_3 > 0$, $\delta x_2 = 0$

Работу будут производить сила $\vec{F}$, пара сил с моментом M и силы тяжести грузов $\vec{P}_1$ и $\vec{P}_6$. Суммарная работа сил на перемещении δx_3: $\delta A = -F\delta x_3 - M\delta\varphi_4 + P_1\delta x_3 + P_6\delta x_3$.

Представим полученное ранее соотношение $\omega_4 = \dfrac{\dot{x}_3}{2r}$ в дифференциальном виде: $d\varphi_4 = \dfrac{dx_3}{2r}$. Поскольку дифференциалы координат также являются возможными перемещениями, получим нужное соотношение $\delta\varphi_4 = \dfrac{\delta x_3}{2r}$. Теперь элементарную работу сил на возможном перемещении δx_3 с учётом значений сил можно представить в виде:

$$\delta A = -P\delta x_3 - 3Pr\frac{\delta x_3}{2r} + P\delta x_3 + P\delta x_3 = -\frac{1}{2}P\delta x_3,$$

отсюда обобщённая сила, соответствующая координате x_3: $Q_{x_3} = -\dfrac{1}{2}P$.

Дадим системе другое независимое перемещение – по координате x_2, оставляя координату x_3 без изменения: $\delta x_2 > 0, \delta x_3 = 0$ (рис. 6.19).

При этом возможном перемещении вся система стоит, кроме катка 2, который катится по поверхности неподвижной платформы, и груза 1, который опускается вертикально вниз. Работу совершает только сила тяжести груза 1. Выражая работу в виде $\delta A = P_1 \delta x_2 = P \delta x_2$, найдём обобщённую силу, соответствующую координате x_2: $Q_{x_2} = P$.

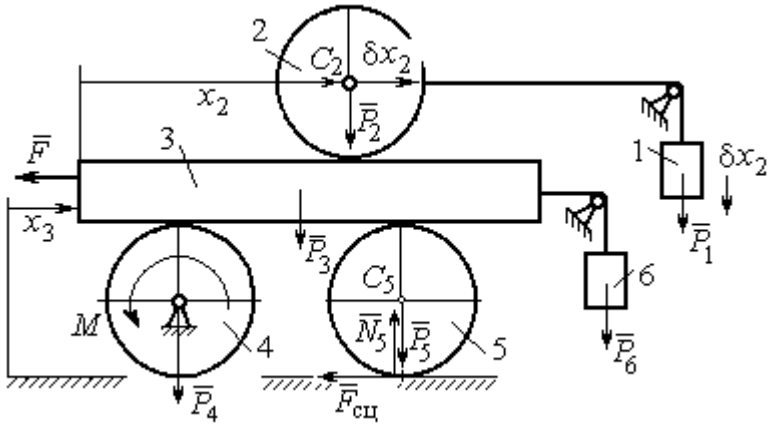


Рис. 6.19. Возможное перемещение системы при вариации обобщённых координат $\delta x_2 > 0$, $\delta x_3 = 0$

Составим уравнения Лагранжа. С этой целью вычислим частные производные от кинетической энергии по обобщенным скоростям $\dot{x}_3$ и $\dot{x}_2$:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3} = \frac{3P}{g}\dot{x}_2 + \frac{35P}{4g}\dot{x}_3, \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} = \frac{4P}{g}\dot{x}_2 + \frac{3P}{g}\dot{x}_3$$

и по обобщённым координатам: $\frac{\partial T}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_4} = 0.$

Определим полные производные по времени от частных производных кинетической энергии по скоростям:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right) = \frac{3P}{g}\ddot{x}_2 + \frac{35P}{4g}\ddot{x}_3, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right) = \frac{4P}{g}\ddot{x}_2 + \frac{3P}{g}\ddot{x}_3.$$

Подставляя результаты расчётов в уравнения Лагранжа с учётом вычисленных значений обобщённых сил, получим систему дифференциальных уравнений, описывающих движение системы в обобщённых координатах:

$$12\ddot{x}_2 + 35\ddot{x}_3 = -2g, \quad 4\ddot{x}_2 + 3\ddot{x}_3 = g.$$

Алгебраическим решением системы служат значения ускорений:

$$\ddot{x}_3 = -\frac{5}{26}g = -0{,}19g \quad \text{и} \quad \ddot{x}_2 = \frac{41}{104}g = 0{,}39g.$$

Полученные выражения представляют собой дифференциальные уравнения, проинтегрировав которые дважды с нулевыми начальными условиями (движение началось из состояния покоя), найдём уравнения абсолютного движения платформы и относительного движения центра масс катка 2:

$$x_3 = -0{,}095gt^2, \quad x_2 = 0{,}195gt^2.$$

Отрицательное значение координаты x_3 означает, что движение платформы происходит в отрицательном направлении оси x_3 (см. рис. 6.16).

Абсолютное движение центра катка 2 представляется суммой относительного и переносного движений: $x_{C_2} = x_2 + x_3 = 0{,}1gt^2$.

Уравнение вращательного движения катка 2 находится на основании выражения $\varphi_2 = \frac{1}{R_2}x_2 = \frac{1}{2r}x_2 = 0{,}097\frac{gt^2}{r}$. Вращение блока 4 описывается уравнением $\varphi_4 = \frac{1}{R_4}x_3 = \frac{1}{2r}x_3 = -0{,}047\frac{gt^2}{r}$.

Движение катка 5 описывается двумя уравнениями: уравнением движения центра масс катка $x_{C_5} = \frac{1}{2}x_3 = -0{,}047gt^2$ и уравнением вращательного движения катка $\varphi_5 = \frac{x_3}{2R_5} = -0{,}024\frac{gt^2}{r}$.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бать М. И., *Джанелидзе Г. Ю.*, *Кельзон А. С.* Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 1–2.– СПб.: Лань, 2010.

Бутенин Н. В., *Лунц Я. Л.*, *Меркин Д. Р.* Курс теоретической механики: в 2-х томах.– М.: Наука, 2009.

Вебер Г. Э., *Ляпцев С. А*. Лекции по теоретической механике. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебн. для втузов. – М.: Высшая школа, 2010.

Учебное издание

Евгений Борисович Волков
Юрий Михайлович Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

сборник заданий для расчетно-графических работ

Учебно-методическое пособие
для самостоятельной работы студентов

Редактор *Л.В. Устьянцева*

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 9,75 Уч. изд. л. 6,5 Тираж экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет.
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

4. ДИНАМИКА ТОЧКИ 73
4.1. Дифференциальные уравнения движения точки. 73
4.2. Задание Д1. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки 73
4.3. Колебания материальной точки 80
4.4. Задание Д2. Исследование колебаний точки 84
4.5. Теорема об изменении кинетической энергии точки. 95
4.6. Задание Д3. Исследование движения точки
с применением теоремы об изменении кинетической энергии 96
5. ДИНАМИКА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 103
5.1. Описание движений твёрдых тел на основе общих теорем динамики системы . 103
5.2. Задание Д4. Динамический расчет механической системы 104
5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы. 112
5.4. Задание Д5. Исследование движения механической системы
с применением теоремы об изменении кинетической энергии 114
6. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА 124
6.1. Принципы механики. Общее уравнение динамики 124
6.2. Задание Д6. Исследование механической системы
с применением общего уравнения динамики 126
6.3. Уравнения Лагранжа II рода 136
6.4. Задание Д7. Исследование механической системы с одной степенью свободы
с применением уравнений Лагранжа 137
6.5. Задание Д8. Исследование механической системы с двумя степенями свободы 145
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 155

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.О. 18 РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ

Направление подготовки/специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 9
Маркшейдерское дело
форма обучения: очная, заочная

год набора: 2021

Автор: Гладкова И. В., доцент, к. ф. н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Философии и культурологии	Горно-технологического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Беляев В.П.	Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 14.09.2020	Протокол №2 от 12.10.2020
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

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

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

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

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

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

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

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

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

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

СРС может включать следующие формы работ:

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

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

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

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

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

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

1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Методические указания по подготовке к опросу

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

Письменный опрос

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

Устный опрос

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

Критерии качества устного ответа.

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

---

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

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

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

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

3.Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

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

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

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

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

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

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

- необходимо соблюдать регламент: 7-10 минут выступления.

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

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

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

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

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

2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.

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

Общая структура доклада

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

Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;
- современную оценку предмета изложения;

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

Основная часть.

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

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

Заключение.

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

Доклад оценивается по следующим критериям:

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

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

4. Методические рекомендации по написанию эссе

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

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

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

Структура эссе

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

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

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

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

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

Требования к фактическим данным и другим источникам

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

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

Как подготовить и написать эссе?

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

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

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

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

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

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

Цель должна определять действия.

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

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

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

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,

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

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

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

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

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

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

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

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

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

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

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

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

7. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

2) добросовестное выполнение заданий;

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

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

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

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

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

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

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

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

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Шмонин А.Б.

ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента	6
2. Содержание курса. Контрольные вопросы и упражнения	7
3. Расчётно-графичесие работы	12
3.1. Расчётно-графическая работа №1. Построение топографического плана по результатам топографических работ.	12
3.2. Расчётно-графическая работа №2. Построение продольного профиля по результатам нивелирования трассы автодороги	16
Рекомендуемая литература	19

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента по дисциплине «Геодезия» составляет 252 часа или 7 зачетных единиц. Из них 129 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Геодезия» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых практических работ; подготовка к тестированию; подготовка к экзамену.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Геодезия». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины «Геодезия» в данном учебно-методическом пособии. приведены контрольные вопросы по темам и образцы тестовых заданий.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны разделы и страницы учебника, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения и тестовые задания. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовые задания.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

Тема 1. Общие сведения о форме и размерах Земли

Геодезия. Основные научные и научно-технические задачи геодезии. Роль геодезических определений при разработке месторождений полезных ископаемых. Современные представления о форме и размерах земли. Уровенная поверхность. Геоид. Референц - эллипсоид Красовского. Системы координат: географическая, плоская прямоугольная, полярная. Зональные прямоугольные координаты в проекции Гаусса. Система высот. Абсолютные и относительные высоты.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные научные и научно-технические задачи геодезии.
2. Какие геометрические измерения выполняются в геодезии.
3. Назовите участников процесса измерений?
4. Какие показатели заложены в классификацию теодолитов по точности?
5. Что такое процесс измерения ?
6. Назовите виды ошибок измерений.
7. Опишите современные воззрения на форму и фигуру Земли?
8. Чем отличается референц-эллипсоид от общеземного эллипсоида.
9. Назовите референц-эллипсоид принятый в России.
10. Как на инженерном калькуляторе перевести угол, выраженный в градусах, минутах и секундах, в градусы с десятичными долями градуса?
11. Для чего применяют проекции наклонных линий на плоскость?
12. Назовите источники ошибок при геодезических измерениях?.
13. Какие вы знаете способы выражения масштаба топокарты?
14. Как исключить грубые ошибки при измерениях ?
15. Как на инженерном калькуляторе перевести значение угла, выраженное в градусах с десятичными долями градуса в значение, выраженное в градусах, минутах и секундах?
16. Роль геодезических измерений при разработке месторождений полезных ископаемых.
17. Система географических координат.
18. Система плоских прямоугольных координ
19. Полярные координаты в геодезии.
20. Зональные прямоугольные координаты в проекции Гаусса-Крюгера.
21. Система высот в геодезии.
22. Абсолютные и относительные высоты в геодезии.
23. Что такое уровенная поверхность в геодезии.
24. Чем отличается квазигеоид от геоида.

Тема 2. Топографические карты и планы

Назначение и классификация топографических карт. Масштабы: численный, линейный, поперечный. Точность масштаба. Классификация условных знаков при изображении содержания карт. Зарамочное оформление топокарт. Ориентирование направлений. Истинный и магнитный азимуты. Дирекционный угол. Сближение меридианов. Изображение рельефа на топографических картах горизонталями. Номенклатура топографических карт, номенклатура планов в прямоугольной разграфке. Способы измерения площадей по топографическим картам и планам. Полярный планиметр. Топографические задачи, решаемые по топографическому плану и карте: определение координат и высот точек, площадей, ориентирование направлений.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Для каких целей используются картографические проекции?
2. Какая картографическая проекция используется в России для топографических карт?
3. Чем различаются топографические план и карта?
4. Перечислите достоинства и недостатки равноугольной картографической проекции Гаусса-Крюгера.
5. Что такое разграфка топографической карты?.
6. . Что такое номенклатура топографической карты?
7. Какие условные знаки на карте называют внемасштабными?
8. Какие линии на топографической карте называют горизонталям?
9. Как устроен линейный масштаб на топографической карте?
10. Как устроен масштаб заложений?
11. Какая система высот используется на топографической карте в России?
12. Для чего служит осевой меридиан в 6° зоне.
13. Как .определить долготу осевого меридиана, зная № 6° зоны?
14. Какой масштаб имеет топографическая карта с номенклатурой N-38-Б.
15. Перечислите свойства горизонталей на топографической карте.

Задания для тестирования:

1. Что принято в Геодезии за математическую модель фигуры Земли?

A. шар
B. геоид
C. эллипсоид
D. конус

2. Какой референц-эллипсоид принят в России для картографирования?

A. Хейвода
B. Красовского
C. Бесселя
D. WGS-84

3. От уровенной поверхности какого моря в России идёт счёт высот точек рельефа земной поверхности на топокартах и топопланах?

A. Каспийского
B. Чёрного
C. Охотского
D. Балтийского

4. Каков масштаб топографической карты, если её номенклатура N-41-А :

A. 1:1 000 000
B. 1:500 000
C. 1:200 000
D. 1:100 000

5. Какой масштаб является нестандартным для топографической карты?

A. 1:100 000 мм
B. 1:25 000
C. 1:20 000
D. 1:10 000

6. Для графического интерполирования высотных отметок при построении горизонталей на топографических планах применяется:

A. курвиметр
B. планиметр
C. транспортир
D. линейная палетка

7. На топографической карте обозначен масштаб 1:25000. Как называется такой вид обозначения масштаба?

A. именованный
B. линейный
C. численный
D. цифровой

8. На топографической карте масштаб заложений используется для определения:

A. длин прямолинейных отрезков
B. высотных отметок точек
C. углов наклона линий

D. площадей фигур

9. В системе прямоугольных плоских геодезических координат ось У совпадает с:

A. географическим меридианом точки
B. осевым меридианом 6° или 3° зоны
C. линией перемены дат
D. линией экватора

10. В системе прямоугольных плоских геодезических координат ось Х совпадает с:

A. географическим меридианом точки
B. осевым меридианом 6° или 3° зоны
C. магнитным меридианом точки
D. линией экватора

Тема 3. Геодезические измерения

Угловые измерения. Теодолит, его устройство. Поверки теодолита. Измерение горизонтальных и вертикальных углов. Линейные измерения. Измерение линий нитяным дальномером, мерной лентой. Принцип измерения расстояний светодальномерами. Классификация ошибок. Средние квадратические ошибки. Относительные ошибки. Невязки. Математическая обработка ряда равноточных независимых измерений одной и той же величины. Математическая обработка ряда неравноточных независимых измерений одной и той же величины. Поправки, вводимые в измеренные расстояния. Измерения неприступных расстояний. Измерение превышений. Методы определения превышений: геометрическое, тригонометрическое и др. нивелирования. Нивелир, его устройство и поверки. Нивелирные рейки.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под точностью измерения?
2. Какие допуски на точность измерения углов теодолитом 2Т30 устанавливает Инструкция?
3. Какие допуски на точность измерения превышений при геометрическом нивелировании технической точности устанавливает Инструкция?
4. Перечислите поверки теодолита 2Т30?
5. Перечислите поверки теодолита нивелира Н-3?
6. Как возникает коллимационная ошибка у теодолита?
7. Что такое «место нуля» у теодолита и как оно вычисляется?
8. Какая методика нивелирования даёт более точный результат: «из середины линии» или «с конца линии»?
9. Какая последовательность операций при приведении теодолита в рабочее положение перед измерениями?

10. Какую роль при примыкании соединительным четырехугольником играют погрешности линейных измерений?
11. Какой допуск по точности устанавливает Инструкция при измерении длин сторон теодолитного хода.
12. Как назначаются допуски при технической точности измерений?
13. Какова методика измерения горизонтального угла одним приёмом?
14. Какова методика измерения угла наклона одним приёмом?
15. Какова методика измерения превышения нивелиром Н-3 на станции?

Задания для тестирования:

1. Вычислить относительную невязку теодолитного хода длиной Р=500 м, если общая абсолютная невязка f =0.20 м.

A .1:1000

B. 1:2500

C. 1:3000

D. 1:1500

2. Горизонт прибора это высота горизонтального визирного луча над:

A. земной поверхностью

B. плоскостью горизонта

C. уровнем моря

D. колышком пикета

3. Определить площадь участка на топокарте в гектарах, если при обводе его планиметром получены отсчёты: начальный А=2150, конечный В=2750, а цена деления С=0,1 га.600 га

A. 60 га
B. 6 га
C. 100 га
D. 10 га

4. Чтобы исключить грубые ошибки при измерении стороны теодолитного хода мерной лентой необходимо:использовать более точный мерный прибор

A. измерить сторону шагами
B. измерить лентой дважды и сравнить результаты
C. измерить светодальномером
D. измерить радиодальномером

5. Длина нивелирного хода технической точности 9 км. Найти предельную допустимую невязку.

A. 150 мм
B. 60 мм
C. 15 мм
D. 90 мм

6. Румб линии равен 35°ЮЗ, определить ее дирекционный угол.35°

A. 145°
B. 215°
C. 325°
D. 305°

7. Дирекционный угол может изменяться в пределах:

A. 0°-360°
B. 0°-180°
C. 0°-90°
D. 180°-270°

8. Найти угол наклона, если отсчёт по вертикальному кругу теодолита равен

КЛ= 3°06′ и место нуля МО= -0°02′.

A. 3 °04'
B. 3 °08'
C. 1 °06'
D. 5 °06'

9. Геодезический прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов называется:

A. нивелир
B. теодолит
C. кипрегель
D. буссоль

10. Найти коллимационную ошибку теодолита, если отсчеты по его горизонтальному кругу, при визировании на одну точку, равны КЛ=$0^0$06' и КП=$180^0$08'

A. 0^0 02'
B. 0^0 07'
C. -0^0 01'
D. 0° 01'

Тема 4. Геодезические сети

Назначение и классификация геодезической сети. Плановые сети, высотные сети. Способы построения плановой геодезической сети: триангуляция, трилатерация, полигонометрия, спутниковые определения. Схема построения высотной геодезической сети. Съемочные геодезические сети. Теодолитные ходы, геодезические засечки. Геодезические сети специального назначения.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое геодезические сети и пункт геодезической сети?
2. Перечислите виды государственных геодезических сетей.
3. Какие виды геодезических сетей используются на горных предприятиях?
4. Что такое «центр» и «знак» у геодезического пункта?
5. Что такое теодолитный ход и для чего он используется?
6. Что такое геодезические засечки и для чего они используются?
7. Нарисуйте схему двукратной обратной угловой засечки.
8. Чем отличаются угловые и линейные засечки?
9. Что такое полигонометрический ход и для чего он используется?
10. Какова точность теодолитного хода и теодолитного хода повышенной точности?
11. Какова точность полигонометрии 1-го разряда?
12. . Какова точность полигонометрии 2-го разряда?
13. Как и какими методами строится государственная геодезическая сеть России?
14. Как и какими методами строится государственная высотная сеть России?
15. Какой основной принцип используется при построении геодезических сетей?

Тема 5. Топографические съемки

Сущность топографических съемок. Съемка ситуации и рельефа местности. Виды топографических съемок. Теодолитная съемка. Съемочное геодезическое обоснование (теодолитный ход, тахеометрический ход, аналитические засечки). Способы съемки подробностей (полярный, прямоугольных координат, линейные и угловые засечки). Камеральные работы: вычисление координат и высот точек съемочного геодезического обоснования. Составление и вычерчивание топографического плана.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Сущность топографических съемок?
2. Виды топографических съемок.
3. Тахеометрическая съёмка

4. Съемочное геодезическое обоснование

5. Что такое теодолитный ход?

6 Перечислите виды геодезических засечек.

7.Чем отличаются полевые и камеральные работы.

8.Опишите технологию проложения теодолитного хода.

9.Опишите технологию выполнения прямой угловой засечки.

10. Опишите технологию выполнения обратной угловой засечки.

11. Опишите технологию выполнения линейной угловой засечки.

12. Последовательность вычисления горизонтальных проложений сторон теодолитного хода, превышений и высотных отметок точек теодолитного хода.

13. Последовательность вычисления коодинат точек теодолитного хода.

14. Последовательность составления и вычерсивания топографического плана в заданном масштабе.

15. Способы построения горизонталей на топографическом плане.

Задания для тестирования:

1.Определить длину отрезка АВ на местности в метрах, если на топографическом плане масштаба 1:1000 его длина равна 17,2 см.

A. 17,2 м
B. 1,72 м
C. 172 м
D. 1720 м

2. Найти высотную отметку конца проектной линии с уклоном i = 1%, если длина участка d=500 м, а начальная отметка Нн=52,35 м.

A. 52,85 м
B. 57, 35 м
C. 50,35 м
D. 50, 35 м

3. Полярный планиметр это прибор для измерений на топокартах и топопланах:

A. горизонтальных углов
B. длин криволинейных отрезков
C. координат точек
D. площадей фигур

4. Сумма исправленных приращений координат в замкнутом теодолитном ходе равна:

A. линейной невязке
B. нулю
C. разности координат исходных пунктов
D. разности превышений

5. Вычислить горизонтальное проложение d между точками А и В, если приращения координат между ними равны: ΔУ=30 м и ΔХ=40 м

A. 50 м
B. 10 м
C. 70 м
D. 60 м

6. Вычислить дирекционный угол линии АВ, если приращения координат между точками А и В равны ΔУ=120 м и ΔХ=120 м.

A. 135°
B. 225°
C. 315°
D. 45°

7. Высота прибора i это высота горизонтального визирного луча над:

A. точкой стояния прибора

B. плоскостью горизонта

C. рейкой

D. уровнем моря

8. Определить цену деления полярного планиметра, если при обводе на плане квадрата площадью S=100 га получены отсчёты: начальный а=3565, конечный в=4565

A. 10 га

B. 0,1 га

C. 5 га

D. 1 га

Тема 6. Инженерно-геодезические работы

Трассирование линейных сооружений. Разбивка пикетажа на трассе. Нивелирование связующих и промежуточных точек. Работа на станции. Полевой контроль. Ведение полевого журнала. Привязка трассы к пунктам ГГС. Обработка журнала нивелирования. Постраничный контроль. Вычисление невязки нивелирного хода. Вычисление отметок точек хода. Построение профиля трассы. Проектирование по трассе, расчет уклонов. Вычисление проектных и рабочих отметок. Построение поперечных профилей. Вынос в натуру точек с проектными отметками и линии с проектным уклоном.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое трассирование линейных сооружений?
2. Как разбивают пикетаж на трассе линейного сооружения?.
3Как выполняется геометрическое нивелирование связующих и промежуточных точек?
4. Что такое горизонт прибора и для чего он применяется?
5. Как осуществляется полевой контроль при нивелировании?.
6. Как вычисляется невязка в нивелирном ходе?
7. Опишите последовательность обработки журнала нивелирования.
8. Опишите технологию построения продольного профиля трассы.
9. Опишите технологию проектирования автодороги по продольному профилю трассы и расчёта проектных уклонов.
10. Как вычисляются проектные и рабочие отметки на продольном профиле трассы?
11. Опишите технологию построения поперечных профилей.
12. Опишите технологию выноса в натуру точек с проектными высотными отметками.
13. Опишите технологию выноса в натуру линии с проектным уклоном.

Задания для тестирования:

1. Теодолитный ход состоит из 9 точек на которых измерены 9 горизонтальных углов. Найти предельную допустимую угловую невязку.

A. 9'
B. 1'
C. 4.5
D. 3'

2. Дирекционный угол линии равен 210°, определить ее румб.

A. 10°СВ
B. 120°ЮЗ
C. 30°ЮЗ
D. 30° ЮВ

3. Румб линии может изменяться в пределах:

A. 0°-360°
B. 0°-180°
C. 0°-90°
D. 90°-180°

4. Найти место нуля вертикального круга теодолита 2Т30, если отсчёты по его вертикальному кругу равны КЛ= 3°06′ и КП= -3° 04'

A. 0 °02'

B. -0 °02'
C. 0 °01'
D. -0 °01'

5. Вычислить приращение координат ΔУ, если дирекционный угол α = 30 градусов, а горизонтальное проложение d = 160 м

A. 100 м
B. 80 м
C. 40 м
D. 130 м

6. Определить масштаб топографического плана, если длина отрезка АВ на нём равна 60 мм, а на местности 120 м

A. 1:5000
B. 1:2000
C. 1:20000
D. 1:500

7. Вычислить горизонтальный угол, если отсчёты по горизонтальному кругу теодолита равны КЛ=0°06′ (на 1-ю точку) и КЛ=120°08′ (на 2-ю точку

A. 120° 14'
B. 120° 07'
C. 120° 06'
D. 120° 02'

’8. Сумма исправленных превышений в замкнутом нивелирном ходе равна:

A. высотной невязке
B. нулю
C. разности координат исходных пунктов
D. разности превышений

9. Высотная отметка земли (чёрная) Нч = 85,56 м, проектная (красная) отметка в этой точке Нк = 84,34 м. Вычислить рабочую отметку м.

A. - 1,22 м
B. 1,22 м
C. 84,95 м
D. 84, 45 м

10. Вычислить уклон i проектной линии в %на участке продольного профиля длиной D=500 м, если высотная отметка начала линии Нн= 60,56 м, а конца Нк=64,56 м

A. 0,8 %
B. 8,0 % м
C. 2,5 %
D. 0,008 %

Тема 7. Основы аэрофотосъемки

Аэрофотосъемка и космическая съемка. Виды аэрофотосъемки. Масштаб аэрофотоснимка. Продольное и поперечное перекрытия. Искажение на аэрофотоснимке. Перенос информации с аэрофотоснимка на топографическую карту. Современные способы аэросъёмки и воздушного лазерного сканирования.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое аэросъёмка земной поверхности?
2. Какие виды аэрофотосъёмочного оборудования применяются?
3. Какие летательные аппараты используются при аэросъёмке?
4. Какие задачи должны быть решены в проекте аэросъёмочных работ?
5. Что такое продольное и поперечное перекрытие аэрофотоснимка.
6. Что такое опознавательные знаки и как они создаются?
7. Как рассчитывается высота полёта и масштаб аэрофотоснимка?
8. Какой коэффициент выбирается при переходе от масштаба аэрофотоснимка к масштабу создаваемой по нему топографической карты?.
9. В чем суть обработки аэрофотоснимков для получения ортофотоплана?
10. Для чего нужно выполнять дешифрирование аэрофотоснимков?
11. Опишите особенности аэрофотосъёмки с квадрокоптеров.
12. Каковы преимущества и недостатки аэрофотосъёмки?
13. Перенос информации с аэрофотоснимка на топографическую карту.
14. Современные способы и воздушного лазерного сканирования.

Тема 8. Глобальные навигационные спутниковые системы

Глобальные навигационные спутниковые системы. Применение систем спутникового позиционирования для создания опорной геодезической сети и производства топографических съемок.

***Контрольные вопросы и упражнения*:**

1. Какие глобальные навигационные спутниковые системы сейчас работают?
2. Какие 3 сегмента входят в глобальную навигационную спутниковую систему?
3. Как классифицируются спутниковые приёмники по назначению?
4. Чем отличаются космические группировки спутников ГЛОНАСС и GPS
5. Какова точность измерения координат навигационным спутниковым приёмником?

6. Какова точность измерения координат геодезическим спутниковым приёмником?

7.Чем отличаются абсолютный и относительный метод определения координат спутниковыми приёмниками?

8. Назовите источники ошибок при спутниковом позиционировании.

9. Какой DOP используется при спутниковых координатных измерениях?

10. Чем различаются методы спутниковых измерений «статика» и «кинематика?

11. Какие технологии используются при создании опорных геодезических сетей геодезическими спутниковыми приёмниками?

12. Какие технологии используются при создании съёмочных геодезических сетей геодезическими спутниковыми приёмниками?

Рекомендуемая литература

1. Геодезия : учебник / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. - Москва : Академический Проект, 2007. - 592 с..

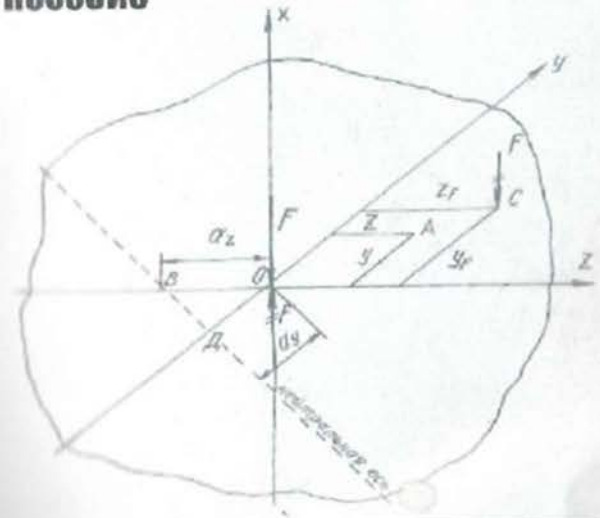
2. Геодезия : курс лекций / В. Л. Клепко, И. В. Назаров ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург : УГГУ, 2017. - 149 с.

3. В. Е. Коновалов, В. Л. Клепко Геодезия : методические указания к выполнению лабораторных и самостоятельных работ : для студентов заочного обучения всех специальностей ; Уральский государственный горный университет. - 4-е изд., стер. - Екатеринбург : УГГУ, 2010. - 59 с.

4. Практикум по геодезии : учебное пособие / Ю. К. Неумывакин. - Москва :КолосС, 2008. - 318 с. : ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). - Библиогр.: с. 311.

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ

Учебное пособие



Екатеринбург - 2012

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



СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ

Утверждено Редакционно-издательским советом
Уральского государственного горного университета
в качестве учебного пособия

Издание второе, исправленное и дополненное

Екатеринбург – 2012

УДК 620.10
М 74

Рецензенты: Таугер В. М., профессор кафедры мехатроника УрГУПС, канд. техн. наук, доцент; Раевская Л. Т., зав. кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики УГЛТУ, канд. техн. наук, доцент.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

М 74 **Сопротивление материалов в примерах и задачах:** учебное пособие / 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург Н. В. Мокрушин, С. А. Ляпцев, Л. Д. Чучманова, К. В. Середа; Уральский гос. горный университет.– Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012.– 184 с.
ISBN 978-5-8019-0185-5

Учебное пособие отражает опыт проведения практических занятий по дисциплине «Сопротивление материалов» в Уральском государственном горном университете. В пособии приведены примеры расчетов стержней, валов, балок, испытывающих простые и сложные виды деформаций. Для самостоятельной работы представлены задания по основным темам дисциплины.

Учебное пособие предназначено для студентов очного и заочного обучения.

Рис. 42. Табл. 22. Библ. 21 наим.

УДК 620.10

ISBN 978-5-8019-0185-5

© Уральский государственный
горный университет, 2008, 2012
© Мокрушин Н. В., Ляпцев С. А.,
Чучманова Л. Д., Середа К. В., 2008, 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Введение в учебную программу высших технических учебных заведений новых дисциплин, отражающих современное состояние науки и техники, при ограниченных сроках обучения привело к существенному сокращению количества лекционных часов по курсу сопротивления материалов.

Восполнение появившихся в результате этого пробелов в знании студентами вузов сопротивления материалов может быть достигнуто в известной мере за счет самостоятельного изучения ими необходимых разделов этого важного для будущего инженера курса. Данное учебное пособие составлено в соответствии с программой курса по сопротивлению материалов. По каждой теме предмета в пособии даны краткие теоретические сведения и основные формулы. Приведены примеры расчетов стержней на растяжение и сжатие (глава 1), примеры по определению главных моментов инерции поперечных сечений различного профиля (глава 2), рассмотрены примеры расчета вала на кручение (глава 3). В главе 4 рассмотрены примеры расчетов балок, испытывающих деформацию поперечного изгиба, на прочность и жесткость. С применением метода сил в главе 5 приведены примеры расчетов статически неопределимых неразрезных балок и плоских статически неопределимых рам. Виды сложного сопротивления (косой изгиб, внецентренное растяжение и сжатие, изгиб с кручением) рассмотрены в главе 6. Рассмотрение деформации продольного изгиба и расчеты на устойчивость гибких стержней приведены в главе 7.

Более подробное изложение теоретического материала приведено в работах [1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 18].

Для самостоятельного выполнения расчетно-графических работ по каждой теме составлены задания с необходимыми рисунками и таблицами. Для расчетов рекомендуется следующая литература [2, 8, 11, 14, 15, 16].

При выполнении практических расчетов используются следующие основные характеристики материалов [17]:

модули продольной упругости: стали $E_{\text{с}} = 2 \cdot 10^{11}$ Па; дюраля (и алюминия) $E_{\text{д}} = 0,7 \cdot 10^{11}$ Па; меди $E_{\text{м}} = 1 \cdot 10^{11}$ Па; чугуна $E_{\text{ч}} = 1,2 \cdot 10^{11}$ Па; дерева $E_{\text{д}} = 1 \cdot 10^{10}$ Па;

модуль сдвига стали: $G = 0,8 \cdot 10^{11}$ Па;

коэффициенты теплового линейного расширения: стали $\alpha_{\text{с}} = 1,25 \cdot 10^{-5}$ 1/град; дюраля $\alpha_{\text{д}} = 2,25 \cdot 10^{-5}$ 1/град; меди $\alpha_{\text{м}} = 1,65 \cdot 10^{-5}$ 1/град;

коэффициент Пуассона для стали: $\nu = 0,30$.

Глава 1

ПРОДОЛЬНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ СТЕРЖНЕЙ

Растяжением называют такой вид деформации, при котором в каждом его поперечном сечении возникают только продольные внутренние усилия.

Продольное усилие F в любом поперечном сечении численно равно алгебраической сумме проекций на ось стержня внешних сил, приложенных к части стержня, расположенной по одну сторону от сечения. Усилие считается положительным, если вызывает растяжение рассматриваемого участка.

При растяжении (сжатии) в сечении возникают только нормальные напряжения, которые определяются по формуле (1.1):

$$\sigma = \frac{F}{A}, \tag{1.1}$$

где F – продольное усилие, кН; A – площадь поперечного сечения, м^2.

Условие прочности имеет вид:

$$\sigma_{max} \le \sigma_{adm}, \tag{1.2}$$

где σ_{adm} – допускаемое нормальное напряжение материала стержня, МПа.

Абсолютная деформация Δl однородного участка (постоянные сечение и материал) определяется **по закону Гука**:

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA}\ , \tag{1.3}$$

где l – длина участка, м; E – модуль продольной упругости материала (модуль Юнга), Па.

Для наглядного представления строятся эпюры. Эпюрами продольных сил и нормальных напряжений называют графики, показывающие законы изменения сил и напряжений в поперечных сечениях по длине стержня. Эпюры продольных сил, нормальных напряжений и перемещений поперечных сечений строятся в выбранном масштабе с учетом знаков.

Пример 1.1.

К узлу C кронштейна ABC (рис. 1.1, *а*) приложена сила F = 100 кН. Стержень AC – стальной, круглого сечения диаметром d = 30 мм; стержень BC – дюралюминиевый, квадратного сечения со стороной a = 40 мм. Определить напряжения в стержнях, а также горизонтальное, вертикальное и полное перемещения узла C.

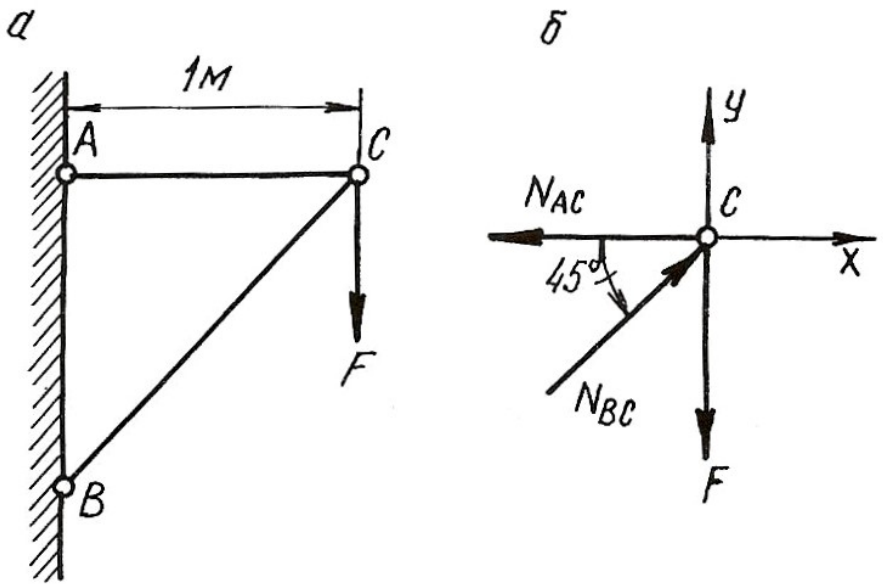


Рис. 1.1.

Решение.

Для определения продольных сил в стержнях AC и BC условно вырезаем узел C, заменяем действие стержней на узел усилиями и составляем уравнение равновесия для узла C (рис. 1.1, *б*)

$$\sum X = 0; \quad -N_{AC} + N_{BC} \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$\sum Y = 0; \quad N_{BC} \cdot \sin 45^\circ - F = 0.$$

Откуда

$$N_{BC} = \frac{F}{\sin 45^\circ} = \frac{100 \cdot 10^3}{0,707} = 141 \cdot 10^3 \text{ Н} = 141 \text{ кН},$$

$$N_{AC} = N_{BC} \cdot \cos 45^\circ = 141 \cdot 10^3 \cdot 0,707 = 100 \cdot 10^3 \text{ Н} = 100 \text{ кН}.$$

Стержень AC растянут, а стержень BC сжат. Определяем площади поперечных сечений стержней

$$A_{AC} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (30 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 706 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$A_{BC} = a^2 = (40 \cdot 10^{-3})^2 = 1600 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Напряжения в поперечных сечениях стержней AC и BC

$$\sigma_{AC} = \frac{N_{AC}}{A_{AC}} = \frac{100 \cdot 10^3}{706 \cdot 10^{-6}} = 141 \cdot 10^6 \text{ Па} = 141 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BC} = -\frac{N_{BC}}{A_{BC}} = -\frac{141 \cdot 10^3}{1600 \cdot 10^{-6}} = -88 \cdot 10^6 \text{ Па} = -88 \text{ МПа}.$$

Знак минус указывает на то, что в стержне BC возникает деформация сжатия.

Находим удлинения стержней:

$$\Delta l_{AC} = \frac{N_{AC} \cdot l_{AC}}{E_{\text{ст}} \cdot A_{AC}} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 706 \cdot 10^{-6}} = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{м} = 0,71 \text{ мм};$$

$$\Delta l_{BC} = -\frac{N_{BC} \cdot l_{BC}}{E_{\text{дюр}} \cdot A_{BC}} = -\frac{141 \cdot 10^3 \cdot 1,41}{7 \cdot 10^{10} \cdot 1600 \cdot 10^{-6}} = -1,77 \cdot 10^{-3} \text{м} = -1,77 \text{ мм},$$

где $l_{BC} = \frac{l_{AC}}{\cos 45^\circ} = \frac{1}{0,707} = 1,41$ м; $E_{\text{ст}}$, $E_{\text{дюр}}$ – модули продольной упругости стального и дюралюминиевого стержней, Па.

Для определения перемещения точки C мысленно разъединим стержни в этом шарнире и отметим их новые длины AC_1 и BC_2 (рис. 1.2, *а*). Для того, чтобы найти новое положение точки C, необходимо деформированные стержни свести вместе путем их вращения вокруг шарниров A и B. Точки C_1 и C_2 будут перемещаться по дугам, которые вследствие их малости могут быть приняты за прямые C_1C_3 и C_2C_3, перпендикулярные к стержням AC и BC. Точка пересечения этих перпендикуляров (точка C_3) и даст положение узла C после деформации. На рис. 1.2, *б* изображена диаграмма перемещений в большом масштабе.

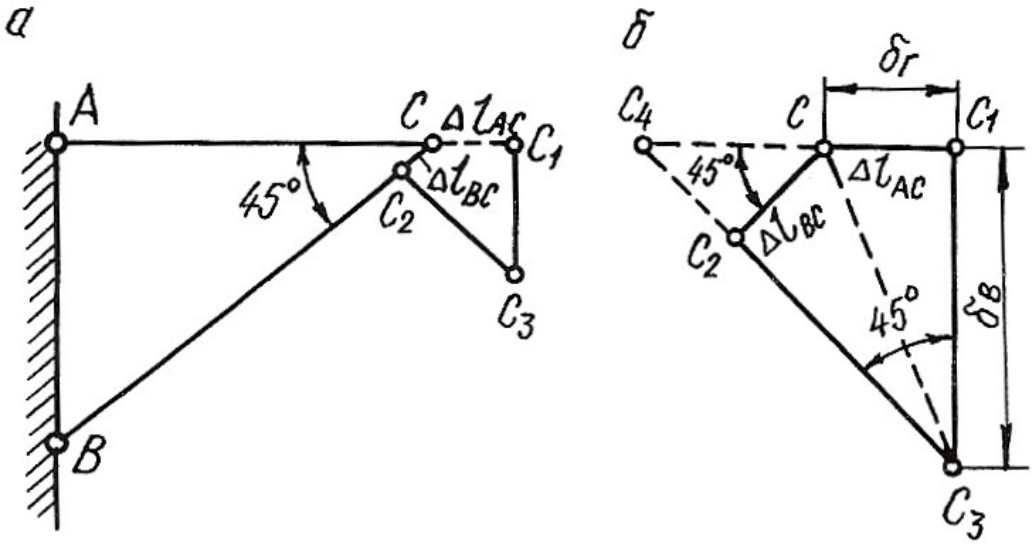


Рис. 1.2.

Горизонтальное перемещение узла C равно $\delta_{\text{г}} = \Delta l_{\text{AC}} = 0,71$ мм.

Для удобства определения вертикального перемещения произведем дополнительное построение. Продолжим линии C_1C и C_3C_2 до их пересечения в точке C_4.

Вертикальное перемещение узла C

$$\delta_в = C_1C_3 = \frac{C_1C_4}{\text{tg}45^o} = C_1C_4 = C_1C + CC_4 = \Delta l_{AC} + \frac{\Delta l_{BC}}{\cos 45^o};$$

$$\delta_в = 0,71 + \frac{1,77}{0,707} = 3,21 \text{ мм}.$$

Полное перемещение узла C

$$\delta = CC_3 = \sqrt{\delta_г^2 + \delta_в^2} = \sqrt{0,71^2 + 3,21^2} = 3,29 \text{ мм}.$$

1.1. Влияние собственного веса на напряжения и перемещения

Если ось в стержне вертикальна, то его собственный вес вызывает центральное растяжение или сжатие. Если вертикальный брус закреплен верхним концом, то от собственного веса он растягивается, а при закреплении нижнего конца – сжимается. Собственный вес вертикального бруса можно рассматривать как продольную (осевую) внешнюю нагрузку, распределенную вдоль оси бруса.

Рассмотрим брус постоянного сечения, закрепленный верхним концом. Продольная сила от собственного веса в поперечном сечении бруса на расстоянии x от его нижнего конца равна весу нижележащей части бруса

$$N_x = \rho g A x, \tag{1.4}$$

где N_x – продольная сила от собственного веса, Н; ρ – плотность материала, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; A – площадь поперечного сечения бруса, м^2; x – расстояние от нижнего конца стержня, м.

Напряжение от собственного веса определяется по формуле:

$$\sigma_x = \frac{N_x}{A} = \rho g x. \tag{1.5}$$

По формулам (1.4) и (1.5) строятся эпюры N и σ с учетом знаков. Если на стержень действует дополнительная сила F, то продольная сила и нормальное напряжение определяются по формулам:

$$N_x = F + \rho g A x; \tag{1.6}$$

$$\sigma_x = \frac{F}{A} + \rho g x. \tag{1.7}$$

Полное удлинение (укорочение) стержня постоянного сечения от собственного веса определяется по формуле:

$$\Delta l = \frac{\rho g l^2}{2E}, \tag{1.8}$$

где l – длина стержня, м; E – модуль продольной упругости материала, Па.

При действии внешней силы F и собственного веса удлинение стержня определяется по формуле:

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA} + \frac{\rho g l^2}{2E}. \qquad (1.9)$$

В формулах (1.7) и (1.9) физический смысл первого слагаемого – напряжение и удлинение от внешней силы, второго – напряжение и удлинение от собственного веса.

Перемещение любого поперечного сечения бруса, закрепленного верхним концом, равно удлинению части бруса, лежащей над сечением, и равно сумме удлинений под действием собственного веса верхней части, нижней части бруса и внешней силы.

Рассмотрим подробнее решение типовой задачи.

Пример 1.2.

Для стального бруса переменного сечения (рис. 1.3, *а*) с учетом собственного веса и при продольной нагрузке F требуется:

1. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса.
2. Найти полное удлинение (укорочение) бруса.
3. Определить перемещение сечения I-I.

Исходные данные: $A = 20$ см^2; $a = 1{,}0$ м; $b = 1{,}5$ м; $c = 1{,}0$ м; $F = 40$ кН.

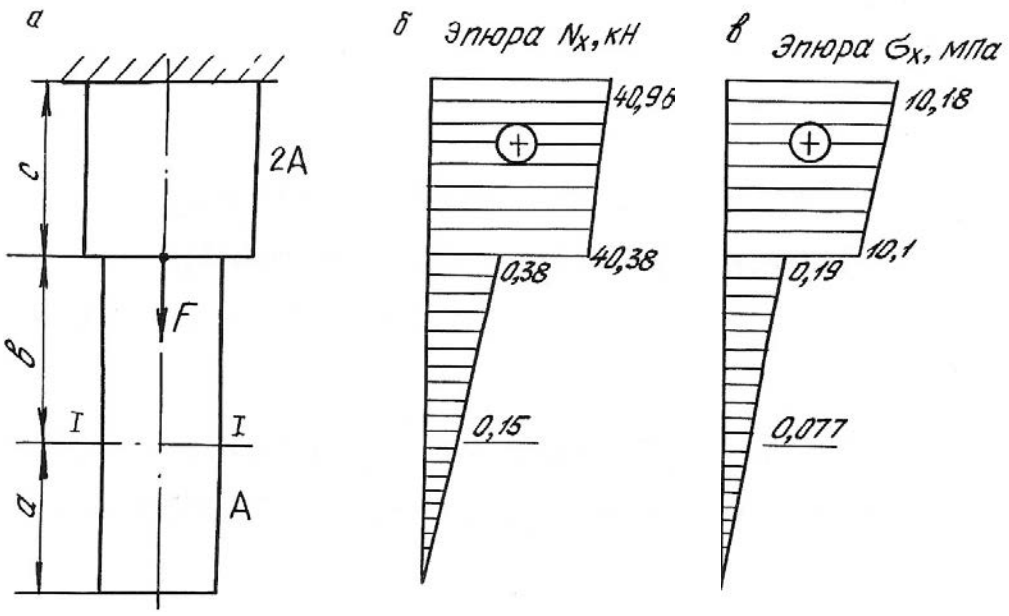


Рис. 1.3.

Решение.

Определим продольную силу и нормальное напряжение в поперечном сечении по формулам (1.6) и (1.7):

а) на участке длиной a (нижний участок): $0 \le x \le 1{,}0$ м;

$$N_x = \rho g A x;$$

$$\sigma_x = \rho g x.$$

При $x = 0$ $\quad N_x = 0,$

$\sigma_x = 0.$

При $x = 1$ м $\quad N_x = 7850 \cdot 9{,}81 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 150$ Н $= 0{,}15$ кН;

$\sigma_x = 7850 \cdot 9{,}81 \cdot 1 = 80000$ Па $= 0{,}08$ МПа.

б) на участке длиной b (средний участок): $1{,}0 \le x \le 2{,}5$ м;

$$N_x = Q_a + \rho g A (x - a);$$

$$\sigma_x = \frac{Q_a}{A} + \rho g (x - a);$$

где $Q_a = \rho g A a = 0{,}15$ кН – вес нижнего участка бруса; для среднего участка он играет роль внешней силы.

При $x = 1{,}0$ м; $\quad N_x = Q_a = 0{,}15$ кН;

$\sigma_x = 0{,}08$ МПа.

При $x = 2{,}5$ м; $\quad N_x = 0{,}15 + 7850 \cdot 9{,}81 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3} = 0{,}38$ кН;

$\sigma_x = 0{,}08 + 7850 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}19$ МПа.

в) на участке длиной c (верхний участок): $2{,}5 \le x \le 3{,}5$ м;

$$N_x = Q_a + Q_b + F + \rho g 2A (x - a - b);$$

$$\sigma_x = \frac{Q_a + Q_b + F}{2A} + \rho g (x - a - b),$$

где $Q_b = \rho g A b = 0{,}23$ кН – вес среднего участка бруса.

При $x = 2{,}5$ м; $\quad N_x = 0{,}15 + 0{,}23 + 40 + 7850 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 40{,}38$ кН;

$\sigma_x = 10{,}1$ МПа.

При $x = 3{,}5$ м; $\quad N_x = 0{,}15 + 0{,}23 + 40 + 7850 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-7} = 40{,}96$ кН;

$\sigma_x = 10{,}18$ МПа.

Строим эпюры $\boldsymbol{N}_x$ (рис. 1.3, *б*) и σ_x (рис. 1.3, *в*).

Определим полное удлинение стержня по формуле (1.9). Полное удлинение складывается из удлинений каждого участка бруса под действием внешних сил и собственного веса.

$$\Delta l = \Delta a + \Delta b + \Delta c \ ;$$

где $\Delta a = \dfrac{\rho g a^2}{2E} = \dfrac{7850 \cdot 9{,}81 \cdot 1^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 0{,}19 \cdot 10^{-6}$ м;

$$\Delta b = \frac{Q_a \cdot b}{EA} + \frac{\rho g b^2}{2E} = \frac{0{,}15 \cdot 10^3 \cdot 1{,}5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 20 \cdot 10^{-4}} + \frac{7850 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}5^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11}} =$$

$$= 0{,}56 \cdot 10^{-6} + 0{,}43 \cdot 10^{-6} = 0{,}99 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\Delta c = \frac{(Q_a + Q_b + F)c}{E \cdot 2A} + \frac{\rho g c^2}{2E} = \frac{(0{,}15 + 0{,}23 + 40) \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} + \frac{7850 \cdot 9{,}81 \cdot 1^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11}} =$$

$$= 50{,}48 \cdot 10^{-6} + 0{,}19 \cdot 10^{-6} = 50{,}67 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\Delta l = 0{,}19 \cdot 10^{-6} + 0{,}99 \cdot 10^{-6} + 50{,}67 \cdot 10^{-6} = 51{,}85 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Перемещение сечения I-I равно удлинению лежащей над сечением части бруса, т. е.

$$\delta_{\text{I-I}} = \Delta c + \Delta b = 0{,}99 \cdot 10^{-6} + 50{,}67 \cdot 10^{-6} = 51{,}66 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

1.2. Напряженное состояние материала в точке

Напряженным состоянием называют совокупность напряжений, действующих по всевозможным площадкам, проведенным через данную точку. В различных точках тела напряженное состояние неоднородно и определить все значения возникающих напряжений затруднительно. В связи с этим в сопротивлении материалов точку рассматривают в виде элементарного параллелепипеда с гранями $dx \cdot dy \cdot dz$. При этом считается, что возникающие напряжения на гранях и в наклонных сечениях распределяются равномерно. Нормальные напряжения на гранях обозначаются: σ_x, σ_y, σ_z, а касательные: τ_{xy}, τ_{yx}, τ_{zy}, τ_{yz}, τ_{xz}, τ_{zx}. Двойной индекс при касательных напряжениях указывает на направление и плоскость, где они действуют. Например, индексы при напряжении τ_{xy} означают, что x – направление действия этого напряжения по оси x; y – это напряжение возникает в плоскости, нормаль к которой параллельна оси y.

Во взаимно перпендикулярных сечениях касательные напряжения равны по величине и противоположны по знаку. Это свойство касательных напряжений называется **законом парности касательных напряжений**

$$-\tau_{xy} = \tau_{yx}.$$

Рассматриваемый параллелепипед в теле стержня можно сориентировать таким образом, что по его граням будут действовать только нормальные напряжения, а касательные будут равны нулю. В этом случае грани будут называться главными площадками, а действующие на них нормальные напряжения – главными напряжениями. По количеству главных напряжений, возникающих одновременно на главных площадках, различают три вида напряженного состояния точки упругого тела: линейное, плоское и объемное. Главные напряжения обозначаются: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Принято считать, что $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Наиболее часто встречается плоское напряженное состояние материала.

Для правильной оценки опасности, угрожающей прочности стержня, необходимо знать полностью его напряженное состояние. Это требует умение вычислять напряжения не только по сечениям, перпендикулярным оси стержня, но и по наклонным сечениям.

Напряжения в наклонных сечениях, нормаль к которым с осью x составляет угол α, определяются по следующим формулам:

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2\alpha + \sigma_y \sin^2\alpha - \tau_{yx} \sin 2\alpha; \qquad (1.10)$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{yx} \cos 2\alpha, \qquad (1.11)$$

Для сечений, проходящих под углом $\beta = \alpha + 90^\circ$, возникающие напряжения определяются по формулам:

$$\sigma_\beta = \sigma_x \sin^2\alpha + \sigma_y \cos^2\alpha + \tau_{yx} \sin 2\alpha; \qquad (1.12)$$

$$\tau_\beta = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha - \tau_{yx} \cos 2\alpha, \qquad (1.13)$$

Угол α положительный, если он отсчитан в направлении от оси x к оси y по кратчайшему угловому пути, против хода часовой стрелки.

Нормальное напряжение σ_α считается положительным, если его направление совпадает с направлением внешней нормали к наклонной площадке. Положительное направление τ_α образовано поворотом внешней нормали к наклонной площадке на угол 90° по ходу часовой стрелки.

Противоположные направления σ_α и τ_α следует считать отрицательными.

Площадки, где действуют экстремальные нормальные напряжения и нет касательных напряжений, называются главными площадками, а напряжения, действующие на главных площадках – главными напряжениями. Они обозначаются: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, причем $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ и определяются по следующим формулам:

$$\sigma_{max} = \sigma_1 = \frac{1}{2}\left[(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yx}^2} \right]; \qquad (1.14)$$

$$\sigma_{min} = \sigma_2 = \frac{1}{2}\left[(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yx}^2} \right]. \qquad (1.15)$$

Положение главных площадок определяется углом наклона α_0

$$\mathrm{tg}2\alpha_0 = \frac{-2\tau_{yx}}{\sigma_x - \sigma_y}, \qquad (1.16)$$

Наибольшие касательные напряжения действуют на площадках под углом 45°

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yx}^2}\ . \qquad (1.17)$$

Пример 1.3.

Стальной кубик находится под действием сил, создающих плоское напряженное состояние: $\sigma_x = 80$ МПа; $\alpha = 30^o$; $\tau_{xy} = 10$ МПа (рис. 1.4). Требуется найти:

1. Главные напряжения и положение главных площадок.
2. Максимальные касательные напряжения.
3. Определить аналитически величины нормальных σ_α и касательных τ_α напряжений, действующих на площадках, нормаль, к которой составляет угол α с горизонтальной осью x. Показать на чертеже заданный элемент и направление соответствующих напряжений.

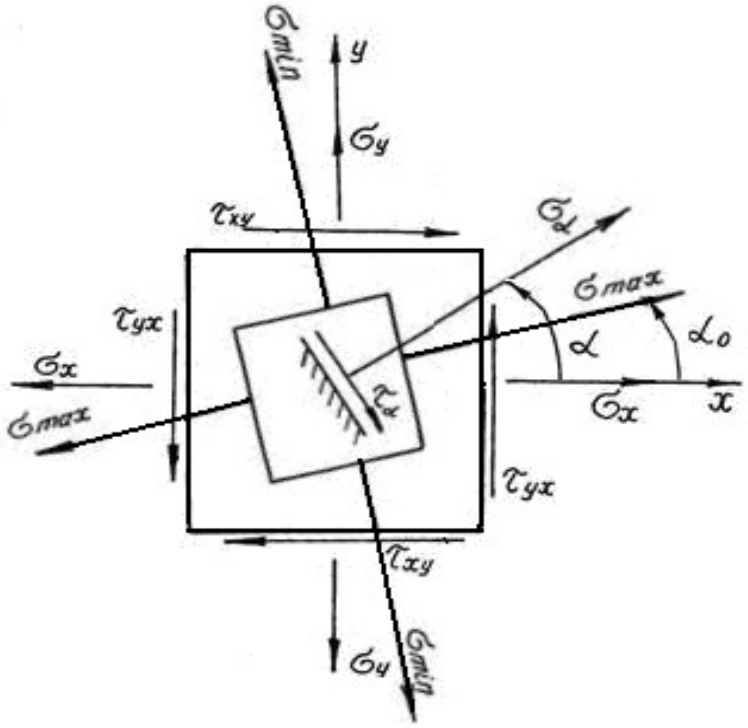


Рис. 1.4.

Решение.

Определим главные напряжения

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}\left[(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yx}^2}\right] = \frac{1}{2}\left[(80+20) + \sqrt{(80-20)^2 + 4\cdot 10^2}\right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[100 + 63,6\right] = 81,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}\left[(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yx}^2}\right] = \frac{1}{2}\left[(80+20) - \sqrt{(80-20)^2 + 4\cdot 10^2}\right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[100 - 63,6\right] = 18,2 \text{ МПа}.$$

Найдем положение главных площадок

$$\operatorname{tg}2\alpha_0 = -\frac{2\tau_{yx}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{-2\cdot(-10)}{80-20} = 0,333; \qquad 2\alpha_0 = 18^o 24'; \qquad \alpha_0 = 9^o 12'.$$

Определим аналитически величины σ_α и τ_α, действующие на площадке, нормаль к которой составляет угол 30° с горизонтальной осью (см. рис. 1.4.)

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2\alpha + \sigma_y \sin^2\alpha - \tau_{yx}\sin 2\alpha = 80\cdot 0,866^2 + 20\cdot 0,5^2 - (-10)\cdot 0,866 =$$

$$= 73,65 \text{ МПа};$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\sin 2\alpha + \tau_{yx}\cos 2\alpha = \frac{80-20}{2}0,866 + (-10)\cdot 0,5 = 20,98 \text{ МПа}.$$

Вектор максимальных главных напряжений σ_{max} всегда проходит через те четверти осей координат, в которых стрелки касательных напряжений сходятся.

1.3. Статически неопределимые стержневые системы

Статически неопределимыми системами называют такие системы, у которых реакции или все внутренние суммарные силовые факторы, возникающие в сечениях их элементов при действии произвольной нагрузки, не могут быть определены из уравнений равновесия статики.

Равновесие плоской стержневой системы обеспечивается тремя опорными направлениями. Всякое закрепление сверх трех опорных направлений является «лишним» с точки зрения равновесия системы, что делает ее *статически неопределимой*. Термин «лишние» является условным. Постановка дополнительных опорных закреплений производится с целью уменьшения деформации, веса конструкции или с целью увеличения ее грузоподъемности.

Расчет статически неопределимой системы начинается с определения степени статической неопределимости системы, которая равна числу «лишних» связей (число неизвестных сил минус три – число уравнений статики для плоской системы).

Определение усилий в статически неопределимой системе связано с необходимостью составления дополнительных уравнений – уравнений совместности деформаций. Число этих уравнений должно быть равно степени статической неопределимости стержневой системы.

Уравнения совместности деформаций устанавливают геометрические зависимости между упругими перемещениями отдельных элементов при соблюдении равновесия всей системы в целом.

Геометрическая схема деформаций должна рассматриваться не с точки зрения обычной геометрии, а на основе кинематики малых перемещений, с учетом того, что траектории отдельных точек элементов являются прямыми линиями.

Решение статически неопределимых систем необходимо производить в следующей последовательности:

1. Заданную систему освободить от наложенных на нее связей, действие которых заменяется реакциями, и составить уравнения статики;
2. Определить степень статической неопределимости системы;
3. По числу «лишних» неизвестных составить дополнительные уравнения из условия совместности деформаций. В уравнениях упругие деформации выразить через усилия по закону Гука в развернутом виде по формуле (1.3);
4. Решить совместно уравнения равновесия статики и дополнительные уравнения, определяя усилия в элементах конструкций;
5. Исходя из условия задачи и на основании условия прочности, определить поперечные размеры стержней.

Рассмотрим подробнее пример расчета статически неопределимой системы.

Пример 1.4.

Для статически неопределимой системы (рис. 1.5), состоящей из жесткой невесомой балки AB и стальных стержней 1 и 2, соединенных с ней шарнирно, требуется:

1. Определить усилия, возникающие в стержне от действия силы F.
2. Подобрать сечение стержней из двух равнобоких уголков, каждое при $A_2 : A_1 = 2$; $F = 180$ кН; $a = 2{,}0$ м; $b = 1{,}0$ м; $h = 2{,}0$ м.

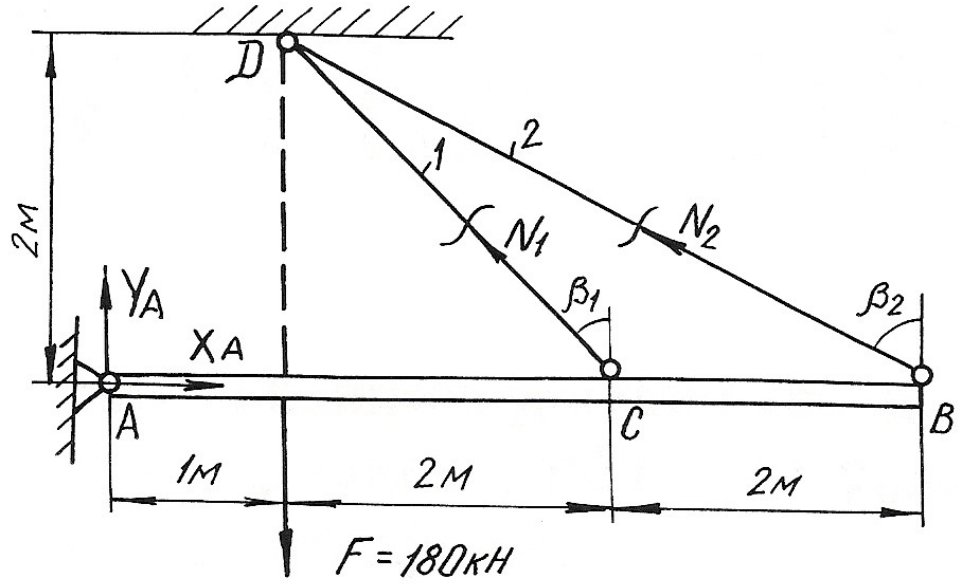


Рис. 1.5.

Решение.

Перед началом решения по приведенному плану определяем геометрические параметры системы

$$l_1 = DC = \sqrt{4+4} = 2{,}83 \text{ м}; \quad \beta_1 = 45°;$$

$$l_2 = DB = \sqrt{4+16} = 4{,}47 \text{ м}; \quad \sin\beta_2 = \frac{4}{4{,}47} = 0{,}89;$$

Далее освобождаем брус AB от наложенных связей, заменяя их действие реакциями X_A, Y_A, N_1, N_2. Так как на балку AB действуют четыре неизвестные силы, то одна связь «лишняя», т. е. задача является однажды статически неопределимой.

Из трех уравнений равновесия достаточно записать только одно уравнение, не содержащее X_A, Y_A, определение которых не ставится в задаче,

$$\sum M_A = 0; \qquad -F \cdot 1 + N_1 \cdot \cos\beta_1 \cdot 3 + N_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot 5 = 0;$$

$$-180 + N_1 \cdot 0{,}707 \cdot 3 + N_2 \cdot 0{,}45 \cdot 5 = 0 \qquad (1.18)$$

В уравнении статики два неизвестных, поэтому нужно записать еще одно дополнительное уравнение из условия совместности деформаций стержней DB и DC. Рассматривая геометрическую схему деформаций этих стержней, считаем перемещение точек B и C балки вертикальными (рис. 1.6). Из подобия треугольников ACC_1 и ABB_1 имеем:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{CC_1}{BB_1} = \frac{3}{5}.$$

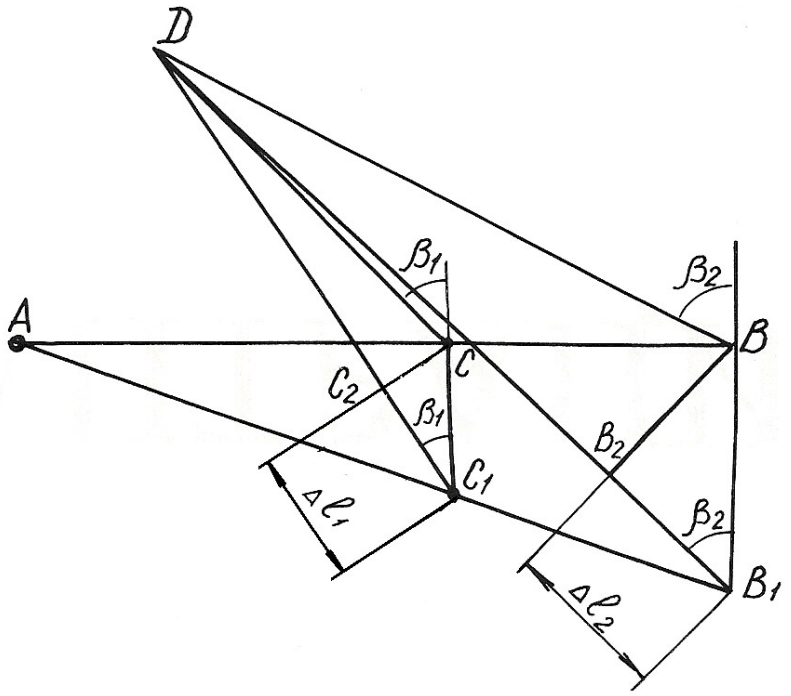


Рис. 1.6.

Учитывая, что $\begin{cases} CC_1 = \dfrac{CC_1}{\cos\beta_1} = \dfrac{\Delta l_1}{\cos\beta_1}; \\ BB_1 = \dfrac{B_1B_2}{\cos\beta_2} = \dfrac{\Delta l_2}{\cos\beta_2}, \end{cases}$

получим $\dfrac{\Delta l_1}{\cos\beta_1} = \dfrac{3}{5} \cdot \dfrac{\Delta l_2}{\cos\beta_2}$; откуда

$$\Delta l_1 = 0{,}94 \cdot \Delta l_2 . \qquad (1.19)$$

Равенство (1.19) и есть условие совместности деформации стержней 1 и 2. Выразим деформации через усилия по закону Гука

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA_1} = \frac{N_1 \cdot 2{,}83}{EA_1}; \qquad \Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA_2} = \frac{N_2 \cdot 4{,}74}{E \cdot 2A_1}.$$

Подставим полученные выражения в формулу (1.19)

$$\frac{N_1 \cdot 2{,}83}{EA_1} = 0{,}94 \frac{N_2 \cdot 4{,}74}{E \cdot 2A_1}.$$

Отсюда получим

$$2{,}83 \cdot N_1 - 2{,}10 \cdot N_2 = 0. \qquad (1.20)$$

Теперь можно определить усилия N_1 и N_2, решая совместно систему уравнений (1.18) и (1.20),

$$\begin{cases} 2{,}12 \cdot N_1 + 2{,}25 \cdot N_2 - 180 = 0; \\ 2{,}83 \cdot N_1 - 2{,}10 \cdot N_2 = 0. \end{cases}$$

Получаем $N_1 = 34{,}94$ кН; $N_2 = 47{,}08$ кН.

Подбираем сечение стержней из условий прочности:

$$A_1 \geq \frac{N_1}{\sigma_{adm}} = \frac{34{,}94 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 2{,}18 \cdot 10^{-4}\,\text{м}^2 = 2{,}18\ \text{см}^2;$$

$$A_2 \geq \frac{N_2}{\sigma_{adm}} = \frac{47{,}08 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 2{,}94 \cdot 10^{-4}\,\text{м}^2 = 2{,}94\ \text{см}^2.$$

Для площадей задано условие $A_2{:}A_1 = 2$. Если принять $A_1 = 2{,}18$ см^2, тогда $A_2 = 4{,}36$ см^2. Условие $A_2 \geq 2{,}94$ см^2 выполняется.

Сечение подбираем из двух равнобоких уголков по ГОСТ 8509-93 (табл. П. 3).

Для первого стержня подбираем два уголка №2 (20х20х3 мм) с площадью сечения 1,13 см^2. Для второго стержня принимаем два уголка №4 (40х40х3 мм) с площадью сечения 2,35 см^2.

Полные площади сечений будут равны $A_1 = 2{,}26$ см^2; $A_2 = 4{,}70$ см^2.

Проверим отношение площадей:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{4{,}70}{2{,}26} = 2{,}08.$$

Отклонение $\delta = \dfrac{2{,}08 - 2}{2} 100\ \% = 3{,}98\ \%.$

Погрешность допустимая.

Пример 1.5. Монтажная задача

Для статически неопределимой системы (рис. 1.7), состоящей из жесткой невесомой балки AB и стальных стержней 1 и 2, соединенных с ней шарнирно, требуется определить дополнительные усилия в стержнях конструкции, если стержень 2 изготовлен короче проектного размера на $\Delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м при $A_2 : A_1 = 2$; a =2,0 м; $b = 1{,}0$ м; $h = 2{,}0$ м.

При сборке стержни деформируются: стержень 2 – растянется, стержень 1 – сожмется. В соответствии с этим покажем направления дополнительных усилий N_1' и N_2' (см. рис. 1.7), возникающих после сборки конструкции.

Для определения усилий воспользуемся уравнением статики

$$\sum \text{M}_A = 0; \qquad -N_1' \cdot \cos\beta_1 \cdot 3 + N_2' \cdot \cos\beta_2 \cdot 5 = 0;$$

$$-2{,}12 N_1' + 2{,}25 N_2' = 0. \qquad (1.21)$$

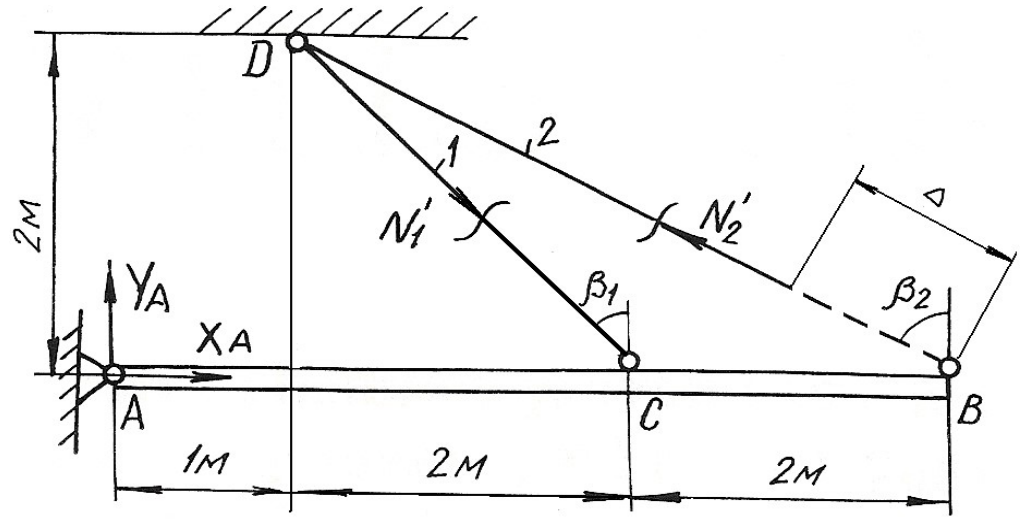


Рис. 1.7.

Уравнение одно, неизвестных два, следовательно, система один раз статически неопределима. Запишем дополнительно условие совместности деформаций. Рассмотрим картину деформаций стержней (см. рис. 1.8). Из подобия треугольников AC_1C и AB_1B получим $\dfrac{AC}{AB}=\dfrac{C_1C}{B_1B}=\dfrac{3}{5}$.

Учитывая соотношение $C_1C=\dfrac{CC_2}{\cos\beta_1}=\dfrac{\Delta l_1}{\cos\beta_1}$; $B_1B=\dfrac{B_2B}{\cos\beta_2}=\dfrac{\Delta-\Delta l_2}{\cos\beta_2}$,

получаем $\dfrac{\Delta l_1}{0{,}707}=\dfrac{3}{5}\cdot\dfrac{\Delta-\Delta l_2}{0{,}45}$; $\Delta l_1=0{,}94(\Delta-\Delta l_2)$. (1.22)

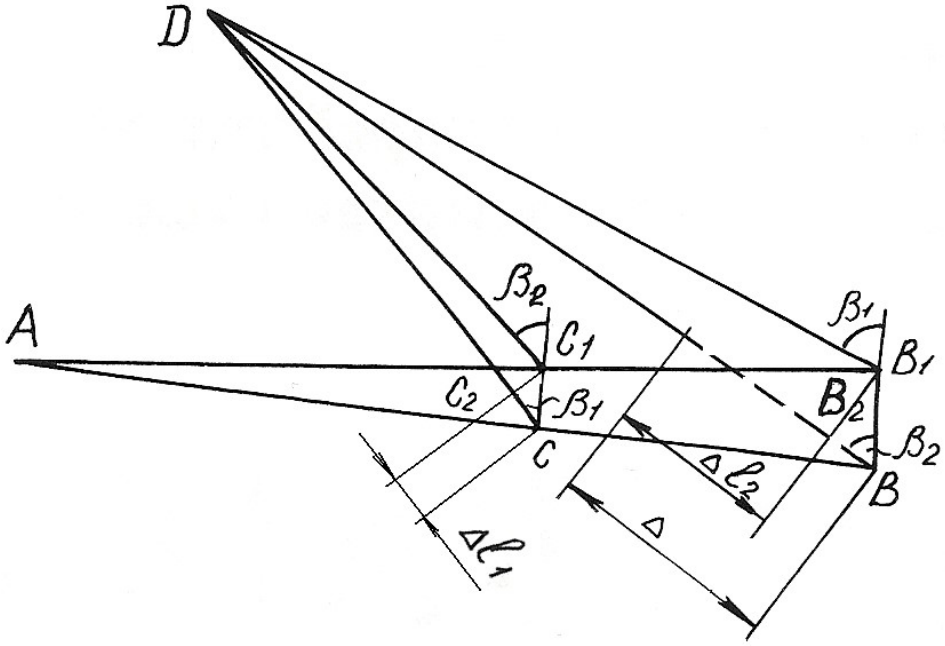


Рис. 1.8.

Выражение (1.22) – условие совместности деформаций стержней 1 и 2. Выражая деформацию через усилия по закону Гука, получим

$$\frac{N_1' l_1}{EA_1} + \frac{0{,}94 \cdot N_2' l_2}{EA_2} = 0{,}94 \cdot \Delta$$

или

$$1{,}25 \cdot N_1' + 0{,}894 \cdot N_2' = 94 \qquad (1.23)$$

Решая совместно систему уравнений (1.21) и (1.23), определяем усилия N_1' и N_2'

$$N_1' = 42{,}75 \text{ кН}; \; N_2' = 45{,}36 \text{ кН}.$$

Пример 1.6.

Стержень длиной l = 800 мм, защемленный обоими концами, подвергается действию двух сосредоточенных сил F_1=100 кН и F_2=150 кН (рис. 1.9, *а*). Определить напряжения, возникающие в различных сечениях стержня, и проверить его прочность, если допускаемое напряжение σ_{adm}=140 МПа. Площадь поперечного сечения A = 10 см^2, l_1 = 200 мм и l_2 = 600 мм.

Решение.

Обозначим реакции в заделках стержня через R_A и R_B. На стержень действует система сил, направленных вдоль одной прямой. Для такой системы статика дает одно уравнение равновесия

$$\sum Y = 0; \quad R_A - F_1 - F_2 + R_B = 0,$$

откуда $R_A + R_B = F_1 + F_2$. (1.24)

Для составления уравнения совместности деформаций мысленно отбросим нижнюю заделку и заменим ее действие на стержень реакцией R_B, т. е. приложим к сечению B (к нижнему торцовому сечению) такую силу, которая оказывает на стержень воздействие, полностью аналогичное воздействию заделки. Таким образом, изображенная система эквивалентна заданной системе и, поскольку в заданной системе перемещение сечения B равно нулю, то и для второй системы (рис.1.9, *б*) должно соблюдаться то же условие

$$\delta_B = 0. \qquad (1.25)$$

Для определения вида левой части записанного равенства используем принцип независимости действия сил, т. е. вычислим перемещение сечения B как сумму перемещений, вызванных каждой силой F_1, F_2 и R_B в отдельности

$$\delta_B = \delta_{F_1} + \delta_{F_2} + \delta_{R_B}.$$

Под действием одной лишь силы F_1 деформируется только верхняя часть стержня, нижняя и средняя части перемещаются как твердое тело. Таким образом, перемещение сечения B, вызванное силой F_1, равно удлинению верхней части стержня

$$\delta_{F_1} = \frac{F_1 l_1}{EA}.$$

Аналогично установим, что перемещение сечения B от действия силы F_2, равно удлинению верней и средней частей

$$\delta_{F_2} = \frac{F_2 l_2}{EA}.$$

Наконец, перемещение сечения B от действия силы R_B равно укорочению всего стержня

$$\delta_{R_B} = \frac{R_B l}{EA}.$$

Суммируя полученные величины и приравнивая сумму нулю согласно равенству (1.25), получим уравнение совместности деформаций,

$$\frac{F_1 l_1}{EA} + \frac{F_2 l_2}{EA} - \frac{R_B l}{EA} = 0,$$

откуда $R_B = \dfrac{F_1 l_1 + F_2 l_2}{l} = \dfrac{100 \cdot 0,2 + 150 \cdot 0,6}{0,8} = 137,5$ кН.

Подставив значение реакции R_B в уравнение равновесия (1.24), определим значение реакции в точке A:

$$R_A = F_1 + F_2 - R_B = F_1 + F_2 - \frac{F_1 l_1 + F_2 l_2}{l} = \frac{(F_1 + F_2) l - (F_1 l_1 + F_2 l_2)}{l} =$$

$$= \frac{(100 + 150) \cdot 0,8 - (100 \cdot 0,2 + 150 \cdot 0,6)}{0,8} = 112,5 \text{ кН}.$$

На рис. 1.9, *в* приведена эпюра продольных сил, в соответствии с которой определяем напряжения на различных участках стержня.

В поперечных сечениях верхней части стержня

$$\sigma^{(1)} = \frac{N_1}{A} = \frac{112,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 112,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 112,5 \text{ МПа};$$

в поперечных сечениях средней части

$$\sigma^{(2)} = \frac{N_2}{A} = \frac{12,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 12,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,5 \text{ МПа},$$

а в нижней части

$$\sigma^{(3)} = \frac{N_3}{A} = -\frac{137,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = -137,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = -137,5 \text{ МПа}.$$

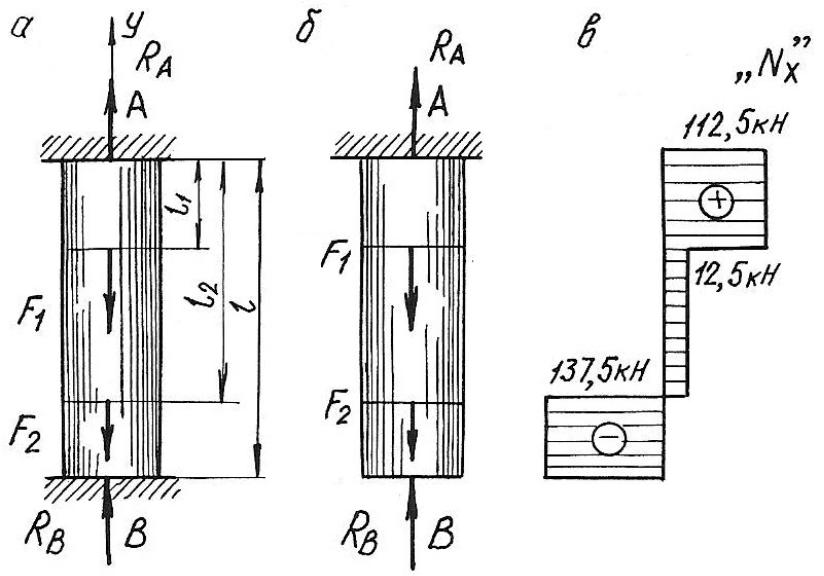


Рис. 1.9.

Наиболее напряженными, как видно из расчетов, являются поперечные сечения нижней части стержня. Это напряжение используем для проверки стержня на прочность:

$$\left|\sigma^{(3)}\right| = 137{,}5 \text{ МПа} < \sigma_{adm} = 140 \text{ МПа},$$

т. е. условие прочности выполняется.

Пример 1.7. Температурная задача

Определить допускаемое повышение температуры составного стержня (рис. 1.10.) из условия, чтобы напряжения сжатия не превышали в стальной части $\sigma_c = 120$ МПа, в медной $\sigma_м = 60$ МПа и в алюминиевой $\sigma_a = 70$ МПа. (линейные размеры на рисунке приведены в мм).

Решение.

Площади поперечных сечений ступеней стержня

$$A_м = \frac{\pi(50\cdot10^{-3})^2}{4} = 1963\cdot10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$A_a = \frac{\pi(40\cdot10^{-3})^2}{4} = 1257\cdot10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$A_c = \frac{\pi(30\cdot10^{-3})^2}{4} = 707\cdot10^{-6} \text{ м}^2.$$

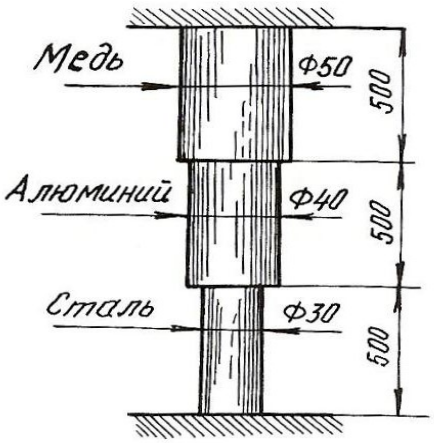


Рис. 1.10.

Продольные силы, при которых напряжения в ступенях будут равны заданным величинам, должны быть следующими:

$$N_{\text{м}} = A_{\text{м}} \cdot \sigma_{\text{м}} = 1963 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 10^{6} = 118000 \text{ Н} = 118 \text{ кН};$$

$$N_{\text{а}} = A_{\text{а}} \cdot \sigma_{\text{а}} = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \cdot 10^{6} = 88000 \text{ Н} = 88 \text{ кН};$$

$$N_{\text{с}} = A_{\text{с}} \cdot \sigma_{\text{с}} = 707 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot 10^{6} = 84800 \text{ Н} = 84{,}8 \text{ кН}.$$

Величина продольной силы не одинакова для всего стержня, следовательно, в качестве допускаемой продольной силы должно быть принято меньшее из трех полученных значений, а именно $N = N_{\text{с}} = 84{,}8$ кН.

Длина стержня в результате защемления обоих концов остается при изменении температуры неизменной. Следовательно, удлинение стержня в результате повышения температуры должно равняться полученному упругому укорочению

$$\Delta l_t = \Delta l = l_{\text{м}} \alpha_{\text{м}} \Delta t + l_{\text{а}} \alpha_{\text{а}} \Delta t + l_{\text{с}} \alpha_{\text{с}} \Delta t = l(\alpha_{\text{м}} + \alpha_{\text{а}} + \alpha_{\text{с}}) \Delta t,$$

где $\alpha_{\text{м}}$, $\alpha_{\text{а}}$, $\alpha_{\text{с}}$ – соответствующие коэффициенты теплового линейного расширения.

$$\Delta l = \Delta l_{\text{м}} = \Delta l_{\text{а}} = \Delta l_{\text{с}} = \frac{N l_{\text{м}}}{E_{\text{м}} A_{\text{м}}} + \frac{N l_{\text{а}}}{E_{\text{а}} A_{\text{а}}} + \frac{N l_{\text{с}}}{E_{\text{с}} A_{\text{с}}} = Nl\left(\frac{1}{E_{\text{м}} A_{\text{м}}} + \frac{1}{E_{\text{а}} A_{\text{а}}} + \frac{1}{E_{\text{с}} A_{\text{с}}}\right);$$

$$l(\alpha_{\text{м}} + \alpha_{\text{а}} + \alpha_{\text{с}}) \Delta t = Nl\left(\frac{1}{E_{\text{м}} A_{\text{м}}} + \frac{1}{E_{\text{а}} A_{\text{а}}} + \frac{1}{E_{\text{с}} A_{\text{с}}}\right),$$

откуда $\Delta t = \dfrac{N\left(\dfrac{1}{E_{\text{м}} A_{\text{м}}} + \dfrac{1}{E_{\text{а}} A_{\text{а}}} + \dfrac{1}{E_{\text{с}} A_{\text{с}}}\right)}{\alpha_{\text{м}} + \alpha_{\text{а}} + \alpha_{\text{с}}}.$

Подставим численные значения величин и произведем вычисления

$$\Delta t = \frac{84800\left[\dfrac{1}{1 \cdot 10^{11} \cdot 1963 \cdot 10^{-6}} + \dfrac{1}{0{,}7 \cdot 10^{11} \cdot 1257 \cdot 10^{-6}} + \dfrac{1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 707 \cdot 10^{-6}}\right]}{16{,}5 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-6} + 12{,}5 \cdot 10^{-6}} = 36^{\circ}.$$

Далее определим напряжения в поперечных сечениях стержня при повышении температуры на 36°

$$\sigma_{\text{м}} = -\frac{N}{A_{\text{м}}} = -\frac{84800}{1963 \cdot 10^{-6}} = -43 \cdot 10^{6} \text{ Па} = -43 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{а}} = -\frac{N}{A_{\text{а}}} = -\frac{84800}{1257 \cdot 10^{-6}} = -67{,}5 \cdot 10^{6} \text{ Па} = -67{,}5 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{с}} = -120 \text{ МПа}.$$

1.4. Задания для расчетов стержней с учетом собственного веса

Для стального бруса с учетом собственного веса и при продольной нагрузке F (табл. 1.1.) требуется по указанной схеме (табл. 1.2.):

1. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса.

2. Найти полное удлинение (укорочение) бруса для геометрических размеров, приведенных в табл. 1.1. Плотность стали ρ=7850 кг/см^3; ускорение силы тяжести g = 9,81 м/с^2, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

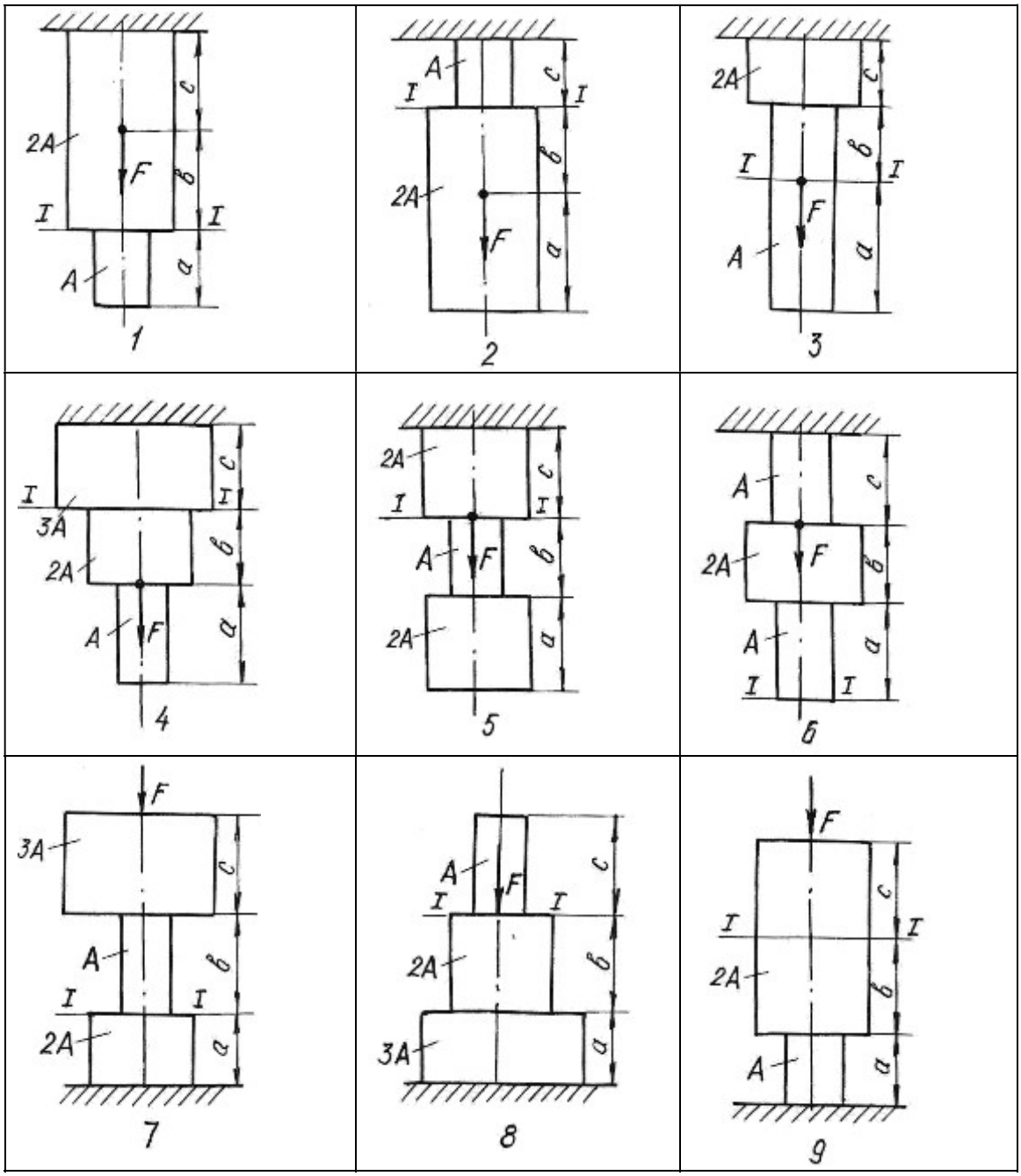
3. Определить перемещение сечений I-I.

Таблица 1.1

Номер варианта	a, м	b, м	c, м	F, кН	A, см²
1	1,5	1,0	2,0	30	20
2	1,0	1,5	2,0	40	30
3	2,0	1,0	2,0	50	40
4	2,0	1,0	1,5	60	18
5	2,0	1,5	1,5	20	24
6	1,5	1,0	2,0	40	28
7	1,5	1,0	1,0	50	30
8	1,0	1,5	2,0	50	32
9	1,5	1,0	1,5	60	12
10	2,0	1,0	1,5	70	14
11	1,0	2,0	1,0	20	15
12	2,0	2,0	1,0	40	18
13	1,0	1,5	1,0	30	20
14	1,4	1,0	1,0	40	24
15	1,0	3,0	1,0	50	28
16	1,0	2,0	1,0	40	30
17	1,2	1,0	2,4	70	32
18	2,0	1,5	2,0	60	20
19	2,6	1,0	1,7	60	18
20	2,0	1,0	1,5	50	22
21	1,5	1,8	1,4	40	15
22	2,0	1,0	1,4	30	16
23	1,2	1,2	1,2	20	20
24	1,5	1,0	2,0	10	16
25	1,4	2,0	1,0	40	18

Таблица 1.2

Расчетные схемы бруса



1.5. Задания для определения напряжений при плоском напряженном состоянии

Стальной кубик находится под действием сил, создающих плоское напряженное состояние (рис. 1.11.). Показать на рисунке элемент и направления напряжений в соответствии с вариантом задания.

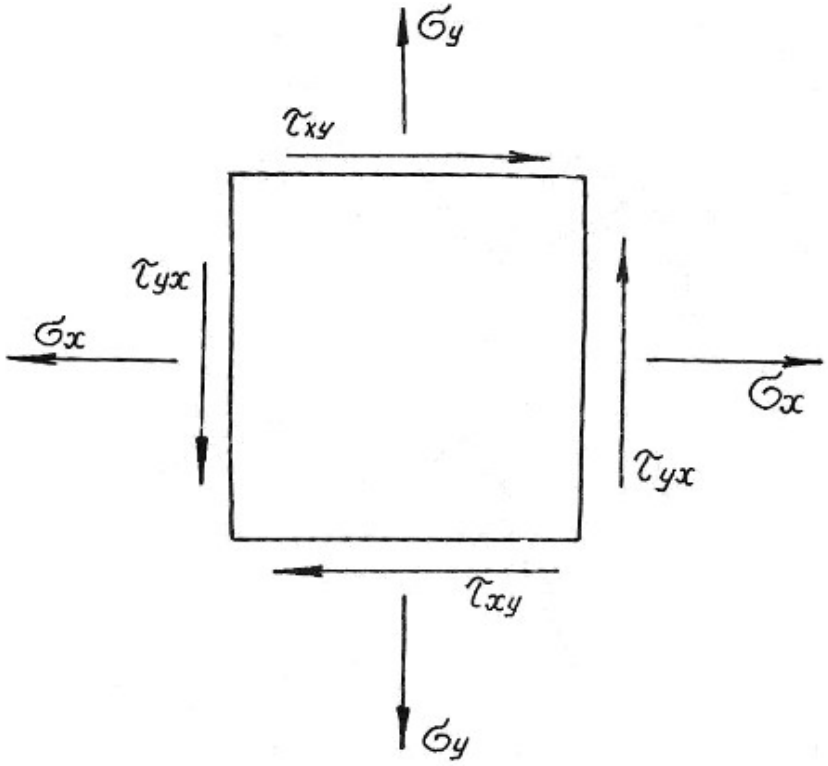


Рис. 1.11.

Требуется найти:

1. Главные напряжения и положение главных площадок.
2. Максимальные касательные напряжения.
3. Определить аналитически величины нормальных σ_α и касательных напряжений τ_α, действующих на площадках, нормаль к которым составляет угол α с горизонтальной осью x.

Данные приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Номер варианта	σ_x , МПа	σ_y , МПа	τ_{xy} , МПа	α, град
1	40,0	-20,0	-10,0	30
2	12,0	10,0	-80,0	-45
3	-10,0	-14,0	-12,0	15
4	15,0	12,0	90,0	30
5	20,0	-40,0	80,0	15
6	-12,0	10,0	-80,0	45
7	20,0	-2,0	10,0	-30
8	80,0	10,0	-60,0	45
9	12,0	14,0	10,0	30
10	-14,0	-10,0	50,0	15
11	20,0	10,0	-80,0	-45
12	30,0	-50,0	-10,0	60
13	-25,0	10,0	50,0	15
14	16,0	80,0	10,0	30
15	18,0	-10,0	10,0	-30
16	22,0	12,0	-90,0	45
17	-16,0	-12,0	10,0	20
18	10,0	80,0	-60,0	-20
19	25,0	-25,0	10,0	30
20	-10,0	10,0	60,0	60
21	12,0	10,0	-60,0	20
22	18,0	-10,0	-12,0	45
23	-40,0	30,0	20,0	30
24	50,0	-60,0	10,0	-30
25	45,0	35,0	15,0	-45

1.6. Задания для расчета статически неопределимых стержневых систем

Для статически неопределимой системы, состоящей из жесткой невесомой балки и стальных стержней 1 и 2, соединенных с ней шарнирно (табл.1.4), требуется:

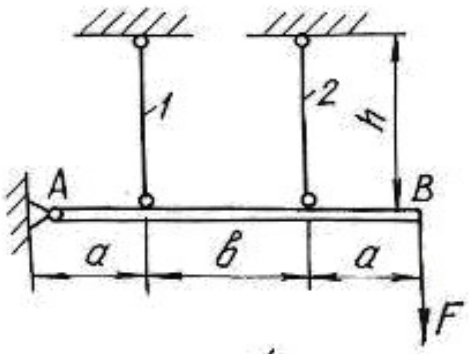
1. Определить усилия, возникающие в стержнях от действия нагрузки F;
2. Подобрать сечение стержней из двух равнобоких уголков каждое по ГОСТ 8509-93 (см. табл. П. 3).
3. Определить дополнительные усилия в стержнях конструкции, если стержень 2 изготовлен короче проектного размера на $\Delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м.

При расчетах принять $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; σ_{adm}=160 МПа, остальные данные приведены в табл. 1.4. Расчетные схемы приведены в табл. 1.5.

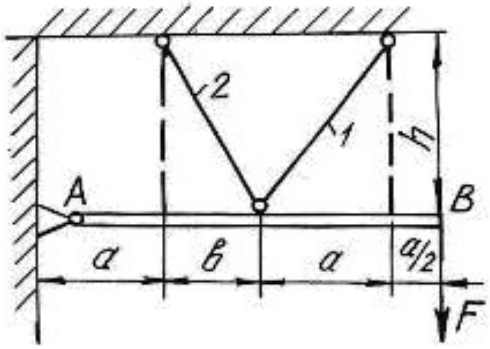
Таблица 1.4

Номер варианта	a, м	b, м	h, м	$A_2 : A_1$	F, кН
1	2,0	1,4	1,8	2,0	80
2	2,2	1,6	2,0	1,5	120
3	2,6	1,8	2,2	1,2	150
4	2,5	1,1	1,5	1,0	180
5	1,8	1,0	1,2	1,5	100
6	2,0	1,0	1,5	2,0	240
7	2,4	1,4	1,6	1,8	140
8	2,8	1,6	2,	2,0	120
9	1,6	1,2	1,5	1,5	100
10	2,4	1,4	1,6	1,8	180
11	3,0	2,0	2,0	1,5	260
12	2,4	1,8	2,2	2,0	320
13	1,8	1,4	1,2	1,5	400
14	2,0	1,5	1,3	1,2	360
15	1,5	1,5	2,0	1,5	400
16	1,0	0,9	1,5	1,1	340
17	1,1	1,3	1,8	1,8	250
18	1,5	1,2	2,0	2,0	120
19	0,9	0,6	3,0	1,4	170
20	0,8	0,7	2,3	1,6	210
21	1,2	1,7	1,3	1,3	200
22	1,3	1,4	0,8	1,7	90
23	2,0	2,0	2,0	0,9	110
24	2,0	1,1	1,0	0,8	130
25	1,5	1,6	0,8	0,7	280

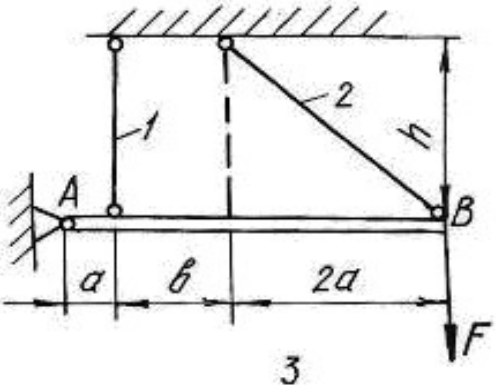
Таблица 1.5



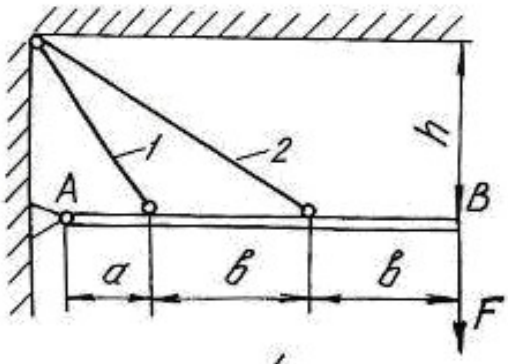
1



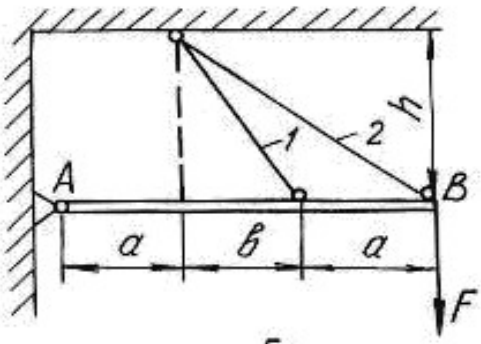
2



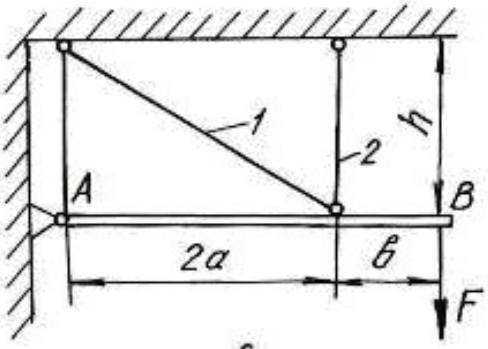
3



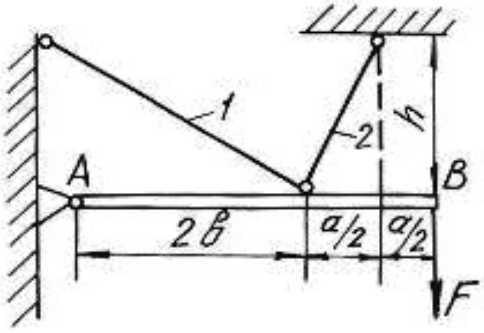
4



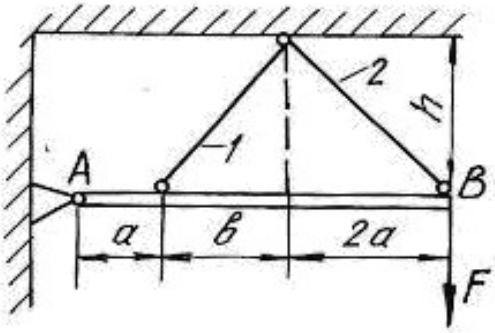
5



6

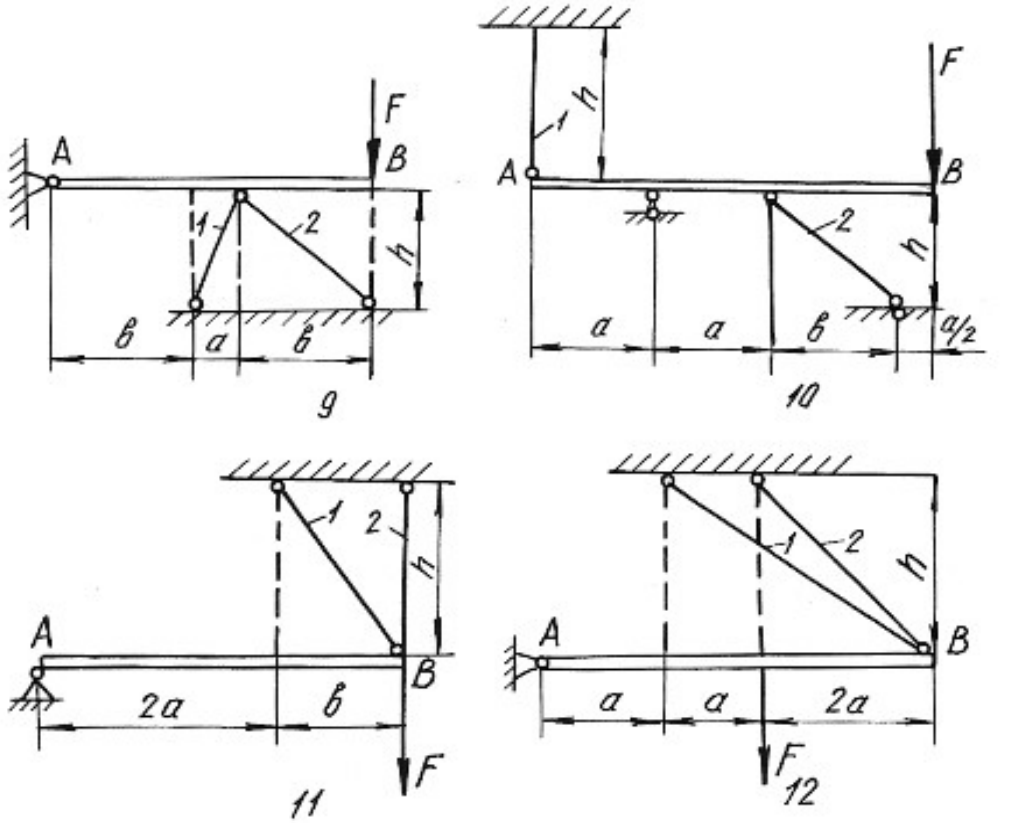


7



8

Окончание табл. 1.5



Глава 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

Моментами инерции являются геометрические характеристики, отражающие заполнение веществом плоского поперечного сечения балки. Значения моментов инерции для стандартных поперечных сечений можно найти в любой литературе, список которой приведен в конце настоящего пособия. Моменты инерции относительно собственных осей простых фигур определяются по известным формулам.

Для прямоугольника

$$J_x = \frac{bh^3}{12}; \qquad J_y = \frac{hb^3}{12}; \qquad J_{xy} = 0, \tag{2.1}$$

где x, y – горизонтальная и вертикальная оси, проходящие через центр тяжести прямоугольника; b – ширина; h – высота прямоугольника.

Для круга

$$J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64}; \qquad J_{xy} = 0. \tag{2.2}$$

Для треугольника

$$J_x = \frac{bh^3}{36}; \qquad J_y = \frac{hb^3}{36}; \qquad J_{xy} = \pm\frac{b^2h^2}{72}. \tag{2.3}$$

При этом знак центробежного момента определяется следующим образом. Треугольник вычерчивается в масштабе, через его центр проводятся оси, которые делят треугольник на четыре четверти. В первой и третьей четвертях площадь положительна, в остальных – отрицательна. Если суммарная положительная площадь будет по размеру больше отрицательной, то знак центробежного момента будет тоже положительный и наоборот.

Осевые моменты инерции прокатных профилей выписываются из таблицы (сортамента проката) в соответствии с номером профиля. Для равнополочных уголков центробежный момент относительно горизонтальной и вертикальной осей определяется по формуле:

$$J_{xy} = \left(J_{x_0} - J_{y_0}\right)\frac{\sin 2\alpha}{2} + J_{x_0y_0}\cos 2\alpha, \tag{2.4}$$

где x_0, y_0 – оси, проходящие через центр тяжести уголка под углом 45° к горизонтальной и вертикальной осям уголка.

При этом нужно помнить, что угол поворота осей *xy* относительно осей x_0y_0 будет отрицательным. Если уголок неравнополочный, то его условно разбивают на два прямоугольника, находят их центры тяжести, и центробежный

момент относительно собственных осей всего уголка определяют по формуле центробежных моментов инерции относительно параллельных осей.

Для составного сечения необходимо определять положение центра тяжести, разбив его на простейшие части (прямоугольник, круг, треугольник, двутавр, швеллер, уголок). Формулы для определения центра тяжести имеют вид:

$$x_c = \frac{\sum S_{x_{\text{вр}}}}{\sum A} = \frac{\left(A_1 x_1 + A_2 x_2 + \ldots, + A_n x_n\right)}{\left(A_1 + A_2 + \ldots, + A_n\right)};$$
$$y_c = \frac{\sum S_{y_{\text{вр}}}}{\sum A} = \frac{\left(A_1 y_1 + A_2 y_2 + \ldots, + A_n y_n\right)}{\left(A_1 + A_2 + \ldots, + A_n\right)}, \qquad (2.5)$$

где $S_{y_{\text{вр}}}, S_{x_{\text{вр}}}$ – статические моменты площадей простых фигур относительно временных осей; A_1, A_2,…, A_n – площади простых фигур; x_n, y_n – координаты центров тяжести простых фигур во временных осях.

Главными моментами инерции плоской фигуры (сечения) называют моменты инерции, определяемые относительно главных центральных осей сечения. Такие оси должны отвечать следующим требованиям:

1) они проходят через центр тяжести сечения;

2) относительно этих осей наблюдаются экстремальные значения моментов инерции (главные моменты инерции);

3) центробежный момент инерции относительно главных осей равен нулю.

В формулы напряжений, содержащие моменты инерции, необходимо всегда подставлять значения главных моментов инерции. Определение главных моментов инерции проводится в следующем порядке.

1. Заданное поперечное сечение сложной конфигурации вычерчивается в выбранном масштабе с указанием всех размеров.

2. Сечение условно разбивается на простейшие фигуры (прямоугольник, круг, треугольник, двутавр, швеллер, уголок).

3. Определяется положение центра тяжести площадки каждой простой фигуры и из этих центров проводятся собственные оси координат.

4. Для всей фигуры сечения проводятся временные (вспомогательные) оси координат $(x_{\text{вр}}, y_{\text{вр}})$ параллельно собственным осям отдельных фигур (желательно, чтобы временные оси проходили через центры тяжести простых фигур, что ведет к уменьшению объема вычислений).

5. Определяются координаты центра тяжести площади всего сечения по формулам (2.5).

6. Центр тяжести сечения наносится на чертеж, и из него проводятся опорные оси координат (x_c, y_c) параллельно временным осям.

7. Определяются осевые и центробежные моменты инерции сечения относительно опорных осей. При этом используют формулы для определения моментов инерции относительно параллельных осей:

$$J_{x_c} = \left(J_{x_1} + A_1 a_1^2\right)^{\text{I}} + \left(J_{x_2} + A_2 a_2^2\right)^{\text{II}} + \ldots + \left(J_{x_n} + A_n a_n^2\right)^{n};$$

$$J_{y_c} = \left(J_{y_1} + A_1 b_1^2\right)^{\text{I}} + \left(J_{y_2} + A_2 b_2^2\right)^{\text{II}} + \ldots + \left(J_{y_n} + A_n b_n^2\right)^{n}; \qquad (2.6)$$

$$J_{x_c y_c} = \left(J_{x_1 y_1} + A_1 a_1 b_1\right)^{\text{I}} + \left(J_{x_2 y_2} + A_2 a_2 b_2\right)^{\text{II}} + \ldots + \left(J_{x_n y_n} + A_n a_n b_n\right)^{n},$$

где $J_{x_1}, J_{x_2}, \ldots, J_{x_n}$ и $J_{y_1}, J_{y_2}, \ldots, J_{y_n}$ – моменты инерции простых фигур относительно собственных осей; $J_{x_1 y_1}, J_{x_2 y_2}, \ldots, J_{x_n y_n}$ – центробежные моменты инерции простых фигур относительно собственных осей; $a_1, a_2, \ldots, a_n$ – расстояния между собственными осями $x_1, x_2 \ldots, x_n$ простых фигур и центральной осью x_c; $b_1, b_2 \ldots, b_n$ – расстояния между собственными осями $y_1, y_2 \ldots, y_n$ простых фигур и центральной осью y_c (с учетом знаков).

8. Определяется положение главных осей инерции по формуле:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2 \cdot J_{x_c y_c}}{J_{y_c} - J_{x_c}}. \qquad (2.7)$$

Положительным считается угол α_0, откладываемый против хода часовой стрелки.

9. Проводятся главные оси на чертеже под углом α_0 по отношению к центральным осям.

10. Определяются главные моменты инерции по формулам:

$$\begin{aligned} J_{x_0} &= J_{x_c} \cos^2 \alpha_0 + J_{y_c} \sin^2 \alpha_0 - J_{x_c y_c} \sin 2\alpha_0; \\ J_{y_0} &= J_{x_c} \sin^2 \alpha_0 + J_{y_c} \cos^2 \alpha_0 + J_{x_c y_c} \sin 2\alpha_0 \end{aligned} \qquad (2.8)$$

или

$$J_{\max/\min} = \frac{J_{x_c} + J_{y_c}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(J_{x_c} - J_{y_c}\right)^2 + 4 \cdot J_{x_c y_c}^2}. \qquad (2.9)$$

11. Проводится проверка правильности решения задачи в двух вариантах:

а) суммы главных моментов инерции и моментов инерции относительно центральных осей должны быть равны

$$J_{x_0} + J_{y_0} = \left(J_{x_c} + J_{y_c}\right) \pm 5\ \%; \qquad (2.10)$$

б) центробежный момент инерции относительно главных осей должен быть равен нулю

$$J_{x_0y_0} = \frac{J_{x_c} - J_{y_c}}{2}\sin 2\alpha_0 + J_{x_cy_c}\cos 2\alpha_0 = 0\,. \qquad (2.11)$$

Пример 2.1.

Для заданного поперечного сечения, состоящего из швеллера и равнополочного уголка (рис. 2.1), требуется:

1) определить положение центра тяжести;

2) найти осевые и центробежный моменты инерции относительно осей, проходящих через центр тяжести;

3) определить направления главных центральных осей x_0 и y_0;

4) найти моменты инерции относительно главных центральных осей;

5) вычертить сечение в масштабе 1:2 и указать на нем все размеры в числах и все оси.

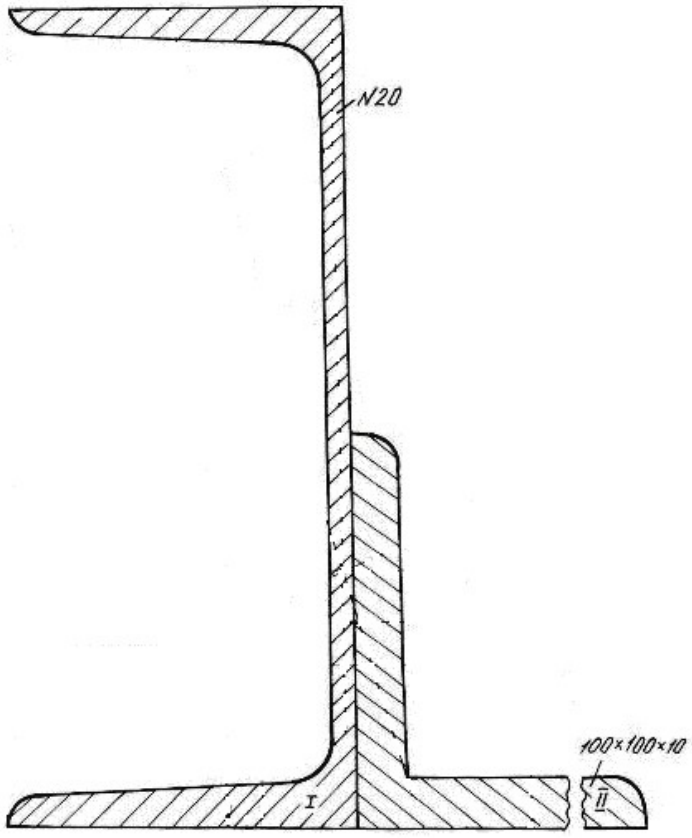


Рис. 2.1.

Решение.

1. Проводим временные оси $x_{вр}$ и $y_{вр}$ через левый нижний угол сечения (рис. 2.2) и разбиваем сечение на две фигуры: швеллер I и уголок II.

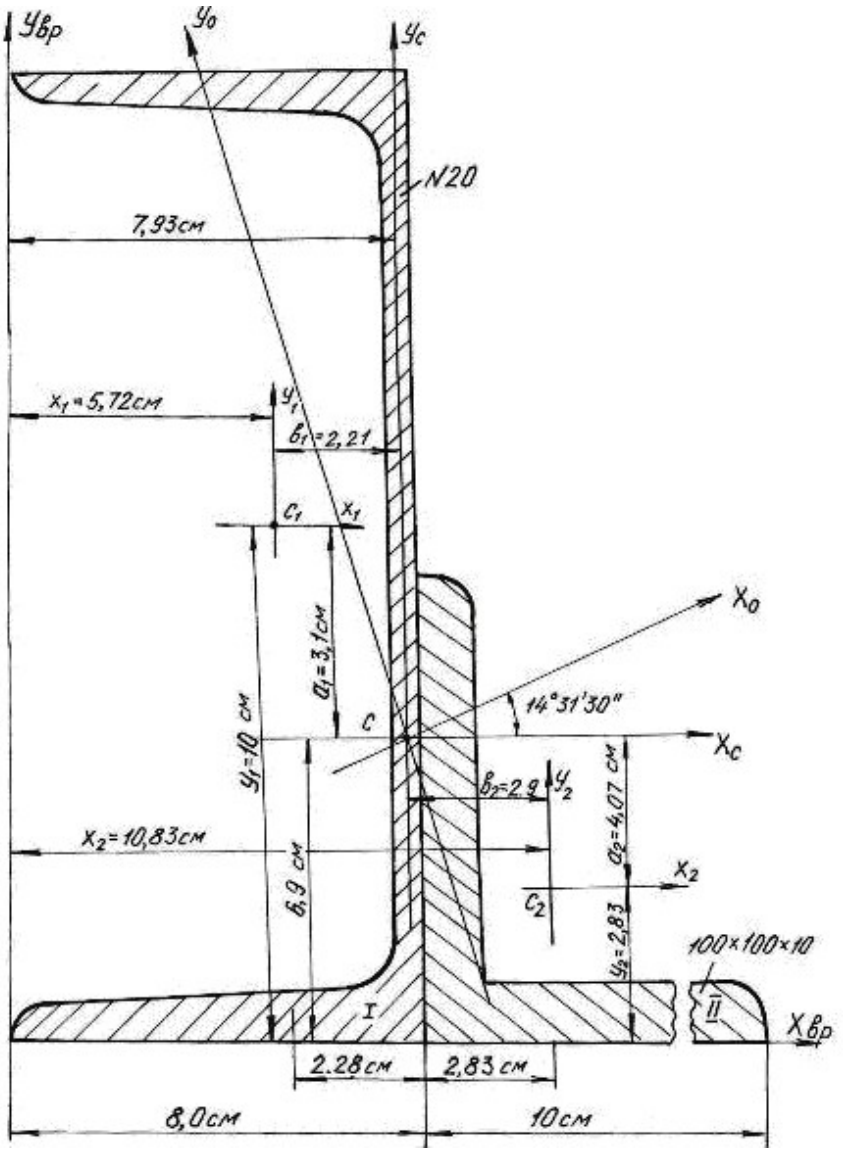


Рис. 2.2.

Основные данные фигур выписываем из таблиц сортамента проката.

Швеллер № 20а: $A_1 = 25{,}2$ см^2, $Z_0 = 2{,}28$ см, $J_{x_1} = 1670$ см^4, $J_{y_1} = 139$ см^4.

Уголок 100×100×10 мм: $A_2 = 19{,}2$ см^2, $Z_0 = 2{,}83$ см, $J_{x_0} = 284$ см^4, $J_{y_0} = 74{,}1$ см^4, $J_{x_2} = J_{y_2} = 179$ см^4 (рис. 2.3).

Координаты центра тяжести сечения

$$x_c = \frac{(A_1 x_1 + A_2 x_2)}{(A_1 + A_2)} = \frac{25{,}2 \cdot 5{,}72 + 19{,}2 \cdot 10{,}83}{25{,}2 + 19{,}2} = 7{,}93 \text{ см};$$

$$y_c = \frac{\left(A_1 y_1 + A_2 y_2\right)}{\left(A_1 + A_2\right)} = \frac{25{,}2 \cdot 10 + 19{,}2 \cdot 2{,}83}{25{,}2 + 19{,}2} = 6{,}9 \text{ см};$$

где A_1, A_2 – площади поперечного сечения первой и второй фигур; x_1, x_2, y_1, y_2 – координаты центров тяжести фигур относительно временных осей.

По значениям координат центра тяжести фигуры наносим точку C (см. рис. 2.2.) и проводим центральные оси x_c и y_c параллельно временным осям.

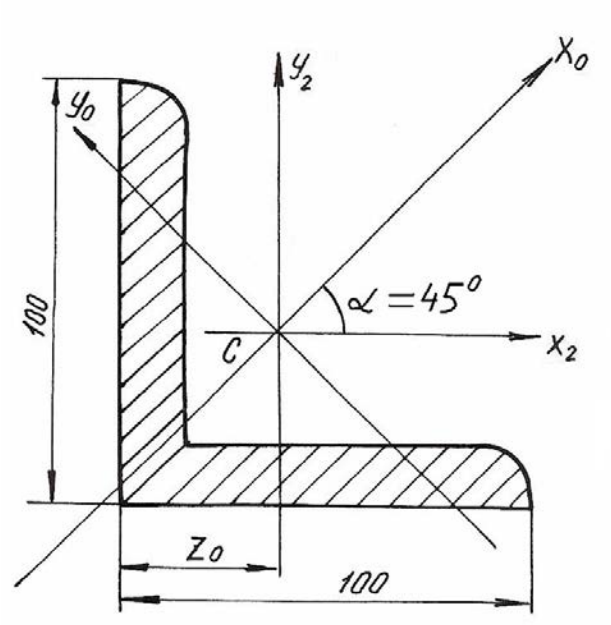


Рис. 2.3.

2. Вычисляем осевые моменты инерции относительно центральных опорных осей

$$J_{x_C} = \left(J_{x_C}\right)^{\text{I}} + \left(J_{x_C}\right)^{\text{II}} = \left(J_{x_1} + A_1 a_1^2\right) + \left(J_{x_2} + A_2 a_2^2\right) =$$

$$= \left[1670 + 25{,}2\left(3{,}1\right)^2\right] + \left[179 + 19{,}2\left(-4{,}07\right)^2\right] = 2409 \text{ см}^4;$$

$$J_{y_C} = \left(J_{y_C}\right)^{\text{I}} + \left(J_{y_C}\right)^{\text{II}} = \left(J_{y_1} + A_1 b_1^2\right) + \left(J_{y_2} + A_2 b_2^2\right) =$$

$$= \left[139 + 25{,}2\left(\text{-}2{,}21\right)^2\right] + \left[179 + 19{,}2\left(2{,}9\right)^2\right] = 603 \text{ см}^4.$$

3. Вычисляем центробежный момент инерции сечения относительно осей x_c и y_c. Центробежный момент швеллера относительно собственных осей равен 0, так как его оси проходят через центр тяжести и одна из них является осью симметрии.

Для уголка собственные центральные оси, т. е. оси x_2 и y_2 не являются главными, поэтому центробежный момент уголка в этой системе координат не равен 0. Вычислим его.

Из таблиц сортамента

$$J_{x_0} = 284 \text{ см}^4; \quad J_{y_0} = 74{,}1 \text{ см}^4;$$

$$J_{x_2y_2} = \frac{\left(J_{x_0} - J_{y_0}\right)}{2}\sin 2\alpha + J_{x_0y_0}\cos 2\alpha = \frac{284 - 74{,}1}{2}(-1) + 0 = -104{,}95 \text{ см}^4.$$

Угол α отрицателен, так как поворот осей x_0, y_0 направлен по ходу часовой стрелки.

$$J_{x_cy_c} = \left(J_{x_cy_c}\right)^{\text{I}} + \left(J_{x_cy_c}\right)^{\text{II}} = (J_{x_1y_1} + A_1a_1b_1) + (J_{x_2y_2} + A_2a_2b_2) =$$

$$= [0 + 25{,}2(3{,}1)(-2{,}21)] + [-104{,}95 + 19{,}2(-4{,}07)(2{,}90)] =$$

$$= -172{,}0 - 104{,}95 - 225 = -501{,}95 \text{ см}^4.$$

Угол поворота главных осей инерции

$$\text{tg}2\alpha_0 = \frac{2J_{x_cy_c}}{\left(J_{y_c} - J_{x_c}\right)} = \frac{2(-501{,}95)}{(603 - 2409)} = 0{,}555, \quad 2\alpha_0 = 29^{\text{o}}03', \quad \alpha_0 = 14^{\text{o}}31'30''.$$

4. Откладываем полученный угол против хода часовой стрелки от центральных осей x_c, y_c и проводим главные оси инерции x_0, y_0 (см. рис. 2.2).

5. Определяем главные моменты инерции

$$J_{x_0} = J_{x_c}\cos^2\alpha_0 + J_{y_c}\sin^2\alpha_0 - J_{x_cy_c}\sin 2\alpha_0 = 2536 \text{ см}^4;$$

$$J_{y_0} = J_{x_c}\sin^2\alpha_0 + J_{y_c}\cos^2\alpha_0 + J_{x_cy_c}\sin 2\alpha_0 = 476 \text{ см}^4.$$

Так как $J_{x_c} > J_{y_c}$, то $J_{\max}$ будет относительно оси x_0, а $J_{\min}$ будет относительно оси y_0.

Проверка.

а) Согласно формуле (2.10)

$$J_{x_c} + J_{y_c} = \left(J_{x_0} + J_{y_0}\right) \pm 5\ \%;$$

$$(2409 + 603)\cdot 10^{-8} = (2536 + 476)\cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$3012\cdot 10^{-8} \text{ см}^4 = 3012\cdot 10^{-8} \text{ см}^4.$$

б) Согласно формуле (2.11)

$$J_{x_0y_0} = \frac{\left(J_{x_c} - J_{y_c}\right)}{2}\sin 2\alpha_0 + J_{x_cy_c}\cos 2\alpha_0 = 0;$$

$$J_{x_0y_0} = \frac{(2409-603)}{2}\sin 2\left(14^\circ 31' 30''\right) - 501{,}95 \cdot \cos 2\left(14^\circ 31' 30''\right) = 0;$$
$$J_{x_0y_0} = 438 - 438 = 0.$$

Проверка показывает, что главные моменты инерции определены правильно.

6. Вычерчиваем поперечное сечение в масштабе 1:2 с указанием всех осей и размеров.

Пример 2.2.

Для заданного поперечного сечения (рис. 2.4) определить положение центра тяжести, найти положение главных осей инерции и значения главных моментов инерции.

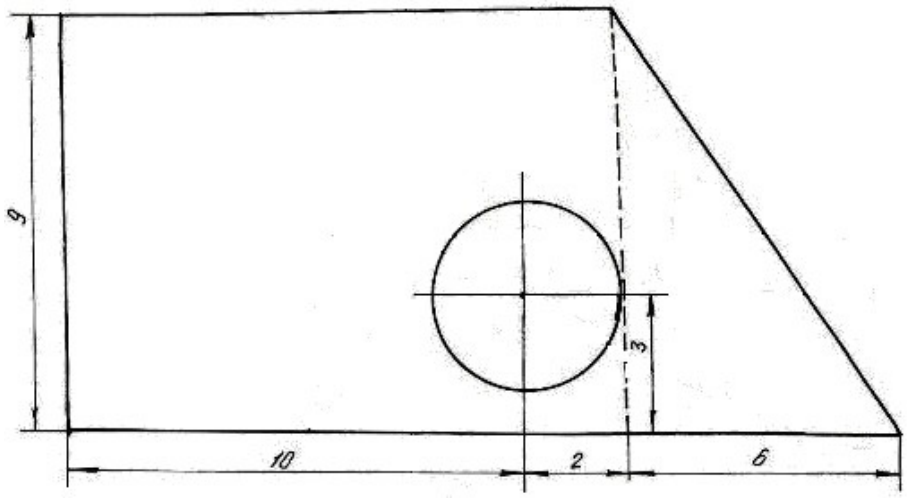


Рис. 2.4.

Решение.

1. Чертим поперечное сечение в масштабе 1:1;

2. Разбиваем сечение на простейшие фигуры: I – прямоугольник, II – прямоугольный треугольник, III – круг;

3. Проводим временные оси $x_{вр}$ и $y_{вр}$ через левый нижний угол заданного сечения (рис. 2.5).

4. Обозначив на рисунке центры тяжести простейших фигур, находим их координаты относительно временных осей и определяем площади фигур

$$C_1\begin{cases} x_1 = 6 \text{ см}; \\ y_1 = 4{,}5 \text{ см}; \end{cases} \qquad C_2\begin{cases} x_2 = 14 \text{ см}; \\ y_2 = 3 \text{ см}; \end{cases} \qquad C_3\begin{cases} x_3 = 10 \text{ см}; \\ y_3 = 3 \text{ см}. \end{cases}$$

$$A_1 = 108 \text{ см}^2, \qquad A_2 = 27 \text{ см}^2, \qquad A_3 = 12{,}56 \text{ см}^2.$$

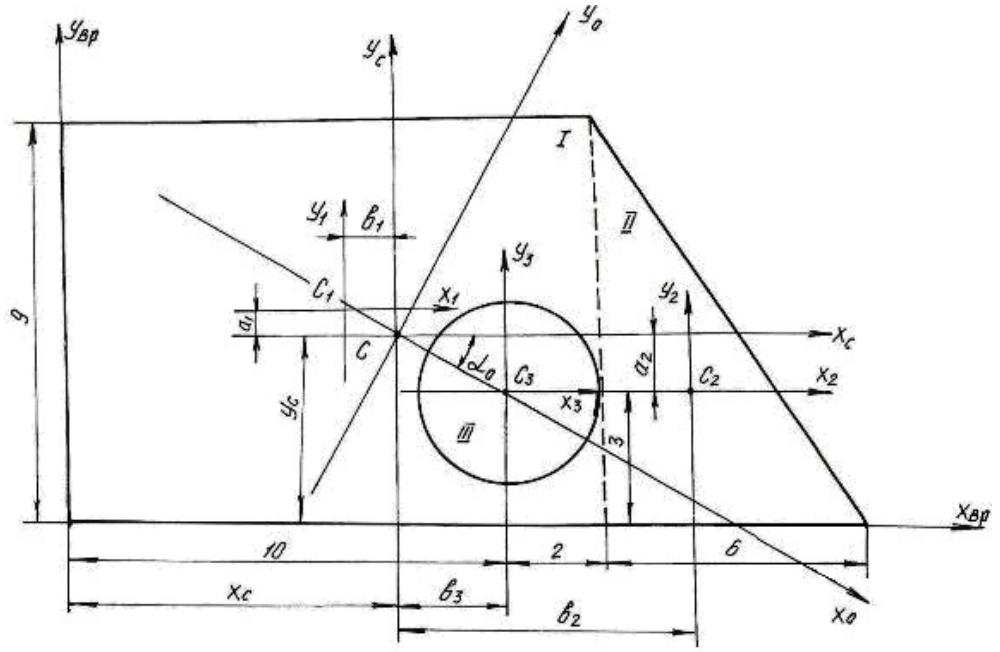


Рис. 2.5.

5. Определим координаты центра тяжести сечения

$$x_C = \frac{S_y}{A} = \frac{x_1A_1 + x_2A_2 - x_3A_3}{A_1 + A_2 - A_3} = \frac{6\cdot 108 + 14\cdot 27 - 10\cdot 12{,}56}{108 + 27 - 12{,}56} = 7{,}35 \text{ см};$$

$$y_C = \frac{S_x}{A} = \frac{y_1A_1 + y_2A_2 - y_3A_3}{A_1 + A_2 - A_3} = \frac{4{,}5\cdot 108 + 3\cdot 27 - 3\cdot 12{,}56}{108 + 27 - 12{,}56} = 4{,}32 \text{ см}.$$

Обозначим на рис. 2.5 положение центра тяжести C (x_c =7,35 см; y_c =4,32 см) и проведем центральные оси x_c и y_c параллельно временным осям.

6. Определим координаты центров тяжести простейших фигур $(C_1,\ C_2,\ C_3)$ относительно центральных осей x_c и y_c

$$C_1\begin{cases} b_1 = x_1 - x_C = 1{,}35 \text{ см} \\ a_1 = y_1 - y_C = 0{,}18 \text{ см} \end{cases} \qquad C_2\begin{cases} b_2 = x_2 - x_C = 6{,}65 \text{ см} \\ a_2 = y_2 - y_C = -1{,}32 \text{ см} \end{cases}$$

$$C_3\begin{cases} b_3 = x_3 - x_C = 2{,}65 \text{ см} \\ a_3 = y_3 - y_C = -1{,}32 \text{ см}. \end{cases}$$

7. Определим моменты инерции простейших фигур относительно их центральных осей

Для прямоугольника:

$$J_{x_1} = \frac{bh^3}{12} = \frac{12\cdot 9^3}{12} = 729 \text{ см}^4;\ J_{y_1} = \frac{b^3h}{12} = \frac{12^3\cdot 9}{12} = 1296 \text{ см}^4;\ J_{x_1y_1} = 0.$$

Для треугольника:

$$J_{x_2}=\frac{bh^3}{36}=\frac{6\cdot 9^3}{36}=121{,}5\text{ см}^4;\qquad J_{y_2}=\frac{b^3h}{36}=\frac{6^3\cdot 9}{36}=54\text{ см}^4;$$

$$J_{x_2y_2}=-\frac{b^2h^2}{72}=-\frac{6^2\cdot 9^2}{72}=-40{,}5\text{ см}^4,$$

знак минус указывает на преобладание суммарной отрицательной части площади поперечного сечения.

Для круга:

$$J_{x_3}=J_{y_3}=\frac{\pi d^4}{64}=\frac{3{,}14\cdot 4^4}{64}=12{,}56\text{ см}^4;\qquad J_{x_3y_3}=0.$$

8. Определим моменты инерции всего сечения относительно центральных осей x_c и y_c, используя формулы моментов инерции относительно параллельных осей

$$J_{x_c}=\left(J_{x_c}\right)^{\text{I}}+\left(J_{x_c}\right)^{\text{II}}-\left(J_{x_c}\right)^{\text{III}}=\left(J_{x_1}+A_1a_1^2\right)+\left(J_{x_2}+A_2a_2^2\right)-\left(J_{x_3}+A_3a_3^2\right)=$$

$$=\left(729+0{,}18^2\cdot 108\right)+\left(121{,}5+(-1{,}32)^2\cdot 27\right)-\left(12{,}56+(-1{,}32)^2\cdot 12{,}56\right)=866{,}6\text{ см}^4;$$

$$J_{y_c}=\left(J_{y_c}\right)^{\text{I}}+\left(J_{y_c}\right)^{\text{II}}-\left(J_{y_c}\right)^{\text{III}}=\left(J_{y_1}+A_1b_1^2\right)+\left(J_{y_2}+A_2b_2^2\right)-\left(J_{y_3}+A_3b_3^2\right)=$$

$$=\left(1296+(-1{,}35)^2\cdot 108\right)++\left(54+6{,}65^2\cdot 27\right)-\left(12{,}56+2{,}65^2\cdot 12{,}56\right)=1093{,}32\text{ см}^4;$$

$$J_{x_cy_c}=\left(J_{x_cy_c}\right)^{\text{I}}+\left(J_{x_cy_c}\right)^{\text{II}}-\left(J_{x_cy_c}\right)^{\text{III}}=$$

$$=\left(J_{x_1y_1}+a_1b_1A_1\right)+\left(J_{x_2y_2}+a_2b_2A_2\right)-\left(J_{x_3y_3}+a_3b_3A_3\right)=$$

$$=\left(0+0{,}18\cdot(-1{,}35)\cdot 108\right)+\left(-40{,}5+(-1{,}32)\cdot 6{,}65\cdot 27\right)-\left(0+(-1{,}32)\cdot 2{,}56\cdot 12{,}56\right)=$$

$$=-259{,}82\text{ см}^4.$$

Получили, что центробежный момент сечения $J_{x_cy_c}\neq 0$, следовательно, оси x_c и y_c не являются главными осями инерции.

9. Найдём положение главных осей инерции по формуле:

$$\operatorname{tg}2\alpha_0=\frac{-2\cdot J_{x_cy_c}}{J_{x_c}-J_{y_c}}=-2{,}29;\text{ откуда }\ 2\cdot\alpha_0=-66^{\text{o}}20';\ \ \alpha_0=-33^{\text{o}}10'.$$

10. Проводим главные оси инерции x_0, y_0 под углом α_0 относительно центральных осей и определяем значение главных моментов инерции

$$J_{x_0}=J_{x_c}\cos^2\alpha_0+J_{y_c}\sin^2\alpha_0-J_{x_cy_c}\sin 2\alpha_0=696{,}48\text{ см}^4;$$

$$J_{y_0} = J_{x_c}\sin^2\alpha_0 + J_{y_c}\cos^2\alpha_0 + J_{x_c y_c}\sin 2\alpha_0 = 1263{,}42 \text{ см}^4.$$

$$J_{\min} = J_{x_0} = 696{,}48 \text{ см}^4; \qquad J_{\max} = J_{y_0} = 1263{,}42 \text{ см}^4.$$

Проверка.

а) Согласно формуле (2.10)

$$J_{x_c} + J_{y_c} = \left(J_{x_0} + J_{y_0}\right) \pm 5\%;$$

$$\left(866{,}6 + 1093{,}32\right)\cdot 10^{-8} = \left(696{,}48 + 1263{,}42\right)\cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$1959{,}9\cdot 10^{-8}\text{см}^4 = 1959{,}9\cdot 10^{-8}\text{см}^4.$$

б) Согласно формуле (2.11)

$$J_{x_0 y_0} = \frac{\left(J_{x_c} - J_{y_c}\right)}{2}\sin 2\alpha_0 + J_{x_c y_c}\cos 2\alpha_0 = 0;$$

$$J_{x_0 y_0} = \frac{\left(866{,}6 - 1093{,}32\right)}{2}\sin 2\left(-33^{\circ}10'\right) + \left(-259{,}82\right)\cos 2\left(-33^{\circ}10'\right) = 0;$$

$$J_{x_0 y_0} = 104 - 104 = 0.$$

Проверка показывает, что главные моменты инерции определены правильно.

2.1. Задания для определения главных моментов инерции

а) Для заданного поперечного сечения (табл. 2.1), состоящего из швеллера и равнополочного уголка или из швеллера и двутавра (табл. 2.2), требуется:

1. Определить положение центра тяжести;
2. Найти осевые и центробежный моменты инерции относительно осей x_C и y_C, проходящих через центр тяжести сечения;
3. Определить положение главных осей инерции x_0 и y_0;
4. Найти главные моменты инерции относительно главных осей x_0 и y_0;
5. Вычертить сечение в выбранном масштабе и указать на нем все размеры в числах и все оси;
6. Сделать проверочные расчеты.

б) Для заданного поперечного сечения (табл. 2.3) требуется:

1. Определить положение центра тяжести;
2. Найти осевые и центробежный моменты инерции относительно осей x_C и y_C, проходящих через центр тяжести сечения;
3. Определить положение главных осей инерции x_0 и y_0;

4. Найти главные моменты инерции относительно главных осей x_0 и y_0;

5. Сделать проверочные расчеты.

Таблица 2.1

Номер варианта	Тип сечения	Швеллер №	Равнобокий уголок, мм	Двутавр №
1	I	14	80×80×8	12
2	II	16	80×80×6	14
3	III	18	90×90×8	16
4	IV	20	90×90×7	18
5	V	22	90×90×6	20а
6	VI	24	100×100×8	20
7	VII	27	100×100×10	22а
8	VIII	30	100×100×12	22
9	IX	33	125×125×10	24а
10	X	36	125×125×12	24

Таблица 2.2

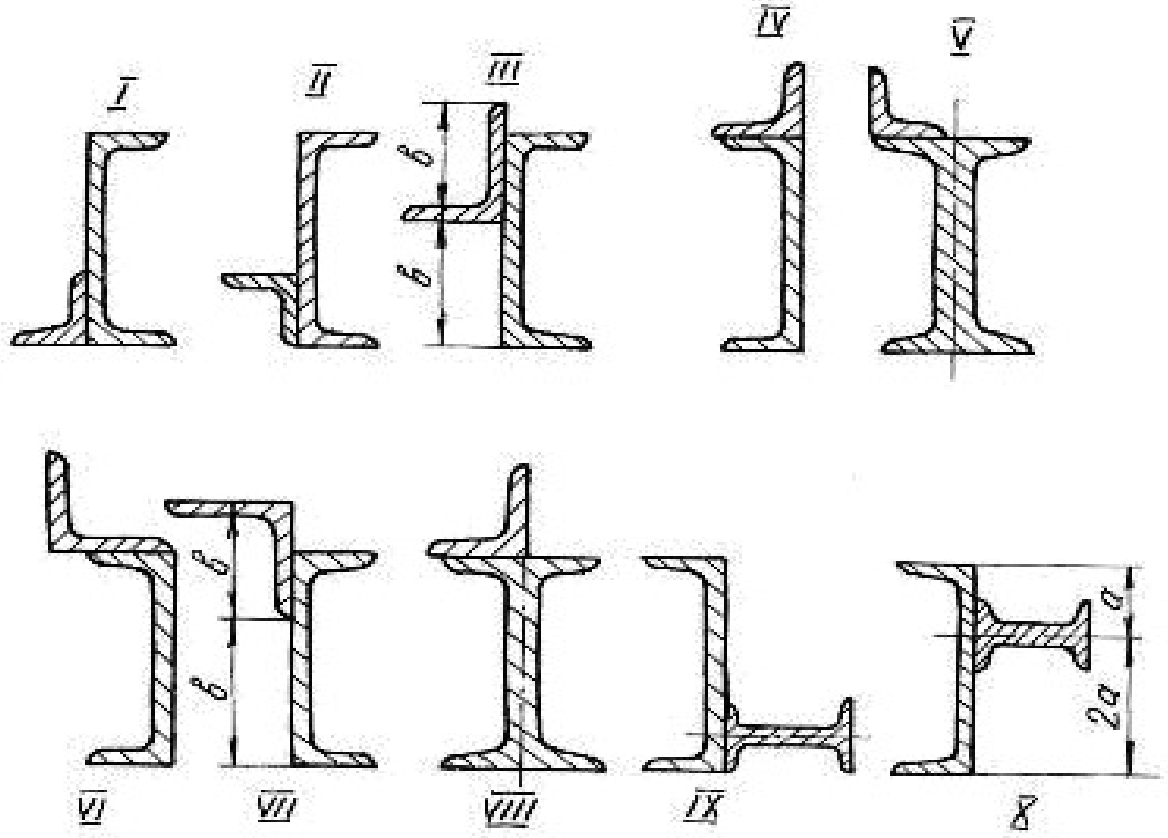
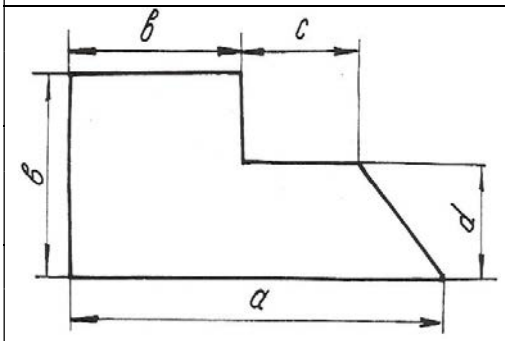
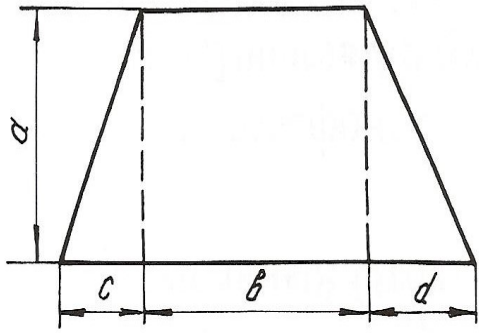
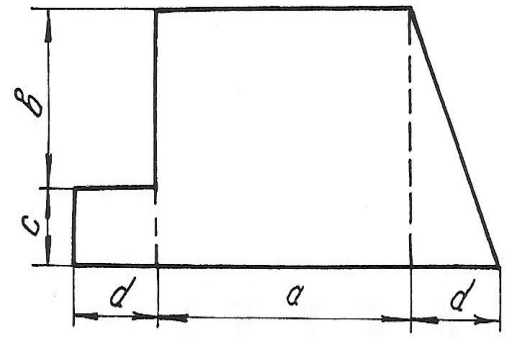
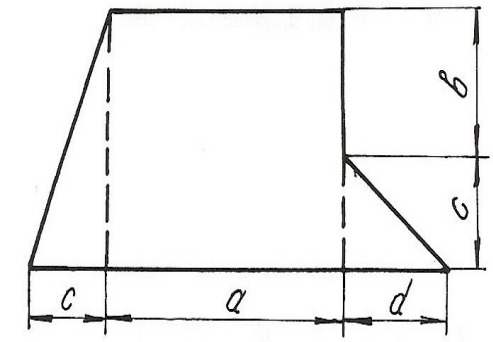
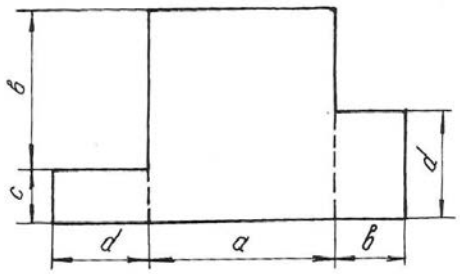
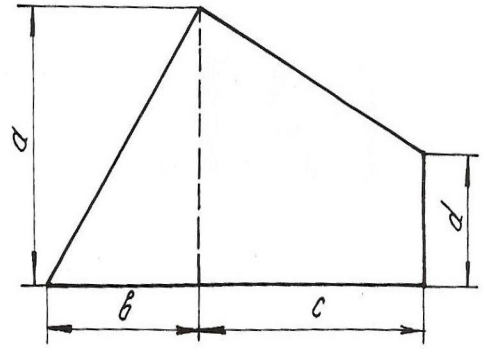
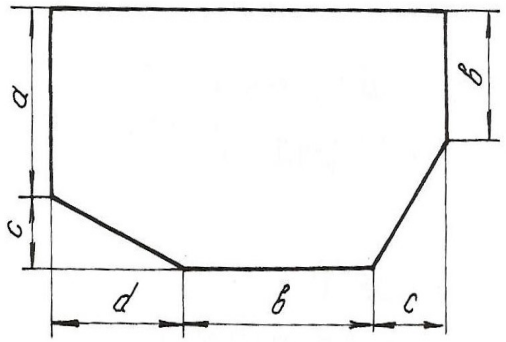
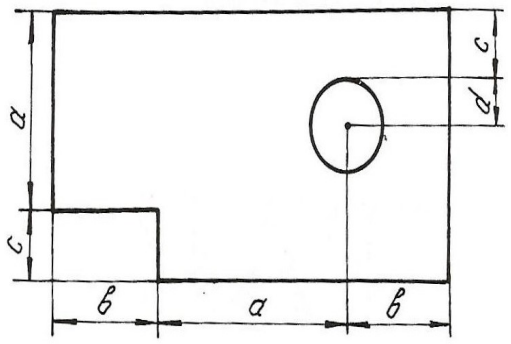


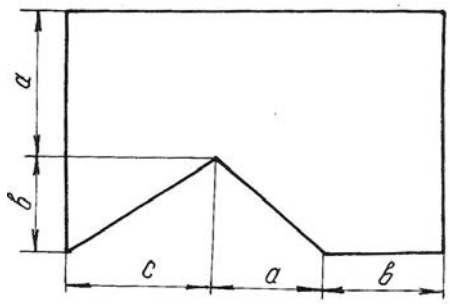
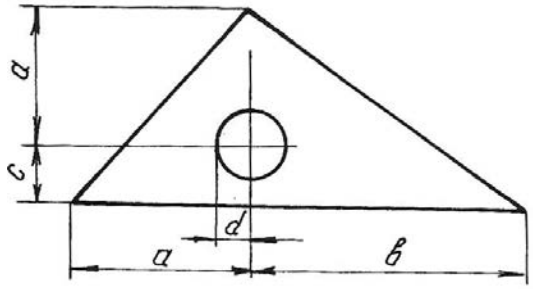
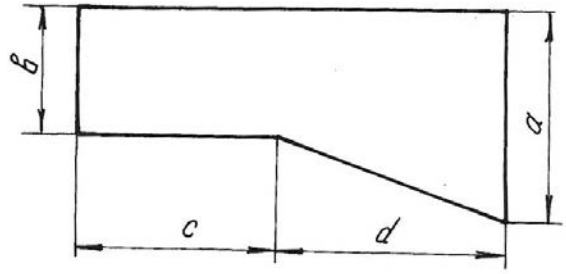
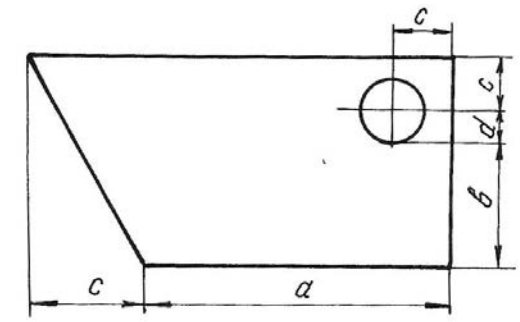
Таблица 2.3

Вид поперечного сечения	Номер варианта	*a*, см	*в*, см	*c*, см	*d*, см
	1	12	6	4	2
	2	16	10	2	6
	3	9	6	1	3
	4	6	9	3	5
	5	7	8	6	9
	6	8	6	4	6
	7	9	5	2	3
	8	6	4	3	4
	9	5	2	4	4
	10	4	3	2	5
	11	7	5	3	2
	12	9	4	4	6
	13	7	5	3	3
	14	6	3	6	4
	15	4	2	5	6

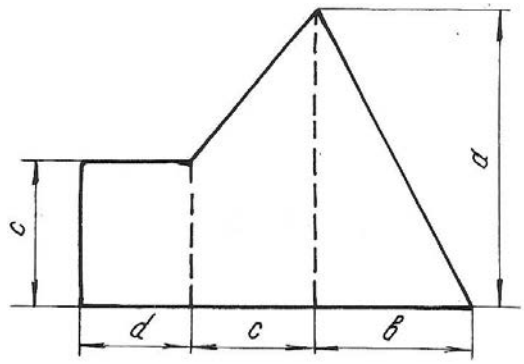
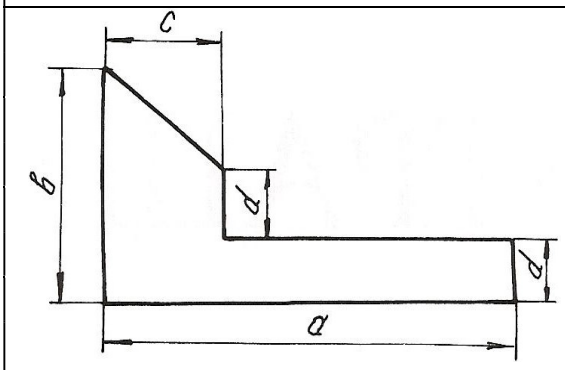
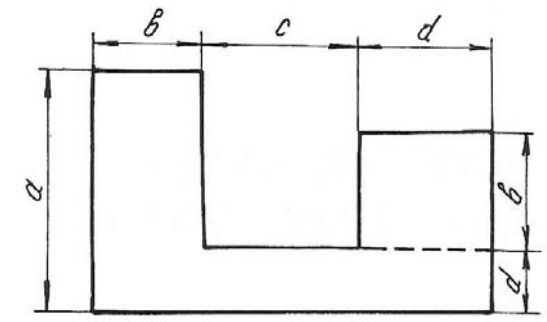
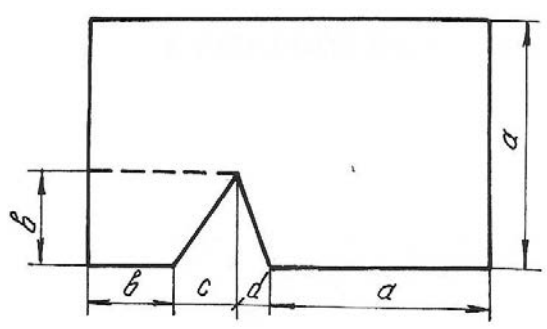
Продолжение табл. 2.3

Вид поперечного сечения	Номер варианта	*a*, см	*в*, см	*c*, см	*d*, см
	16	12	9	4	6
	17	18	12	5	8
	18	14	6	6	7
	19	15	19	3	4
	20	12	10	6	6
	21	16	8	9	4
	22	20	9	8	12
	23	14	14	12	6
	24	24	20	10	4
	25	10	8	4	3
	26	11	9	6	6
	27	13	12	5	9
	28	15	10	5	6
	29	8	4	8	12
	30	8	5	2	2
	31	9	4	1	2
	32	6	9	3	3
	33	10	6	4	1
	34	12	8	5	1

Продолжение табл. 2.3

Вид поперечного сечения	Номер варианта	*a*, см	*в*, см	*c*, см	*d*, см
	35	6	6	3	4
	36	9	4	6	5
	37	10	6	12	9
	38	12	9	10	6
	39	12	10	3	1
	40	10	12	3	2
	41	9	12	3	1
	42	8	10	3	2
	43	20	12	4	4
	44	18	10	3	5
	45	12	9	5	6
	46	15	12	6	4
	47	10	4	3	1
	48	12	6	4	2
	49	14	5	5	3
	50	16	6	4	1

Окончание табл. 2.3

Вид поперечного сечения	Номер варианта	*a*, см	*в*, см	*c*, см	*d*, см
	51	12	10	6	3
	52	18	12	4	9
	53	20	14	8	6
	54	22	16	10	4
	55	30	12	12	4
	56	24	14	10	6
	57	18	16	9	5
	58	12	10	8	3
	59	9	6	2	4
	60	6	5	4	2
	61	10	8	3	8
	62	12	9	4	1
	63	20	10	6	3
	64	12	6	4	3
	65	15	9	3	6
	66	18	10	9	6

Глава 3
ДЕФОРМАЦИЯ КРУЧЕНИЯ ВАЛА

Деформация кручения возникает при действии на вал пар сил, действующих в плоскостях, перпендикулярных к его продольной оси. При расчетах вала на кручение выполняются следующие условия прочности и жесткости:

$$\tau_{max} \le \tau_{adm}, \quad \varphi_{max} \le \varphi_{adm},$$

где τ_{max} – максимальное касательное напряжение, φ_{max} – максимальный угол закручивания вала.

Для определения максимального касательного напряжения и максимального угла закручивания необходимо иметь представление о том, как изменяется величина крутящего момента по длине вала. Текущие значения крутящих моментов определяются графиками их изменения, называемыми эпюрами. Вал по длине делится на участки вертикальными линиями, проведенными через те сечения, где приложены моменты пар сил. На каждом участке крутящий момент имеет постоянное значение и равен алгебраической сумме моментов относительно продольной оси, приложенных слева от сечения, проведенного условно на данном участке, или же приложенных справа от этого сечения.

Правило знаков: момент в сечении считается положительным, если, смотря на торцевое крайнее правое сечение вала, момент направлен по ходу часовой стрелки. Параллельно продольной оси вала проводится нулевая линия, от которой положительные моменты откладываются вверх, отрицательные – вниз в выбранном масштабе. Эпюра штрихуется вертикальными линиями. Диаметр сечения вала определяется из условия прочности

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{W_p} \le \tau_{adm}, \tag{3.1}$$

где T_{max} – максимальный крутящий момент из эпюры T; $W_p = \dfrac{J_p}{d/2} = \dfrac{\left(\pi d^4/32\right)}{\left(d/2\right)} = \dfrac{\pi d^3}{16}$ – полярный момент сопротивления кручению поперечного сечения.

Исходя из условия прочности $\dfrac{\pi d^3}{16} \ge \dfrac{T_{max}}{\tau_{adm}}$, можно определить диаметр вала

$$d \ge \sqrt[3]{\frac{16T_{max}}{\left(\pi\tau_{adm}\right)}} \quad . \tag{3.2}$$

Углы закручивания вала на отдельных участках определяются по формуле:

$$\varphi = \frac{Tl}{GJ_p}, \tag{3.3}$$

где T − крутящий момент на рассматриваемом участке вала, взятый из эпюры моментов; l - длина участка вала; GJ_p − жесткость вала при кручении; G − модуль сдвига; $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ − полярный момент инерции поперечного сечения вала.

При построении эпюры углов закручивания вала необходимо помнить, что полный угол закручивания равен алгебраической сумме углов закручивания вала на отдельных участках. Значения углов закручивания в промежуточных сечениях определяются по формуле:

$$\alpha_{\text{прав}} = \alpha_{\text{лев}} + \varphi, \tag{3.4}$$

где $\alpha_{\text{лев}}$ − суммарный угол закручивания всех участков, которые находятся слева от рассматриваемого участка; φ − угол закручивания на данном участке.

Для определения максимального относительного угла закручивания определяют углы для каждого участка по формуле:

$$\theta = \frac{\varphi}{l}, \tag{3.5}$$

где l − длина рассматриваемого участка.

Пример 3.1.

К стальному валу приложены три известных момента: T_1=1100 Н·м, T_2=1400 Н·м, T_3= 1800 Н·м, a = 1,1 м, b = 1,4 м, c = 1,8 м (рис. 3.1).

Требуется:

1. Установить, при каком значении момента X угол закручивания правого концевого сечения вала равен нулю.

2. Построить эпюру крутящих моментов.

3. При заданном значении τ_{adm} определить диаметр вала из расчета на прочность и округлить его величину до ближайшего большого, соответственно равного 30, 35,40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм.

4. Построить эпюру углов закручивания.

5. Найти наибольший относительный угол закручивания и проверить вал на жесткость при $\theta_{\text{adm}} = 1{,}5\,\text{град}/\text{м}$.

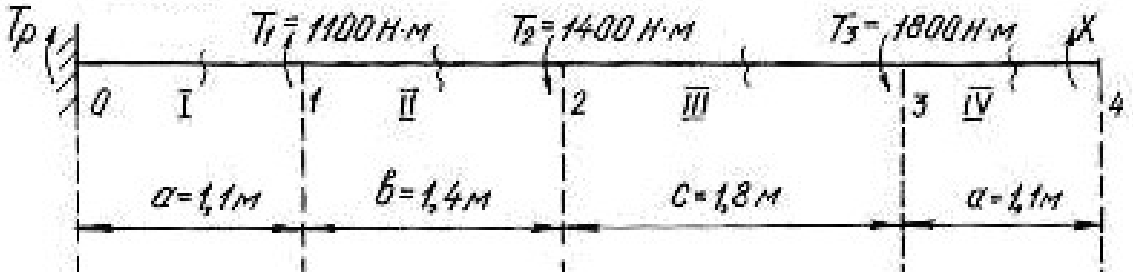


Рис. 3.1.

Решение.

1. Задача является статически неопределимой, так как невозможно определить из одного уравнения равновесия два неизвестных момента T_p и X. Для решения составим одно уравнение статики и одно уравнение совместности деформации. Уравнение статики представляем в виде уравнения моментов относительно продольной оси вала

$$\sum T = T_p + T_1 - T_2 - T_3 + X = 0 .$$

Угол закручивания правого концевого сечения может быть выражен как алгебраическая сумма взаимных углов закручивания сечений отдельных участков под действием каждого из моментов в отдельности

$$\sum \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 = 0 ,$$

где φ_1 – угол закручивания вала на участке 0-1 под действием момента T_1; φ_2 – угол закручивания вала на участке под действием момента T_2; φ_3 – угол закручивания вала на участке под действием момента T_3; φ_4 – угол закручивания вала на участке 3-4 под действием неизвестного момента *X*.

При этом

$$\varphi_1 = \frac{T_1 a}{GJ_p}; \quad \varphi_2 = -\frac{T_2 (a+b)}{GJ_p}; \quad \varphi_3 = -\frac{T_3 (a+b+c)}{GJ_p}; \quad \varphi_4 = \frac{X(2a+b+c)}{GJ_p}.$$

$$\sum \varphi = \frac{T_1 a}{GJ_p} - \frac{T_2 (a+b)}{GJ_p} - \frac{T_3 (a+b+c)}{GJ_p} + \frac{X(2a+b+c)}{GJ_p} =$$

$$= T_1 a - T_2 (a+b) - T_3 (a+b+c) + X(2a+b+c) = 0.$$

Подставив данные, получим

$$1100 \cdot 1{,}1 - 1400 \cdot 2{,}5 - 1800 \cdot 4{,}3 + X \cdot 5{,}4 = 0 ;$$

откуда $X = \dfrac{-1210 + 3500 + 7740}{5{,}4} = 1857$ Н·м.

Реактивный момент находим из уравнения статики:

$$T_p = -T_1 + T_2 + T_3 - X;$$

$$T_p = -1100 + 1400 + 1800 - 1857 = 243 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Для построения эпюры моментов (рис. 3.2) определяем значения мо-

ментов методом сечений.

В сечении IV-IV $T_{IV} = 1857$ Н·м.

В сечении III-III $T_{III} = 1857 - 1800 = 57$ Н·м.

В сечении II-II $T_{II} = 1857 - 1800 - 1400 = -1343$ Н·м.

В сечении I-I $T_{I} = 1857 - 1800 - 1400 + 1100 = -243$ Н·м.

3. Найдем полярный момент инерции сечения

$$W_P \geq \frac{|T_{max}|}{\tau_{adm}} \geq \frac{1857}{60 \cdot 10^6} \geq 30{,}95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

где $\tau_{adm} = 60$ МПа; $T_{max} = 1857$ Нм.

Из соотношения $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$ найдем диаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_P}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 30{,}95 \cdot 10^{-6}}{3{,}14}} = 5{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 55 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр вала равным 60 мм.

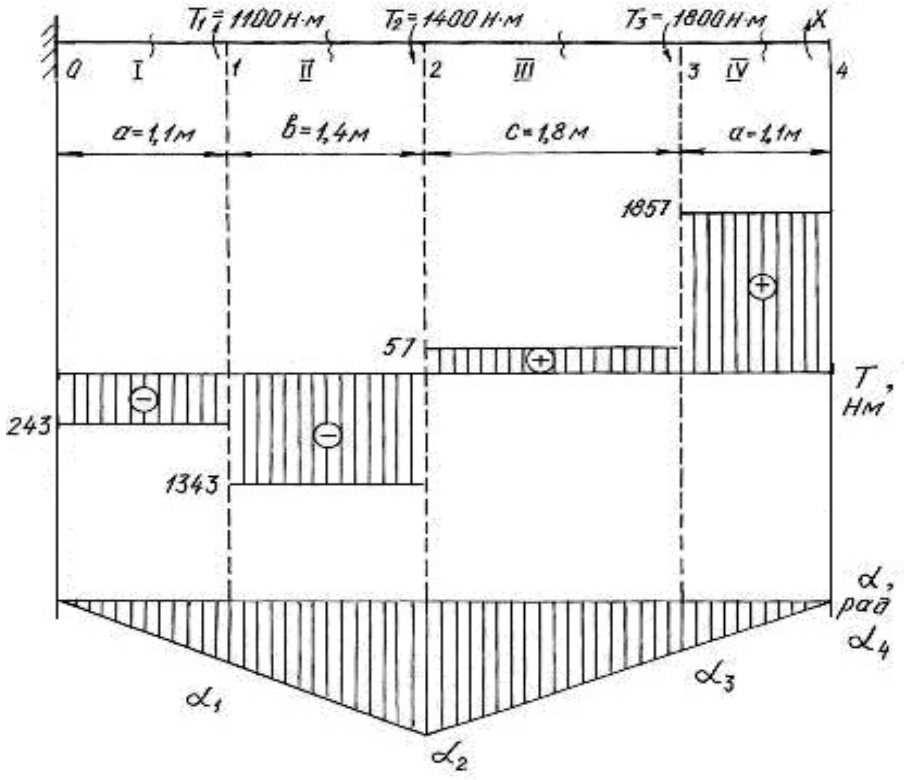


Рис. 3.2.

4. Углы закручивания вала на участках находим по формуле (3.3). Для этого сначала найдем J_p

$$J_p = \frac{3{,}14 \cdot 6^4}{32} = 127{,}2 \text{ см}^4 = 127{,}2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

$$\varphi_{\text{I}} = \frac{T_{\text{I}} a}{G J_p} = -\frac{243 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}1}{8 \cdot 10^4 \cdot 127{,}2 \cdot 10^{-8}} = -0{,}0026 \text{ рад};$$

$$\varphi_{\text{II}} = \frac{T_{\text{II}} b}{G J_p} = -\frac{-1343 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}4}{8 \cdot 10^4 \cdot 127{,}2 \cdot 10^{-8}} = -0{,}0185 \text{ рад};$$

$$\varphi_{\text{III}} = \frac{T_{\text{III}} c}{G J_p} = \frac{57 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}8}{8 \cdot 10^4 \cdot 127{,}2 \cdot 10^{-8}} = 0{,}0010 \text{ рад};$$

$$\varphi_{\text{IV}} = \frac{T_{\text{IV}} a}{G J_p} = \frac{1857 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}1}{8 \cdot 10^4 \cdot 127{,}2 \cdot 10^{-8}} = 0{,}0200 \text{ рад}.$$

В месте жёсткой заделки в сечении 0 вал неподвижен. По формуле (3.4), находим угол закручивания вала в сечениях 1, 2, 3, 4:

$\alpha_1 = \alpha_0 + \varphi_{\text{I}} = 0 - 0{,}0026$ рад;

$\alpha_2 = \alpha_1 + \varphi_{\text{II}} = -0{,}0026 - 0{,}0185 = -0{,}0211$ рад;

$\alpha_3 = \alpha_2 + \varphi_{\text{III}} = -0{,}0211 + 0{,}001 = -0{,}0201$ рад;

$\alpha_4 = \alpha_3 + \varphi_{\text{IV}} = -0{,}0201 + 0{,}02 = -0{,}0001 \approx 0$ рад.

Строим эпюру углов закручивания (см. рис.3.2). Относительный угол закручивания на каждом участке можно определить по формуле (3.5):

$$\theta_{\text{I}} = \frac{\varphi_{\text{I}}}{1{,}1} = -\frac{0{,}0026}{1{,}1} = -0{,}0023 \text{ рад/м};$$

$$\theta_{\text{II}} = \frac{\varphi_{\text{II}}}{1{,}4} = -\frac{0{,}0185}{1{,}4} = -0{,}0132 \text{ рад/м};$$

$$\theta_{\text{III}} = \frac{\varphi_{\text{III}}}{1{,}8} = \frac{0{,}0010}{1{,}8} = 0{,}0006 \text{ рад/м};$$

$$\theta_{\text{IV}} = \frac{\varphi_{\text{IV}}}{1{,}1} = \frac{0{,}0200}{1{,}1} = 0{,}0182 \text{ рад/м}.$$

5. Наибольшим является относительный угол закручивания на участке 3-4

$$\theta_{\max} = 0{,}0182 \text{ рад/м} = 0{,}0182 \frac{180^\circ}{\pi} = 1{,}04 \text{ град/м}.$$

Таким образом, $\theta_{\max} = 1{,}04$ град/м $< \theta_{\text{adm}} = 1{,}5$ град/м, т. е. условие жесткости выполняется.

Пример 3.2.

Шкив двухколодочного тормоза крана, имеющий диаметр $D = 300$ мм, жестко крепится на стальном валу диаметром $d = 30$ мм (рис. 3.3). Определить наибольшие напряжения кручения в сечении вала, если сила нажатия на колодки тормозного шкива Q = 820 Н, коэффициент трения скольжения между колодками и шкивом $f = 0{,}4$. Определить угол закручивания вала, если $l = 400$ мм.

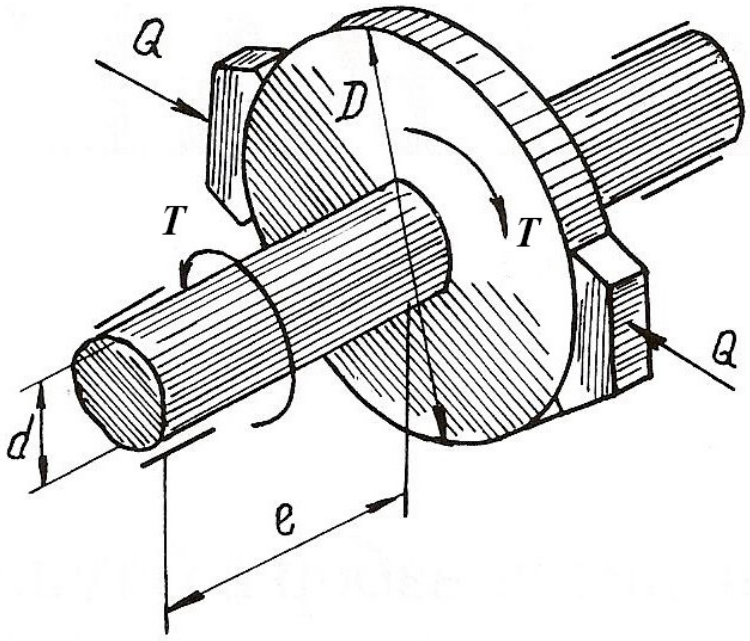


Рис. 3.3.

Решение.

Окружное усилие на тормозном шкиве равно силе трения, возникающей между колодками и шкивом

$$F = Qf = 820 \cdot 0{,}4 = 328 \text{ Н}.$$

Крутящий момент на тормозном шкиве

$$T = FD = 328 \cdot 30 \cdot 10^{-2} = 98{,}4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полярный момент сопротивления и полярный момент инерции сечения вала равны

$$W_p = \frac{\pi}{16} d^3 = \frac{\pi}{16}\left(3 \cdot 10^{-2}\right)^3 = 5{,}3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$J_p = \frac{\pi}{32} d^4 = \frac{\pi}{32}\left(3 \cdot 10^{-2}\right)^4 = 7{,}96 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Наибольшее касательное напряжение в сечении определяем по формуле (3.1)

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_P} = \frac{98,4}{5,3 \cdot 10^{-6}} = 18,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 18,5 \text{ МПа}.$$

Угол закручивания вала тормозного шкива

$$\varphi = \frac{Tl}{GJ_p} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{98,4 \cdot 0,4}{8 \cdot 10^{-10} \cdot 7,96 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 0,36^\circ,$$

следовательно $\varphi = 22'$.

Пример 3.3.

К стальному валу, оба конца которого защемлены (рис. 3.4, *а*), приложен крутящий момент $T = 440$ Н·м. Определить реактивные моменты в опорах A и B и построить эпюру крутящих моментов при $l_1 = 0,2$ м, $l = 0,8$ м.

Решение.

Обозначим реактивные моменты в защемлении через T_A и T_B. Из статики знаем уравнение равновесия

$$-T_A + T - T_B = 0 \text{ или } T_A + T_B = T$$

Далее составим уравнение совместности деформаций. Для этого отбросим (мысленно) защемление правого конца вала и заменим его действием на вал неизвестным реактивным моментом T_B (рис. 3.4, *б*).

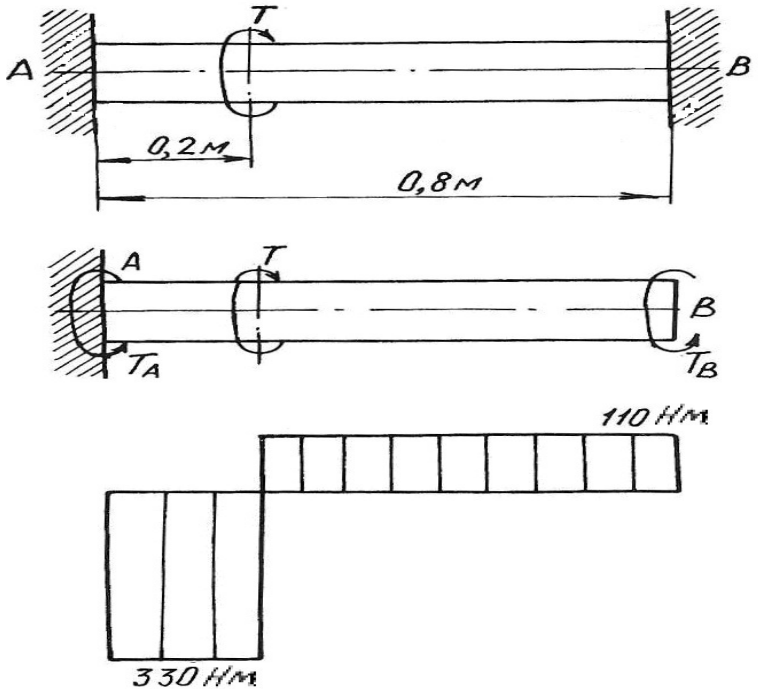


Рис. 3.4.

Величину момента T_B определим из условия, что угол закручивания правого крайнего сечения от действия моментов T и T_A равен нулю, так как это сечение вследствие защемления неподвижно. Угол закручивания правого освобожденного сечения вала на основе принципа независимости действия сил можно определить как сумму двух слагаемых

$$\varphi = \varphi' + \varphi'',$$

где φ' и φ'' – углы закручивания правого освобожденного сечения вала, найденные отдельно от моментов T и T_B, при этом $\varphi' = \dfrac{Tl_1}{GJ_p}$; $\varphi'' = -\dfrac{T_B l}{GJ_p}$.

Знак минус в выражении φ'' взят потому, что моменты T и T_B противоположны по направлению.

Полный угол закручивания правого сечения равен нулю, поэтому

$$\varphi = \varphi' + \varphi'' = \frac{Tl_1}{GJ_p} - \frac{T_B l}{GJ_p} = 0,$$

откуда $T_B = \dfrac{Tl_1}{l} = \dfrac{440 \cdot 0{,}2}{0{,}8} = 110$ Н·м.

Из уравнения статики определим момент T_A

$$T_A = T - T_B = 440 - 110 = 330 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эпюра крутящих моментов приведена на рис. 3.4, *в*.

3.1. Задания для расчета валов на кручение

К стальному валу приложены три известных момента $T_1,\ T_2,\ T_3$.

Требуется:

1. Установить, при каком значении момента X угол закручивания правого концевого сечения вала равен нулю.

2. Построить эпюру крутящих моментов.

3. При заданном значении τ_{adm} определить диаметр вала из расчета на прочность и округлить его значение до ближайшего равного: 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм.

4. Построить эпюру углов закручивания, найти наибольший относительный угол закручивания и проверить вал на жесткость при $\theta_{adm} = 1{,}5$ град/м.

Данные для расчета приведены на рис. 3.5 и в табл. 3.1.

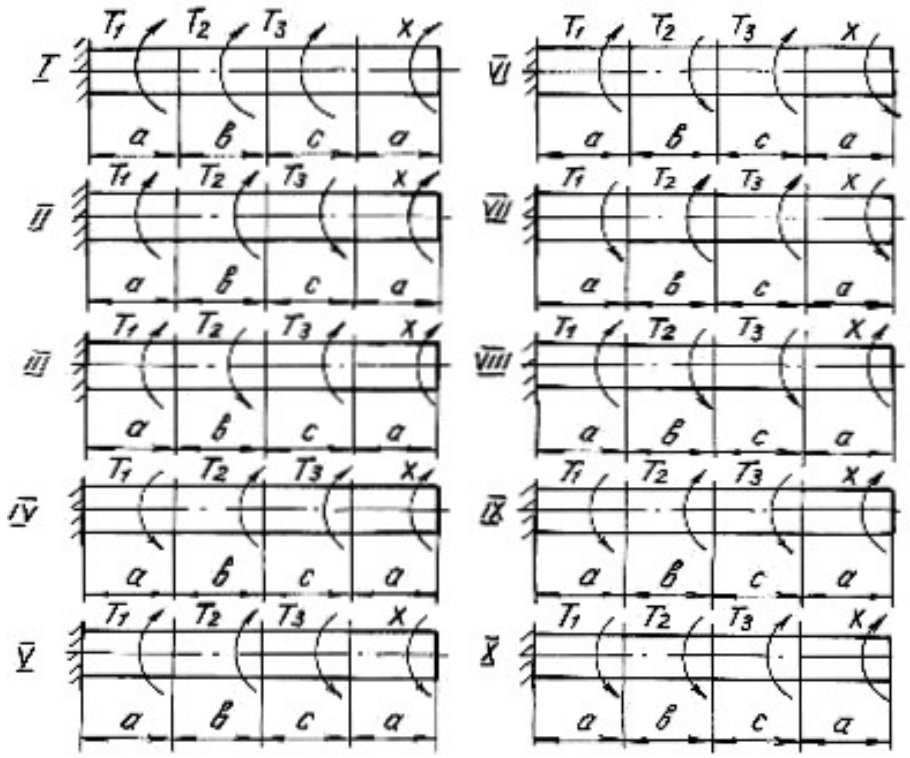


Рис. 3.5.

Таблица 3.1

Номер варианта	Номер схемы	Расстояние, м			Момент, Н·м			τ_{adm}, МПа
		a	*b*	*c*	T_1	T_2	T_3	
1	I	1,1	1,2	1,1	1100	1000	1200	35
2	II	1,2	1,3	1,2	1200	1100	1000	40
3	III	1,3	1,4	1,3	1300	1200	1100	45
4	IV	1,4	1,5	1,4	1400	1300	1200	50
5	V	1,5	1,6	1,5	1500	1400	1300	55
6	VI	1,6	1,7	1,6	1600	600	1500	60
7	VII	1,7	1,8	1,7	1700	700	1600	65
8	VIII	1,8	1,9	1,8	1800	800	1700	70
9	IX	1,9	2,0	1,9	1900	900	1800	75
10	X	2,0	2,1	2,0	2000	1000	2100	80

Глава 4
ДЕФОРМАЦИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА БАЛОК

Деформация поперечного изгиба может возникнуть от любых нагрузок, если линии действия этих нагрузок находятся в плоскости, проходящей через продольную ось балки. Если в такой плоскости располагается одна из главных осей инерции поперечного сечения, то возникает деформация плоского изгиба. От действия внешних нагрузок в поперечных сечениях балок возникают внутренние силовые факторы – поперечные силы и изгибающие моменты. Для их нахождения пользуемся методом сечений и, изучая равновесие сил, приводим внешние нагрузки к центру тяжести поперечного сечения.

Поперечная сила Q_x в любом сечении равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, приложенных с одной стороны от рассматриваемого сечения, на ось, перпендикулярную к продольной оси балки.

Изгибающий момент M_x в любом сечении равен алгебраической сумме моментов всех сил, действующих с одной стороны от рассматриваемого сечения балки, относительно центра тяжести сечения.

Правило знаков для Q_x и M_x:

1) поперечная сила считается положительной, если она сдвигает левую часть балки от сечения вверх, а правую часть балки вниз;

2) изгибающий момент в сечении считается положительным, если он изгибает балку выпуклостью вниз; при изгибе балки выпуклостью вверх изгибающий момент считается отрицательным.

Уравновесить момент внешних сил может только момент внутренних сил упругости, который образован силами, направленными нормально к сечению балки. Поперечная сила может быть уравновешена силой, которая является равнодействующей внутренних сил упругости, расположенных в плоскости сечения балки.

Таким образом, нормальные напряжения, возникающие в поперечных сечениях балок, зависят от величины изгибающих моментов в этих сечениях, а касательные напряжения – от величины поперечных сил в этих сечениях. Эту зависимость в общем виде можно записать

$$\sigma = f_1(M_x); \quad \tau = f_2(Q_x)$$

Таким образом, для того, чтобы определить напряжения в поперечных сечениях, необходимо знать законы изменения Q_x и M_x по длине балок. Для этого строят два графика, называемых эпюрами поперечных сил и изгибающих моментов.

Порядок построения эпюр сводится к следующему:

1. Заданная балка вычерчивается в выбранном масштабе с указанием размеров и нагрузок;

2. С помощью уравнений равновесия статики определяются реакции опор с обязательной последующей проверкой;

3. Балка разбивается на отдельные участки. Каждый участок имеет свой закон изменения нагрузки;

4. Для каждого участка записываются уравнения для определения Q_x и M_x;

5. Вычисляют ординаты Q_x и M_x по составленным для отдельных участков уравнениям;

6. Строят в принятом масштабе эпюры Q_x и M_x.

Положительные значения найденных величин откладываются выше нулевой линии эпюры, а отрицательные − ниже ее.

Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов можно выполнить, применяя следующие контрольные правила для построения эпюр:

1. На концевых шарнирных опорах Q_x равны реакциям, а M_x равны нулю, если на опорах не приложены пары с моментами *M.*

2. На участках балки, где отсутствует распределенная нагрузка, поперечная сила постоянна, а изгибающий момент изменяется по линейному закону.

3. На участках, где приложена равномерно распределенная нагрузка, эпюра Q_x изменяется по закону прямой наклонной линии, а эпюра M_x − по закону квадратичной параболы. В том сечении, где эпюра Q_x пересекается с нулевой линией, на эпюре M_x наблюдается экстремальное значение момента (вершина параболы).

4. На участках, где приложена нагрузка, изменяющаяся по закону треугольника, эпюра Q_x изменяется по закону квадратичной параболы, а эпюра M_x − по закону кубической параболы.

5. В тех сечениях, где приложены сосредоточенные силы (включая и реакции), на эпюре Q_x наблюдаются скачки (перепады) на величину этих сил, а на эпюре M_x − переломы смежных линий.

6. В тех сечениях, где приложены пары с моментами *M*, на эпюре M_x наблюдаются скачки на величину этих моментов.

7. На свободном конце консольной балки поперечная сила Q_x равна нулю, если в этом месте не приложена сосредоточенная сила; и изгибающий момент M_x равен нулю, если в этом месте не приложена пара с моментом *M.*

8. В жесткой заделке консольной балки Q_x равна реакции, а изгибающий момент M_x равен моменту заделки.

Нормальные напряжения при изгибе определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M_x}{J_{\text{н.о.}}} y, \qquad (4.1)$$

где M_x − изгибающий момент в сечении; $J_{\text{н.о.}}$ − момент инерции сечения относительно нейтральной оси поперечного сечения (нейтральная ось – это ось, в любой точке которой нормальные напряжения всегда равны нулю); y − расстояние до рассматриваемого волокна от нейтральной оси.

Касательные напряжения при изгибе могут быть определены по формуле Д. И. Журавского:

$$\tau = \frac{Q_x S_{\text{н.о.}}}{J_{\text{н.о.}} b}, \tag{4.2}$$

где Q_x − поперечная сила в сечении; $S_{\text{н.о.}}$ − статический момент площади отсеченной части поперечного сечения выше уровня, на котором определяются касательные напряжения относительно нейтральной оси; b − ширина сечения на уровне, для которого определяются напряжения.

Подбор поперечного сечения балки производится на основании следующего условия прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{\text{н.о.}}} \le \sigma_{\text{adm}}, \tag{4.3}$$

откуда

$$W_{\text{н.о.}} \ge \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}}, \tag{4.4}$$

где $M_{\max}$ − максимальный изгибающий момент, взятый из эпюры M_x; $W_{\text{н.о.}}$ − момент сопротивления поперечного сечения балки изгибу относительно нейтральной оси; σ_{adm} − допускаемое нормальное напряжение для материала балки.

После подбора поперечного сечения производится полная проверка балки на прочность по следующим напряжениям:

а) по рабочим нормальным напряжениям

$$\sigma_{\text{раб.}} = \frac{M_{\max}}{W_{\text{н.о.}}} \le \sigma_{\text{adm}},$$

где $W_{\text{н.о.}}$ − момент сопротивления выбранного поперечного сечения.

б) по максимальным касательным напряжениям

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\text{н.о.}}}{J_{\text{н.о.}} b} \le \tau_{\text{adm}},$$

где $Q_{\max}$ − наибольшая поперечная сила, взятая из эпюры Q_x; $S_{\text{н.о.}}$ − статический момент части площади выбранного поперечного сечения, находящейся выше или ниже нейтральной оси, относительно этой оси; b − ширина сечения на уровне нейтральной оси; $J_{\text{н.о.}}$ − момент инерции выбранного сечения относительно нейтральной оси.

в) по главным напряжениям:

проверка проводится для балок, ширина сечений которых не постоянна. При этой проверке на основании эпюр выбирается опасное сечение балки, в котором одновременно значения Q_x и M_x большие. По формулам (4.1) и (4.2) для этого сечения строят эпюры нормальных и касательных напряжений, а затем определяют главные напряжения для характерных волокон сечения по его высоте, пользуясь формулой:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}). \tag{4.5}$$

Для стальных балок определяют расчётное (эквивалентное) напряжение для верхних (нижних), средних, переходных волокон (где резко изменяется ширина сечения) по III или IV теориям прочности.

Проверка прочности сводится к рассмотрению выполнения следующих условий прочности:

$$\sigma_p^{III} = \sigma_1 - \sigma_2 \le \sigma_{adm}, \tag{4.6}$$

$$\sigma_p^{IV} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \le \sigma_{adm}. \tag{4.7}$$

4.1. Расчет балки на прочность

Пример 4.1.

Для расчетной схемы с указанными размерами и нагрузками (рис. 4.1.) построить по длине балки эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

Подобрать поперечное сечение балки в двух вариантах:

а) прямоугольного профиля, полагая, что балка деревянная при $\sigma_{adm} = 10$ МПа; соотношение между размерами сечения принять равным $b:h = 1:2$;

б) двутаврового профиля (см. табл. П.1), материал сталь при $\sigma_{adm} = 160$ МПа, $\tau_{adm} = 96$ МПа.

в) провести полную проверку стальной балки на прочность.

Решение.

Определение опорных реакций.

Расчёт балки следует начинать с расстановки и определения величины опорных реакций. Величина и направление опорных реакций и реактивных моментов могут быть определены из решения уравнений равновесия. Для плоской

системы параллельных сил (поперечный плоский изгиб) условия равновесия описываются двумя уравнениями статики: $\sum M_A = 0;\ \sum M_B = 0$.

Рассматриваемая балка (см. рис. 4.1) имеет две шарнирные опоры. В опоре *A* (шарнирно-подвижной) возникает одна реакция R_A , в опоре *B* (шарнирно-неподвижной) направление реакции в общем случае неизвестно, поэтому разложим её на две составляющие: H_B − горизонтальную и R_B − вертикальную. Все нагрузки действуют перпендикулярно продольной оси балки, поэтому из уравнения проекций на горизонтальную ось *x* получается, что составляющая $H_B = 0$. Запишем уравнения моментов сил относительно опоры *B*

$$\sum M_B = 0, \qquad M_1 - R_A \cdot 5 + F \cdot 3 - M_2 + q \cdot 3 \cdot 0{,}5 = 0 .$$

Решаем уравнение относительно R_A

$$R_A = \frac{M_1 + F \cdot 3 - M_2 + q \cdot 3 \cdot 0{,}5}{5} = \frac{30 + 60 \cdot 3 - 50 + 20 \cdot 1{,}5}{5} = 38 \text{ кН} .$$

Запишем уравнения моментов сил относительно опоры *A*

$$\sum M_A = 0, \quad R_B \cdot 5 - q \cdot 3 \cdot 4{,}5 - M_2 - F \cdot 2 + M_1 = 0 .$$

Решаем уравнение относительно R_B

$$R_B = \frac{q \cdot 3 \cdot 4{,}5 + M_2 + F \cdot 2 - M_1}{5} = \frac{20 \cdot 3 \cdot 4{,}5 + 50 + 60 \cdot 2 - 30}{5} = \frac{410}{5} = 82 \text{ кН}.$$

Для проверки правильности вычисления опорных реакций составим уравнение проекций всех сил на вертикальную ось *y*:

$$\sum y = 0, \quad R_A - F - q \cdot 3 + R_B = 0; \quad 38 - 60 - 60 + 82 = 0, \ \ 120 - 120 = 0 .$$

Последнее уравнение обращается в тождество, следовательно, величина реакций и их направление определены правильно.

Если в результате решения уравнения реакция имеет отрицательное значение, то следует изменить направление реакции на противоположное и в дальнейших расчётах считать её положительной.

После определения опорных реакций можно перейти к построению эпюр изгибающих моментов и поперечных сил, предварительно разбив балку по длине на участки, в пределах которых закон изменения внешних нагрузок остаётся постоянным.

Границы участков располагаются в местах приложения моментов пар сил, сосредоточенных сил, начала или конца распределенной нагрузки.

Участки нумеруются слева или справа от концевых сечений балки. Рассчитываемая балка имеет пять участков I - V.

При составлении аналитических выражений для Q_x и M_x в пределах I-го участка проведём сечение с абсциссой x_1 и рассмотрим равновесие левой части консоли. На эту часть балки действует пара сил с моментом $M_1 = 30$ кН · м, поэтому поперечная сила $Q_\text{I} = 0$, а изгибающий момент в любом сечении будет постоянным $M_\text{I} = -M_1 = -30$ кН · м.

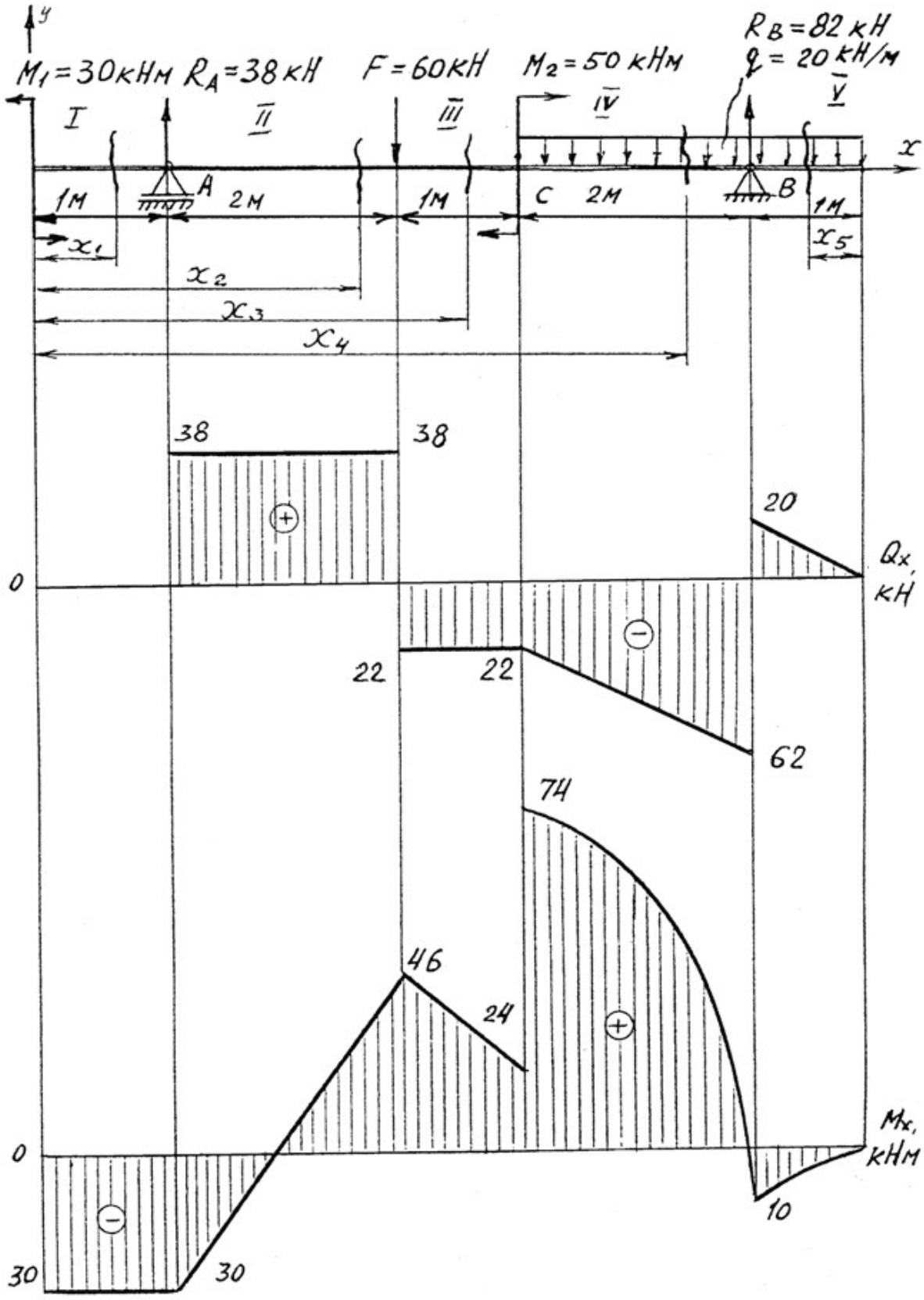

y
M1 = 30кНм
RA = 38 кН
F = 60кН
M2 = 50 кНм
RB = 82 кН
q = 20 кН/м
I
II
III
IV
V
x
A
B
C
1м
2м
1м
2м
1м
x1
x2
x3
x4
x5
38
38
20
0
Qx, кН
22
22
62
74
46
24
0
Mx, кНм
30
30
10

Рис. 4.1.

Для составления аналитических выражений Q_x и M_x в пределах II-го участка проводим сечение с абсциссой x_2 и рассматриваем равновесие левой части балки.

$Q_{\text{II}} = R_A = 38$ кН − поперечная сила в пределах II-го участка постоянна.

$M_{\text{II}} = -M + R_A(x_2 - 1)$.

Это уравнение прямой линии, для её построения достаточно определить ординаты изгибающего момента в двух точках (на концах участка):

при $x_2 = 1$ м $\quad M_{\text{II}} = -M_1 = -30$ кН·м;

при $x_2 = 3$ м $\quad M_{\text{II}} = -M_1 + R_A \cdot 2 = -30 + 76 = 46$ кН·м.

Для III-го участка (сечение с абсциссой x_3)

$Q_{\text{III}} = R_A - F = 38 - 60 = -22$ кН.

На этом участке поперечная сила не зависит от x_3 и поэтому на протяжении всего участка она не меняет своего значения.

$M_{\text{III}} = -M_1 + R_A(x_3 - 1) - F(x_3 - 3)$.

Это уравнение прямой линии.

Вычислим моменты при следующих значениях x_3:

при $x_3 = 3$ м $\quad M_{\text{III}} = -30 + 38 \cdot 2 = 46$ кН·м;

при $x_3 = 4$ м $\quad M_{\text{III}} = -30 + 38 \cdot 3 - 60 = 24$ кН·м.

Для IV-го участка (сечение с абсциссой x_4) поперечная сила равна:

$Q_{\text{IV}} = R_A - F - q(x_4 - 4)$.

Это уравнение прямой линии.

Вычислим ординаты в начале и в конце участка:

при $x_4 = 4$ м $\quad Q_{\text{IV}} = 38 - 60 = -22$ кН;

при $x_4 = 6$ м $\quad Q_{\text{IV}} = 38 - 60 - 40 = -62$ кН.

Уравнение изгибающих моментов для IV-го участка имеет вид

$$M_{\text{IV}} = -M_1 + R_A(x_4 - 1) - F(x_4 - 3) + M_2 - q\frac{(x_4 - 4)^2}{2}.$$

Это уравнение параболы.

Для её построения определяем моменты:

при $x_4 = 4$ м $\quad M_{\text{IV}} = -30 + 114 - 60 + 50 - 20 \cdot 0 = 74$ кН;

при $x_4 = 6$ м $\quad M_{\text{IV}} = -30 + 38 \cdot 5 - 60 \cdot 3 + 50 - 20 \cdot (4/2) = -10$ кН.

Прежде, чем составлять выражение поперечной силы и изгибающего момента для V-го участка, заметим, что их можно найти как из равновесия левой части, так и из равновесия отсеченной правой части. Каждый раз к выбору решения нужно подходить с точки зрения возможной простоты и наименьшего количества вычислений.

Для V-го участка (сечение с абсциссой x_5) поперечная сила равна

$Q_{\text{V}} = q x_5$.

Вычислим значения ординат:

при $x_5 = 0$ $\quad Q_{\text{V}} = 0$;

при $x_5 = 1$ м $\quad Q_{\text{V}} = 20$ кН.

Составим уравнение изгибающего момента для V-го участка:

$$M_{\text{V}} = -qx_5 \frac{x_5}{2} = -\frac{qx_5^2}{2}.$$

Получили уравнение параболы. Для её построения вычислим ординаты:

при $x_5 = 0$, $\quad M_{\text{V}} = 0$;

при $x_5 = 1$, $\quad M_{\text{V}} = -10$ кН·м.

При построении эпюр Q_x и M_x выбираем масштаб и откладываем положительные значения ординат эпюр от нулевой линии вверх, а отрицательные вниз (см. рис. 4.1). После построения эпюр устанавливаем наибольшие значения поперечной силы $Q_{\max} = 62$ кН и изгибающего момента $M_{\max} = 74$ кН·м.

Сечение *C* является опасным, в нем $Q_x = 22$ кН, $M_x = 74$ кН$\cdot$м.

Подбор поперечного сечения балки проводим в соответствии с условием задания в двух вариантах:

а) подбор сечения прямоугольного профиля деревянной балки

$$W_{\text{н.о.}} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{74 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} = 7{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 7400 \text{ см}^3.$$

Для прямоугольного сечения $W_{\text{н.о.}} = \dfrac{J_{\text{н.о.}}}{y_{\max}} = \dfrac{(bh)^3/12}{h/2} = \dfrac{bh^2}{6}$.

При $h = 2b$, $\quad W_{\text{н.о.}} = (2/3)b^3 \geq 7400$ см^3, $\quad$ отсюда $\quad b \geq \sqrt[3]{\dfrac{3 \cdot 7400}{2}} = 22{,}3$ см;

$h = 2 \cdot 22{,}3 = 44{,}6$ см.

После округления размеров в большую сторону принимаем: $h = 46$ см, $b = 23$ см.

б) подбор сечения двутаврового профиля

$$W_{\text{н.о.}} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{74 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 4{,}62 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 462 \text{ см}^3.$$

Из таблицы сортамента проката этому значению соответствует двутавр № 30, для которого $W_{\text{н.о.}} = W_x^{\text{табл.}} = 472$ см^3.

Основные размеры и геометрические характеристики профиля:

высота $h = 0{,}3$ м; ширина полки $b = 0{,}135$ м; толщина полки $t = 0{,}01$ м; толщина стенки $d = 0{,}65 \cdot 10^{-2}$ м; площадь сечения $A = 46{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2; момент инерции сечения относительно нейтральной оси $J_{\text{н.о.}} = J_x^{\text{табл.}} = 0{,}708 \cdot 10^{-4}$ м^4; статический момент половины площади сечения относительно нейтральной оси $S_{\text{н.о.}}^{\max.} = S_x^{\text{табл.}} = 2{,}68 \cdot 10^{-4}$ м^3.

Полная проверка стальной балки на прочность:

а) проверка по рабочим нормальным напряжениям

$$\sigma_{\text{раб.}} = \frac{M_{\max}}{W_x^{\text{табл.}}} = \frac{74 \cdot 10^3}{4,72 \cdot 10^{-4}} = 157 \cdot 10^6 \text{ Па} = 157 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{раб.}} = 157 \text{ МПа} < \sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ МПа},$$

т. е. условие прочности выполняется.

б) проверка по максимальным касательным напряжениям

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_x^{\text{табл.}}}{J_x^{\text{табл.}} d} = \frac{62 \cdot 2,68 \cdot 10^{-4}}{0,708 \cdot 10^{-4} \cdot 0,65 \cdot 10^{-2}} = 36,2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 36,2 \text{ МПа};$$

$$\tau_{\max} = 36,2 \text{ МПа} < \tau_{\text{adm}} = 96 \text{ МПа}.$$

Таким образом, условие прочности выполняется.

в) проверка по главным напряжениям в опасном сечении *C*, в котором $Q_x = 22$ кН, $M_x = 74$ кН·м.

Строим эпюру нормальных напряжений для этого сечения по уровням (рис. 4.2):

$$\sigma_{1-1} = -\frac{M_x}{J_x^{\text{табл.}}} y_{1-1} = -\frac{74 \cdot 10^3}{0,708 \cdot 10^{-4}} 0,15 = -157 \cdot 10^6 \text{ Па} = -157 \text{ МПа}.$$

Знак «минус» при напряжении для верхних волокон указывает на то, что при положительной эпюре M_x в этом сечении верхняя часть волокон испытывает деформацию осевого сжатия.

$$\sigma_{7-7} = \sigma_{1-1} = 157 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2-2} = \sigma_{3-3} = -\frac{M_x}{J_x^{\text{табл.}}} y_{2-2} = -\frac{M_x}{J_x^{\text{табл.}}} \left(\frac{h}{2} - t\right) = -\frac{74 \cdot 10^3}{0,708 \cdot 10^{-4}} (0,15 - 0,01) =$$

$$= -147 \cdot 10^6 \text{ Па} = -147 \text{ МПа}; \qquad \sigma_{4-4} = 0, \text{ так как } y_{4-4} = 0.$$

Эпюра касательных напряжений также строится по значениям, определяемым для различных уровней (волокон) сечения

$$\tau_{1-1} = \tau_{7-7} = 0,$$

так как $S_{\text{н.о.}}^{1-1} = 0,$ т. е. статический момент площади сечения, находящейся выше или ниже уровня 1-1 относительно нейтральной оси, равен нулю.

Напряжения в волокнах уровня 2-2 и 6-6 можно не определять, так как они обычно очень малы.

В переходных волокнах 3-3 и 5-5 напряжения будут равны

$$\tau_{3-3} = \tau_{5-5} = \frac{Q_x S_{\text{н.о.}}^{3-3}}{J_x^{\text{табл.}} b_{3-3}} = \frac{Q_x bt(h/2 - t/2)}{J_x^{\text{табл.}} d} =$$

$$= \frac{22 \cdot 10^3 \cdot 0{,}135 \cdot 0{,}01 \cdot (0{,}15 - 0{,}005)}{0{,}708 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}65 \cdot 10^{-2}} = 9{,}7 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9{,}7 \text{ МПа}.$$

Для волокон нейтрального слоя

$$\tau_{4-4} = \frac{Q_x S_{\text{н.о.}}^{4-4}}{J_x^{\text{табл.}} b_{4-4}} = \frac{Q_x S_x^{\text{табл.}}}{J_x^{\text{табл.}} d} = \frac{22 \cdot 2{,}68 \cdot 10^{-4}}{0{,}708 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}65 \cdot 10^{-2}} = 12{,}8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12{,}8 \text{ МПа}.$$

Эпюры σ и τ строятся в масштабе (см. рис. 4.2).

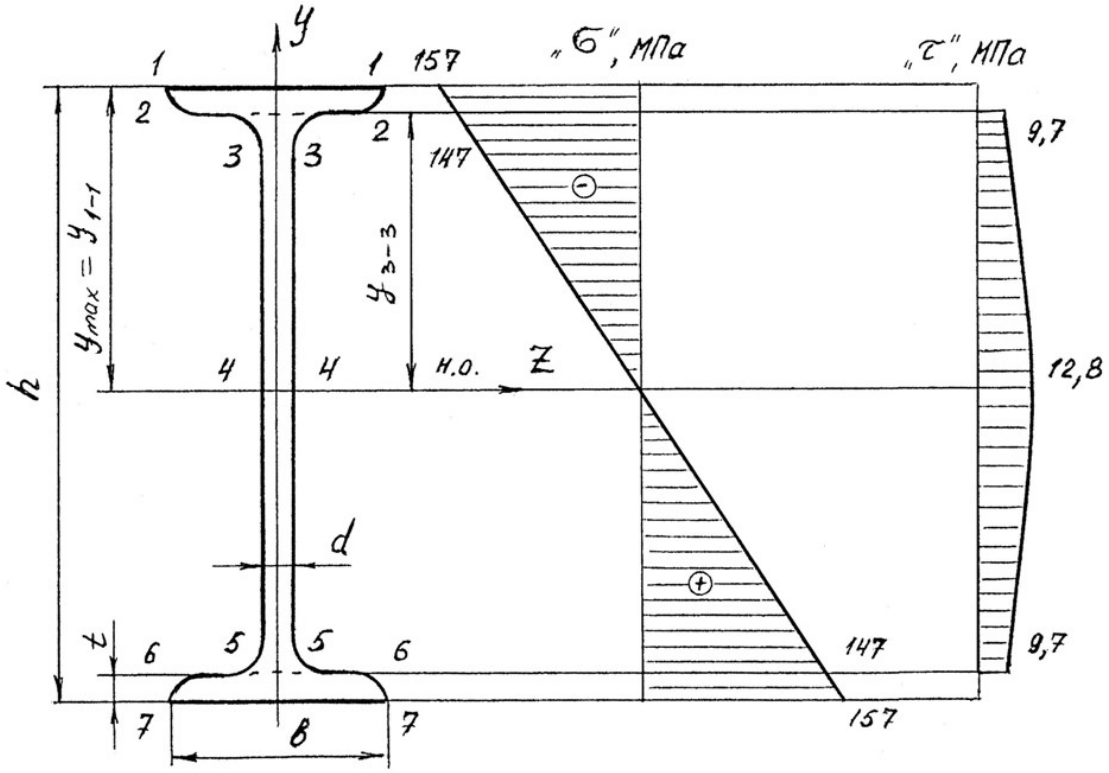


Рис. 4.2.

На основании эпюр напряжений определяют главные напряжения для верхних, переходных и средних волокон

$$\sigma_1^{1-1} = 1/2(\sigma_{1-1} + \sqrt{\sigma_{1-1}^2 + 4\tau_{1-1}^2}) = 1/2(-157 + \sqrt{157^2 + 4 \cdot 0^2}) = 0;$$

$$\sigma_2^{1-1} = 1/2(-157 - \sqrt{157^2 + 4 \cdot 0^2}) = -157 \text{ МПа};$$

$$\sigma_1^{3-3} = 1/2(-147 + \sqrt{147^2 + 4 \cdot 9{,}7^2}) = 0{,}5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2^{3-3} = 1/2(-147 - \sqrt{147^2 + 4 \cdot 9{,}7^2}) = -147{,}5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_1^{4-4} = 1/2(0 + \sqrt{0^2 + 4 \cdot 12{,}8^2}) = 12{,}8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2^{4-4} = -12{,}8 \text{ МПа}.$$

Определим величины расчётных напряжений по третьей теории прочности:

$$\sigma_{\text{p}}^{1-1} = \sigma_1^{1-1} - \sigma_2^{1-1} = 0 - (-157) = 157 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{p}}^{3-3} = \sigma_1^{3-3} - \sigma_2^{3-3} = 0,5 - (-147,5) = 148 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{p}}^{4-4} = \sigma_1^{4-4} - \sigma_2^{4-4} = 12,8 - (-12,8) = 25,6 \text{ МПа},$$

таким образом условие прочности $\sigma_{\text{p}}^{\text{III}} < \sigma_{\text{adm}}$ выполняется.

По четвертой теории прочности

$$\sigma_{\text{p}}^{1-1} = \sqrt{(\sigma_1^{1-1})^2 + (\sigma_2^{1-1})^2 - \sigma_1^{1-1}\sigma_2^{1-1}} = \sqrt{0^2 + 157^2 - 0^2} = 157 \text{ МПа}.$$

Аналогично: $\sigma_{\text{p}}^{3-3} = 148$ МПа; $\sigma_{\text{p}}^{4-4} = 22,1$ МПа.

Таким образом, результаты по всем вариантам полной проверки прочности балки показывают, что все условия прочности выполняются, следовательно, к практическому применению принимается двутавр № 30.

Пример 4.2. Консольная балка, сложное сечение.

Для заданной схемы балки (рис. 4.3) построить эпюры поперечных сил Q_x и изгибающих моментов M_x, определить размеры сечения заданной формы из условия прочности, принимая $\sigma_{\text{adm}} = 160$ МПа.

Решение.

Определим реакции опоры A из уравнений равновесия

1) $\sum M_A = 0; \quad -M_A + M - q \cdot 1 \cdot 2,5 + F \cdot 3 = 0;$

$M_A = M - q \cdot 1 \cdot 2,5 + F \cdot 3 = 6 - 10 + 24 = 20$ кН·м.

2) $\sum Y = 0; \quad R_A - q \cdot 1 + F = 0$ (предварительное направление реакции R_A вверх);

$R_A = q \cdot 1 - F = 4 - 8 = -4$ кН (меняем направление реакции на противоположное).

Проверка

$$\sum M_C = 0; \quad -M_A + R_A \cdot 3 + M + q \cdot 1 \cdot 0,5 = -20 + 12 + 6 + 2 = 0.$$

Определим размеры поперечного сечения (см. рис. 4.3), для чего условно разбиваем это сечение на фигуры 1, 2, 3 и 4, площади которых равны: $A_1 = 5b \cdot 6b;\ A_2 = 2b \cdot 3b;\ A_3 = A_4 = b \cdot b.$

Для определения положения центра тяжести сечения проводим вспомогательную ось $x_{\text{вр}}$ и найдем координату y_C по известной формуле

$$y_c = \frac{S_{x_{\text{вр}}}}{A} = \frac{A_1 y_1 - A_2 y_2 + A_3 y_3 + A_4 y_4}{A_1 - A_2 + \cdot A_3 + A_4} =$$

$$= \frac{6b \cdot 5b \cdot 2{,}5b - 2b \cdot 3b \cdot 1{,}5b + 2b \cdot b \cdot 0{,}5b}{6b \cdot 5b - 2b \cdot 3b + 2b \cdot b} = 2{,}58b,$$

где y_1, y_2, y_3, y_4 – расстояния от центров тяжести фигур 1, 2, 3, 4 до оси $x_{вр}$.

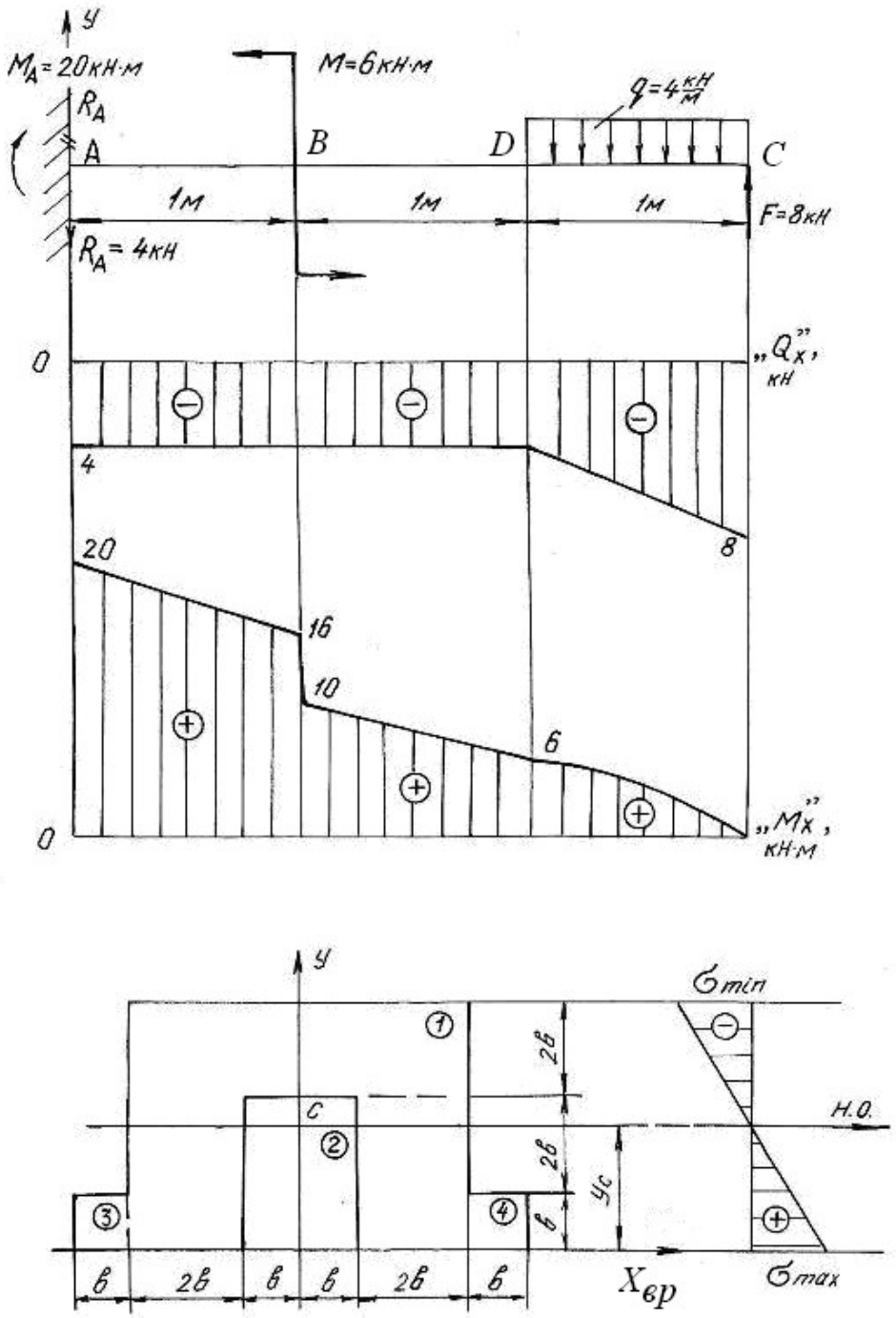


Рис. 4.3.

Так как сечение симметричное, то его центр тяжести лежит на оси симметрии y.

Проводим нейтральную ось через центр тяжести параллельно вспомогательной оси $x_{\text{вр}}$. Находим момент инерции относительно нейтральной оси

$$J_{\text{н.о.}} = \left(J_{\text{н.о.}}\right)^1 - \left(J_{\text{н.о.}}\right)^2 + 2\left(J_{\text{н.о.}}\right)^3 = \left[\frac{6b\cdot(5b)^3}{12} + 6b\cdot 5b\cdot(y_1 - y_c)^2\right] -$$

$$-\left[\frac{2b\cdot(3b)^3}{12} + 2b\cdot 3b\cdot(y_2 - y_c)^2\right] + 2\cdot\left[\frac{b\cdot b^3}{12} + b\cdot b\cdot(y_3 - y_c)^2\right] = 60\cdot b^4,$$

где $(y_n - y_C)$ – расстояние между собственной осью простой фигуры и нейтральной осью.

Строим эпюры поперечных сил Q_x и изгибающих моментов M_x, пользуясь контрольными правилами и начиная построения со свободного конца балки.

$Q_C = -F = -8$ кН; $Q_D = -F + q\cdot 1 = -8 + 4 = -4$ кН $= Q_B = Q_A$;

$M_C = 0$; $M_D = F\cdot 1 - q\cdot 1\cdot 0{,}5 = 8 - 2 = 6$ кН·м;

$M_B = F\cdot 2 - q\cdot 1\cdot 1{,}5 = 16 - 6 = 10$ кН·м.

В сечении B изгибающий момент возрастает на момент $M = 6$ кН·м, что на эпюре M_x отражается в виде скачка. Изгибающий момент в жесткой заделке равен моменту заделки M_A.

Максимальный изгибающий момент $M_{\max} = M_A = 20$ кН·м. Максимальные напряжения, возникающие в нижних волокнах этого сечения

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} y^{\text{н}}_{\max}}{J_{\text{н.о.}}} = \frac{20\cdot 2{,}58\cdot b}{60\cdot b^4} = \frac{0{,}83\ \text{кН}\cdot\text{м}}{b^3}.$$

Максимальные напряжения, возникающие в верхних волокнах этого сечения

$$\sigma_{\min} = \frac{M_{\max} y^{\text{в}}_{\max}}{J_{\text{н.о.}}} = \frac{20\cdot 2{,}42\cdot b}{60\cdot b^4} = \frac{0{,}81\ \text{кН}\cdot\text{м}}{b^3}.$$

Приравнивая наибольшее напряжение к допускаемому напряжению σ_{adm}, получим размер сечения b

$$\sigma_{\max} = \frac{0{,}83\ \text{кН}\cdot\text{м}}{b^3} \le \sigma_{\text{adm}} = 160\ \text{МПа};\ b^3 \ge \frac{0{,}83\cdot 10^3}{160\cdot 10^6},$$

$$b \ge \sqrt[3]{5{,}2\cdot 10^{-6}} = 1{,}73\cdot 10^{-2}\ \text{м};\ \ b = 18\ \text{мм}.$$

4.2. Задания для расчета балок на прочность

Для расчетной схемы балки необходимо:

1. Построить по длине балки эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

2. Подобрать поперечное сечение балки в двух вариантах:

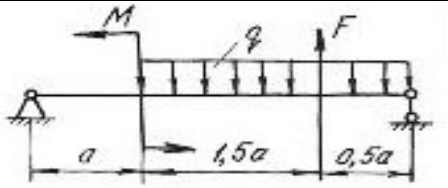
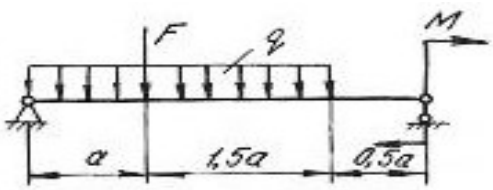
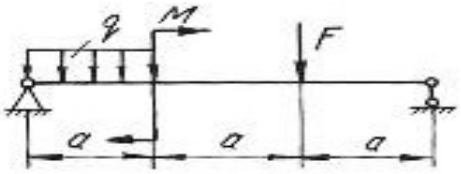
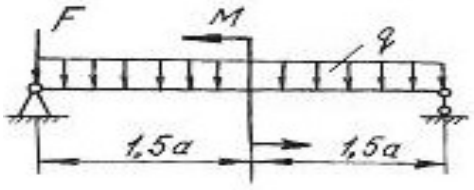
а) прямоугольного профиля, полагая, что балка деревянная при $\sigma_{adm} = 10$ МПа; соотношение между размерами сечения принять равными $b:h = 1:2$;

б) двутаврового профиля (см. табл. П. 1) при $\sigma_{adm} = 160$ МПа, $\tau_{adm} = 96$ МПа.

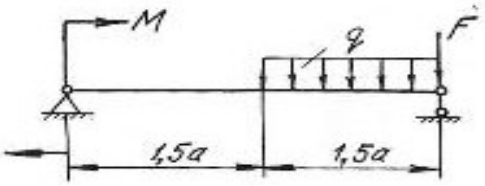
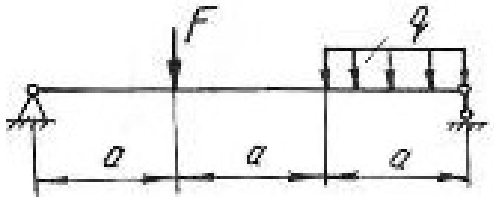
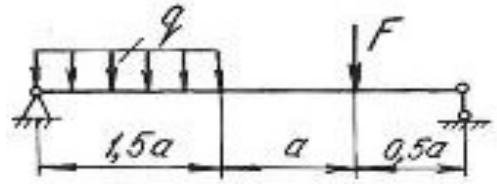
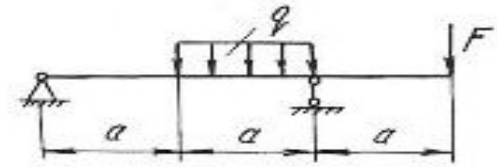
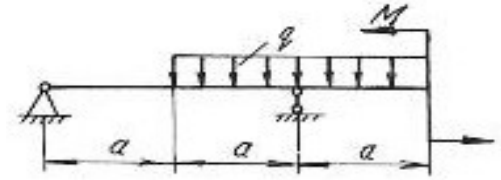
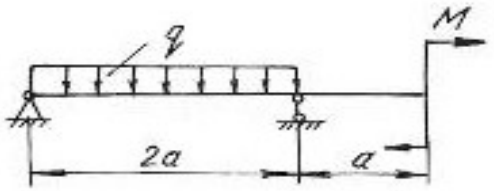
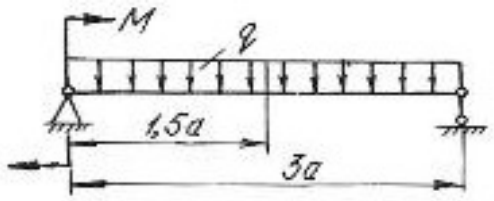
3. Провести полную проверку стальной двутавровой балки на прочность.

Данные для расчета приведены в табл. 4.1.

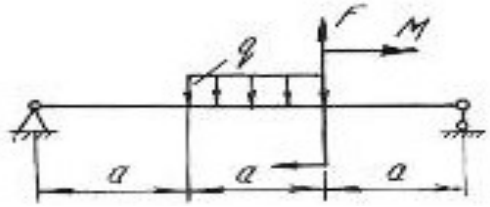
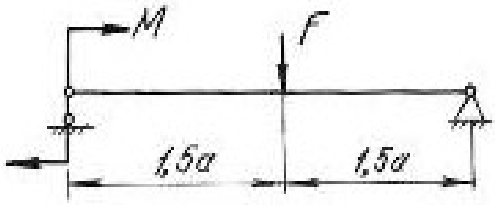
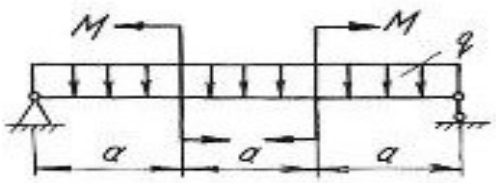
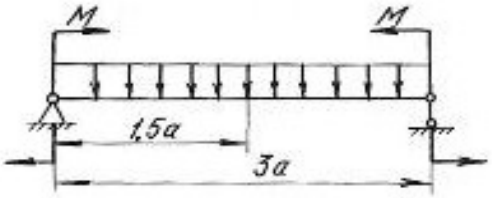
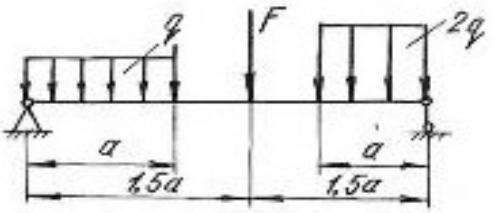
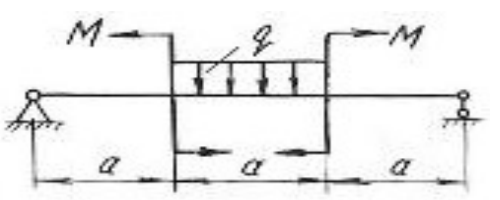
Таблица 4.1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	1	2,0	19	20	20
	2	1,0	16	35	40
	3	1,2	10	30	40
	4	2,0	10	25	50
	5	2,2	30	50	40
	6	2,4	10	10	20
	7	1,0	10	65	20
	8	1,2	10	55	40
	9	2,0	20	45	15
	10	1,0	18	32	60
	11	2,2	10	35	50
	12	1,8	30	42	30
	13	2,0	12	26	20
	14	1,0	14	14	20
	15	2,0	15	25	30

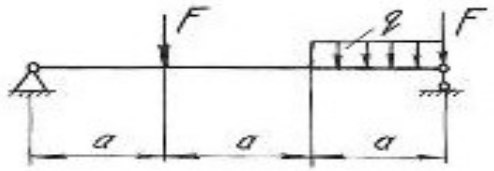
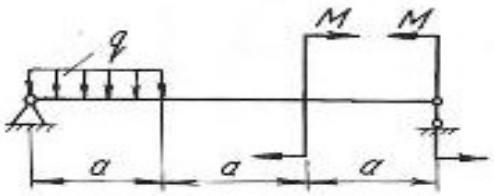
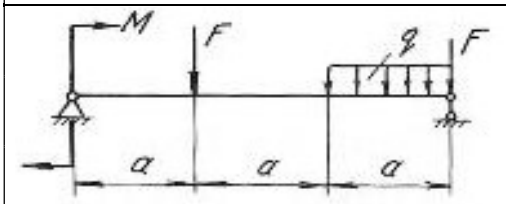
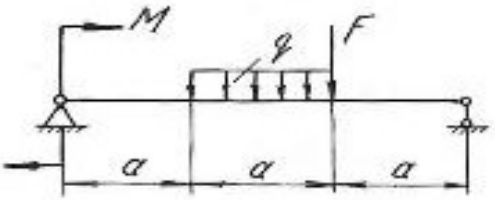
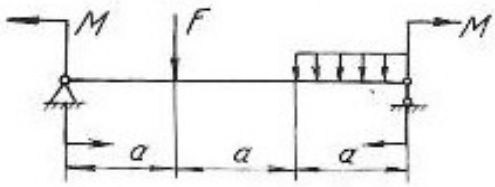
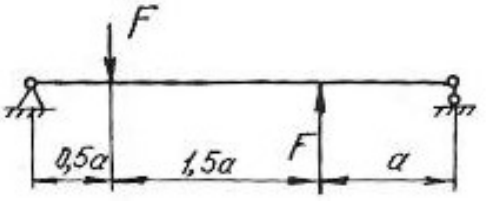
Продолжение табл. 4.1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	16	1,0	10	32	40
	17	2,0	25	42	20
	18	1,6	30	50	30
	19	1,0	10	–	10
	20	2,0	11	–	30
	21	1,0	12	–	30
	22	1,2	13	–	60
	23	2,2	14	–	70
	24	3,0	15	–	40
	25	3,0	16	–	20
	26	1,2	17	–	70
	27	2,0	18	–	70
	28	3,0	20	10	–
	29	2,0	21	60	–
	30	2,0	22	10	–
	31	2,1	23	30	–
	32	2,0	24	30	–
	33	2,2	25	30	–
	34	2,0	26	40	–
	35	2,0	27	40	–
	36	2,0	28	40	–

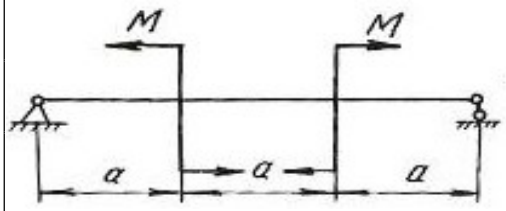
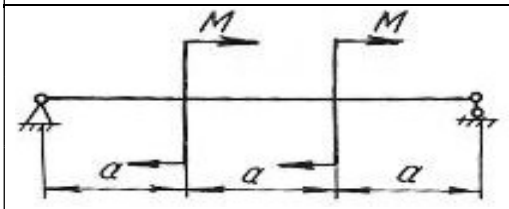
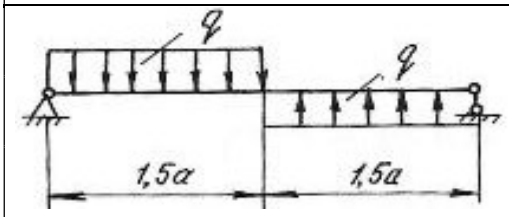
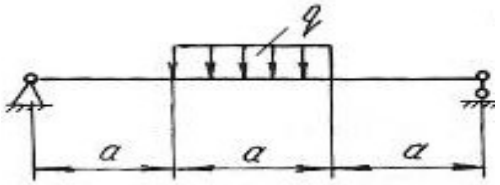
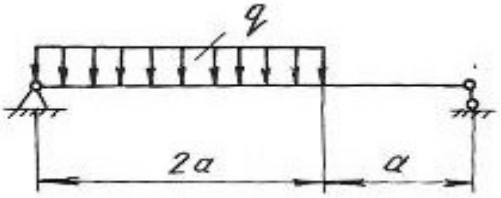
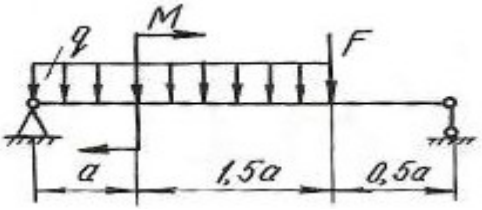
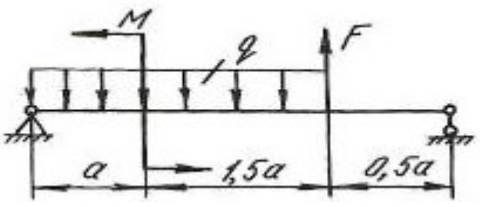
Продолжение табл. 4.1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	37	1,2	10	30	15
	38	1,3	12	40	10
	39	1,4	15	45	12
	40	1,0	14	50	10
	41	2,0	13	60	20
	42	2,0	12	55	12
	43	1,1	16	–	20
	44	1,4	17	–	16
	45	1,5	20	–	15
	46	1,6	18	30	–
	47	1,2	11	20	–
	48	1,3	14	10	–
	49	0,8	15	40	–
	50	0,7	13	13	–
	51	1,1	17	22	–
	52	0,5	24	–	20
	53	0,6	28	–	30
	54	0,9	30	–	40
	55	1,1	10	30	–
	56	1,2	20	31	–
	57	1,3	30	32	–

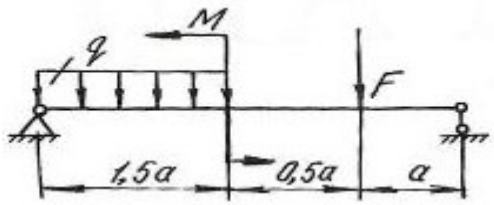
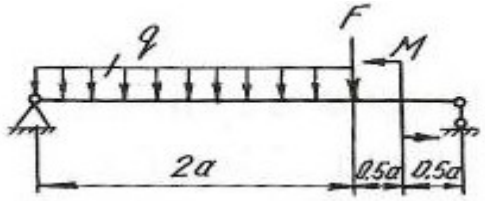
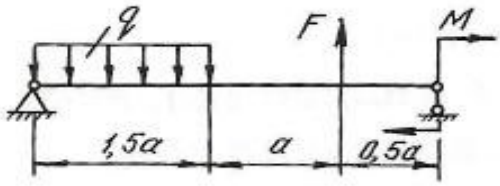
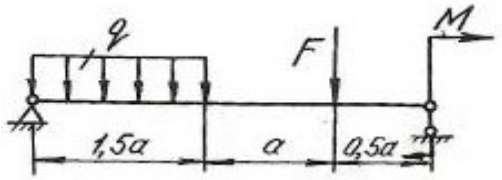
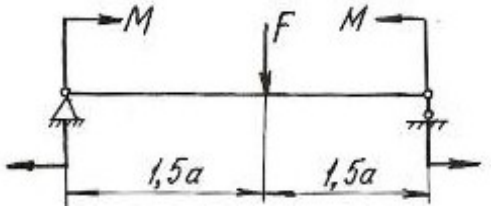
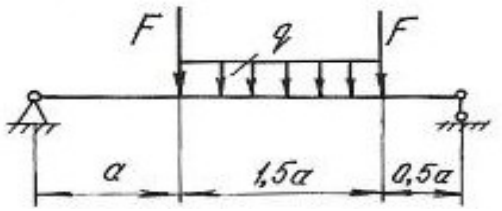
Продолжение табл. 4.1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	58	1,4	40	–	40
	59	1,2	35	–	50
	60	2,0	28	–	80
	61	1,5	12	20	–
	62	1,7	14	30	–
	63	1,9	16	40	–
	64	2,1	18	20	20
	65	2,3	19	30	30
	66	2,5	20	25	40
	67	2,0	12	30	25
	68	2,4	10	35	30
	69	2,7	10	30	35
	70	1,0	12	10	40
	71	2,0	14	20	30
	72	2,0	16	30	40
	73	1,0	–	–	20
	74	2,0	–	–	30
	75	2,5	–	–	40

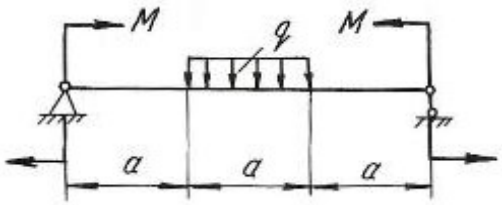
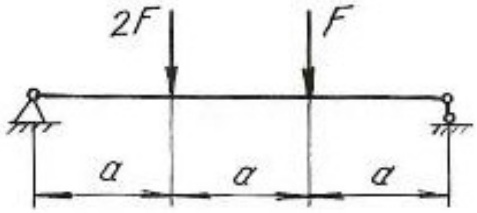
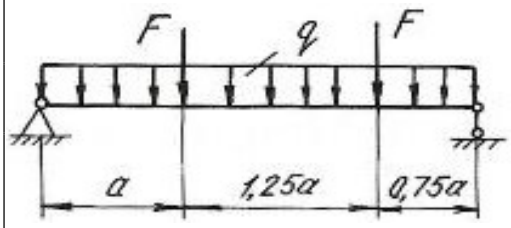
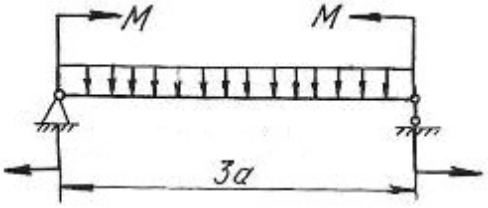
Продолжение табл. 4.1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	76	1,5	–	30	–
	77	2,5	–	40	–
	78	1,2	–	50	–
	79	1,3	–	40	–
	80	1,4	–	25	–
	81	1,6	–	30	–
	82	1,7	10	–	–
	83	1,8	10	–	–
	84	1,9	10	–	–
	85	2,1	30	–	–
	86	2,2	20	–	–
	87	2,3	10	–	–
	88	2,0	25	–	–
	89	1,0	15	–	–
	90	2,3	10	–	–
	91	1,0	15	30	80
	92	2,0	20	40	90
	93	2,0	25	50	100
	94	1,2	10	45	25
	95	1,4	12	50	30
	96	1,6	15	60	35

Продолжение табл. 4. 1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	97	1,8	15	30	40
	98	1,0	18	20	45
	99	1,4	21	55	50
	100	1,0	10	30	55
	101	2,0	20	35	80
	102	1,0	30	60	40
	103	1,9	15	25	60
	104	1,7	13	50	40
	105	1,3	17	75	20
	106	1,0	18	20	35
	107	2,2	16	60	45
	108	2,3	14	40	55
	109	1,0	–	30	50
	110	0,6	–	40	50
	111	0,8	–	30	60
	112	1,0	2	–	70
	113	0,6	30	–	60
	114	1,2	40	–	50

Окончание табл. 4.1

Схема балки и нагрузки	Номер варианта	Числовые значения нагрузок и размеров			
		a, м	*q*, кН/м	*M*, кН·м	*F*, кН
	115	1,2	20	40	–
	116	1,3	10	20	–
	117	1,4	20	30	–
	118	1,5	–	–	40
	119	1,0	–	–	30
	120	1,3	–	–	20
	121	1,0	10	–	20
	122	1,0	20	–	40
	123	1,0	30	–	10
	124	1,2	10	20	–
	125	1,3	11	40	–
	126	1,5	12	50	–

4.3. Расчет балки на жесткость

После проверки балок на прочность они обычно проверяются на жесткость.

Проверка состоит в определении максимальных перемещений балки при изгибе и сравнении их с допускаемыми значениями для данного материала и типа балки. При этом должны выполняться следующие условия:

$$y_{\max} \le y_{\text{adm}}; \quad y_{\text{adm}} = (\frac{1}{20} \div \frac{1}{250})l; \qquad \theta_{\max} \le \theta_{\text{adm}},$$

где y_{adm} – допускаемый прогиб; θ_{adm} – допускаемый угол поворота; l – пролёт балки.

Для определения прогибов и углов поворота в статически определимых балках обычно применяют метод начальных параметров, который записывается в виде следующих универсальных уравнений:

$$EJ_Z\theta = EJ_Z\theta_0 + \sum_{i=1}^{n}\frac{M_i(x-a_i)^1}{1!} + \sum_{i=1}^{n}\frac{F_i(x-b_i)^2}{2!} + \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i(x-c_i)^3}{3!}, \quad (4.8)$$

где n – количество нагрузок на рассматриваемых участках.

$$EJ_z y = EJ_Z y_0 + EJ_Z\theta_0 x + \sum_{i=1}^{n}\frac{M_i(x-a_i)^2}{2!} + \sum_{i=1}^{n}\frac{F_i(x-b_i)^3}{3!} + \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i(x-c_i)^4}{4!}, \quad (4.9)$$

где θ – угол поворота в исследуемом сечении; y – прогиб в исследуемом сечении; y_0 – прогиб в начале координат; θ_0 – угол поворота в начале координат; x – расстояние от начала координат до сечения, в котором определяются перемещения; M, F, q – внешние нагрузки, включая и реакции; a – расстояния от начала координат до сечений, где приложены моменты; b – расстояния от начала координат до сечений, где приложены сосредоточенные силы; c – расстояния от начала координат до начала каждого участка, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой; EJ_Z – жесткость балки при поперечном изгибе.

Метод начальных параметров применяется при условии, что жесткость EJ_Z постоянна по всей длине балки.

Слагаемые, которые включают M, F, q, по знаку определяются в соответствии с правилами знаков, принятыми для определения M_x при расчете слева. При использовании метода начальных параметров необходимо выполнить следующие требования:

1. Начало координат принимается единым для всей балки (обычно в левом крайнем сечении балки);

2. Если равномерно распределенная нагрузка не доходит до рассматриваемого сечения, то ее необходимо продлить до этого сечения, а для сохранения равновесия приложить такую же по величине, но противоположного направления нагрузку. Эту контрнагрузку необходимо включить в уравнения.

Начальные параметры y_0 и θ_0 определяются следующим образом. Если начало координат находится не на опоре (рис. 4.4, *б*), то составляем два дополнительных уравнения прогибов для двух опор, где заранее известно, что прогибы на опорах равны нулю. Если начало координат находится на концевой шарнирной опоре (рис. 4.4, *в*), то составляем одно дополнительное уравнение прогибов для другой опоры. Если начало координат находится в жесткой заделке (рис. 4.4, *г*), то дополнительные уравнения составлять не нужно.

При решении задач необходимо иметь в виду, что положительное направление оси y принято вверх. При этом условии положительное значение угла поворота соответствует вращению сечения против хода часовой стрелки, положительный прогиб направлен вверх.

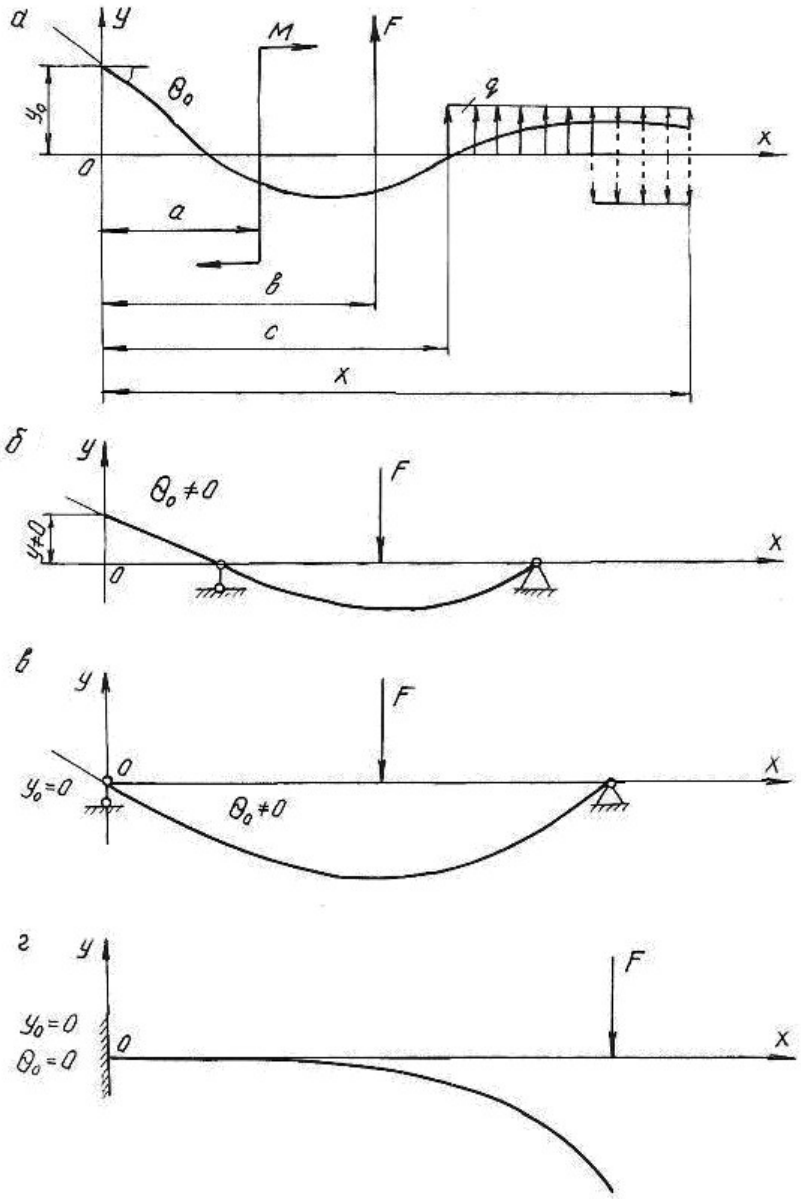


Рис. 4.4.

Пример 4.3.

Для балки, изображенной на рис. 4.5, построить эпюры Q_x и M_x, подобрать поперечное двутавровое сечение (см. табл. П. 1) при $\sigma_{adm} = 160$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. По методу начальных параметров определить прогибы в сечениях C и D и угол поворота сечения B. Построить эпюру прогибов и провести проверку на жесткость при $y_{adm} = (1/200)l = (1/200)4 = 0,02$ м $= 2$ см, где l – пролет балки.

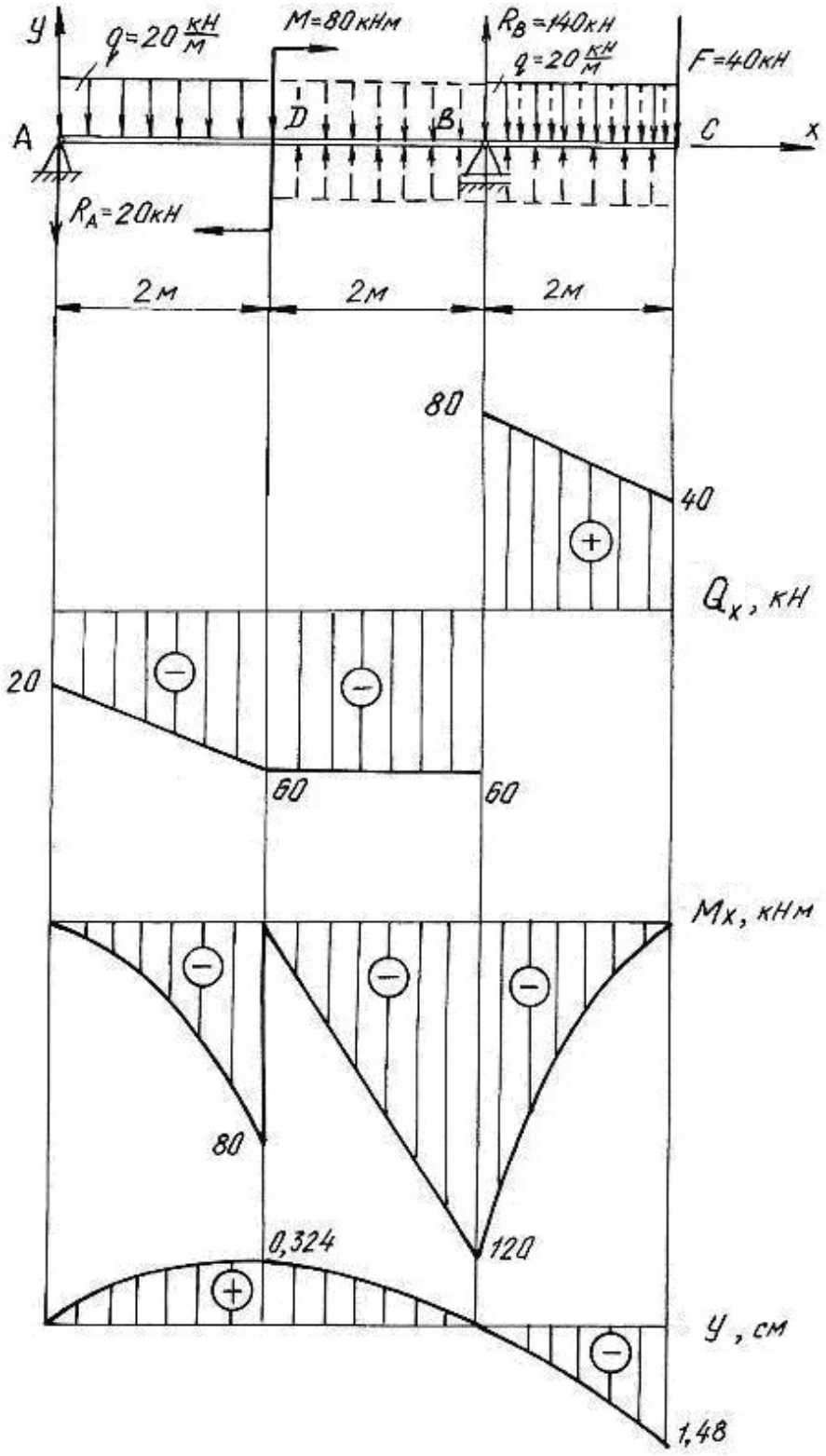

y
q=20 кН/м
M=80кНм
R_B=140кН
q=20 кН/м
F=40кН
A
D
B
C
x
R_A=20кН
2м
2м
2м
80
40
Q_x, кН
20
60
60
M_x, кНм
80
0,324
120
y, см
1,48

Рис. 4.5.

Решение.

Определим опорные реакции:

$$\sum M_B = 0, \qquad R_A \cdot 4 + q \cdot 2 \cdot 3 - M - q \cdot 2 \cdot 1 - F \cdot 2 = 0;$$
$$R_A \cdot 4 + 20 \cdot 2 \cdot 3 - 80 - 20 \cdot 2 \cdot 1 - 40 \cdot 2 = 0; \quad R_A = 20 \text{ кН}.$$
$$\sum M_A = 0, \quad R_B \cdot 4 - q \cdot 2 \cdot 1 - M - q \cdot 2 \cdot 5 - F \cdot 6 = 0;$$
$$R_B \cdot 4 - 20 \cdot 2 \cdot 1 - 80 - 20 \cdot 2 \cdot 5 - 40 \cdot 6 = 0; \qquad R_B = 140 \text{ кН}.$$

Проводим проверку

$$\sum Y = 0; \qquad -R_A + R_B - q \cdot 2 - F - q \cdot 2 = 0;$$
$$-20 + 140 - 20 \cdot 2 - 40 - 20 \cdot 2 = 0; \quad 0 = 0$$

По контрольным правилам строим эпюры Q_x и M_x, и подбираем поперечное сечение при $M_{\max} = 120$ кН.

$$W_z = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{120 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 750 \text{ см}^3.$$

По таблице сортамента (см. табл. П.1) принимаем двутавр № 36:

$J_z = J_x^{\text{табл.}} = 13380 \text{ см}^4 = 13380 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$.

Для определения перемещений помещаем начало координат на левой опоре (прогиб $y_0 = 0$, угол поворота $\theta_0 \neq 0$). Составляем дополнительное уравнение прогибов для сечения B (при $x_B = 4$ м), где заранее известно, что прогиб на опоре y_B равен нулю.

Распределенная нагрузка обрывается в сечении D. Продолжим её до сечения B, в котором определяем перемещение, но, чтобы не нарушить прежнее равновесие, вводим уравновешивающую нагрузку обратного направления на участке BD.

$$EJ_Z y_B = EJ_Z \theta_0 x_B + \frac{M(x-2)^2}{2} - \frac{R_A(x_B - 0)^3}{6} - \frac{q(x_B - 0)^4}{24} + \frac{q(x_B - 2)^4}{24};$$
$$0 = EJ_Z \theta_0 \cdot 4 + \frac{80(4-2)^2}{2} - \frac{20(4-0)^3}{6} - \frac{20(4-0)^4}{24} + \frac{20(4-2)^4}{24}.$$

Последний член уравнения учитывает компенсирующую нагрузку. Подставляя числовые значения, получим $EJ_Z \theta_0 = EJ_Z \theta_A = 63,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$.

Определим прогибы на границах заданных участков. При определении прогиба в сечении C равномерно распределенную нагрузку необходимо продлить до этого сечения и уравновесить её.

В сечении C ($x_C = 6$ м):

$$EJ_Z y_C = EJ_Z \theta_0 x_C + \frac{M(x_C-2)^2}{2} - \frac{R_A(x_C-0)^3}{6} + \frac{R_B(x_C-4)^3}{6} -$$
$$- \frac{q(x_C-0)^4}{24} + \frac{q(x_C-2)^4}{24} - \frac{q(x_C-4)^4}{24};$$

$$EJ_Z y_C = 63{,}3 \cdot 6 + \frac{80 \cdot (6-2)^2}{2} - \frac{20 \cdot (6-0)^3}{6} + \frac{140 \cdot (6-4)^3}{6} - \frac{20 \cdot (6-0)^4}{24} +$$
$$+ \frac{20(6-2)^4}{24} - \frac{20(6-4)^4}{24} = -393 \text{ кНм}^3;$$

$$y_C = \frac{-393 \cdot 10^3}{EJ_Z} = \frac{-393 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 13380 \cdot 10^{-8}} = -0{,}0148 \text{ м}; \; y_C = -1{,}480 \text{ см};$$

в сечении D ($x_D = 2$ м):

$$EJ_Z y_D = EJ_Z \theta_0 \cdot x_D - \frac{R_A(x_D-0)^3}{6} - \frac{q(x_D-0)^4}{24} = 63{,}3 \cdot 2 - \frac{20(2-0)^3}{6} - \frac{20(2-0)^4}{24} =$$

$$= 86{,}7 \text{ кНм}^3; \qquad y_D = \frac{86{,}7 \cdot 10^3}{EJ_Z} = \frac{86{,}7 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 13380 \cdot 10^{-8}} = 0{,}00324 \text{ м} = 0{,}324 \text{ см}.$$

По полученным значениям прогибов строим изогнутую ось балки (см. рис. 4.5).

Определим угол поворота сечения B ($x_B = 4$ м), продлив и уравновесив распределенную нагрузку

$$EJ_Z \theta_B = EJ_Z \theta_0 + \frac{M(x-2)^1}{1} - \frac{R_A(x-0)^2}{2} - \frac{q(x-0)^3}{6} + \frac{q(x-2)^3}{6} =$$

$$= 63{,}3 + \frac{80(4-2)^1}{1} - \frac{20(4-0)^2}{2} - \frac{20(4-0)^3}{6} + \frac{20(4-2)^3}{6} = -123 \text{ кНм}^2;$$

$$\theta_B = -\frac{123 \cdot 10^3}{EJ_Z} = -\frac{123 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 13380 \cdot 10^{-8}} = -46 \cdot 10^{-4} \text{ рад} =$$
$$= -46 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{180}{\pi} = -0{,}26^\circ = -0^\circ 15' 36''.$$

Максимальный прогиб балки $y_{\max} = y_C = 1{,}480$ см.

Таким образом, $y_{\max} = 1{,}480$ см $< y_{\text{adm}} = 2$ см, следовательно, условие жесткости выполняется.

4.4. Задания для расчета балок на жесткость

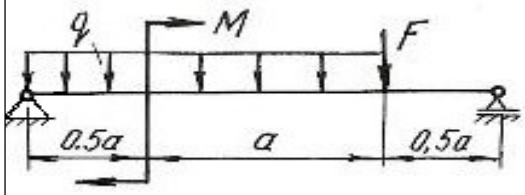
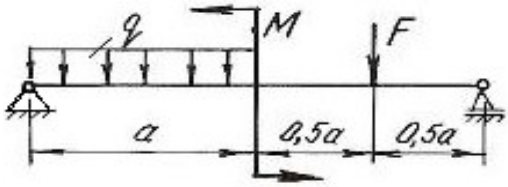
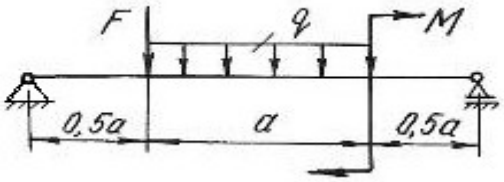
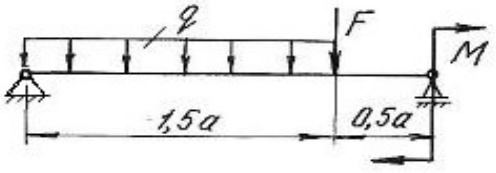
Для расчетной схемы (табл. 4.2) необходимо:

1. Построить по длине балки эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

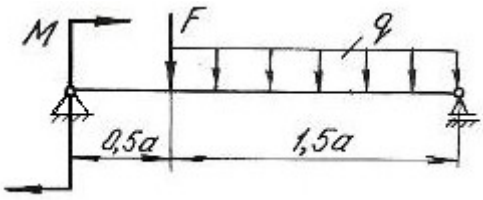
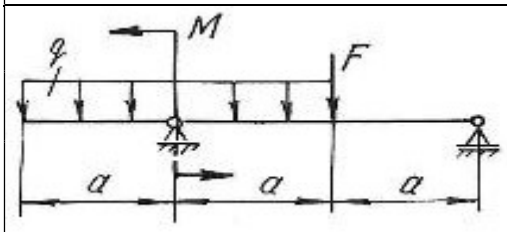
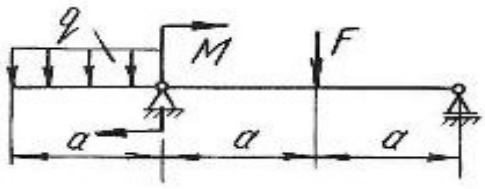
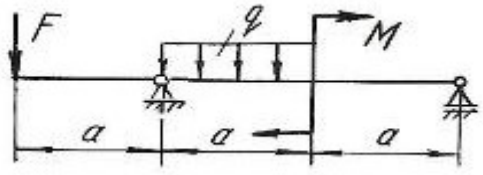
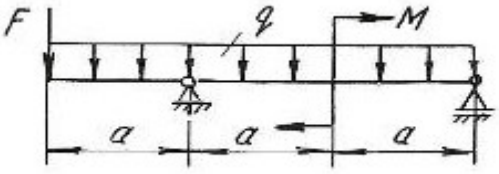
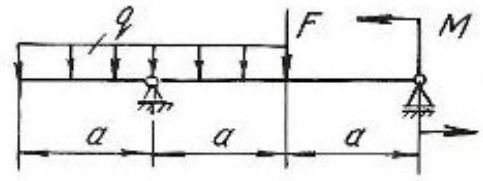
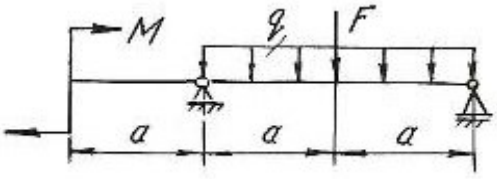
2. Подобрать поперечное сечение балки двутаврового профиля (см. табл. П. 1), материал – сталь при $\sigma_{adm} = 160$ МПа.

3. Определить по методу начальных параметров величину прогибов балки в характерных сечениях и провести проверку балки на жесткость, приняв $y_{adm} = (1/100)l$.

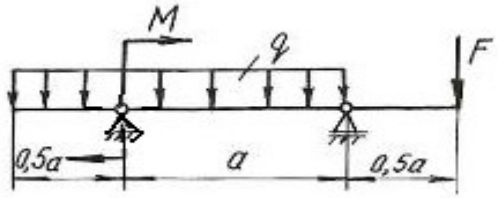
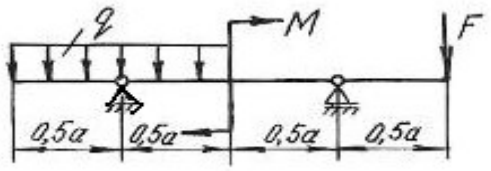
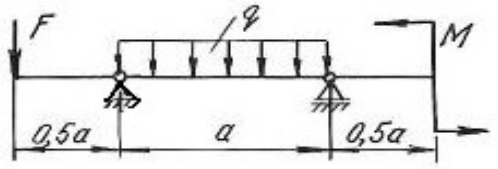
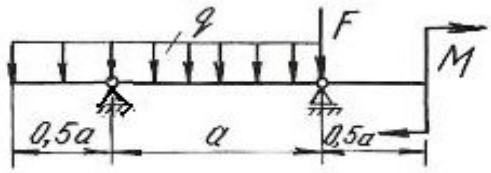
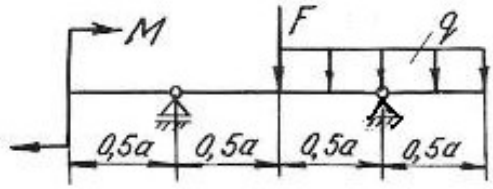
Таблица 4.2

Схема балки и нагрузки	Вариант	a, м	q, кН/м	M, кН·м	F, кН
	1	1	10	30	20
	2	0,5	20	25	30
	3	1	10	10	16
	4	2	20	30	10
	5	0,5	30	15	12
	6	1	12	36	24
	7	2	6	12	10
	8	1	4	12	8
	9	0,5	10	20	16
	10	2	4	12	10
	11	1	20	24	12
	12	1	12	12	10
	13	2	10	4	10
	14	1	8	20	30

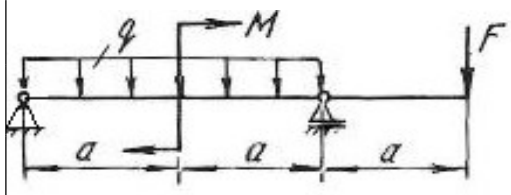
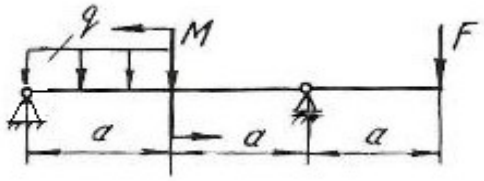
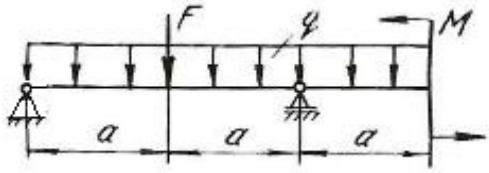
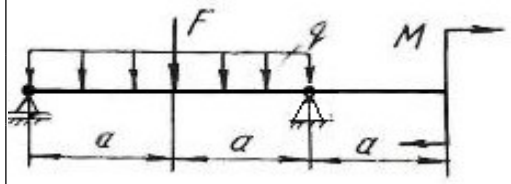
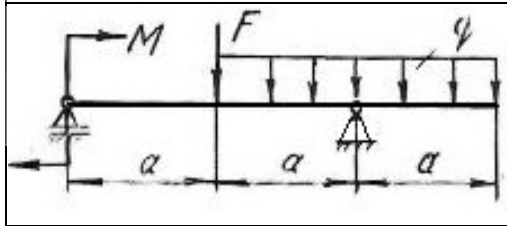
Продолжение табл. 4.2

Схема балки и нагрузки	Вариант	a, м	q, кН/м	M, кН·м	F, кН
	15	1	8	12	16
	16	1	12	14	10
	17	2	4	16	6
	18	1	10	18	24
	19	2	4	16	16
	20	0,5	20	32	24
	21	1	20	15	8
	22	2	8	14	4
	23	0,5	10	28	12
	24	1	24	10	10
	25	2	12	16	12
	26	0,5	4	18	24
	27	1	20	10	6
	28	2	10	8	16
	29	0,5	4	15	8
	30	1	2	6	4
	31	2	4	12	10
	32	0,5	8	12	18
	33	1	10	12	4
	34	2	12	18	12
	35	0,5	20	30	10

Продолжение табл. 4.2

Схема балки и нагрузки	Вариант	a, м	q, кН/м	M, кН·м	F, кН
	36	1	20	12	8
	37	2	12	16	16
	38	1	40	24	20
	39	1	10	20	12
	40	2	4	12	8
	41	1	8	4	12
	42	1	24	12	8
	43	2	8	10	4
	44	1	12	24	20
	45	1	36	12	24
	46	2	32	16	20
	47	1	16	8	8
	48	1	16	18	10
	49	2	12	20	12
	50	1	32	10	6
	51	1	24	20	4
	52	2	4	24	16
	53	1	8	30	10

Окончание табл. 4.2

Схема балки и нагрузки	Вариант	a, м	q, кН/м	M, кН·м	F, кН
	54	1	10	12	6
	55	2	4	10	8
	56	0,5	8	8	4
	57	1	20	12	6
	58	2	12	36	8
	59	1	24	16	12
	60	1	10	40	16
	61	0,5	12	18	10
	62	2	4	36	12
	63	1	10	20	10
	64	1	12	16	8
	65	2	4	16	12
	66	1	12	10	20
	67	2	8	32	16
	68	0,5	24	12	12
	69	1	10	18	12
	70	2	8	36	16
	71	0,5	20	42	8

Глава 5

СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ НЕРАЗРЕЗНЫЕ МНОГОПРОЛЕТНЫЕ БАЛКИ И ПЛОСКИЕ РАМЫ

5.1. Статически неопределимые балки

Цельная балка, лежащая на нескольких опорах, называется неразрезной. С промежуточными опорами такая балка обычно соединена шарнирно. Концевые опоры могут быть или шарнирными или защемленными.

Неразрезные балки представляют собой статически неопределимые системы, так как для их расчета уравнений статики недостаточно. Эти балки могут быть рассчитаны с помощью теоремы о трех моментах или методом сил.

В данном разделе рассматривается решение неразрезной балки по методу сил.

Способ расчета статически неопределимых систем, при котором за «лишние» неизвестные принимаются силы или моменты, называется **методом сил**. Для расчета статически неопределимой балки необходимо раскрыть ее статическую неопределимость, для чего эту балку освобождают сначала от «лишних» связей, превращая ее тем самым в статически определимую (геометрически неизменяемую) систему, называемую основной системой. Она может быть получена путем введения необходимого количества шарниров, балочных опор, путем разреза контура (чаще для рам) и др.

Дополнительные уравнения для нахождения «лишних» неизвестных составляются из условий, что взаимные перемещения основной системы в местах приложения «лишних» неизвестных равны нулю (условия совместности деформаций – условия неразрезности).

Степень статической неопределимости балки соответствует количеству «лишних» неизвестных. В качестве «лишних» неизвестных можно принимать реакции на опорах балки или опорные моменты. Для многопролетных неразрезных балок за «лишние» неизвестные удобнее принять опорные моменты. Опорными моментами называют суммарные моменты внутренних сил упругости, возникающих в поперечных сечениях над опорами.

На рис. 5.1, *а* показана дважды статически неопределимая балка. За «лишние» неизвестные приняты опорные моменты на первой и второй опорах. Моменты на нулевой и третьей опорах равны нулю (рис. 5.1, *б*).

Для определения «лишних» неизвестных воспользуемся условием:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 0, \\ \Delta_2 &= 0, \end{aligned} \qquad (5.1)$$

где Δ_1 – суммарное возможное перемещение центра тяжести поперечного сечения от всех внешних нагрузок и от всех «лишних» неизвестных по направле-

нию действия первой «лишней» неизвестной X_1; Δ_2 – суммарное возможное перемещение центра тяжести поперечного сечения от всех внешних нагрузок и от всех «лишних» неизвестных по направлению действия второй «лишней» неизвестной X_2.

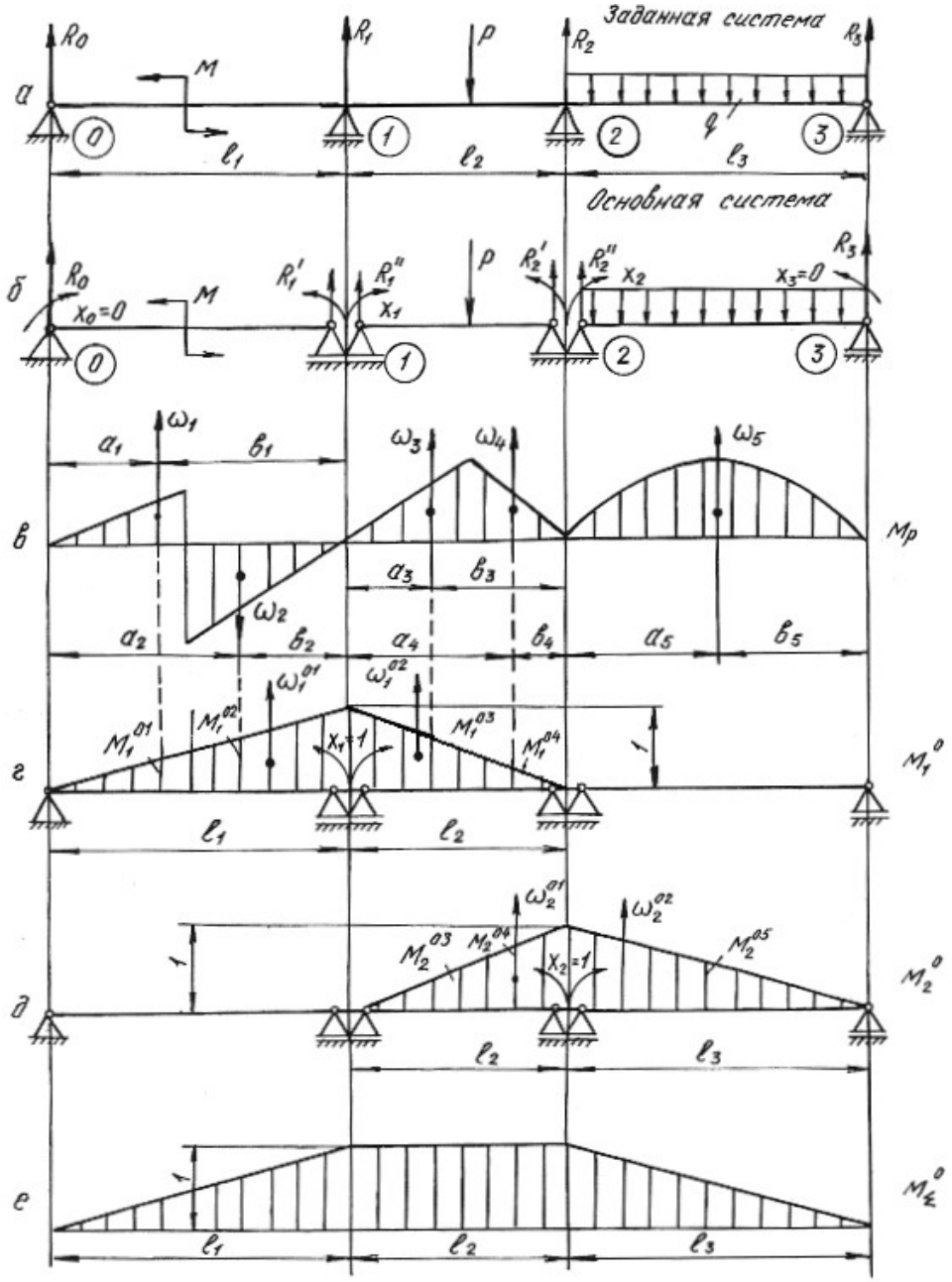


Рис. 5.1.

Эти перемещения в силу принципа независимости действия сил можно представить как сумму перемещений от каждой отдельной силы, приложенной к системе, т. е. от внешней нагрузки, обобщенно обозначаемой буквой *P,* и от неизвестных X_1, X_2, приложенных на опорах основной системы. Указанные пе-

ремещения выражаются через неизвестные X_1, X_2, нагрузку P и перемещения от единичных сил X_1=1, X_2=1.

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0, \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0. \end{aligned} \tag{5.2}$$

Эти уравнения носят название канонических уравнений метода сил. Число их равно степени статической неопределимости системы. На примере первого уравнения рассмотрим обозначения:

δ_{11} – возможное перемещение центра тяжести поперечного сечения от действия единичной силы $X_1 = 1$ по направлению действия первой «лишней» неизвестной X_1;

$\delta_{11}X_1$ – возможное перемещение, вызванное действием X_1 по ее направлению;

δ_{12} – возможное перемещение от единичной нагрузки $X_2 = 1$ по направлению X_1;

$\delta_{12}X_2$– возможное перемещение от второй «лишней» неизвестной X_2 по направлению X_1;

Δ_{1p} – возможное перемещение от всех внешних нагрузок по направлению «лишней» неизвестной X_1.

Коэффициенты канонических уравнений с одинаковыми числовыми индексами δ_{11}, δ_{22} называются *главными коэффициентами***.** Они всегда положительны. Коэффициенты с разными числовыми индексами δ_{21}, δ_{12} называются *побочными*. Они могут быть положительными или отрицательными. На основании теоремы о взаимности перемещений побочные коэффициенты $\delta_{21} = \delta_{12}$.

Свободные члены канонических уравнений Δ_{1p}, и Δ_{2p} еще называют *грузовыми членами*, так как они представляют собой перемещения от внешних нагрузок.

Для вычисления коэффициентов и грузовых членов канонических уравнений строим эпюры изгибающих моментов от единичных нагрузок (единичные эпюры) – рис. 5.1, *г*, *д* и эпюры изгибающих моментов от внешних нагрузок (грузовые эпюры) – рис. 5.1, *в*.

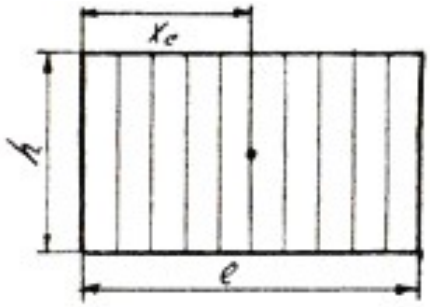
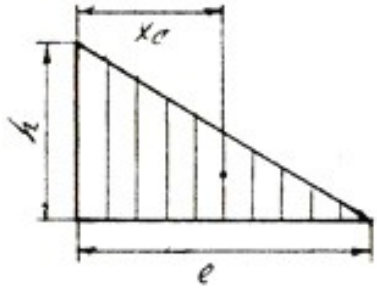
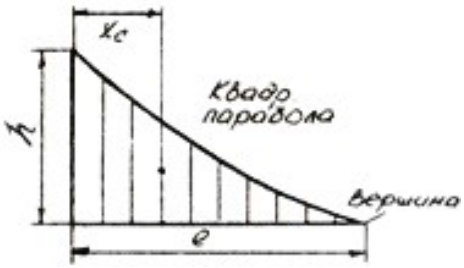
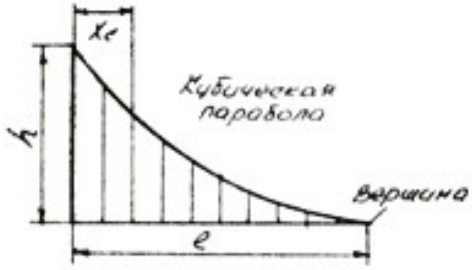
Коэффициенты уравнений и свободные члены находим путем перемножения эпюр по формуле Верещагина (или по формуле Симпсона)

$$\delta = \frac{1}{EJ}\sum \omega M_c^0, \tag{5.3}$$

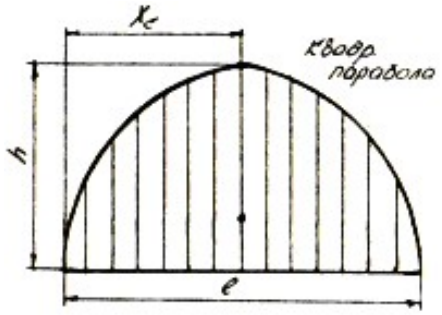
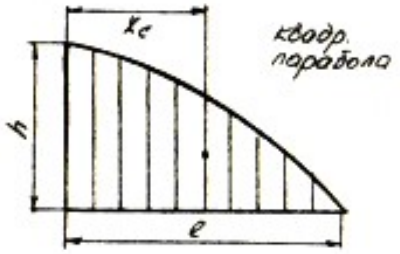
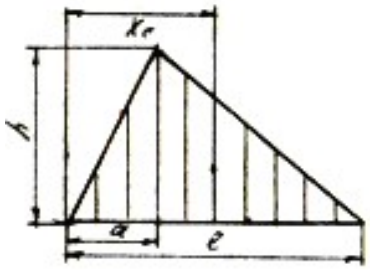
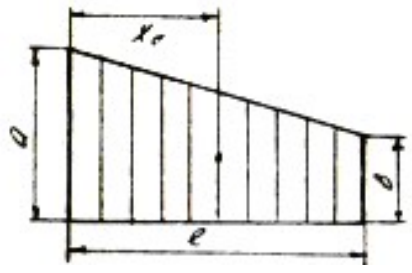
где ω – площадь эпюры изгибающих моментов; M_c^0 – ордината из единичной эпюры напротив центра тяжести грузовой эпюры; EJ – жесткость балки при изгибе.

Формулы для определения площадей и координат их центров тяжести приведены в табл. 5.1**.**

Таблица 5.1

Фигура	ω	x_c
	lh	$\frac{1}{2}l$
	$\frac{1}{2}lh$	$\frac{1}{3}l$
	$\frac{1}{3}lh$	$\frac{1}{4}l$
	$\frac{1}{4}lh$	$\frac{1}{5}l$

Окончание табл. 5.1

Фигура	ω	x_c
	$\frac{2}{3}lh$	$\frac{1}{2}l$
	$\frac{2}{3}lh$	$\frac{3}{8}l$
	$\frac{1}{2}lh$	$\frac{a+l}{3}$
	$l\frac{a+b}{2}$	$\frac{(a+2b)}{3(a+b)}l$

Главные коэффициенты δ_{11} и δ_{22} находим в результате перемножения единичных эпюр M_1^0, M_2^0 самих на себя

$$\delta_{11}=\frac{1}{EJ}\sum\omega_1^0 M_{c1}^0=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_1\cdot 1\frac{2}{3}\cdot 1\right)+\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_2\cdot 1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_1}{3}+\frac{l_2}{3}\right);$$

$$\delta_{22}=\frac{1}{EJ}\sum\omega_2^0 M_{c2}^0=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_2\cdot 1\frac{2}{3}\cdot 1\right)+\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_3\cdot 1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_2}{3}+\frac{l_3}{3}\right);$$

Побочные коэффициенты находим путем взаимного перемножения указанных единичных эпюр.

Для определения коэффициента δ_{12} берется площадь эпюры M_2^0 на участке длиной l_2, которая умножается на ординату с эпюры M_1^0

$$\delta_{12}=\delta_{21}=\frac{1}{EJ}\sum\omega_2^0 M_{c1}^0=\frac{1}{EJ}\sum\omega_1^0 M_{c2}^0=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_2\cdot 1\right)\cdot\frac{1}{3}\cdot 1=\frac{l_2}{6\cdot EJ}.$$

Свободные члены уравнений находим путем умножения грузовых эпюр M_p на единичные M_1^0 и M_2^0

$$\Delta_{1p}=\frac{1}{EJ}\sum\omega_p M_{c1}^0=\frac{1}{EJ}\left(\omega_1 M_1^{01}-\omega_2 M_1^{02}+\omega_3 M_1^{03}+\omega_4 M_1^{04}\right)=$$

$$=\frac{1}{EJ}\left(\omega_1\frac{a_1}{l_1}-\omega_2\frac{a_2}{l_1}+\omega_3\frac{b_3}{l_2}+\omega_4\frac{b_4}{l_2}\right),$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – площади грузовых эпюр; $M_1^{01}, M_1^{02}, M_1^{03}, M_1^{04}$ – ординаты, взятые из единичной эпюры M_1^0 напротив центров тяжести указанных площадей.

$$\Delta_{2p}=\frac{1}{EJ}\sum\omega_p M_{c2}^0=\frac{1}{EJ}\left(\omega_3 M_2^{03}+\omega_4 M_2^{04}+\omega_5 M_2^{05}\right)=$$

$$=\frac{1}{EJ}\left(\omega_3\frac{a_3}{l_2}+\omega_4\frac{a_4}{l_2}+\omega_5\frac{b_5}{l_3}\right).$$

После подстановки найденных перемещений в канонические уравнения получим

$$\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_1}{3}+\frac{l_2}{3}\right)X_1+\frac{l_2}{6EJ}X_2+\frac{1}{EJ}\left(\omega_1\frac{a_1}{l_1}-\omega_2\frac{a_2}{l_1}+\omega_3\frac{b_3}{l_2}+\omega_4\frac{b_4}{l_2}\right)=0;$$

$$\frac{l_2}{6EJ}X_1+\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_2}{3}+\frac{l_3}{3}\right)X_2+\frac{1}{EJ}\left(\omega_3\frac{a_3}{l_2}+\omega_4\frac{a_4}{l_2}+\omega_5\frac{b_5}{l_3}\right)=0.$$

Во избежание ошибок при определении «лишних» неизвестных необходимо проверить правильность определения коэффициентов и свободных членов канонических уравнений. Для этого необходимо построить суммарную эпюру единичных моментов M_Σ^0.

При умножении по правилу Верещагина суммарной единичной эпюры M_{Σ}^{0} на единичную эпюру M_{1}^{0} должна получиться сумма коэффициентов первого канонического уравнения

$$\delta_{11}+\delta_{12}=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_1\cdot 1\frac{2}{3}\cdot 1\right)+\frac{1}{EJ}\left(l_2\cdot 1\frac{1}{2}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_1}{3}+\frac{l_2}{2}\right).$$

При умножении суммарной эпюры M_{Σ}^{0} на эпюру M_{2}^{0} должна получиться сумма коэффициентов второго канонического уравнения

$$\delta_{21}+\delta_{22}=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_3\cdot 1\frac{2}{3}\cdot 1\right)+\frac{1}{EJ}\left(l_2\cdot 1\frac{1}{2}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_3}{3}+\frac{l_2}{2}\right).$$

Эта проверка называется построчной.

Произведение суммарной единичной эпюры саму на себя должно быть равным сумме всех коэффициентов канонических уравнений

$$\delta_{11}+\delta_{12}+\delta_{21}+\delta_{22}=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_1\cdot 1\frac{2}{3}\cdot 1\right)+\frac{1}{EJ}\left(l_2\cdot 1\cdot 1\right)+\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}l_3\cdot 1\frac{2}{3}\cdot 1\right)=$$
$$=\frac{1}{EJ}\left(\frac{l_1}{3}+l_2+\frac{l_3}{3}\right).$$

Эта проверка называется универсальной.

Правильность определения грузовых членов уравнений состоит в следующем: их сумма должна равняться произведению грузовой эпюры M_p на суммарную единичную эпюру M_{Σ}^{0}

$$\Delta_{1p}+\Delta_{2p}=\frac{1}{EJ}\left(\omega_1\frac{a_1}{l_1}-\omega_2\frac{a_2}{l_1}+\omega_3\cdot 1+\omega_4\cdot 1+\omega_5\frac{b_5}{l_3}\right).$$

Убедившись в правильности определения коэффициентов и свободных членов уравнений методом последовательного исключения, находим «лишние» неизвестные X_1 и X_2 из канонических уравнений. При правильном определении «лишних» неизвестных после их подстановки в канонические уравнения, последние должны обращаться в тождества.

Учитывая опорные моменты и внешние нагрузки, определяют по уравнениям статики опорные реакции, строят эпюру поперечных сил Q_x и эпюру изгибающих моментов M_x.

Порядок решения неразрезной балки методом сил сводится к следующему:

1. Определяют степень статической неопределимости балки;

2. Выбирают основную систему (тем самым выбираются «лишние» неизвестные);

3. По числу «лишних» неизвестных составляются канонические уравнения;

4. Строят эпюры изгибающих моментов от действующих на основную систему внешних нагрузок – грузовые эпюры;

5. В местах действия «лишних» неизвестных и по направлению их действия прикладывают единичные моменты и строят эпюры изгибающих моментов от этих единичных моментов – единичные эпюры;

6. Вычисляют главные, побочные коэффициенты и свободные члены канонических уравнений и проверяют правильность их вычисления;

7. Методом последовательного исключения неизвестных решают канонические уравнения и определяют «лишние» неизвестные с последующей проверкой;

8. С помощью уравнений равновесия определяют опорные реакции заданной балки с последующей проверкой;

9. Строят эпюры поперечных сил Q_x и изгибающих моментов M_x;

10. Подбирают поперечное сечение балки заданного профиля;

11. Производят проверку на прочность и жесткость балки, если это требуется по условию задачи.

Пример 5.1.

Для заданной схемы стальной неразрезной балки (рис. 5.2, *а*) требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;
2. Подобрать поперечное сечение двутаврового профиля (см. табл. П. 1), если $\sigma_{adm} = 160\,\text{МПа}$, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

Решение.

Определяем степень статической неопределимости балки. Она равна двум (числу опор без двух плюс единица из-за наличия жесткой заделки) и выбираем основную систему.

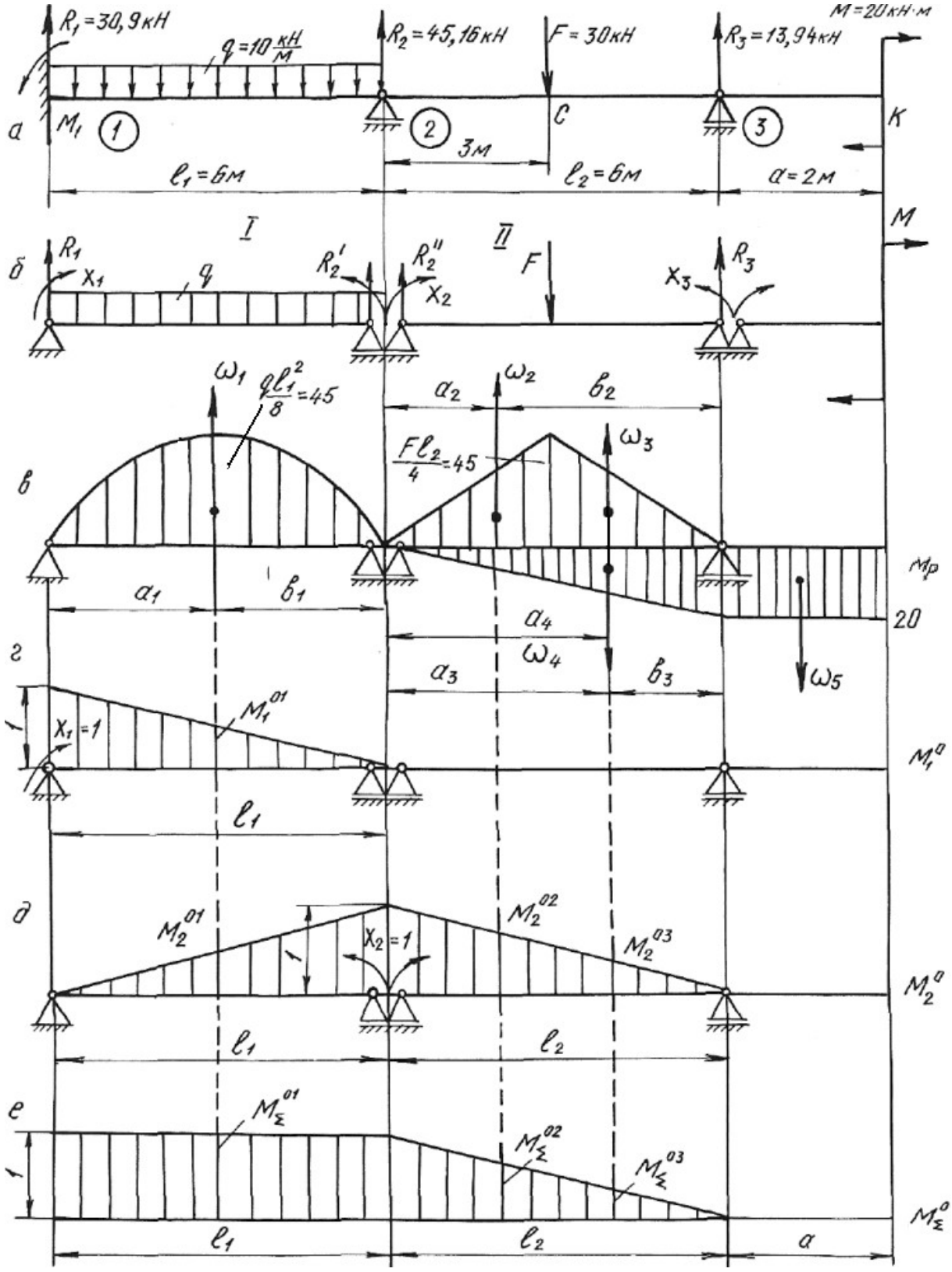
В качестве «лишних» неизвестных принимаются опорные моменты. Основная система показана на рис. 5.2, *б*.

Составляем канонические уравнения:

$$\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1p} = 0,$$

$$\delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{1p} = 0.$$

Для определения главных, побочных коэффициентов и свободных членов уравнений строим единичные эпюры M_1^0 (рис. 5.2, *г*), M_2^0 (рис. 5.2, *д*) и суммарную единичную эпюру M_Σ^0 (рис. 5.2, *е*). Грузовые эпюры M_p представлены на рис. 5.2, *в*.



$R_1 = 30,9$ кН
$q = 10\ \frac{кН}{м}$
$R_2 = 45,16$ кН
$F = 30$ кН
$R_3 = 13,94$ кН
$M = 20$ кН·м
а
M_1
1
2
3
C
K
3м
$l_1 = 6$м
$l_2 = 6$м
$a = 2$м
I
II
M
б
R_1
X_1
q
R_2'
R_2''
X_2
F
X_3
R_3
ω_1
$\frac{ql_1^2}{8} = 45$
a_2
ω_2
b_2
$\frac{Fl_2}{4} = 45$
ω_3
в
M_p
a_1
b_1
a_4
20
ω_4
a_3
b_3
ω_5
г
$X_1 = 1$
M_1^{01}
M_1^0
l_1
д
M_2^{01}
$X_2 = 1$
M_2^{02}
M_2^{03}
M_2^0
l_1
l_2
е
M_Σ^{01}
M_Σ^{02}
M_Σ^{03}
M_Σ^0
l_1
l_2
a

Рис. 5.2.

Путем умножения эпюр M_1^0 и M_2^0 самих на себя, находим значения главных коэффициентов:

$$\delta_{11}=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}\cdot 1\cdot l_1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}\cdot 1\cdot 6\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{2{,}0}{EJ};$$

$$\delta_{22}=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}\cdot 1\cdot l_1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1+\frac{1}{2}\cdot 1\cdot l_2\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(2{,}0+2{,}0\right)=\frac{4{,}0}{EJ}.$$

Побочные коэффициенты определяем путем взаимного перемножения единичных эпюр M_1^0 и M_2^0

$$\delta_{12}=\delta_{21}=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}\cdot 1\cdot l_1\frac{1}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(\frac{1}{2}\cdot 1\cdot 6\cdot\frac{1}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}.$$

Находим свободные (грузовые) члены уравнений, перемножая эпюры изгибающих моментов от внешних нагрузок на единичные эпюры.

Площади грузовых эпюр:

$$\omega_1=\frac{2}{3}h_1l_1=\frac{2}{3}\cdot 4{,}5\cdot 10^4\cdot 6=18\cdot 10^4\ \text{Н}\cdot\text{м}^2;$$

$$\omega_2=\omega_3=\frac{1}{2}h_2\frac{l_2}{2}=\frac{1}{2}\cdot 4{,}5\cdot 10^4\cdot 3=6{,}75\cdot 10^4\ \text{Н}\cdot\text{м}^2;$$

$$\omega_4=\frac{1}{2}\cdot 20\cdot 10^3\cdot 6=6\cdot 10^4\ \text{Н}\cdot\text{м}^2.$$

Расстояния $a_1=b_1=3$ м; $a_2=b_3=2$ м; $b_2=a_3=4$ м; $a_4=4$ м.

$$\Delta_{1p}=\frac{1}{EJ}\left(\omega_1M_1^{01}\right)=\frac{1}{EJ}\left(18\cdot 10^4\cdot\frac{1}{2}\cdot 1\right)=\frac{9\cdot 10^4}{EJ},$$

где M_1^{01}– ордината единичной эпюры M_1^0 напротив центра тяжести площади грузовой эпюры ω:

$$\Delta_{2p}=\frac{1}{EJ}\left(\omega_1M_2^{01}+\omega_2M_2^{02}+\omega_3M_2^{03}-\omega_4M_2^{04}\right)=$$

$$=\frac{1}{EJ}\left(18\cdot 10^4\cdot\frac{1}{2}\cdot 1-6\cdot 10^4\cdot\frac{2}{6}+6{,}75\cdot 10^4\cdot\frac{4}{6}+6{,}75\cdot 10^4\cdot\frac{2}{6}\right)=$$

$$=\frac{15{,}75\cdot 10^4}{EJ}-\frac{2\cdot 10^4}{EJ}=\frac{13{,}75\cdot 10^4}{EJ},$$

где M_2^{01}, M_2^{02}, M_2^{03}, M_2^{04}– ординаты единичной эпюры M_2^0 напротив центров тяжести площадей грузовых эпюр ω_1, ω_2, ω_3, ω_4.

Производим проверку правильности определения коэффициентов и свободных членов уравнений, для чего строим суммарную единичную эпюру M_Σ^0.

Построчная проверка. Перемножая суммарную единичную эпюру M_{Σ}^{0} на единичную эпюру M_{1}^{0}, должны получить сумму коэффициентов первого канонического уравнения

$$\delta_{11}+\delta_{12}=\frac{1}{EJ}\left(1\cdot l_1\cdot\frac{1}{2}\cdot 1+0\right)=\frac{3}{EJ}.$$

При перемножении эпюры M_{Σ}^{0} на единичную эпюру M_{2}^{0} должны получить сумму коэффициентов второго канонического уравнения:

$$\delta_{21}+\delta_{22}=\frac{1}{EJ}\left(1\cdot l_1\cdot\frac{1}{2}\cdot 1+\frac{1}{2}\cdot l_2\cdot 1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(1\cdot 6\cdot\frac{1}{2}\cdot 1+\frac{1}{2}\cdot 6\cdot 1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{5{,}00}{EJ}.$$

Универсальная проверка. Умножаем суммарную единичную эпюру M_{Σ}^{0} саму на себя. Должны получить сумму всех коэффициентов канонических уравнений:

$$\delta_{11}+\delta_{12}+\delta_{21}+\delta_{22}=\frac{1}{EJ}\left(1\cdot l_1\cdot 1+\frac{1}{2}\cdot l_2\cdot 1\cdot\frac{2}{3}\cdot 1\right)=\frac{1}{EJ}\left(1\cdot 6\cdot 1+\frac{1}{2}\cdot 6\cdot 1\cdot\frac{2}{3}\right)=\frac{8{,}00}{EJ}.$$

Проводим проверку правильности определения грузовых членов уравнений.

Перемножением грузовой эпюры M_p на суммарную единичную эпюру M_{Σ}^{0} должны получить сумму свободных членов уравнений:

$$\Delta_{1p}+\Delta_{2p}=\frac{1}{EJ}\left(\omega_1 M_{\Sigma}^{01}+\omega_2 M_{\Sigma}^{02}+\omega_3 M_{\Sigma}^{03}-\omega_4 M_{\Sigma}^{04}\right)=$$

$$=\frac{1}{EJ}\left(18\cdot 10^4\cdot 1+6{,}75\cdot 10^4\cdot\frac{4}{6}+6{,}75\cdot 10^4\cdot\frac{2}{6}-6\cdot 10^4\cdot\frac{2}{6}\right)=\frac{22{,}75\cdot 10^4}{EJ}.$$

Подставляем коэффициенты и свободные члены в канонические уравнения:

$$\frac{2{,}00}{EJ}X_1+\frac{1{,}00}{EJ}X_2+\frac{9\cdot 10^4}{EJ}=0.$$

$$\frac{1{,}00}{EJ}X_1+\frac{4{,}0}{EJ}X_2+\frac{13{,}75\cdot 10^4}{EJ}=0.$$

После сокращения на жесткость получаем:

$$2{,}00X_1+1{,}00X_2+9\cdot 10^4=0.$$

$$1{,}00X_1+4{,}00X_2+13{,}75\cdot 10^4=0.$$

Решая совместно эти уравнения, находим:

$$X_1=M_1=-3{,}18\cdot 10^4\ \text{Н·м}=-31{,}8\ \text{кН·м},$$

$$X_2 = M_2 = -2{,}64 \cdot 10^4 \text{ Нм} = -26{,}4 \text{ кН·м}.$$

На опоре № 3 (см. рис. 5.2, *а*) опорный момент будет равен моменту M со знаком минус:

$$X_3 = M_3 = -20 \text{ кН·м}.$$

Подставив найденные значения «лишних» неизвестных в канонические уравнения, убеждаемся в том, что эти уравнения превращаются в тождества.

Определяем опорные реакции заданной балки из уравнений статики:

$$\sum M_1^{\text{I}} = 0; \quad R_2^1 l_1 + M_2 - \frac{q l_1^2}{2} - M_1 = 0;$$

$$R_2^{'} = -\frac{M_2}{l_1} + \frac{q l_1}{2} + \frac{M_1}{l_1} = \frac{26{,}4}{6} + \frac{10 \cdot 6}{2} - \frac{31{,}8}{6} = 29{,}1 \text{ кН}.$$

$$\sum M_2^{\text{I}} = 0; \quad -R_1 l_1 - M_1 + \frac{q l_1^2}{2} + M_2 = 0;$$

$$R_1 = -\frac{M_1}{l_1} + \frac{q l_1}{2} + \frac{M_2}{l_1} = \frac{31{,}8}{6} + \frac{10 \cdot 6}{2} - \frac{26{,}4}{6} = 30{,}9 \text{ кН}.$$

$$\sum M_2^{\text{II}} = 0; \quad M_3 + R_3 l_3 - F\frac{l_2}{2} - M_2 = 0;$$

$$R_3 = -\frac{M_3}{l_2} + \frac{F}{2} + \frac{M_2}{l_2} = \frac{20}{6} + \frac{30}{2} - \frac{26{,}4}{6} = 13{,}94 \text{ кН}.$$

$$\sum M_3^{\text{II}} = 0; \quad -M_2 - R_2^2 l_2 + P\frac{l_2}{2} + M_3 = 0;$$

$$R_2^{''} = -\frac{M_2}{l_2} + \frac{F}{2} + \frac{M_3}{l_2} = \frac{26{,}4}{6} + \frac{30}{2} - \frac{20}{6} = 16{,}06 \text{ кН}.$$

Окончательно:

$$R_1 = 30{,}9 \text{ кН}; R_2 = R_2^{'} + R_2^{''} = 29{,}1 + 16{,}06 = 45{,}16 \text{ кН}; \; R_3 = 13{,}94 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum Y = 0; \quad R_1 + R_2 + R_3 - F - q \cdot l_1 = 0; \quad 30{,}9 + 45{,}16 + 13{,}94 - 30 - 10 \cdot 6 = 0.$$

Строим эпюру поперечных сил Q_x и эпюру изгибающих моментов M_x по правилам, принятым при построении эпюр для статически определимых балок (рис. 5.3**).**

$Q_1 = R_1 = 30{,}9$ кН;

$Q_2 = R_1 - q \cdot l_1 = 30{,}9 - 10 \cdot 6 = -29{,}1$ кН;

Затем скачок вверх на $R_2 = 45{,}16$ кН.

На участке от опоры 2 до сечения C: $Q_x = 16{,}06$ кН.

Затем скачок вниз в сечении C на силу F, $Q_C = 16{,}06 - 30 = -13{,}94$ кН.

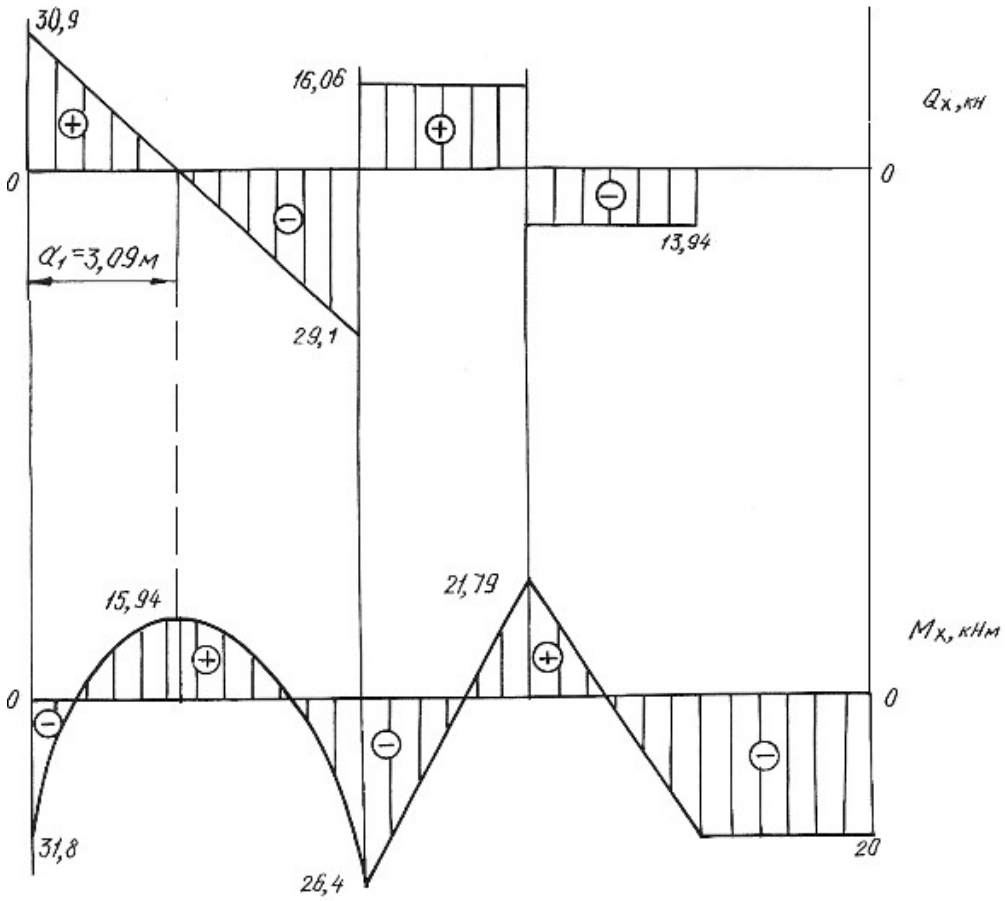


Рис. 5.3.

Находим расстояние *a*

$$\frac{30,9}{a_1}=\frac{29,1}{6-a_1},\ a_1=3,09\ \text{м}.$$

На участке от сечении *C* до опоры 3

$$Q_{C-3}=-13,94\ \text{кН}.$$

В левом крайнем сечении $M_x=-M_1=-31,8\ \text{кН}\cdot\text{м}$.

При $x=a_1=3,09\,\text{м}$

$$M_x=R_1a_1-\frac{qa_1^2}{2}-M_1=30,9\cdot3,09-\frac{10\cdot3,09^2}{2}-31,8=15,94\ \text{кН}\cdot\text{м}$$

В сечении над опорой 2

$$M_x=-M_1+R_1l_1-\frac{ql_1^2}{2}=-31,8+30,9\cdot6-\frac{10\cdot6^2}{2}=-26,4\ \text{кН}\cdot\text{м}.$$

До сечения *C* расчет производим справа:

$$M_k=-M=-20\ \text{кН}\cdot\text{м},$$

$$M_C=-M+R_3\cdot3=-20+13,93\cdot3=21,79\ \ \text{кН}\cdot\text{м}.$$

На участке балки от сечения *K* до опоры 3: $M_x = -20$ кН·м.

По сортаменту проката в соответствии с ГОСТ 8239-89 подбираем поперечное сечение двутаврового профиля, используя условие прочности

$$M_{\max} \le \sigma_{adm} \cdot W_{н.о.},$$

откуда $W_{н.о.} \ge \dfrac{M_{\max}}{\sigma_{adm}} = \dfrac{31{,}8 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 1{,}98 \cdot 10^{-4}$ м^3 $= 198$ см^3.

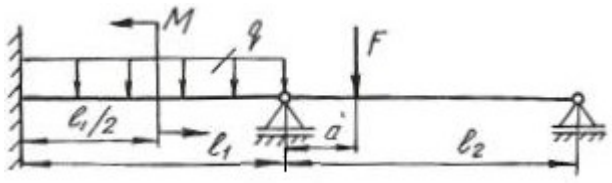
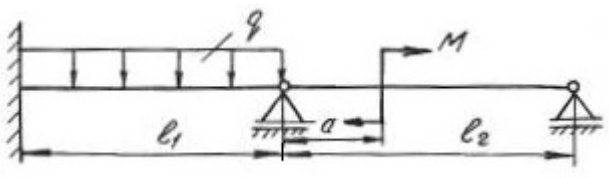
Принимаем двутавр № 20а, для которого $W_{н.о.} = W_x^{табл.} = 203$ см^3, $J_{н.о.} = J_x^{табл.} = 2030$ см^4, $A = 28{,}9$ см^2.

5.2. Задания для расчета статически неопределимых балок

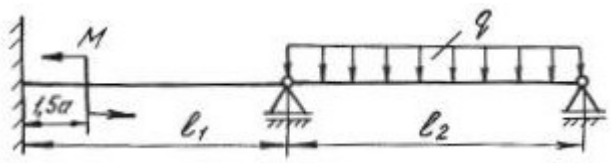
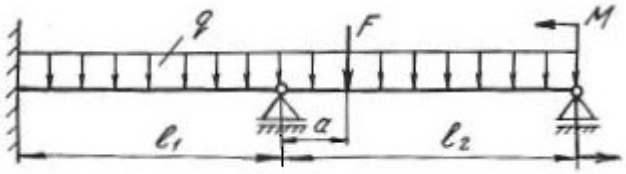
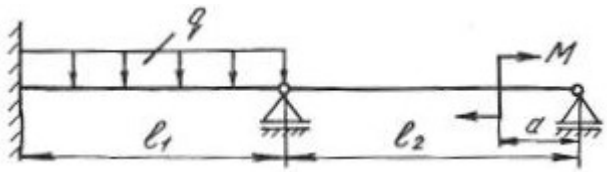
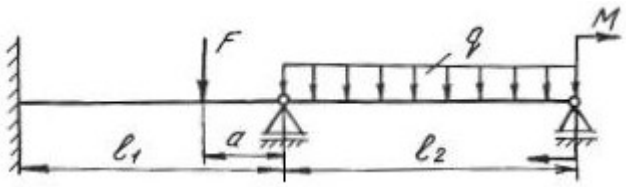
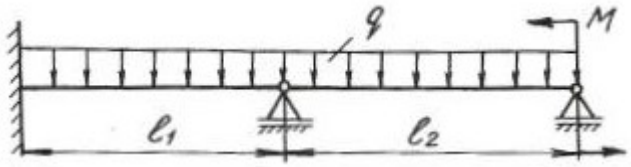
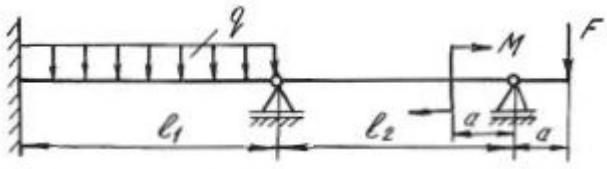
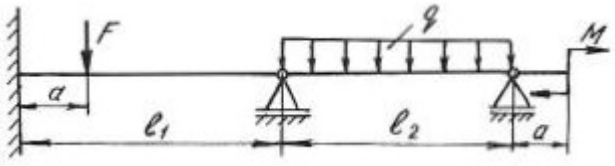
Для заданной схемы неразрезной балки при заданных значениях длин и нагрузок в соответствии с указанным номером варианта требуется:

1. Определить степень статической неопределимости балки, выбрать основную систему.
2. Составить канонические уравнения по методу сил.
3. Вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены канонических уравнений. Проверить правильность их определения.
4. После определения неизвестных построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
5. Подобрать поперечное сечение балки двутаврового профиля (см. табл. П. 1) при $\sigma_{adm} = 160$ МПа. Данные для расчета взять из табл. 5.2.

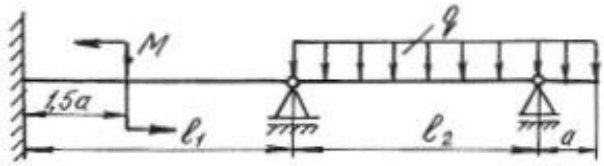
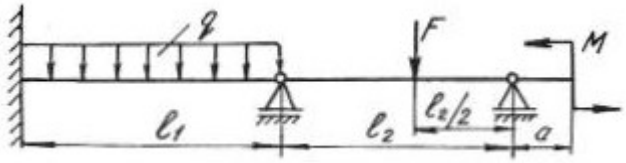
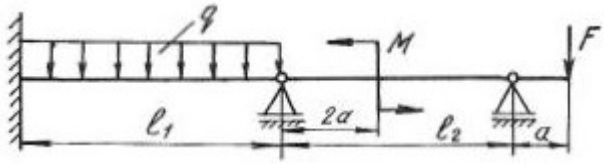
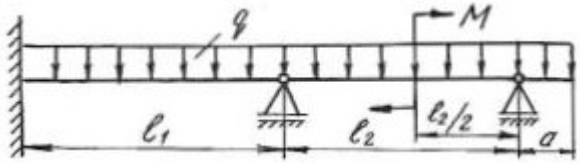
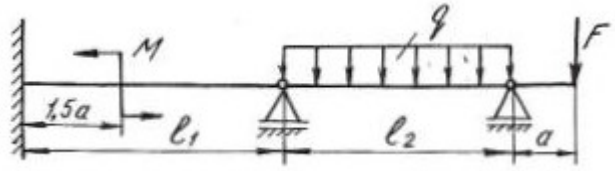
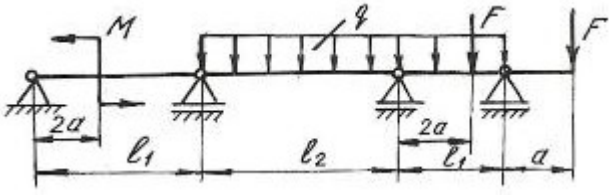
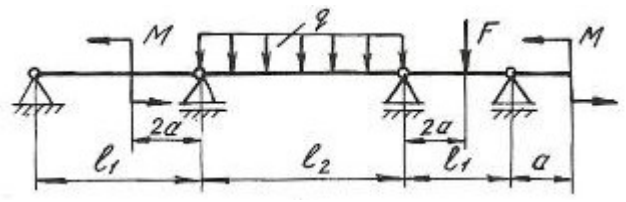
Таблица 5.2

Схема закрепления и нагружения балки	Номер варианта	*M*, кН·м	*F*, кН	*q*, кН/м	l_1, м	l_2, м	*a*, м
	1	10	10	15	3,5	5,0	0,5
	2	20	11	15	2,5	4,0	0,5
	3	30	12	15	4,0	4,0	0,5
	4	15	13	10	3,0	5,5	0,5
	5	20	14	10	3,5	5,0	0,5
	6	25	15	10	2,5	5,0	0,4

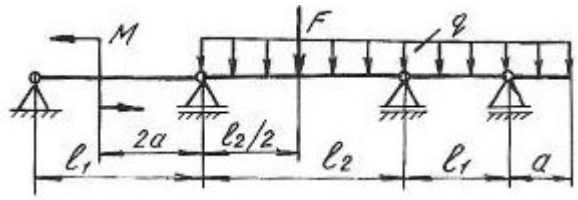
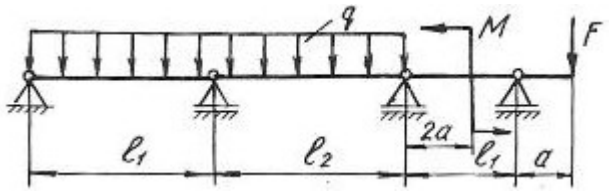
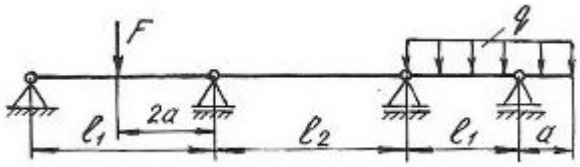
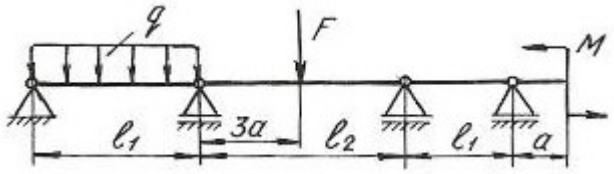
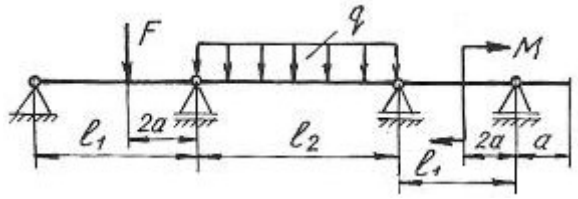
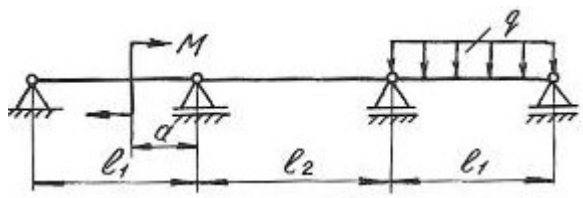
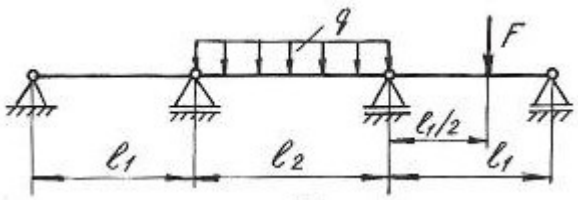
Продолжение табл. 5.2

Схема закрепления и нагружения балки	Номер вари-анта	M, кН·м	F, кН	q, кН/м	l_1, м	l_2, м	a, м
	7	10	10	10	5,0	5,0	0,4
	8	15	11	15	3,5	6,0	0,6
	9	20	12	20	3,5	5,0	0,4
	10	10	15	20	4,0	5,0	0,4
	11	20	20	10	2,0	5,0	0,5
	12	30	25	10	3,0	4,0	0,6
	13	30	11	15	2,0	5,0	0,4
	14	40	10	15	4,5	5,0	0,5
	15	20	12	15	3,5	5,5	0,6
	16	15	12	10	3,5	4,5	0,5
	17	20	10	10	2,6	5,2	0,4
	18	25	11	10	2,0	5,0	0,8
	19	25	20	20	3,5	6,0	0,5
	20	20	25	15	3,0	5,5	0,8
	21	15	10	10	3,5	3,5	0,8
	22	20	10	10	3	5	0,5
	23	30	11	10	4	6	0,4
	24	25	12	10	5	6	0,6
	25	20	15	10	2	3	0,4
	26	30	16	10	3	4	0,5
	27	40	20	10	4	5	0,6

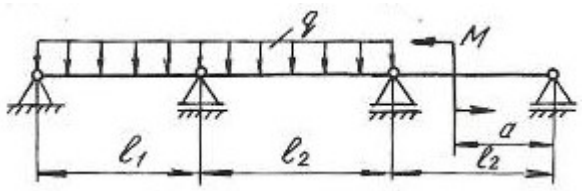
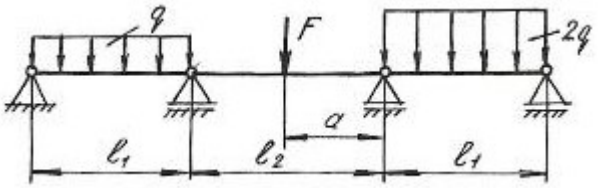
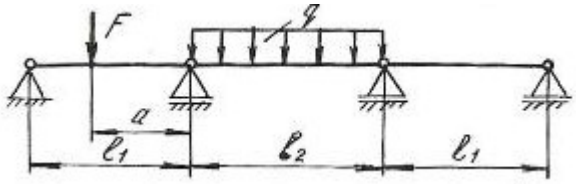
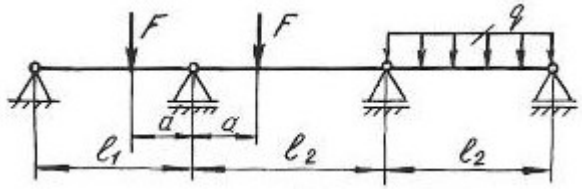
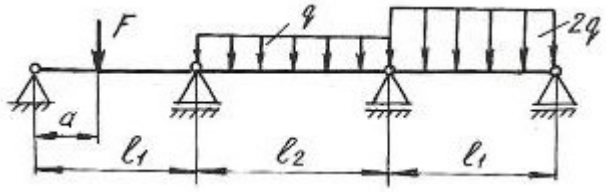
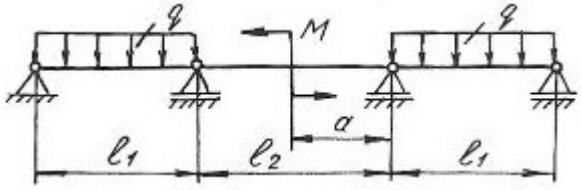
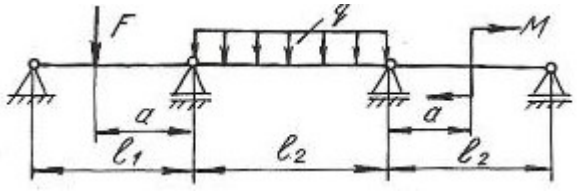
Продолжение табл. 5.2

Схема закрепления и нагружения балки	Номер вари-анта	M, кН·м	F, кН	q, кН/м	l_1, м	l_2, м	a, м
	28	15	10	15	3	5	0
	29	20	15	15	4	6	0,5
	30	25	20	15	5	6	0,4
	31	30	12	20	2	3	0,4
	32	35	14	15	3	4	0,5
	33	40	16	20	2,5	5	0,6
	34	10	20	10	3	5,5	0,4
	35	15	15	15	2,5	4	0,5
	36	20	10	20	5	6	0,6
	37	20	12	15	4	6	0,4
	38	15	14	20	3,5	4	0,6
	39	10	16	25	4	5	0,5
	40	10	10	30	2,5	4	0,4
	41	15	20	20	3	5	0,5
	42	20	30	10	4	6	0,6
	43	10	15	10	3	5	0,4
	44	20	25	12	4	5	0,5
	45	30	35	14	5	6	0,6
	46	40	10	10	2	5	0,5
	47	20	25	16	3	4	0,6
	48	10	30	10	4	6	0,4

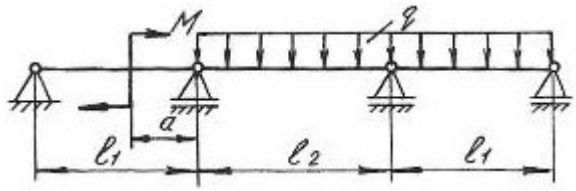
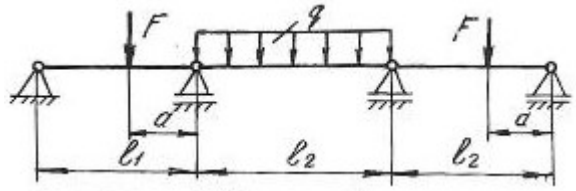
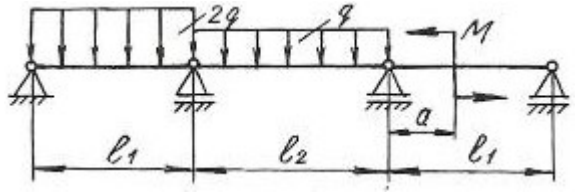
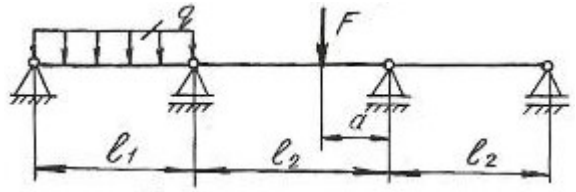
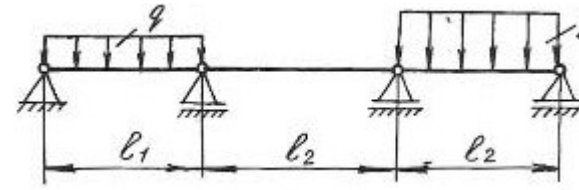
Продолжение табл. 5.2

Схема закрепления и нагружения балки	Номер вари-анта	M, кН·м	F, кН	q, кН/м	l_1, м	l_2, м	a, м
	49	30	25	12	5	6	0,5
	50	15	15	15	6	5	0,4
	51	10	20	20	2	4	0,6
	52	10	20	10	4	5	0,5
	53	20	15	12	5	6	0,5
	54	30	40	14	4	6	0,5
	55	25	20	16	3	4	0,4
	56	35	30	10	5	6	0,5
	57	40	15	12	4	5	0,6
	58	10	20	14	5	6	0,6
	59	15	30	16	2	4	0,5
	60	20	40	10	4	5	0,4
	61	25	10	12	3	5	0,3
	62	35	15	14	5	6	0,6
	63	40	20	16	6	4	0,5
	64	10	–	10	3	4	0,5
	65	20	–	15	4	5	0,6
	66	30	–	12	5	6	0,4
	67	–	12	40	2	3	0,6
	68	–	14	30	3	4	0,5
	69	–	16	25	4	5	0,4

Продолжение табл. 5.2

Схема закрепления и нагружения балки	Номер вари-анта	M, кН·м	F, кН	q, кН/м	l_1, м	l_2, м	a, м
	70	30	–	20	4	5	0,4
	71	20	–	15	3	4	0,6
	72	40	–	30	2	3	0,8
	73	–	20	20	3	3	0,5
	74	–	15	15	4	5	0,5
	75	–	16	30	5	6	0,5
	76	–	40	20	4	5	0,4
	77	–	30	10	3	5	0,5
	78	–	20	12	2	3	0,6
	79	–	10	20	2	3	0,6
	80	–	12	15	4	5	0,8
	81	–	15	10	6	6	0,5
	82	–	20	12	3	4	0,5
	83	–	10	15	4	5	0,6
	84	–	15	20	5	6	0,8
	85	20	–	12	3	5	0,5
	86	30	–	15	4	6	0,6
	87	40	–	20	5	6	0,8
	88	10	20	12	3	4	0,4
	89	15	30	14	4	6	0,6
	90	20	40	16	5	5	0,5

Окончание табл. 5.2

Схема закрепления и нагружения балки	Номер вари-анта	M, кН·м	F, кН	q, кН/м	l_1, м	l_2, м	a, м
	91	12	–	20	5	6	0,5
	92	15	–	30	4	5	0,5
	93	20	–	40	6	4	0,4
	94	–	20	12	5	6	0,5
	95	–	30	15	4	5	0,6
	96	–	40	16	6	4	0,4
	97	20	–	20	3	4	0,5
	98	30	–	30	4	5	0,5
	99	40	–	40	5	6	0,6
	100	–	12	10	6	4	0,4
	101	–	15	15	3	3	0,5
	102	–	20	20	4	5	0,6
	103	–	–	20	5	5	0,8
	104	–	–	30	6	6	0,6
	105	–	–	40	4	8	0,5

5.3. Статически неопределимые рамы

Плоской рамой называется геометрически неизменяемая система, состоящая из стержней, лежащих в одной плоскости и жестко соединенных между собой. Горизонтальные стержни рам называются *ригелями*, вертикальные – *стойками.*

Статически неопределимой рамой называется такая геометрически неизменяемая система, у которой реакции или все внутренние суммарные силовые факторы, возникающие в сечениях ее элементов при действии произвольной нагрузки, не могут быть определены из уравнений статики.

Расчет статически неопределимой рамы сводится к построению эпюр изгибающих моментов M_x, поперечных сил Q_x и нормальных сил N_x, на основании которых подбираются сечения, или проверяются напряжения в опасных сечениях различных элементов, или определяется несущая способность системы.

В пособии рассмотрено только построение эпюр M_x, Q_x, N_x, а также подбор поперечного сечения, так как это наиболее трудоемкая часть расчета.

Степень статической неопределимости плоской рамы определяется следующим образом:

1. Замкнутый контур (рама, оба конца которой жестко защемлены) имеет степень статической неопределимости, равную трем.

2. Наличие шарнира в раме понижает степень статической неопределимости на единицу.

3. Наличие подвижной опоры также понижает степень статической неопределимости на единицу.

Определение усилий в статически неопределимой раме связано с необходимостью составления дополнительных уравнений – уравнений совместности деформаций. Число этих уравнений должно быть равно степени статической неопределимости рамы.

Прежде, чем составлять уравнение деформаций, следует превратить заданную статически неопределимую раму в статически определимую, геометрически неизменяемую, устранив из нее «лишние» связи. Такая система называется *основной* системой.

Если к основной системе, кроме заданной нагрузки, приложить реакции устраненных связей, то деформации этой системы и возникающие в ней внутренние усилия, будут такими же, как и в заданной системе. То есть, обе системы будут эквивалентными.

В заданной системе в направлениях имеющихся связей перемещений быть не может. Поэтому, в основной системе перемещения в направлении отброшенных связей должны быть равны нулю.

Способ расчета статически неопределимых систем, при котором за «лишние» неизвестные принимаются силы и моменты, называется *методом сил.*

Данный метод рассмотрен при расчете статически неопределимых неразрезных балок в начале этой главы. Определение коэффициентов уравнений и грузовых членов и их проверки рассмотрены также при расчете балок.

Построение эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил.

При расчете рам на прочность в каждом поперечном сечении необходимо определять три силовых фактора: продольную силу N_x, поперечную силу Q_x, изгибающий момент M_x.

Продольная сила N_x равна алгебраической сумме проекций всех сил, действующих по одну сторону от сечения на продольную ось бруса. Если сила вызывает растяжение, она положительна, сжатие – отрицательна.

При построении эпюр продольных сил их значения откладываются симметрично от оси бруса в обе стороны с указанием знака.

Поперечная сила Q_x равна алгебраической сумме проекций на нормаль к оси бруса всех сил, действующих по одну сторону от сечения.

Если поперечная сила относительно сечения вращает часть бруса по часовой стрелке, то она положительна. Противоположное направление следует считать отрицательным. Условимся положительные ординаты откладывать снаружи контура, отрицательные – внутри.

При построении эпюр поперечных сил их значения откладываются по одну сторону от оси бруса с указанием знака.

Изгибающий момент M_x равен сумме моментов всех сил, взятых по одну сторону от сечения, относительно оси, проходящей через центр сечения перпендикулярно плоскости рамы. Условно принято построение эпюр изгибающих моментов со стороны растянутых волокон.

Общий порядок расчета статически неопределимых рам по методу сил сводится к следующему.

1. Определяют степень статической неопределимости рамы.
2. Удаляют «лишние» связи. Полученную таким образом основную систему загружают заданными силами и реакциями отброшенных связей.
3. В местах действия «лишних» неизвестных и по направлению их действия прикладывают единичные силы и строят эпюры изгибающих моментов от единичных сил, а также суммарную единичную эпюру.
4. Строят эпюры изгибающих моментов от действующих на основную систему внешних нагрузок.
5. Вычисляют главные, побочные коэффициенты и свободные члены канонических уравнений и проверяют правильность их определения.
6. Составляют и решают канонические уравнения, определяя «лишние» неизвестные.
7. Определяют остальные реакции с помощью уравнений статики.

8. Вычисляют значения изгибающих моментов, поперечных и нормальных сил и строят эпюры.

9. Подбирают поперечное сечение заданного профиля.

Пример 5.2.

Для заданной схемы статически неопределимой рамы (рис. 5.4, *а*), при заданных значениях длин и нагрузок, построить эпюры изгибающих моментов, нормальных и поперечных сил. Жесткости стоек и ригеля одинаковы.

Решение.

Заданная система освобождается от наложенных на нее связей. Действия связей заменяются реакциями. Установим степень статической неопределимости рамы: 3(замкнутый контур) − 2(наличие двух шарниров) = 1, т. е. рама однажды статически неопределима.

За «лишнюю» неизвестную X_1 принимаем реакцию H_b. Нагружаем основную систему (рис. 5.4, *б*) заданными внешними силами и реакцией отброшенной связи. Выбирая основную систему, необходимо помнить, что она должна быть статически определимой и геометрически неизменяемой.

В месте действия «лишней» неизвестной и по направлению ее действия прикладываем единичную силу $X_1 = 1$ и строим единичную эпюру.

Рассмотрим подробно построение этой эпюры. Покажем реакции опор (рис. 5.5), их три. Определим эти реакции по уравнениям статики:

$$\sum X = 0; \qquad H'_a - X_1 = 0; \qquad H'_a = 1;$$

$$\sum M_A = 0; \quad -X_1 \cdot 3 + R'_b \cdot 4 = 0; \qquad R'_b = \frac{3}{4} = 0{,}75;$$

$$\sum M_B = 0; \quad -H'_a \cdot 3 + R'_a \cdot 4 = 0; \quad R'_a = \frac{3}{4} = 0{,}75.$$

Проверка правильности вычисления реакций:

$$\sum Y = 0; \qquad -R'_a + R'_b = 0; \qquad 0 = 0.$$

Получили тождество, следовательно, реакции определены правильно.

Разбиваем раму на участки, граница участка там, где приложены сосредоточенные силы и для рамы граница участка, где жестко соединяется стойка с ригелем. Участков три, находим значения изгибающих моментов на границах участков. На всех участках эпюра изгибающих моментов очерчена наклонной прямой, эпюра изгибающих моментов показана на рис. 5.4, *в*.

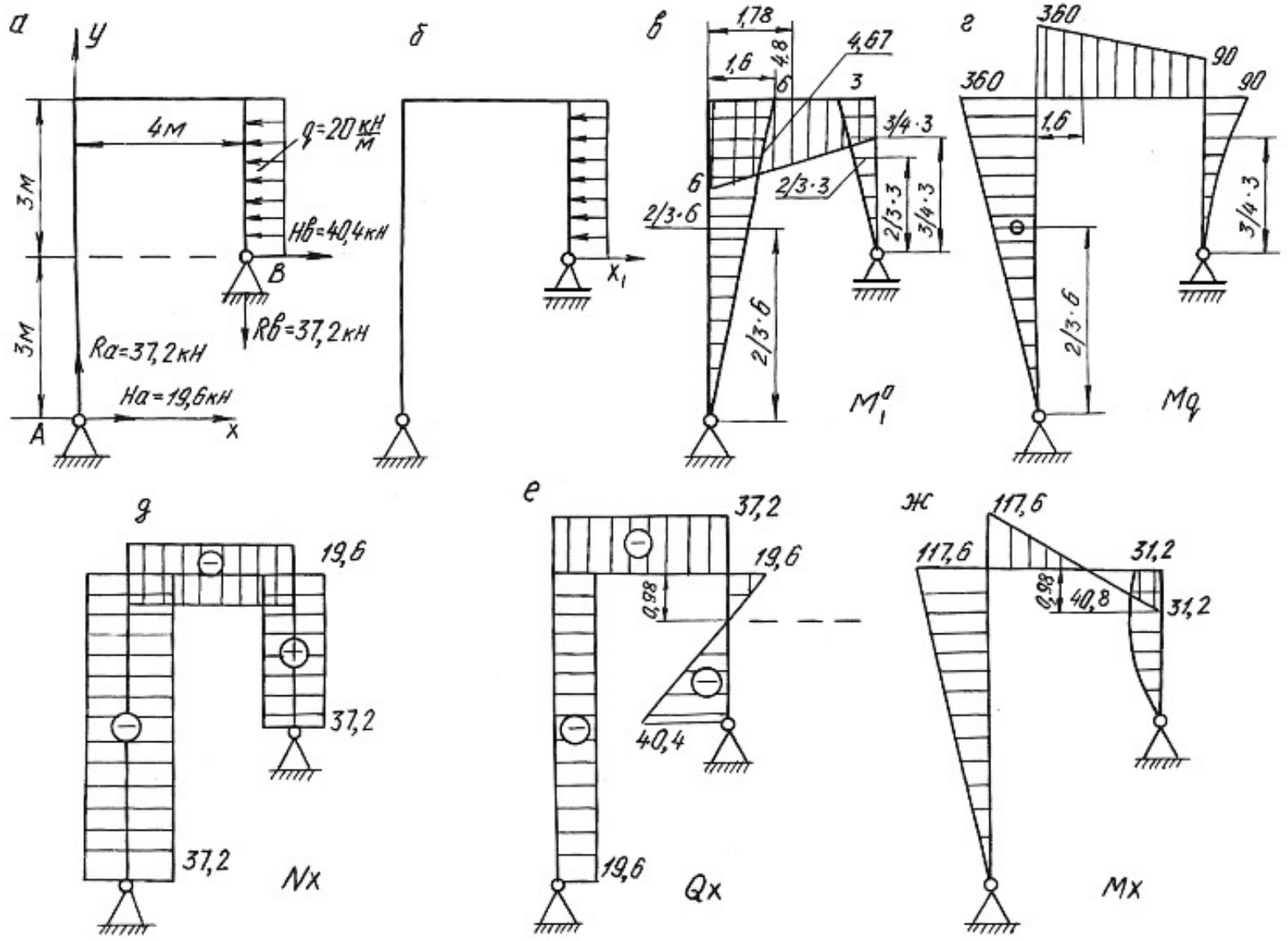

а
y
4м
q=20 кН/м
3м
HB=40,4кН
B
3м
RB=37,2кН
Ra=37,2кН
Ha=19,6кН
A
x
б
x1
в
1,78
1,6
4,8
4,67
6
3
3/4·3
6
2/3·3
2/3·6
2/3·3
3/4·3
2/3·6
M1q
г
360
90
360
90
1,6
3/4·3
2/3·6
Mq
д
19,6
37,2
37,2
Nx
е
37,2
19,6
0,98
40,4
19,6
Qx
ж
117,6
117,6
31,2
0,98
40,8
31,2
Mx

Рис. 5.4.

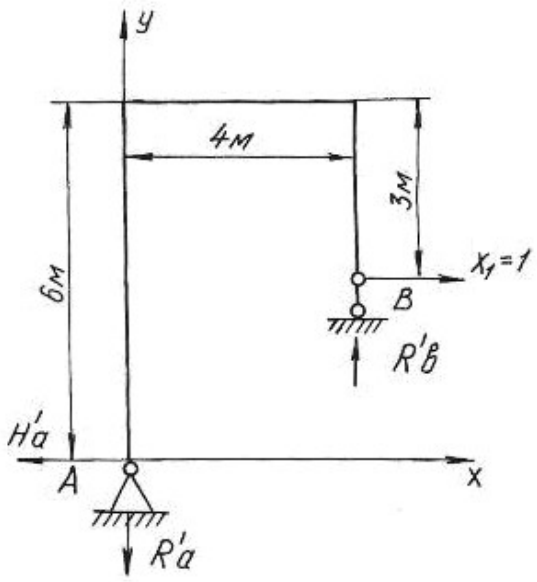


Рис. 5.5.

Строим эпюру изгибающих моментов от действия на основную систему внешней равномерно распределенной нагрузки интенсивностью q (рис. 5.4, *г*). По приведенной выше методике определяем реакции опор, разбиваем раму на участки, определяем значения изгибающих моментов на границах участков и по контрольным правилам строим эпюру изгибающих моментов.

По числу «лишних» неизвестных записываем канонические уравнения метода сил

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0\,.$$

Перемещение δ_{11} определяется перемножением единичной эпюры самой на себя

$$\delta_{11} = \sum \frac{\omega_1^0 M_{c1}^0}{EJ},$$

где ω_1^0 – площадь единичной эпюры; M_{c1}^0 – ордината единичной эпюры под ее центром тяжести.

$$\delta_{11} = \sum \frac{\omega_1^0 M_{c1}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\left\{\left(\frac{1}{2}6\cdot 6\right)\left[\frac{2}{3}\cdot 6\right] + \left(\frac{1}{2}3\cdot 3\right)\left[\frac{2}{3}\cdot 3\right] + \left(\frac{(3+6)}{2}4\right)[4{,}67]\right\} = \frac{165{,}06}{EJ}.$$

На участке по ригелю площадь эпюры изгибающих моментов представлена трапецией. Посмотрим подробнее как определить центр тяжести площади, площадь и ординату под ее центром тяжести (рис. 5.6).

$$C=\frac{4\left(2\cdot 3+6\right)}{3\left(3+6\right)}=1,78\text{ м};\quad \omega_0=\frac{1}{2}\left(3+6\right)\cdot 4=18\text{ кН}\cdot\text{м}^2,$$

где ω_0 –площадь трапеции.

$$M_c^0=\left(3+1,67\right)=4,67\text{ кН}\cdot\text{м},$$

где M_c^0 – ордината под центром тяжести трапеции.

Отрезок $1,67$ определяем из подобия треугольников $3:4=x:2,22$.

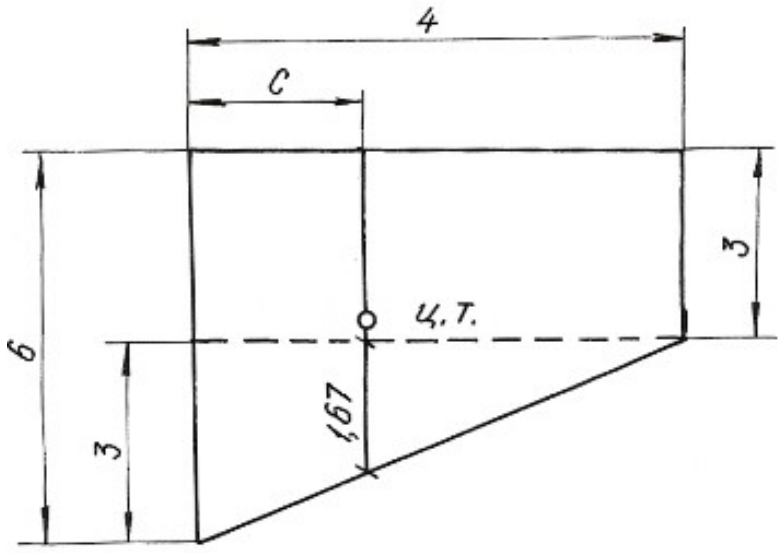


Рис. 5.6.

Перемещение Δ_{1p} получаем перемножением грузовой эпюры M_q на единичную M_1^0

$$\Delta_{1p}=\sum\frac{\omega_p M_{c1}^0}{EJ},$$

где ω_p – площадь грузовой эпюры; M_{c1}^0 – ордината с первой единичной эпюры под центром тяжести грузовой.

$$\Delta_{1p}=\frac{1}{EJ}\left\{-\left(\frac{1}{2}360\cdot 6\right)\left[\frac{2}{3}6\right]-\left(\left(\frac{90+360}{2}\right)\cdot 4\right)[4,8]-\left(\frac{1}{3}90\cdot 3\right)\left[\frac{3}{4}3\right]\right\}=-\frac{6682,5}{EJ}.$$

Полученные значения δ_{11} и Δ_{1p} подставляем в уравнения, определяем X_1:

$$\frac{165{,}06 \cdot X_1}{EJ} - \frac{6682{,}5}{EJ} = 0, \quad X_1 = 40{,}4\,\text{кН}.$$

Зная реакцию $H_b = X_1$, по уравнениям статики определяем R_a, H_a, R_b:

$$\sum X = 0, \qquad H_b + H_a - q \cdot 3 = 0, \qquad H_a = 19{,}6 \text{ кН};$$

$$\sum M_a = 0, \quad H_b \cdot 3 + R_b \cdot 4 - q \cdot 3 \cdot 4{,}5 = 0, \qquad R_b = 37{,}2 \text{ кН};$$

$$\sum M_b = 0, \quad H_a \cdot 6 - R_a \cdot 4 + q \cdot 3 \cdot 1{,}5 = 0, \qquad R_a = 37{,}2 \text{ кН}.$$

Проверка правильности вычисления реакций:

$$\sum Y = 0, \qquad R_a + R_b = 0.$$

Строим эпюры M_x, Q_x, N_x известным способом. Эпюры приведены на рисунке 5.4, *д*, *е*, *ж*.

Пример 5.3.

Для заданной схемы статически неопределимой рамы (рис. 5.7, *а*)**,** при заданных значениях длин и нагрузок, построить эпюры изгибающих моментов, нормальных и поперечных сил. Подобрать поперечное сечение двутаврового профиля (см. табл. П. 1) при $\sigma_{adm} = 160$ МПа. Жесткости стойки и ригеля одинаковы.

Решение.

Заданная система освобождается от наложенных на нее связей. Действия связей заменяются реакциями. Установим степень статической неопределимости рамы: 3(замкнутый контур) – 1(наличие одного шарнира) = 2, т. е. рама дважды статически неопределима.

За «лишние» неизвестные принимаем $H_b = X_1$, $R_b = X_2$, тем самым выбираем основную систему. Нагружаем основную систему внешними силами (*q*, *M*) и реакциями отброшенных связей (X_1, X_2). Отбрасывая «лишние» связи, следует помнить, что основная система должна быть статически определимой и геометрически неизменяемой.

В местах действия «лишних» неизвестных и по направлению их действия прикладываем единичные силы $X_1 = 1$ и $X_2 = 1$ и строим эпюры изгибающих моментов от этих сил.

Строим эпюры изгибающих моментов от действия на основную систему внешних сил *q* и *M*.

Методика построения эпюр изгибающих моментов от единичных сил и внешних нагрузок, приложенных к основной системе, подробно рассмотрена при решении примера 5.1 и здесь не приводится.

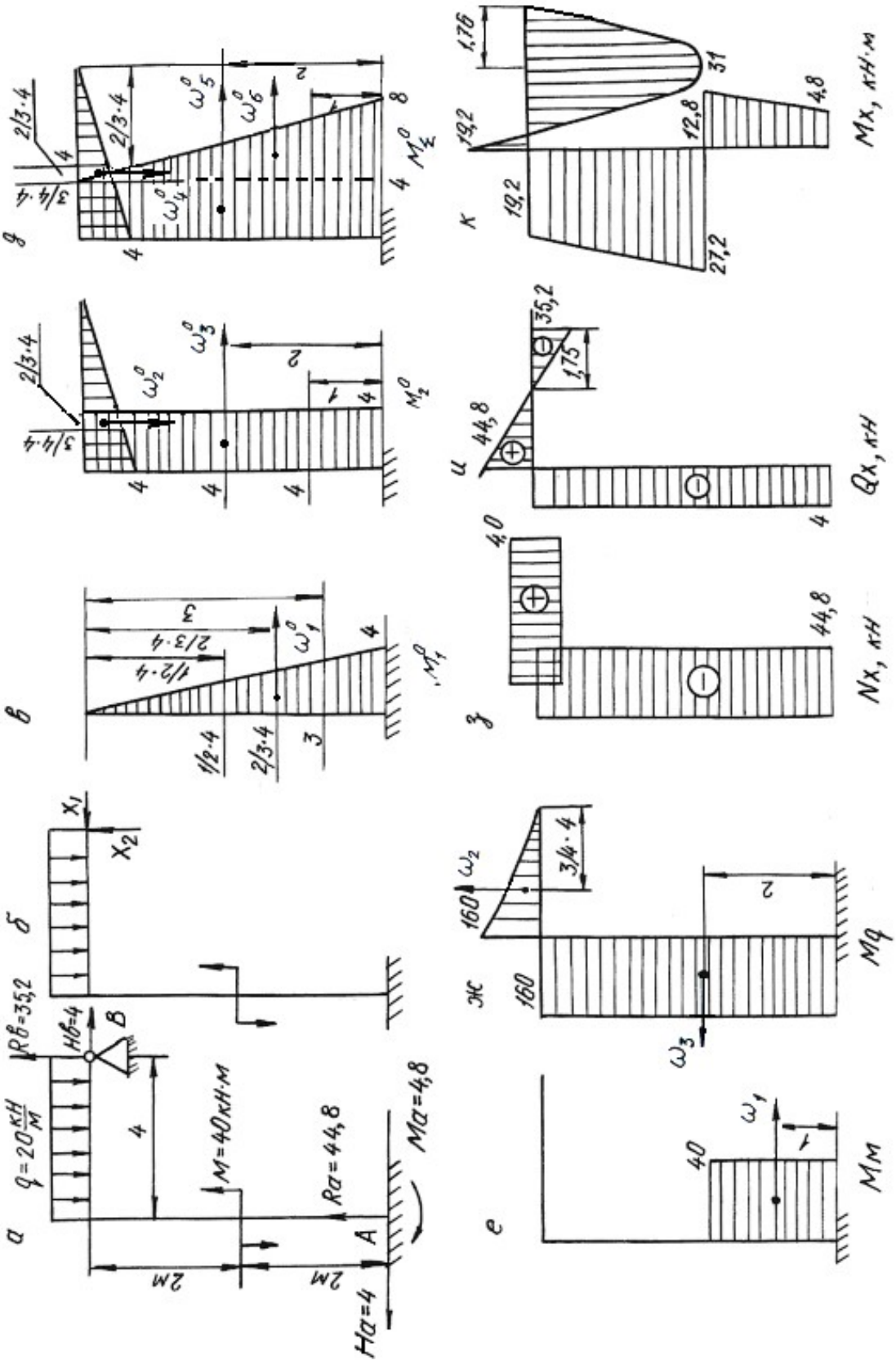


Рис. 5.7.

Составляем канонические уравнения метода сил:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0;$$
$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0.$$

Вычисляем коэффициенты и свободные члены канонических уравнений:

$$\delta_{11} = \sum \frac{\omega_1^0 M_{c1}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\left\{\left(\frac{1}{2}4\cdot 4\right)\left[\frac{2}{3}4\right]\right\} = \frac{21{,}3}{EJ},$$

$$\delta_{22} = \sum \frac{\omega_2^0 M_{c2}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\left\{\left(\frac{1}{2}4\cdot 4\right)\cdot\left[\frac{2}{3}4\right] + (4\cdot 4)[4]\right\} = \frac{85{,}3}{EJ},$$

$$\delta_{21} = \delta_{12} = \sum \frac{\omega_2^0 M_{c1}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\{(4\cdot 4)[2]\} = \frac{32}{EJ},$$

$$\Delta_{1p} = \sum \frac{\omega_p M_{c1}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\{(40\cdot 2)[3] - (160\cdot 4)[2]\} = -\frac{1040}{EJ},$$

$$\Delta_{2p} = \sum \frac{\omega_p \cdot M_{c2}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\left\{(40\cdot 2)[4] - (160\cdot 4)[4] - \left(\frac{1}{3}160\cdot 4\right)\left[\frac{3}{4}4\right]\right\} = -\frac{2880}{EJ}.$$

Проверяем правильность вычисления коэффициентов и свободных членов канонических уравнений. Для этого строим суммарную единичную эпюру M_Σ^0.

Для проверки правильности вычисления коэффициентов канонических уравнений применяем универсальную проверку:

$$\delta_{11} + \delta_{12} + \delta_{22} + \delta_{21} = \sum \frac{\omega_\Sigma^0 M_{C\Sigma}^0}{EJ};$$

$$\delta_{11} + \delta_{12} + \delta_{22} + \delta_{21} = \frac{1}{EJ}\left\{\left(\frac{1}{2}(4+8)\cdot 4\right)[6{,}22] + \left(\frac{1}{2}4\cdot 4\right)\left[\frac{2}{3}4\right]\right\} = \frac{170{,}6}{EJ}.$$

Поверяем правильность вычисления грузовых членов

$$\Delta_{1p} + \Delta_{2p} = \sum \frac{\omega_p M_{c\Sigma}^0}{EJ} = \frac{1}{EJ}\left\{(40\cdot 2)[7] - (160\cdot 4)[6] - \left(\frac{1}{3}160\cdot 4\right)\left[\frac{3}{4}4\right]\right\} =$$
$$= -\frac{3920}{EJ}.$$

В обоих случаях получили тождества, значит коэффициенты и свободные члены канонических уравнений определены правильно.

Подставляем вычисленные значения коэффициентов в канонические уравнения, определяем неизвестные X_1 и X_2:

$$\left.\begin{aligned} 21{,}3 \cdot X_1 + 32 \cdot X_2 - 1040 = 0 \\ 32 \cdot X_1 + 85{,}3 \cdot X_2 - 2880 = 0 \end{aligned}\right\}$$

$X_1 = -4$ кН; $X_2 = 35{,}2$ кН.

Сила X_1 получилась со знаком «минус», это говорит о том, что направление реакции будет противоположно единичной силе.

Зная реакции H_b и R_b, по уравнениям статики определяем остальные реакции

$$\begin{aligned} &\sum X = 0, \quad H_b - H_a = 0, && H_a = 4 \text{ кН;} \\ &\sum M_a = 0, \quad M - M_a - q \cdot 4 \cdot 2 + R_b \cdot 4 - H_b \cdot 4 = 0, && M_a = 4{,}8 \text{ кН·м;} \\ &\sum M_в = 0, \quad M - M_a - H_a \cdot 4 - R_a \cdot 4 + q \cdot 4 \cdot 2 = 0, && R_a = 44{,}8 \text{ кН·м.} \end{aligned}$$

Проверка:

$$\sum Y = 0, \quad R_a + R_b - q \cdot 4 = 0, \quad 35{,}2 + 44{,}8 - 80 = 0.$$

Строим эпюры изгибающих моментов, поперечных и нормальных сил по контрольным правилам. Эпюры приведены на рис. 5.7.

Выявляем опасное сечение рамы, где одновременно M_x и N_x имеют большие значения. Это сечение левой стойки, где $N_X = -44{,}8$ кН, $M_X = 27{,}2$ кН·м.

Условие прочности

$$\sigma_{\max} = \pm\frac{N_x}{A} \pm \frac{M_x}{W_z} \le \sigma_{\text{adm}}.$$

Выбираем сечение по моменту M_x

$$\frac{M_x}{W_z} \le \sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ МПа}. \quad W_z \ge \frac{27{,}2 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 1{,}7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 170 \text{ см}^3.$$

По сортаменту проката выбираем двутавр № 20, $W_z = W_x^{\text{табл.}} = 184$ см^3, $A_{\text{табл.}} = 26{,}8$ см^2.

Производим проверку с учетом силы N_x:

$$\sigma_{\max} = -\frac{44{,}8 \cdot 10^3}{26{,}8 \cdot 10^{-4}} - \frac{27{,}2 \cdot 10^3}{184 \cdot 10^{-6}} = -1{,}67 \cdot 10^7 - 0{,}148 \cdot 10^9 \text{ Па} = 164{,}7 \text{ МПа},$$

$\sigma_{\max} = 164{,}7$ МПа> $\sigma_{\text{adm}} = 160$ МПа.

Отклонение (перегруз) $\delta = \dfrac{164{,}7 - 160}{160} \cdot 100 = 2{,}93\,\% < 5\,\%$, что допустимо.

5.4. Задания для расчета плоских рам

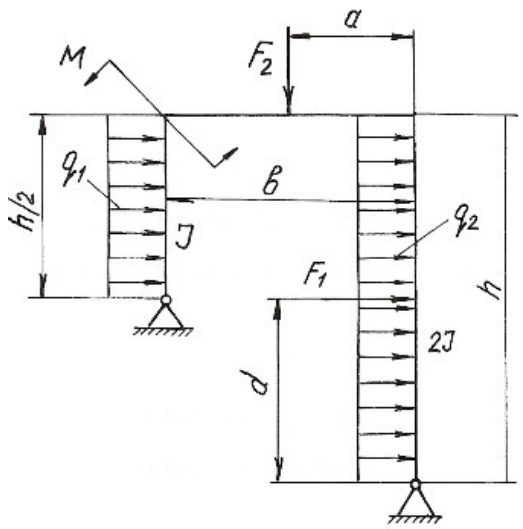
Для расчетной схемы статически неопределимой рамы при заданных значениях длин и нагрузок, определяемых в соответствии с указанным номером варианта, требуется:

1. Определить степень статической неопределимости рамы. Выбрать основную систему.
2. Составить канонические уравнения метода сил.
3. Вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены канонических уравнений. Проверить правильность их вычисления.
4. Построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил.
5. Подобрать поперечное сечение элементов рамы в виде двутавра (см. табл. П. 1) при $\sigma_{\text{adm}} = 160$ МПа.

Данные для расчета взять из табл. 5.3.

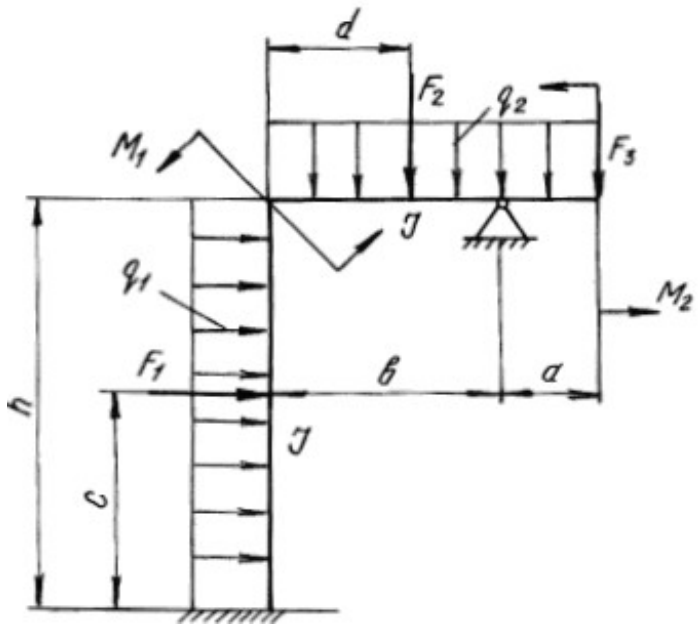
Таблица 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	M, кН·м
1	10	5	–	–	20	–	–	–	80
2	9	5	–	–	–	15	–	–	10
3	9	6	–	–	–	–	–	–	60
4	9	4	–	5	15	–	40	–	–
5	10	4	2	–	–	20	–	30	–
6	8	5	3	–	–	–	–	60	–
7	8	6	–	–	–	–	–	–	10
8	8	5	–	5	–	–	40	–	–
9	9	6	3	–	–	–	–	50	80
10	9	6	5	–	–	–	40	–	–



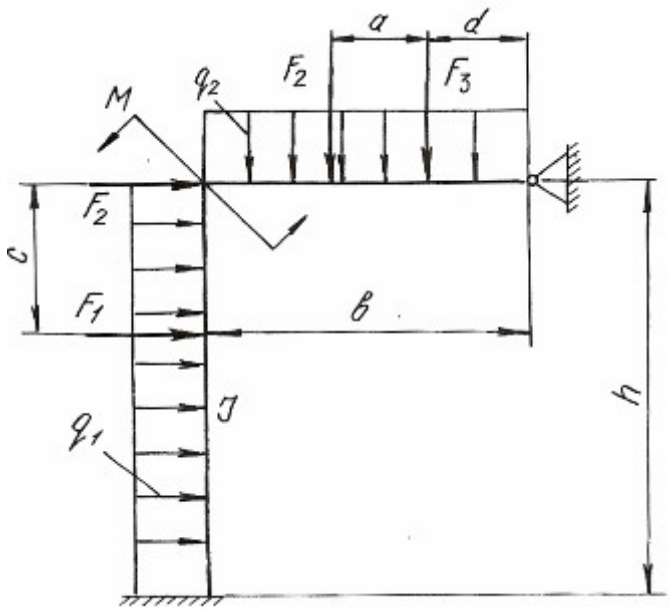
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M_1, кН·м	M_2, кН·м
11	10	5	0,5	6	–	20	–	40	–	–	–	–
12	11	6	0,4	6	–	–	20	40	–	–	–	–
13	11	5	0,3	4	–	–	–	30	–	–	–	10
14	9	4	0,6	–	–	–	25	–	–	–	–	12
15	9	5	0,4	–	4	30	–	–	60	–	–	–
16	8	4	0,3	–	3	–	–	–	30	20	–	–
17	8	4	0,3	–	–	–	–	–	–	30	10	–
18	6	3	0,2	–	–	25	–	–	–	–	15	80
19	7	4	0,6	–	3	–	–	–	30	20	12	–
20	10	6	0,6	–	–	–	30	–	–	–	10	–



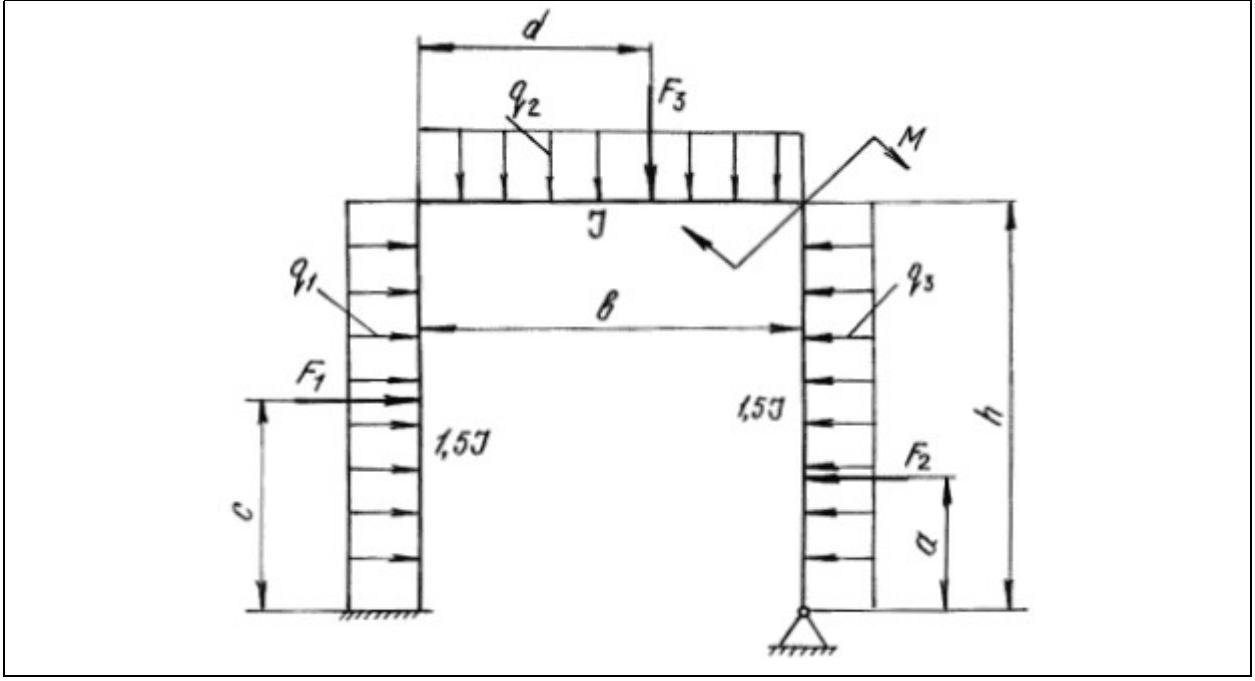
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M_1, кНм	M_2, кН·м
21	10	8	–	–	–	20	–	–	–	–	–	20
22	10	7	2	–	2	30	–	–	–	–	20	–
23	10	6	–	2	–	–	–	–	30	20	–	–
24	8	6	–	–	–	20	30	–	–	–	–	–
25	8	6	–	3	–	–	20	–	20	–	–	–
26	9	5	–	–	–	–	20	–	–	–	–	15
27	9	6	2	–	1	–	–	–	–	40	20	–
28	7	5	2	–	1	–	–	–	–	–	30	–
29	8	4	2	–	1	–	–	–	–	–	20	20
30	8	6	–	–	–	–	–	–	50	20	–	10



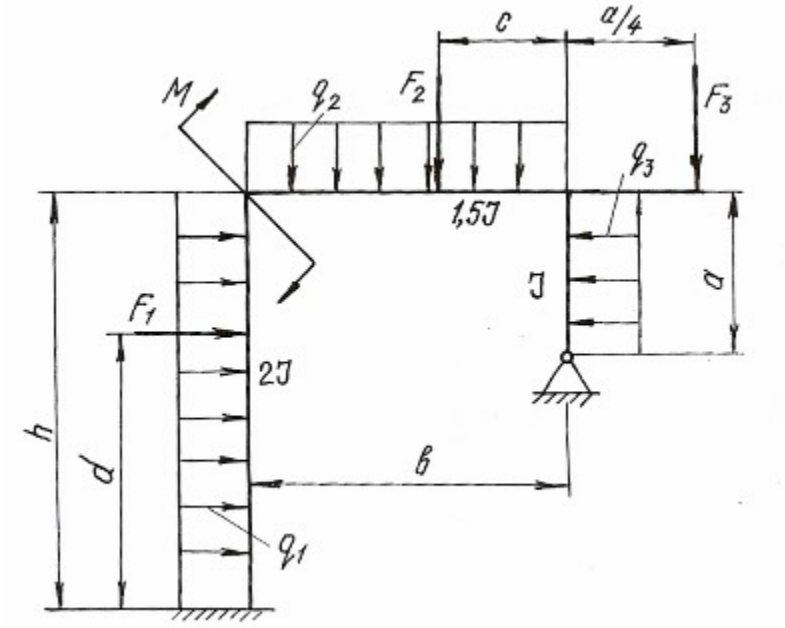
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	q_3, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M, кН·м
31	10	4	0,5	–	–	12	–	–	–	–	–	10
32	9	5	0,4	–	–	–	20	–	–	–	–	15
33	8	4	0,3	–	–	–	–	20	–	30	–	–
34	8	6	0,3	–	4	20	–	–	–	–	40	–
35	8	4	0,4	–	–	–	20	–	–	30	–	–
36	6	5	0,3	5	–	–	–	20	60	–	–	–
37	10	5	0,4	–	4	–	–	–	–	40	50	–
38	8	4	0,3	–	–	–	–	–	–	30	–	12
39	12	6	0,5	–	4	–	–	–	–	–	40	15
40	12	6	0,6	3	–	–	–	25	10	–	–	–



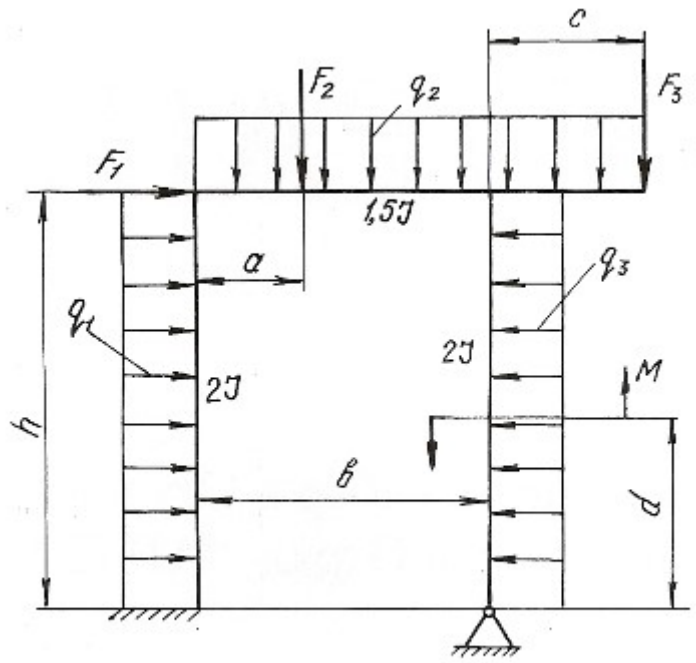
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	*h*, м	*b*, м	*a*, м	*c*, м	*d*, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	q_3, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	*M*, кН·м
41	10	5	4	–	–	20	–	–	–	–	–	50
42	9	6	4	–	–	–	15	–	–	–	–	10
43	8	6	5	–	–	–	–	20	–	–	30	–
44	8	5	6	–	2	15	–	–	30	–	–	–
45	8	4	5	2	–	–	20	–	–	40	–	–
46	9	6	3	–	5	–	–	15	40	–	–	–
47	9	8	4	2	–	–	–	–	–	10	–	60
48	9	6	6	–	–	–	–	–	–	–	40	10
49	10	8	5	3	–	–	–	–	–	20	40	–
50	10	6	4	1	4	–	–	–	10	25	–	–



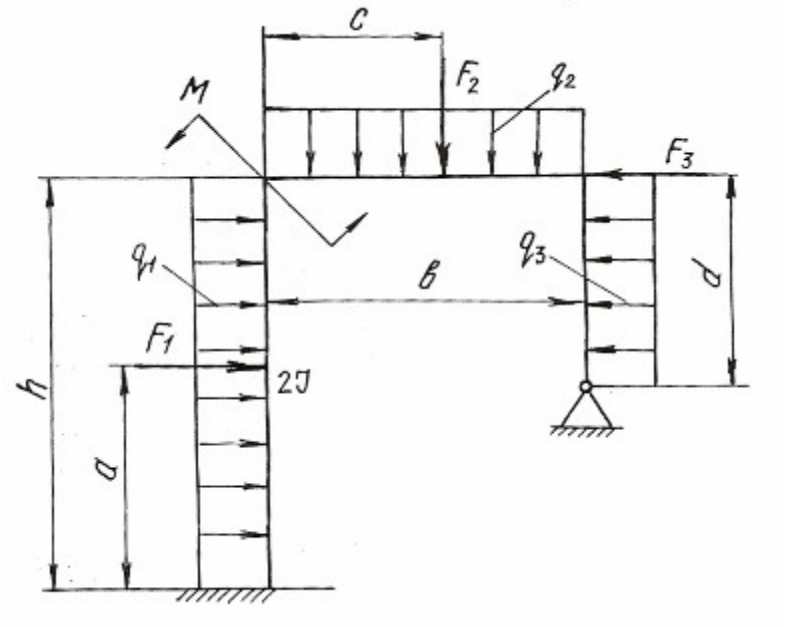
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	q_3, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M, кН·м
51	8	4	0,6	0,5	5	20	–	–	–	–	–	50
52	10	5	0,5	0,6	–	–	20	–	20	30	–	–
53	8	4	0,4	0,4	–	–	–	25	–	20	–	–
54	6	4	0,3	0,4	4	–	–	–	–	–	30	14
55	12	6	0,6	0,5	–	–	–	–	40	20	–	–
56	10	4	0,4	0,3	2	15	–	–	–	–	–	10
57	8	5	0,3	0,3	2	–	15	–	–	–	–	12
58	8	5	0,4	0,4	–	–	–	20	30	–	–	–
59	9	5	0,5	0,6	–	–	–	–	–	30	40	–
60	9	4	0,6	0,5	–	–	30	–	–	20	–	–



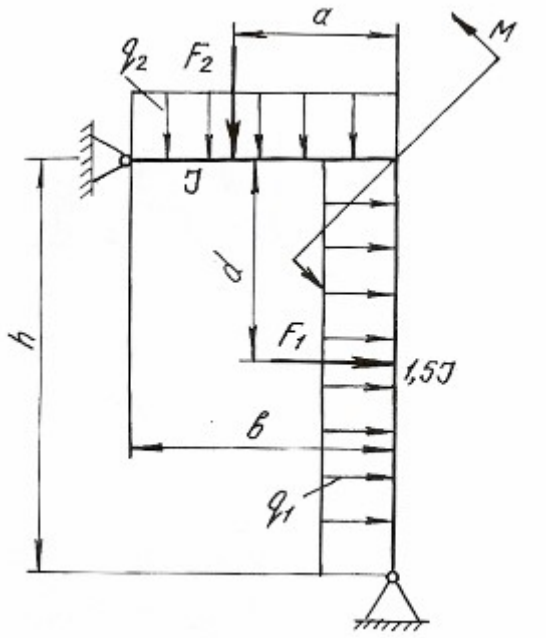
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	q_3, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M, кН·м
61	8	4	4	–	4	20	–	–	50	–	–	–
62	10	5	–	2,5	5	–	20	–	–	30	–	–
63	6	3	–	–	3	–	–	20	–	–	30	–
64	12	6	5	–	6	–	–	20	50	–	–	–
65	10	4	–	–	5	–	20	–	–	–	–	80
66	8	4	–	–	5	15	–	–	–	–	20	–
67	8	5	–	2	5	20	–	–	–	40	–	–
68	8	4	–	–	4	–	–	–	–	–	80	40
69	9	4	–	3	5	–	–	–	–	60	–	40
70	10	5	8	–	5	–	15	–	60	–	–	–



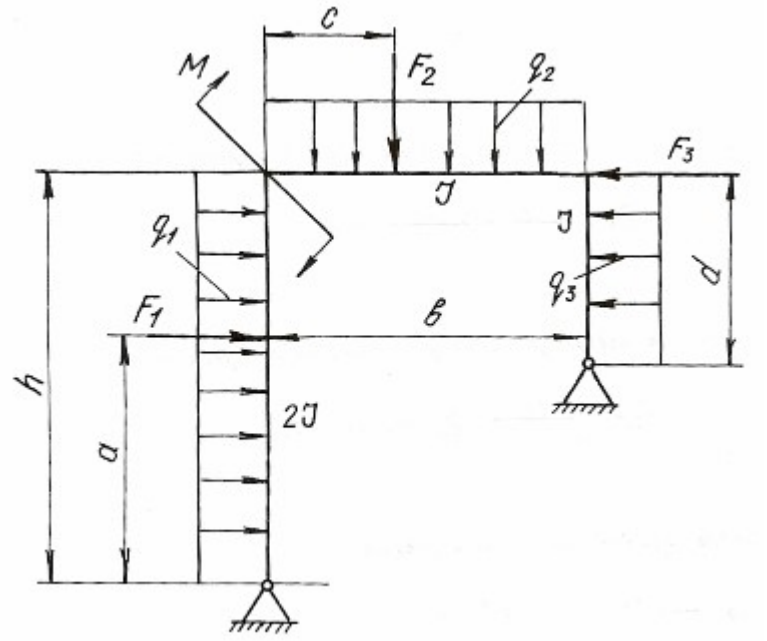
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	M, кН·м
71	10	5	2,5	–	20	–	–	80	–
72	10	6	–	–	–	15	–	–	–
73	10	4	2	–	–	–	–	–	–
74	10	5	–	–	15	–	–	80	–
75	9	5	–	–	–	20	–	–	–
76	9	6	–	–	–	–	–	–	60
77	9	4	2	–	–	–	–	10	–
78	8	6	3	–	–	–	–	80	10
79	8	6	3	4	–	–	40	60	–
80	8	5	–	4	–	–	30	–	–



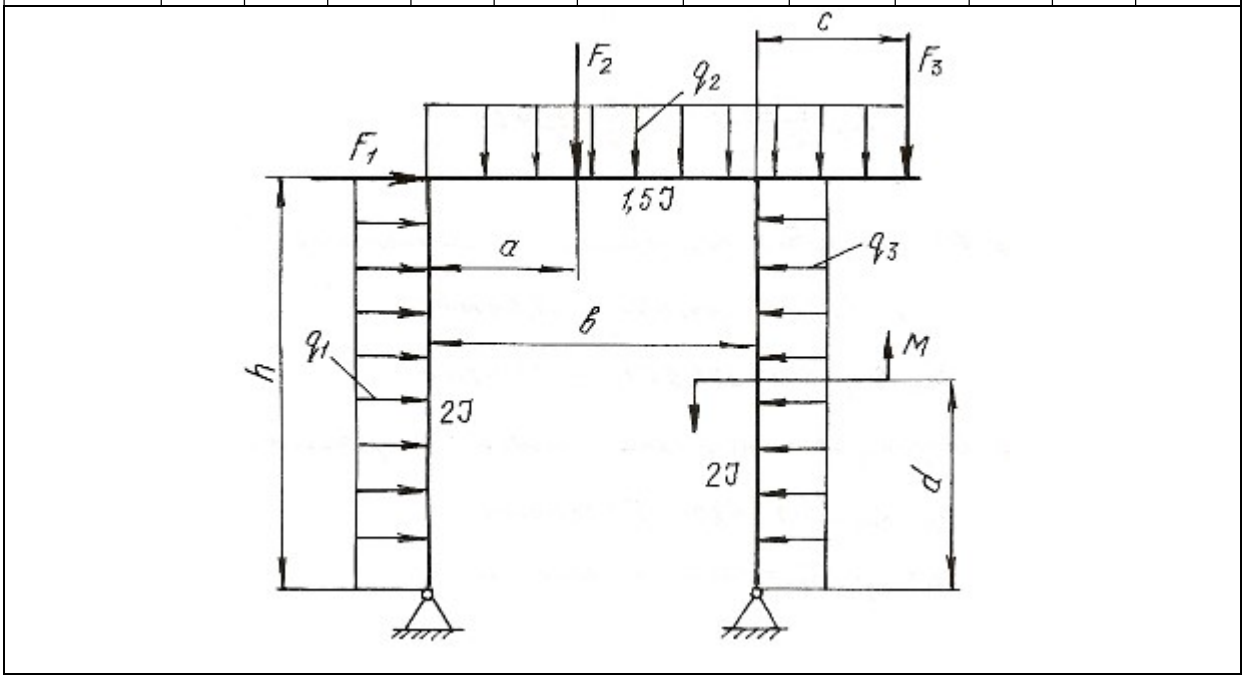
Продолжение табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	q_3, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M, кН·м
81	8	4	4	–	4	20	–	–	50	–	–	–
82	10	5	–	2,5	5	–	20	–	–	30	–	–
83	8	4	–	–	3	–	–	20	–	–	30	–
84	6	4	5	–	6	–	–	20	50	–	–	–
85	12	6	–	–	5	–	20	–	–	–	–	80
86	10	4	–	–	5	15	–	–	–	–	20	–
87	8	5	–	2	5	20	–	–	–	40	–	–
88	8	5	–	–	4	–	–	–	–	–	80	40
89	9	5	–	3	5	–	–	–	–	60	–	40
90	9	4	8	–	5	–	15	–	60	–	–	–



Окончание табл. 5.3

Номер варианта	h, м	b, м	a, м	c, м	d, м	q_1, кН/м	q_2, кН/м	q_3, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	F_3, кН	M, кН·м
91	8	4	0,6	0,5	5	20	–	–	–	–	–	50
92	10	5	0,5	0,6	–	–	20	–	20	30	–	–
93	8	4	0,4	0,4	–	–	–	25	–	20	–	–
94	6	4	0,3	0,4	4	–	–	–	–	–	30	14
95	12	6	0,6	0,5	–	–	–	–	40	20	–	–
96	10	4	0,4	0,3	2	15	–	–	–	–	–	10
97	8	5	0,3	0,3	2	–	15	–	–	–	–	12
98	8	5	0,4	0,4	–	–	–	20	30	–	–	–
99	9	5	0,5	0,6	–	–	–	–	–	30	40	–
100	9	4	0,6	0,5	–	–	30	–	–	20	–	–



Глава 6
ВИДЫ СЛОЖНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Сочетание простейших видов деформаций называется сложным сопротивлением. При расчете элементов конструкций, испытывающих сложные сопротивления, используют принцип независимости действия сил, т. е. определяют деформации и напряжения для каждого простейшего вида сопротивления, а затем результаты суммируют алгебраически, геометрически или согласно одной из теорий прочности. При этом задача сводится к определению опасного сечения по длине бруса и опасной точки в этом сечении.

В данной главе приведены методики решения задач на косой изгиб, внецентренное растяжение или сжатие, совместное действие изгиба с кручением.

6.1. Косой изгиб

Косой изгиб – вид сложного сопротивления, который возникает при действии внешних нагрузок, перпендикулярных продольной оси бруса, но расположенных вне главных плоскостей инерции. Поэтому косой изгиб можно рассматривать как сочетание двух плоских изгибов во взаимно перпендикулярных плоскостях, разложив все силы по направлению главных центральных осей инерции поперечных сечений.

При косом изгибе балки нормальные напряжения в произвольной точке поперечного сечения с координатами y и z определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M^{в}}{J_z} y + \frac{M^{г}}{J_y} z, \qquad (6.1)$$

где J_z и J_y – главные центральные моменты инерции поперечного сечения балки относительно осей z и y; $M^{в}$ и $M^{г}$ – изгибающие моменты в поперечном сечении в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Положение нейтральной оси поперечного сечения определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{M^{г}}{M^{в}} \cdot \frac{J_z}{J_y}, \qquad (6.2)$$

где α - угол наклона нейтральной оси к горизонтальной главной центральной оси инерции.

Максимальные и минимальные нормальные напряжения возникают в точках, наиболее удаленных от обеих главных центральных осей инерции и для симметричных сечений определяются по формуле:

$$\sigma_{max} = \pm\frac{M^{г}}{W_y} \pm \frac{M^{в}}{W_z}, \qquad (6.3)$$

где W_z и W_y – моменты сопротивления поперечного сечения изгибу относительно осей z и y.

Если внешние нагрузки лежат в одной плоскости, то положение нейтральной оси определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\varphi \cdot \frac{J_z}{J_y}, \qquad (6.4)$$

где φ – угол между силовой плоскостью, в которой действуют внешние нагрузки, и главной вертикальной осью инерции поперечного сечения балки.

Напряжения в этом случае определяются по формуле:

$$\sigma_{max/min} = \pm M\left(\frac{\cos\varphi}{W_z} \pm \frac{\sin\varphi}{W_y}\right), \qquad (6.5)$$

где M – результирующий момент, действующий в силовой плоскости.

Прогиб f и угол поворота θ сечения балки при косом изгибе определяются как геометрические суммы прогибов и углов поворота от составляющих изгибающего момента, действующих в главных плоскостях инерции балки

$$f = \sqrt{f_z^2 + f_y^2} \text{ и } \theta = \sqrt{\theta_z^2 + \theta_y^2}, \qquad (6.6)$$

где f_z и f_y – прогибы в направлении осей z и y; θ_z и θ_y – углы поворота сечения вокруг осей z и y.

Пример 6.1.

Для балки (рис. 6.1) построить эпюры нормальных напряжений по сторонам поперечного сечения (см. табл. П. 1) в защемлении, определить наибольшее нормальное напряжение и полный прогиб свободного конца балки при $F = 2$ кН, $\varphi = 15^{o}$.

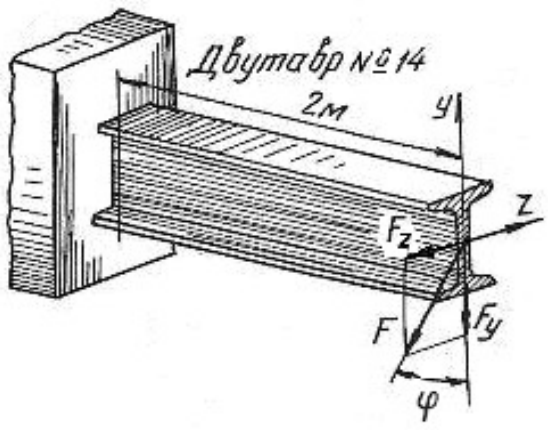


Рис. 6.1.

Решение.

Раскладываем силу F на ее составляющие, действующие в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$F_y = F \cdot \cos 15^\circ = 2000 \cdot 0,96 = 1920 \text{ Н};$$

$$F_z = F \cdot \sin 15^\circ = 2000 \cdot 0,26 = 520 \text{ Н}.$$

Максимальные изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскостях будут в защемленном сечении балки:

$$M^{\text{в}}_{\max} = F_y l = 1920 \cdot 2 = 3840 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M^{\text{г}}_{\max} = F_z l = 520 \cdot 2 = 1040 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По ГОСТ 8239-89 (см. табл. П. 1)для заданного профиля находим моменты инерции и моменты сопротивления сечения:

$$J_z = 572 \text{ см}^4; \quad J_y = 41,9 \text{ см}^4; \quad W_z = 81,7 \text{ см}^3; \quad W_y = 11,5 \text{ см}^3,$$

что при переводе в единицы СИ соответствует:

$$J_z = 572 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4; \; J_y = 41,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4; \; W_z = 81,7 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3; \; W_y = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Наибольшие нормальные напряжения от изгиба в вертикальной плоскости:

$$\sigma^{\text{в}}_{\max} = \frac{M^{\text{в}}_{\max}}{W_z} = \frac{3840}{81,7 \cdot 10^{-6}} = 47 \cdot 10^6 \text{ Па} = 47 \text{ МПа},$$

а наибольшие нормальные напряжения от изгиба в горизонтальной плоскости:

$$\sigma^{\text{г}}_{\max} = \frac{M^{\text{г}}_{\max}}{W_y} = \frac{1040}{11,5 \cdot 10^{-6}} = 90,4 \cdot 10^6 \text{ Па} = 90,4 \text{ МПа}.$$

Эпюры нормальных напряжений даны на рис. 6.2. Таким образом, наибольшие нормальные напряжение будут в крайних угловых точка поперечного сечения. Как видно по эпюрам нормальных напряжений

$$\sigma_{\max} = 47 + 90,4 = 137,4 \text{ МПа}; \qquad \sigma_{\min} = -47 - 90,4 = -137,4 \text{ МПа}.$$

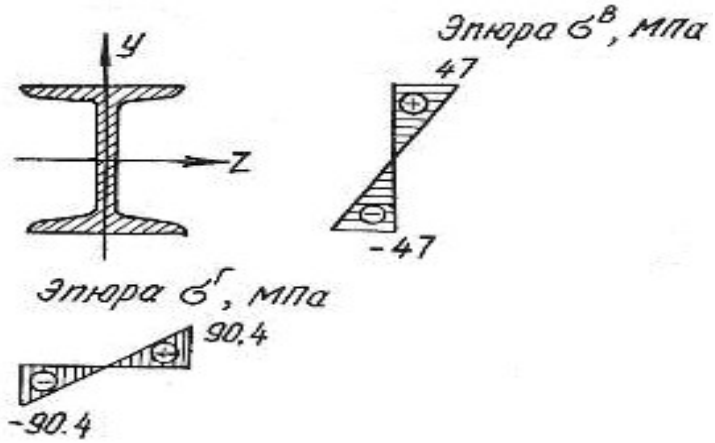


Рис. 6.2.

Прогиб свободного конца балки в вертикальной плоскости [10]

$$f_y = \frac{F_y l^3}{3EJ_z} = \frac{1920 \cdot 2^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 572 \cdot 10^{-8}} = 4{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad \text{или} \quad f_y = 4{,}5 \text{ мм},$$

а величина прогиба в горизонтальной плоскости

$$f_z = \frac{F_z l^3}{3EJ_y} = \frac{520 \cdot 2^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 41{,}9 \cdot 10^{-8}} = 16{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad \text{или} \quad f_z = 16{,}5 \text{ мм}.$$

Полный прогиб свободного конца балки

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} = \sqrt{4{,}5^2 + 16{,}5^2} = 17{,}1 \text{ мм}.$$

Пример 6.2.

Для бруса прямоугольного поперечного сечения (рис. 6.3) требуется:

1. Построить эпюры изгибающих моментов в главных плоскостях; определить из расчета на прочность размеры поперечного сечения, принимая σ_{adm}=160 МПа и отношение сторон $\frac{h}{b} = 2$;

2. Для опасного поперечного сечения построить эпюры нормальных напряжений от каждого из изгибающих моментов и суммарную эпюру нормальных напряжений.

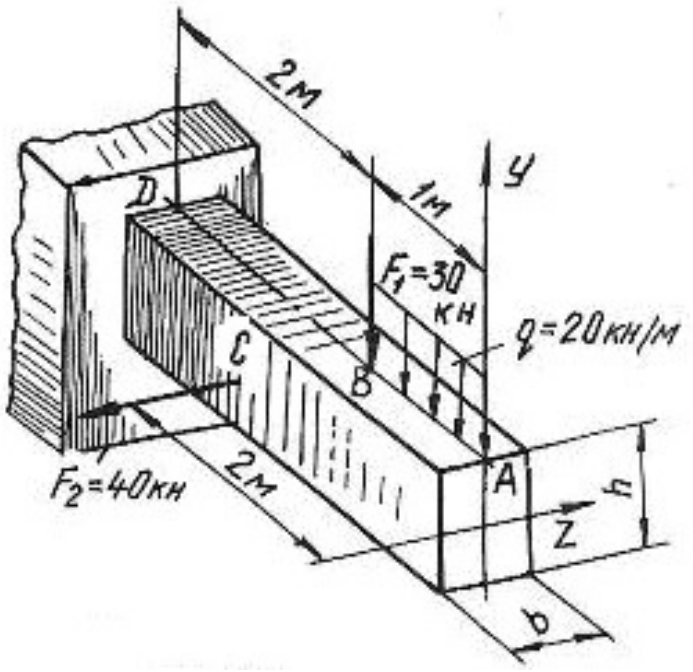


Рис. 6.3.

Решение.

Согласно принципу независимости действия сил рассмотрим отдельно действие сил, вызывающих изгиб в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Изгиб в вертикальной плоскости вызывается действием силы F_1 и равномерно распределенной нагрузкой. Определим величину изгибающих моментов в характерных точках:

$$M_A^{\text{в}} = 0;$$

$$M_B^{\text{в}} = -q \cdot 1 \cdot 0{,}5 = -20 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0{,}5 = -10 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = -10 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_D^{\text{в}} = -q \cdot 1 \cdot 2{,}5 - F_1 \cdot 2 = -20 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 2{,}5 - 30 \cdot 10^3 \cdot 2 = -110 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = -110 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Изгиб в горизонтальной плоскости вызывается силой F_2. Определим величину изгибающих моментов в характерных точках:

$$M_A^{\text{г}} = 0; \quad M_B^{\text{г}} = 0; \quad M_C^{\text{г}} = 0;$$

$$M_D^{\text{г}} = F_2 \cdot 1 = 40 \cdot 10^3 \cdot 1 = 40 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = 40 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Эпюры изгибающих моментов показаны на рис. 6.4, *а.* Максимальные изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскостях будут в сечении D:

$$M_{\max}^{\text{в}} = M_D^{\text{в}} = 110 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M_{\max}^{\text{г}} = M_D^{\text{г}} = 40 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

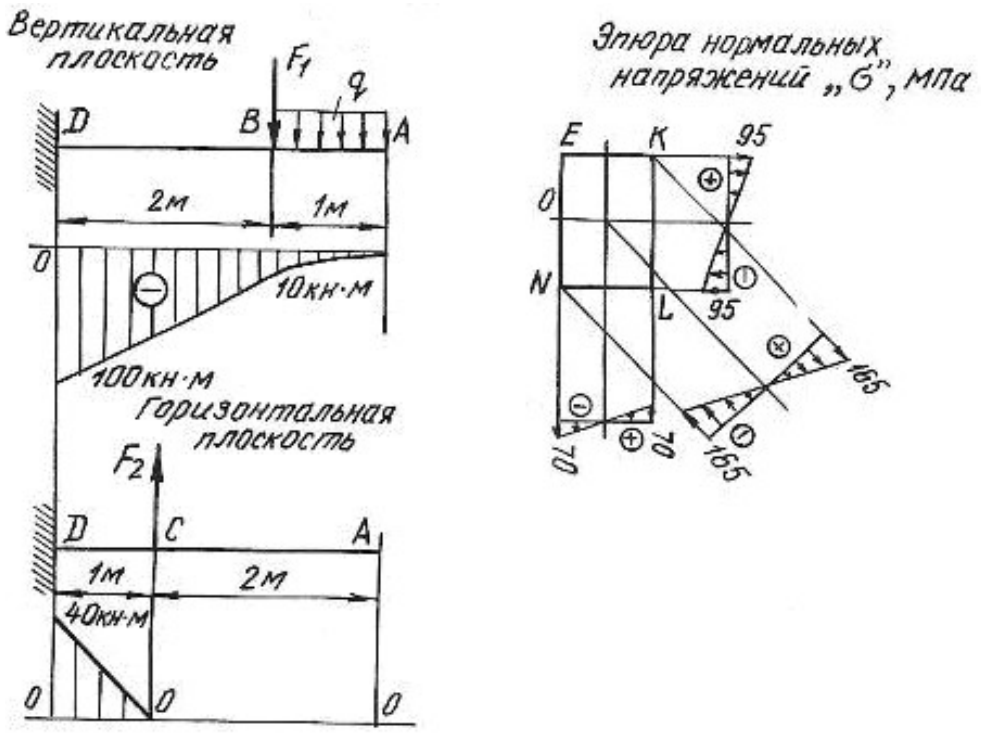


Рис. 6.4.

Опасное сечение балки будет в защемлении. Запишем условие прочности для опасного сечения

$$\sigma_{\max} = \frac{M^{\text{в}}_{\max}}{W_z} + \frac{M^{\text{г}}_{\max}}{W_y} \le \sigma_{\text{adm}}.$$

Для бруса прямоугольного сечения моменты сопротивления равны:

$$W_z = \frac{bh^2}{6} \quad \text{и} \quad W_y = \frac{b^2 h}{6};$$

при $h = 2 \cdot b$ получим

$$W_z = \frac{b(2 \cdot b)^2}{6} = \frac{2b^3}{3} \quad \text{и} \quad W_y = \frac{b^2 \cdot 2 \cdot b}{6} = \frac{b^3}{3}.$$

Подставляя значение величин в условие прочности, получим

$$\sigma_{\max} = \frac{110 \cdot 10^3}{\frac{2}{3} \cdot b^3} + \frac{40 \cdot 10^3}{\frac{1}{3} \cdot b^3} \le 160 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Решая уравнение относительно b, получим $b = 0{,}12$ м $= 120$ мм и $h = 2b = 240$ мм. Для построения эпюр нормальных напряжений определяем наибольшие напряжения, для чего вычислим моменты сопротивления сечения:

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = \frac{12 \cdot 10^{-2} \cdot (24 \cdot 10^{-2})^2}{6} = 1152 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$W_y = \frac{b^2 h}{6} = \frac{(12 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 24 \cdot 10^{-2}}{6} = 576 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Наибольшие нормальные напряжения от изгиба в вертикальной плоскости:

$$\sigma^{\text{в}}_{\max} = \frac{M^{\text{в}}_{\max}}{W_z} = \frac{110 \cdot 10^3}{1152 \cdot 10^{-6}} = 95 \cdot 10^6 \text{ Па} = 95 \text{ МПа}.$$

Наибольшие нормальные напряжения от изгиба в горизонтальной плоскости:

$$\sigma^{\text{г}}_{\max} = \frac{M^{\text{г}}_{\max}}{W_y} = \frac{40 \cdot 10^3}{576 \cdot 10^{-6}} = 70 \cdot 10^6 \text{ Па} = 70 \text{ МПа}.$$

Наибольшие нормальные напряжения будут в точках K и N:

$$\sigma_K = 95 + 70 = 165 \text{ МПа};$$
$$\sigma_N = -95 - 70 = -165 \text{ МПа}.$$

Эпюры нормальных напряжений показаны на рис. 6.4, *б*

6.2. Задания для расчета на косой изгиб

Для расчетной схемы балки при заданных значениях геометрических размеров и нагрузок необходимо:

1) определить положение нейтральной оси;

2) вычислить наибольшие и наименьшие напряжения в опасном сечении балки;

3) построить эпюры напряжений;

4) найти прогиб балки в середине пролета или на свободном конце консольной балки.

Данные для расчета взять из таблиц 6.1, 6.2, 6.3 и табл. П. 1.

Таблица 6.1

Схема балки	Схема сечения	Материал	Пролет *l*, м	Размеры сечения, см	Угол φ,град	Нагрузка		
						F, кН	*M*, кН·м	*q*, кН/м
1	А	дерево	1,5	*b*×*h*=12×20	60	–	4	–
	Б	Ст 3	1,4	двутавр № 24	30	–	3	–
	В	Ст 3	1,3	швеллер № 24	45	–	5	–
	Г	Ст 3	1,6	2 швеллера № 8	60	–	6	–
	Д	Ст 3	1,7	2 швеллера № 10	30	–	7	–
	Е	Ст 3	1,8	2 двутавра № 10	60	–	8	–
2	А	дерево	1,2	*b*×*h*=15×25	45	3	–	–
	Б	Ст 3	1,4	двутавр № 22	30	2	–	–
	В	Ст 3	1,5	швеллер № 27	60	4	–	–
	Г	Ст 3	1,6	2 швеллера № 18	30	8	–	–
	Д	Ст 3	1,8	2 швеллера № 20	60	10	–	–
	Е	Ст 3	1,7	2 двутавра № 12	45	9	–	–
3	А	дерево	1,2	*b*×*h*=14×28	30	–	–	4
	Б	Ст 3	1,3	двутавр № 24	60	–	–	3
	В	Ст 3	1,5	швеллер № 27	45	–	–	2
	Г	Ст 3	1,4	2 швеллера № 16	20	–	–	6
	Д	Ст 3	1,7	2 швеллера № 14	30	–	–	5
	Е	Ст 3	1,6	2 двутавра № 14	40	–	–	7

Продолжение табл. 6.1

Схема балки	Схема сечения	Материал	Пролет l,м	Размеры сечения, см	Угол φ, град	Нагрузка		
						F, кН	M, кН·м	q, кН/м
4	А	дерево	2,5	$b \times h$=12×30	30	–	6	–
	Б	Ст 3	4	двутавр № 55	40	–	5	–
	В	Ст 3	5	швеллер № 30	50	–	7	–
	Г	Ст 3	6	2 швеллера № 10	60	–	8	–
	Д	Ст 3	4	2 швеллера № 12	30	–	9	–
	Е	Ст 3	6	2 двутавра № 14	40	–	10	–
5	А	дерево	3	$b \times h$=18×30	40	6	–	–
	Б	Ст 3	4	двутавр № 36	60	2,5	–	–
	В	Ст 3	5	швеллер № 24	30	3	–	–
	Г	Ст 3	6	2 швеллера № 10	20	4	–	–
	Д	Ст 3	5,5	2 швеллера № 12	40	3	–	–
	Е	Ст 3	4,5	2 двутавра № 14	50	5	–	–
6	А	дерево	4	$b \times h$=16×28	60	–	–	2
	Б	Ст 3	6	двутавр № 20	50	–	–	4
	В	Ст 3	3	швеллер № 16	30	–	–	3
	Г	Ст 3	4	2 швеллера № 14	40	–	–	5
	Д	Ст 3	5	2 швеллера № 16	45	–	–	6
	Е	Ст 3	5,5	2 двутавра № 18	20	–	–	7
7	А	дерево	2	$b \times h$=16×24	–	1	–	–
	Б	Ст 3	2,5	двутавр № 28	–	3	–	–
	В	Ст 3	2,4	швеллер № 16	–	4	–	–
	Г	Ст 3	2,6	2 швеллера № 14	–	6	–	–
	Д	Ст 3	2,3	2 швеллера № 16	–	8	–	–
	Е	Ст 3	2,7	2 двутавра № 20	–	10	–	–
8	А	дерево	1,5	$b \times h$=15×25	–	2	3	–
	Б	Ст 3	1,8	двутавр № 18	–	3	4	–
	В	Ст 3	1,6	швеллер № 24	–	5	3	–
	Г	Ст 3	1,7	2 швеллера № 12	–	6	6	–
	Д	Ст 3	1,9	2 швеллера № 14	–	7	7	–
	Е	Ст 3	2	2 двутавра № 16	–	8	5	–

Продолжение табл. 6.1

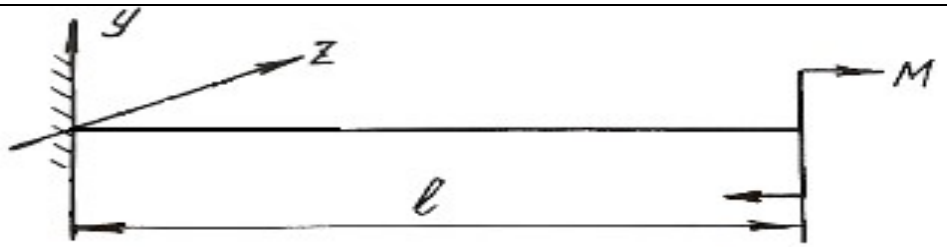
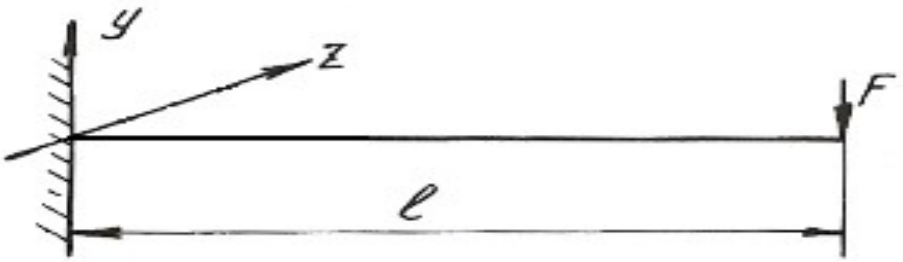
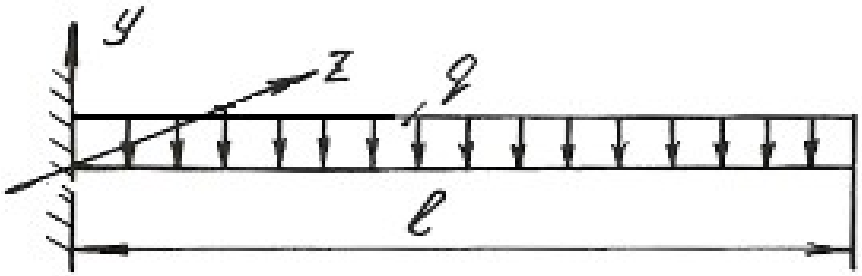
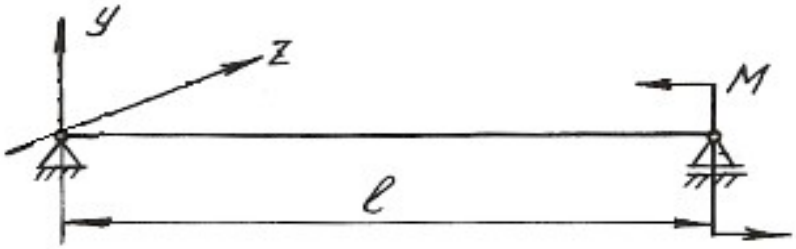
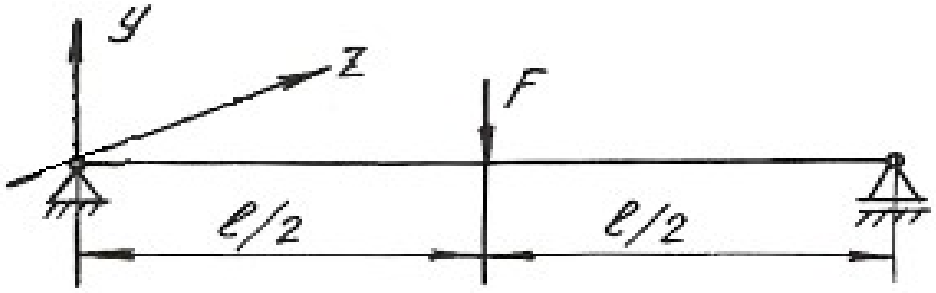
Схема балки	Схема сечения	Материал	Пролет l, м	Размеры сечения,см	Угол φ, град	Нагрузка		
						F, кН	M, кН·м	q, кН/м
9	А	дерево	2,5	$b \times h$=17×27	–	4	–	30
	Б	Ст 3	4	двутавр № 30	–	6	–	20
	В	Ст 3	3	швеллер № 27	–	5	–	40
	Г	Ст 3	5	2 швеллера № 14	–	7	–	50
	Д	Ст 3	6	2 швеллера № 16	–	8	–	60
	Е	Ст 3	4,6	2 двутавра № 18	–	9	–	70
10	А	дерево	1,6	$b \times h$=18×24	–	–	5	10
	Б	Ст 3	1,8	двутавр № 27	–	–	4	20
	В	Ст 3	1,9	швеллер № 20	–	–	3	30
	Г	Ст 3	2	2 швеллера № 14	–	–	6	40
	Д	Ст 3	2,1	2 швеллера № 16	–	–	7	50
	Е	Ст 3	2,2	2 двутавра № 20	–	–	8	60
11	А	дерево	1,5	$b \times h$=19×30	–	2	30	–
	Б	Ст 3	1,7	двутавр № 24	–	3	40	–
	В	Ст 3	1,9	швеллер № 24	–	5	60	–
	Г	Ст 3	1,8	2 швеллера № 18	–	7	80	–
	Д	Ст 3	2,3	2 швеллера № 20	–	6	70	–
	Е	Ст 3	2,4	2 двутавра № 14	–	4	50	–
12	А	дерево	1,2	$b \times h$=20×29	–	2	–	20
	Б	Ст 3	1,3	двутавр № 22	–	4	–	30
	В	Ст 3	1,4	швеллер № 24	–	5	–	40
	Г	Ст 3	1,5	2 швеллера № 22	–	7	–	50
	Д	Ст 3	1,6	2 швеллера № 20	–	6	–	60
	Е	Ст 3	1,7	2 двутавра № 20	–	7	–	70

Окончание табл. 6.1

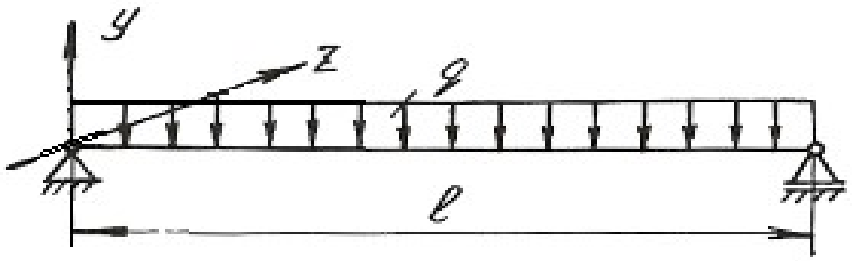
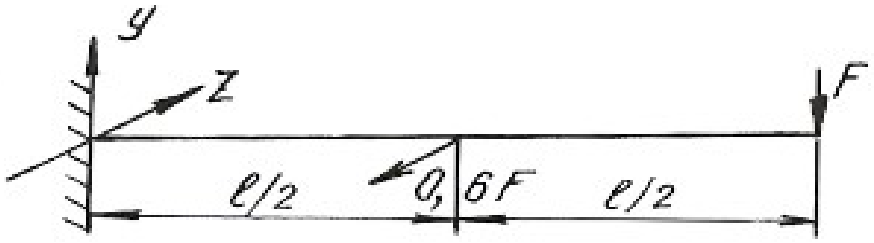
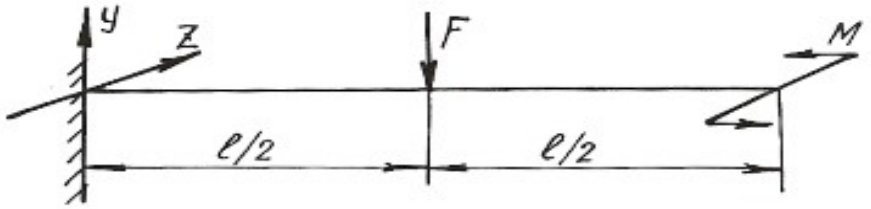
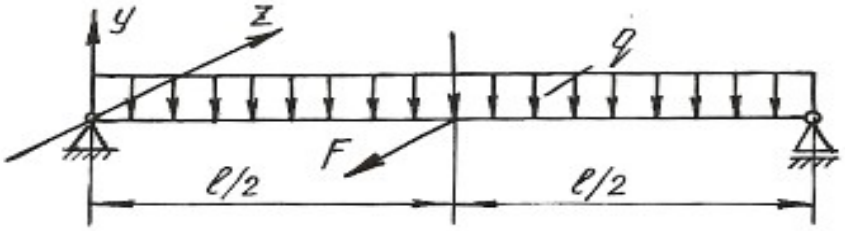
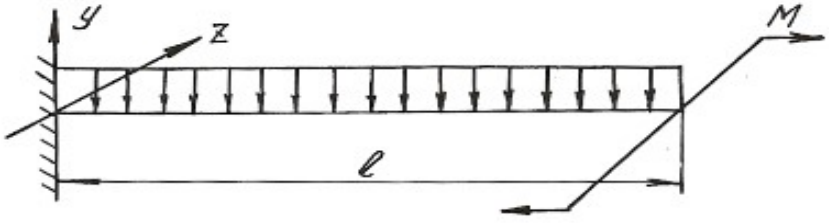
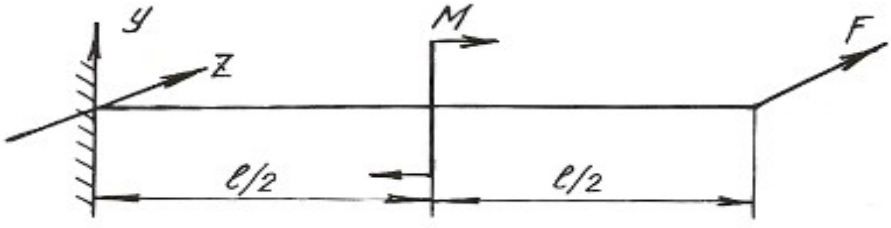
Схема балки	Схема сечения	Материал	Пролет l,м	Размеры сечения, см	Угол φ, град	Нагрузка		
						F, кН	M, кН·м	q, кН/м
13	А	дерево	1,5	$b \times h$=18×32	–	3	–	10
	Б	Ст 3	1,6	двутавр № 36	–	4	–	20
	В	Ст 3	1,7	швеллер № 36	–	5	–	30
	Г	Ст 3	1,8	2 швеллера № 18	–	6	–	40
	Д	Ст 3	1,9	2 швеллера № 20	–	7	–	50
	Е	Ст 3	2	2 двутавра № 24	–	8	–	60
14	А	дерево	1,3	$b \times h$=19×30	–	20	3	–
	Б	Ст 3	1,4	двутавр № 40	–	40	4	–
	В	Ст 3	1,5	швеллер № 30	–	60	5	–
	Г	Ст 3	1,6	2 швеллера № 16	–	50	6	–
	Д	Ст 3	1,7	2 швеллера № 20	–	60	7	–
	Е	Ст 3	1,8	2 двутавра № 18	–	70	8	–
15	А	дерево	1,4	$b \times h$=17×32	–	1	40	–
	Б	Ст 3	1,6	двутавр № 24	–	2	50	–
	В	Ст 3	1,8	швеллер № 20	–	3	60	–
	Г	Ст 3	1,9	2 швеллера № 22	–	4	70	–
	Д	Ст 3	2,1	2 швеллера № 18	–	5	80	–
	Е	Ст 3	2,2	2 двутавра № 20	–	6	60	–
16	А	дерево	1,6	$b \times h$=19×32	–	–	2	20
	Б	Ст 3	1,7	двутавр № 22	–	–	3	30
	В	Ст 3	1,9	швеллер № 27	–	–	4	40
	Г	Ст 3	1,8	2 швеллера № 16	–	–	5	50
	Д	Ст 3	2,3	2 швеллера № 20	–	–	6	40
	Е	Ст 3	2,4	2 двутавра № 22	–	–	7	50

Таблица 6.2

Схемы закрепления и нагружения балок

Номер схемы	Схема балки
1	
2	
3	
4	
5	

Продолжение табл. 6.2

Номер схемы	Схема балки
6	
7	
8	
9	
10	
11	

Окончание табл. 6.2

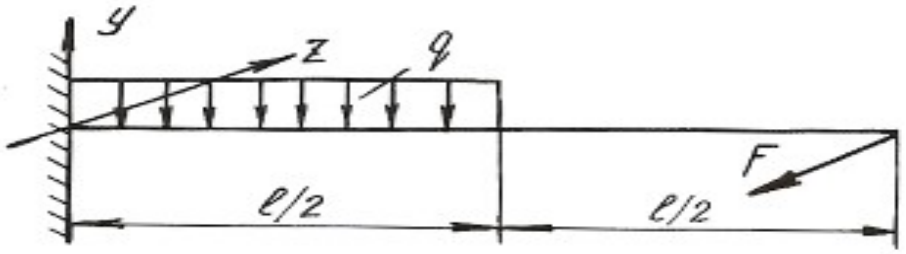
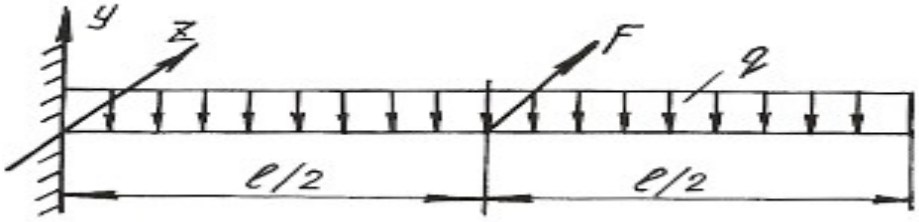
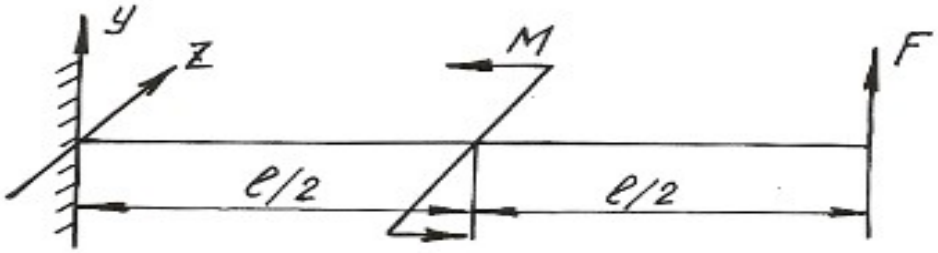
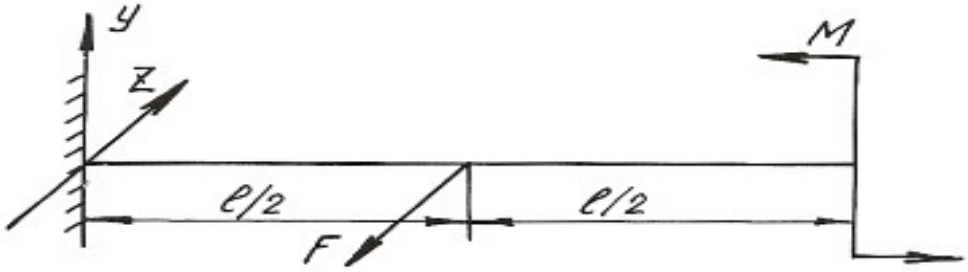
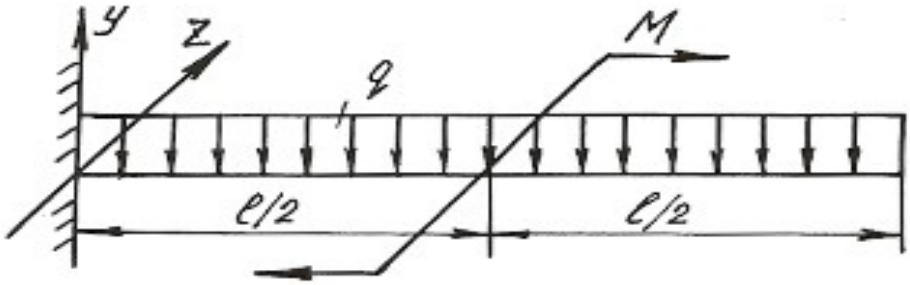
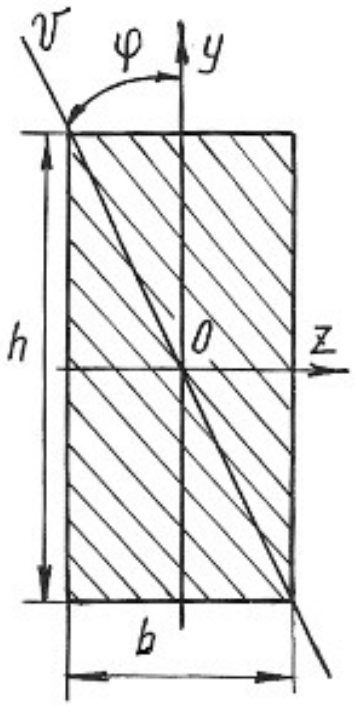
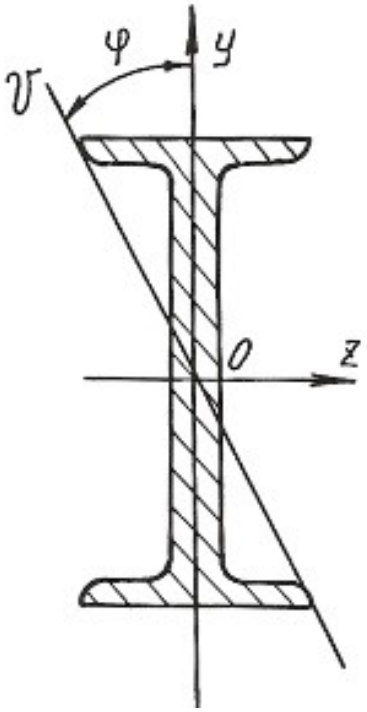
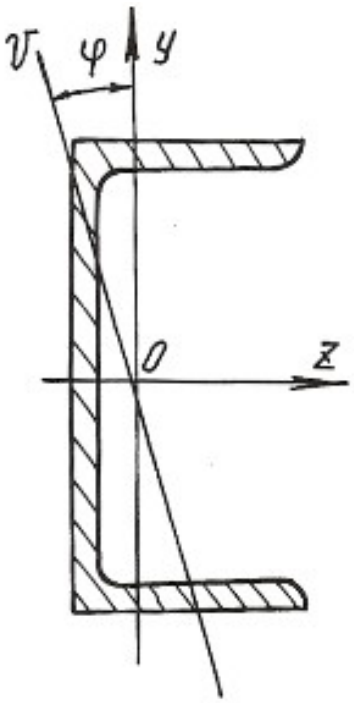
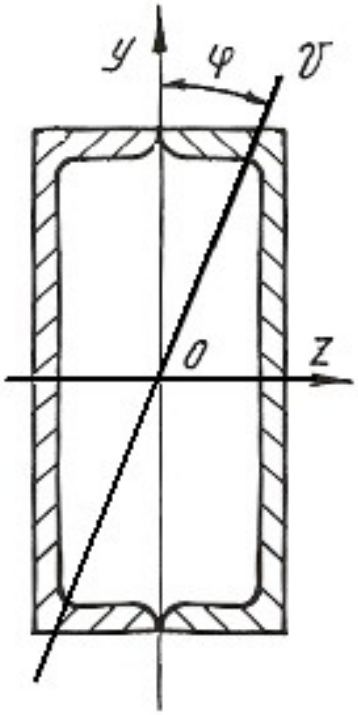
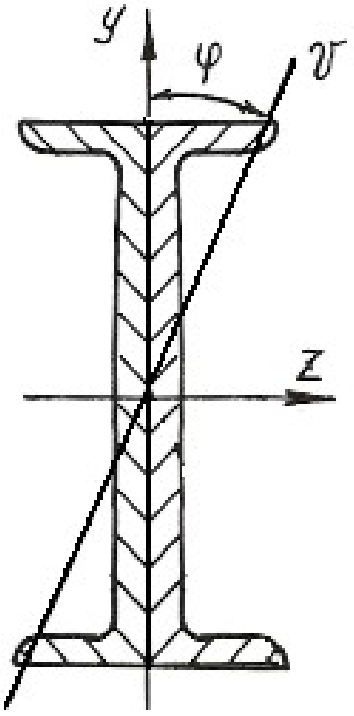
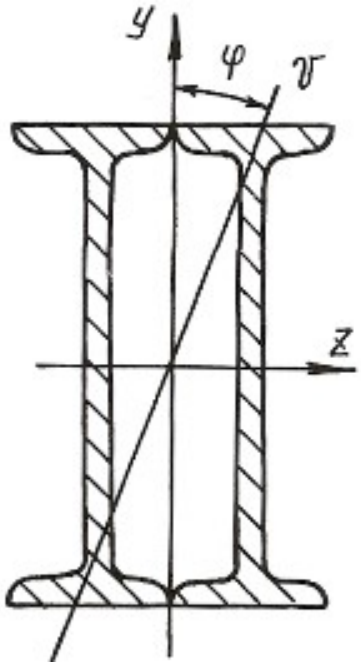
Номер схемы	Схема балки
12	
13	
14	
15	
16	

Таблица 6.3

Схемы поперечных сечений балок

А	Б	В
		
Г	**Д**	**Е**
		

6.3. Внецентренное растяжение или сжатие

Если действующая на брус продольная растягивающая или сжимающая сила приложена на некотором расстоянии от центра тяжести сечения, то возникает внецентренное растяжение или сжатие. Расстояние между точкой приложения силы и центром тяжести сечения бруса называется эксцентриситетом. Для практики весьма важны случаи внецентренного сжатия, например, для каменных и кирпичных столбов, бетонных колонн и др.

Внецентренное приложение сжимающей силы можно привести к случаю сжатия центральной силой F и чистому изгибу моментом $M = Fe$, если перенести силу F в центр тяжести поперечного сечения и уравновесить ее (рис. 6.5).

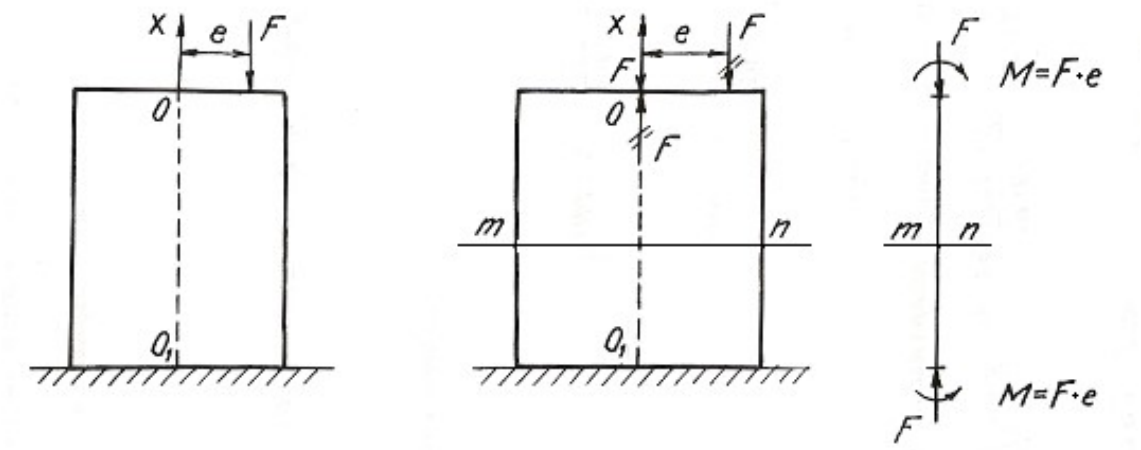


Рис. 6.5.

Так как изгибающий момент во всех сечениях постоянен, то проверку прочности можно производить по любому сечению бруса. Если отбросить верхнюю часть бруса по сечению *m-n* и рассмотреть нижнюю **(**рис. 6.6**),** то для любой точки A поперечного сечения с координатами y, z нормальное напряжение будет равно алгебраической сумме напряжений

$$\sigma_A = \sigma_F + \sigma_{M_y} + \sigma_{M_z}, \qquad (6.7)$$

где $\sigma_F = -\dfrac{F}{A}$ – напряжение от сжимающей центрально приложенной силы F;

$\sigma_{M_y} = -M_y \dfrac{z}{J_y}$ – напряжение от изгибающего момента относительно главной оси сечения y; $\sigma_{M_z} = -M_z \dfrac{y}{J_z}$ – напряжение от изгибающего момента относительно главной оси сечения z.

Знак минус указывает на то, что данные нагрузки вызывают в точке A деформацию сжатия.

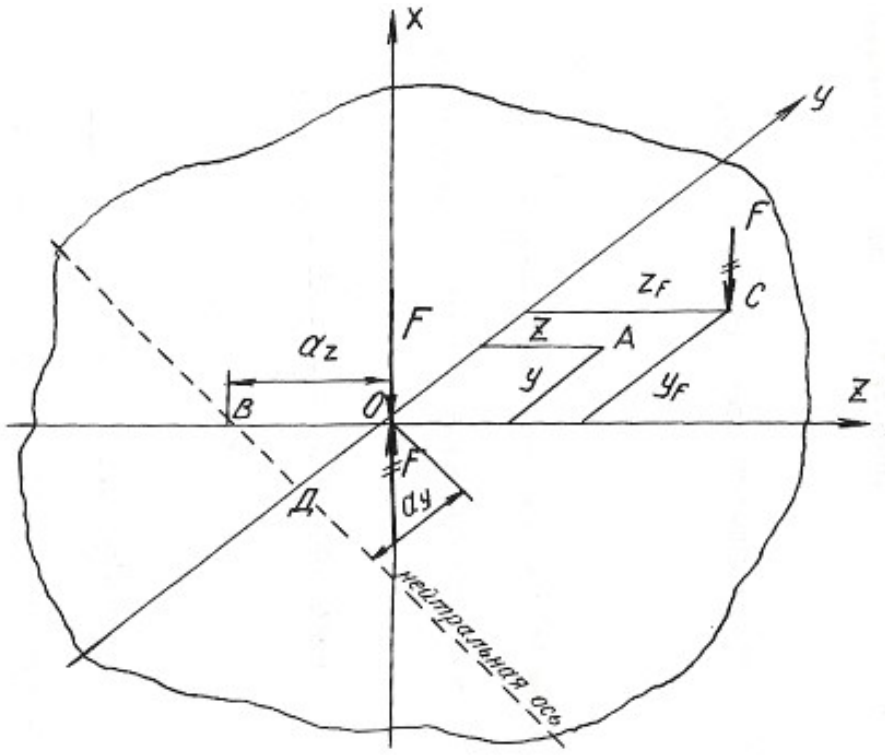


Рис. 6.6.

Изгибающие моменты определяются

$$M_y = Fz_F; \qquad M_z = Fy_F;$$

где z_F и y_F - координаты точки C приложения силы F.

После подстановки имеем:

$$\sigma_A = -\frac{F}{A} - Fz_F \frac{z}{J_y} - Fy_F \frac{y}{J_z}.$$

Окончательный вид формулы для определения напряжений в любой точке поперечного сечения получаем после простых преобразований

$$\sigma = F\left(\pm\frac{1}{A} \pm z_F \frac{z}{J_y} \pm y_F \frac{y}{J_z} \right), \tag{6.8}$$

где J_y, J_z – моменты инерции поперечного сечения; y_F, z_F – координаты точки приложения силы F.

У каждого из слагаемых данного уравнения знак плюс берется для растягивающего, а знак минус – для сжимающего напряжения.

Условие прочности при внецентренном растяжении или сжатии имеет вид:

$$\sigma_{\max} = F\left(\pm\frac{1}{A} \pm z_F \frac{z_{\max}}{J_y} \pm y_F \frac{y_{\max}}{J_z}\right) \le \sigma_{\text{adm}}, \qquad (6.9)$$

где $z_{\max}$, $y_{\max}$ – координаты наиболее удаленных точек сечения от его центра тяжести.

Уравнение нейтральной оси при внецентренном растяжении или сжатии имеет вид:

$$\pm\frac{1}{A} \pm z_F \frac{z_0}{J_y} \pm y_F \frac{y_0}{J_z} = 0, \qquad (6.10)$$

где z_0, y_0 – координаты точек, лежащих на нейтральной оси.

Это уравнение является уравнением прямой, не проходящей через центр тяжести сечения. Величины отрезков, отсекаемых на координатных осях y и z нейтральной осью, определяются из уравнения:

$$\pm 1 \pm z_F \frac{a_z}{i_y^2} \pm y_F \frac{a_y}{i_z^2} = 0, \qquad (6.11)$$

где $a_z = z_0$, $a_y = y_0$ - отрезки, определяющие положение нейтральной оси.

Величины отрезков определяются по формулам:

$$a_z = -\frac{i_y^2}{z_F}; \quad a_y = -\frac{i_z^2}{y_F}, \qquad (6.12)$$

где i_z, i_y - радиусы инерции поперечного сечения относительно осей y и z.

Знак минус в этих формулах указывает на то, что нейтральная ось располагается по другую сторону центра тяжести сечения, по сравнению с точкой приложения силы F, действующей на брус.

Если поперечное сечение имеет сложную форму, то необходимо найти центр тяжести сечения, положение главных центральных осей и главные моменты инерции, пользуясь формулами и указаниями, приведенными в главе 2. В формулы, содержащие моменты инерции, необходимо подставлять значения главных моментов инерции сечения.

Пример 6.3.

Короткий чугунный стержень, поперечное сечение которого показано на рис. 6.7, сжимается продольной силой F, приложенной в точке A**.**

Требуется:

1. Вычислить наибольшее растягивающее и наибольшее сжимающее напряжения в поперечном сечении, выразив величины этих напряжений через F и размеры сечений.

2. Найти допускаемую нагрузку F при заданных размерах сечения и допускаемых напряжениях для чугуна на сжатие σ^{c}_{adm} и на растяжение σ^{p}_{adm}: $\sigma^{c}_{adm} = 110$ МПа, $\sigma^{p}_{adm} = 24$ МПа.

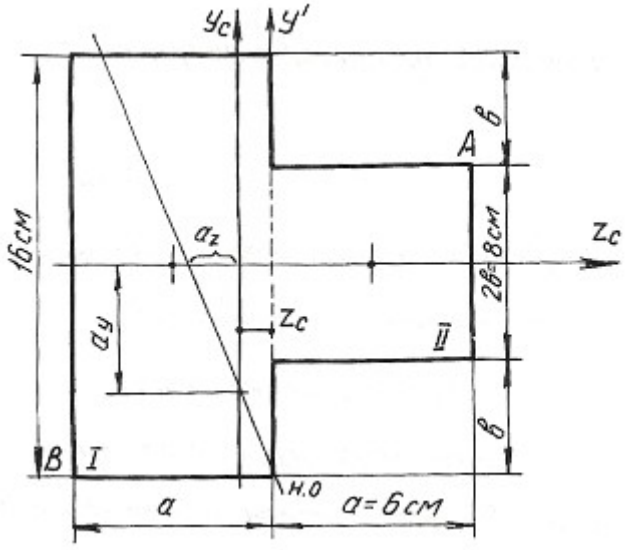


Рис. 6.7.

Определяем координату центра тяжести сечения. Проведем вспомогательную ось y':

$$z_c = \frac{\sum Sy'}{\sum A} = \frac{(A_1 z_1 + A_2 z_2)}{A_1 + A_2} = \frac{[16 \cdot 6 \cdot (-3) + 6 \cdot 8 \cdot 3]}{16 \cdot 6 + 6 \cdot 8} = \frac{-144}{144} = -1 \text{ см}.$$

Для определения положения нейтральной оси находим геометрические характеристики сечения.

Моменты инерции:

$$J_{y_c} = 16\frac{6^3}{12} + 6 \cdot 16 \cdot 2^2 + 8 \cdot \frac{6^3}{12} + 6 \cdot 8 \cdot 4^2 = 1584 \text{ см}^4;$$

$$J_{z_c} = 16^3 \frac{6}{12} + 6\frac{8^3}{12} = 2304 \text{ см}^4.$$

Радиусы инерции:

$$i_y = \sqrt{\frac{J_{y_c}}{A}} = \sqrt{\frac{1584}{144}} = \sqrt{11} = 3{,}31 \text{ см};$$

$$i_z = \sqrt{\frac{J_{z_c}}{A}} = \sqrt{\frac{2304}{144}} = \sqrt{16} = 4 \text{ см}.$$

Нейтральная ось пересекает оси z_c и y_c в точках:

$$a_y = -\frac{i_z^2}{y_F}; \qquad a_z = -\frac{i_y^2}{z_F}; \quad z_F = 7\,\text{см}; \quad y_F = 4\,\text{см}.$$

$$a_y = \frac{-4^2}{4} = -4\ \text{см}; \quad a_z = \frac{-3{,}31^2}{7} = -1{,}57\ \text{см}.$$

Максимальное напряжение возникает в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси, т. е. в точках *A* и *B*. Определяются они по формуле:

$$\sigma = -\frac{F}{A} \pm \frac{F z_F z_{\max}}{J_{y_c}} \pm \frac{F y_F y_{\max}}{J_{z_c}},$$

где $z_{\max}$, $y_{\max}$ – координаты точек *A* и *B*.

Наибольшее сжимающее напряжение:

$$\sigma_A = -F\left[\frac{1}{144} + 7\frac{7}{1584} + 4\frac{4}{2304}\right] = -0{,}044 \cdot F\,.$$

Наибольшее растягивающее напряжение:

$$\sigma_B = -F\left[\frac{1}{144} + 7\frac{(-5)}{1584} + 4\frac{(-8)}{2304}\right] = 0{,}028 \cdot F.$$

Находим допускаемую нагрузку:

$$\sigma_A \le \sigma^{\text{c}}_{\text{adm}} = 110\ \text{МПа}; \qquad 0{,}044 \cdot F \le 110; \quad F \le 0{,}25\ \text{МН}.$$

$$\sigma_B \le \sigma^{\text{p}}_{\text{adm}} = 24\ \text{МПа}; \qquad 0{,}028 \cdot F \le 24; \quad F \le 0{,}09\ \text{МН}.$$

Допускаемая нагрузка $F = 0{,}09$ МН.

6.4. Задания для расчета на внецентренное растяжение или сжатие

Колонна заданного поперечного сечения с известными размерами нагружена сжимающей силой F, приложенной вне центра тяжести сечения в указанной точке. Требуется:

1) Определить положение нейтральной оси;
2) Вычислить наибольшие напряжения в опасном сечении колонны;
3) Построить эпюры напряжений в опасном сечении.

Данные для расчета взять из таблиц 6.4, 6.5 и табл. П. 1.

Примечание: собственным весом колонны при расчетах пренебречь.

Таблица 6.4

Вариант	Схема сечения	Материал	Размеры сечения, см	Точка приложения силы F	Нагрузка F, кН
1	А	дерево	b x h = 15 x 25	1	20
	Б	Ст 3	двутавр № 16	2	30
	В	Ст 3	швеллер № 16	3	40
	Г	Ст 3	2 швеллера № 14	4	50
	Д	Ст 3	2 швеллера № 12	5	60
	Е	Ст 3	2 двутавра № 14	6	70
	Ж	чугун	b = 20	7	35
	З	чугун	b x h = 20 x 30, D = 10	8	45
	И	Ст 3	2 швеллера № 12, a = 10	1	75
	К	Ст 3	2 двутавра № 14, a = 10	2	80
2	А	дерево	b x h = 16 x 27	2	25
	Б	Ст 3	двутавр № 18	3	35
	В	Ст 3	швеллер № 18	4	45
	Г	Ст 3	2 швеллера № 16	5	50
	Д	Ст 3	2 швеллера № 18	6	60
	Е	Ст 3	2 двутавра № 16	7	70
	Ж	чугун	b = 30	8	55
	З	чугун	b x h = 25 x 35 , D = 12	1	65
	И	Ст 3	2 швеллера № 14, a = 10	2	65
	К	Ст 3	2 двутавра № 16, a = 10	3	75

Продолжение табл. 6.4

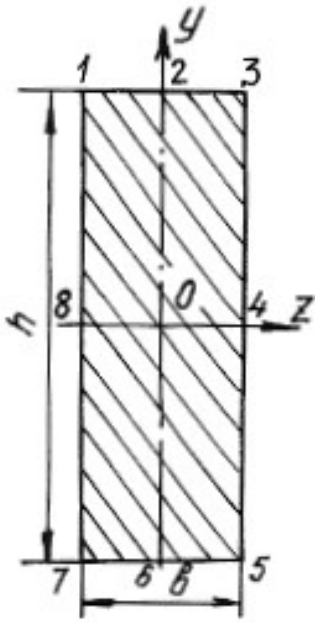
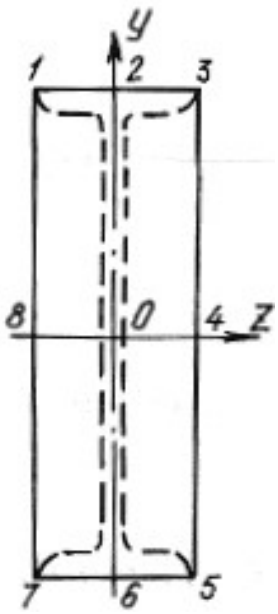
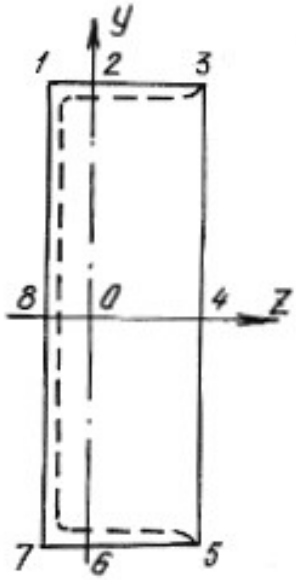
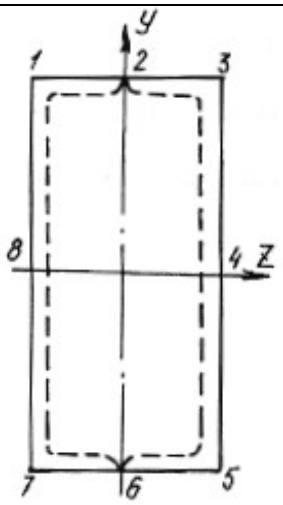
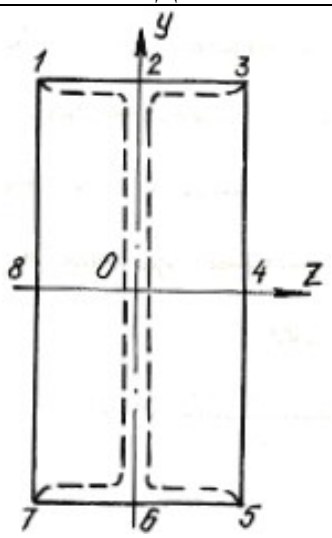
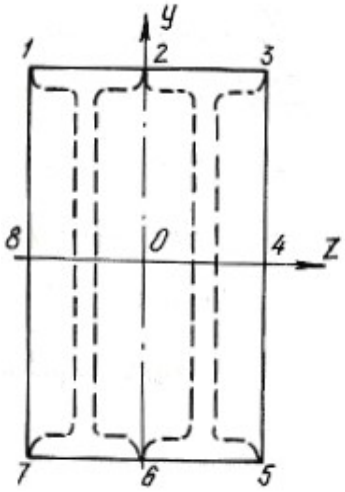
Вариант	Схема сечения	Материал	Размеры сечения	Точка приложения силы F	Нагрузка F, кН
3	А	дерево	b х h = 17 х 28	3	30
	Б	Ст 3	двутавр № 14	4	40
	В	Ст 3	швеллер № 20	5	48
	Г	Ст 3	2 швеллера № 14	6	52
	Д	Ст 3	2 швеллера № 16	7	62
	Е	Ст 3	2 двутавра № 18	8	72
	Ж	чугун	b = 32	1	60
	З	чугун	b х h = 24 х 32, D = 8	2	70
	И	Ст 3	2 швеллера № 18, a = 14	3	66
	К	Ст 3	2 двутавра № 12, a = 8	4	74
4	А	дерево	b х h = 18 х 36	4	40
	Б	Ст 3	двутавр № 20	5	44
	В	Ст 3	швеллер № 20	6	54
	Г	Ст 3	2 швеллера № 18	7	64
	Д	Ст 3	2 швеллера № 16	8	74
	Е	Ст 3	2 двутавра № 14	1	46
	Ж	чугун	b = 34	2	38
	З	чугун	b х h = 28 х 36, D = 14	3	48
	И	Ст 3	2 швеллера № 16, a = 8	4	58
	К	Ст 3	2 двутавра № 18, a = 12	5	72
5	А	дерево	b х h = 20 х 24	5	28
	Б	Ст 3	двутавр № 22	6	38
	В	Ст 3	швеллер № 22	7	48
	Г	Ст 3	2 швеллера № 20	8	62
	Д	Ст 3	2 швеллера № 22	1	76
	Е	Ст 3	2 двутавра № 20	2	78
	Ж	чугун	b = 28	3	46
	З	чугун	b х h = 22 х 34, D = 6	4	56
	И	Ст 3	2 швеллера № 20, a = 6	5	80
	К	Ст 3	2 двутавра № 20, a = 12	6	82

Продолжение табл. 6.4

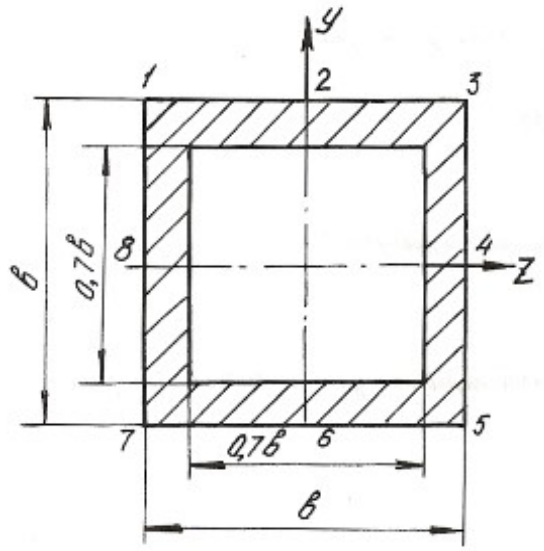
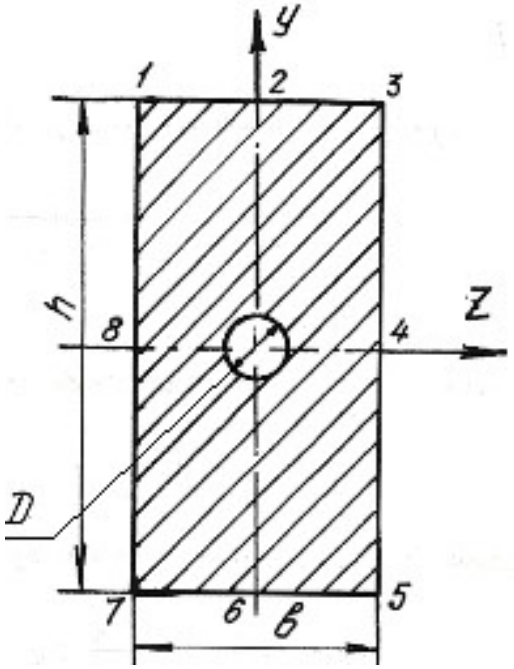
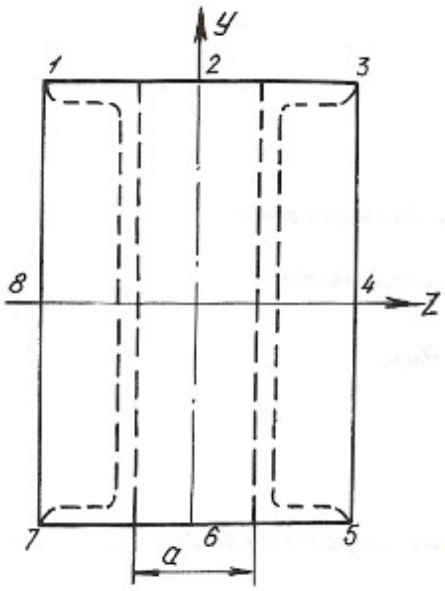
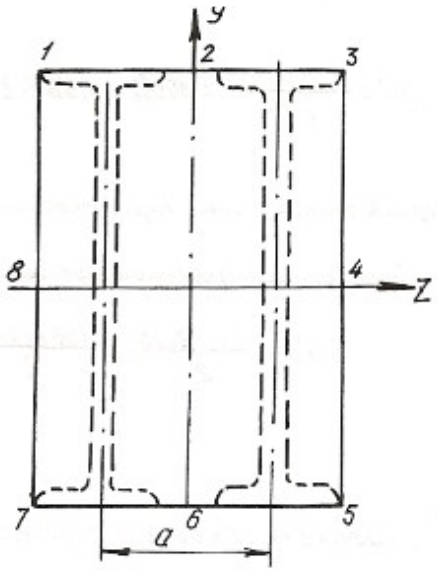
Вариант	Схема сечения	Материал	Размеры сечения, см	Точка приложения силы F	Нагрузка F, кН
6	А	дерево	b x h = 22 x 38	6	36
	Б	Ст 3	двутавр № 22	7	46
	В	Ст 3	швеллер № 22	8	48
	Г	Ст 3	2 швеллера № 22	1	68
	Д	Ст 3	2 швеллера № 20	2	72
	Е	Ст 3	2 двутавра № 22	3	74
	Ж	чугун	b = 24	4	50
	З	чугун	b x h = 24 x 34, D = 8	5	60
	И	Ст 3	2 швеллера № 22, a = 8	6	74
	К	Ст 3	2 двутавра № 22, a = 12	7	69
7	А	дерево	b x h = 22 x 30	7	25
	Б	Ст 3	двутавр № 24	8	48
	В	Ст 3	швеллер № 24	1	52
	Г	Ст 3	2 швеллера № 24	2	63
	Д	Ст 3	2 швеллера № 22	3	68
	Е	Ст 3	2 двутавра № 20	4	64
	Ж	чугун	b = 22	5	43
	З	чугун	b x h = 26 x 36, D = 6	6	49
	И	Ст 3	2 швеллера № 24, a = 4	7	78
	К	Ст 3	2 двутавра № 24, a = 13	8	84
8	А	дерево	b x h = 18 x 32	8	35
	Б	Ст 3	двутавр № 27	1	62
	В	Ст 3	швеллер № 27	2	68
	Г	Ст 3	2 швеллера № 22	3	85
	Д	Ст 3	2 швеллера № 24	4	87
	Е	Ст 3	2 двутавра № 22	5	78
	Ж	чугун	b = 26	6	52
	З	чугун	b x h = 26 x 36, D = 9	7	58
	И	Ст 3	2 швеллера № 27, a = 5	8	86
	К	Ст 3	2 двутавра № 27, a = 14	1	88

Таблица 6.5

Схемы поперечных сечений колонны

А	Б	В
		
Г	Д	Е
		

Окончание табл. 6.5

Ж	З
	
И	К
	

6.5. Изгиб с кручением

Помимо крутящих моментов валы могут испытывать воздействие изгибающих моментов. Последние возникают от действия собственного веса вала, усилий натяжения приводных ремней, весов шкивов, усилий зацепления в зубьях зубчатых передач и т. п.

Крутящий момент на валу или его участке определяется по формулам:

$$T = 9550\frac{N}{n}, \tag{6.13}$$

где T – крутящий момент, Нм; N – мощность двигателя, кВт; n – число оборотов вала в минуту, или

$$T = \frac{D}{2}\cdot(t_1 - t_1'), \tag{6.14}$$

где D – диаметр ведущего шкива, соединенного с двигателем приводным ремнем; t_1 – усилие натяжения в набегающей ветви приводного ремня; t_1' – усилие натяжения в сбегающей ветви приводного ремня.

Определив крутящий момент по формуле (6.13) и, зная соотношение между усилиями t_1 и t_1', определяют эти усилия из формулы (6.14) при известном диаметре шкива. Если усилия t_1, t_1' последовательно перенести в центр тяжести сечения вала и уравновесить их, то получим два момента пар сил, направленных в противоположные стороны. Равнодействующий момент этих моментов и будет равен крутящему моменту в том сечении, где находится шкив. Вместе с этим в центре этого сечения вала возникнет нагрузка, $S = t_1 + t_1'$, которая может быть направлена под углом к горизонту. В этом случае ее раскладывают на вертикальную и горизонтальную составляющие: $S_y = S\cdot\sin\alpha$; $S_z = S\cdot\cos\alpha$.

При наличии на валу нескольких ведомых шкивов крутящие моменты и изгибающие нагрузки определяются аналогичным способом. Таким образом, вал будет испытывать одновременно деформацию кручения от крутящих моментов и деформацию поперечного изгиба в двух плоскостях – вертикальной и горизонтальной. Дальнейший расчет вала на изгиб с кручением осуществляется в таком порядке:

1. Строится эпюра крутящих моментов T.
2. Вычерчивается схема вала в виде балки на двух опорах и загружается только вертикальными изгибающими нагрузками. С помощью уравнений статики определяются реакции на опорах, и строится эпюра изгибающих моментов от этих нагрузок $M_{\text{и}}^{\text{в}}$.

3. Вал загружается только горизонтальными изгибающими нагрузками, от них определяются реакции на опорах, и строится эпюра изгибающих моментов от горизонтальных нагрузок $M_{\text{и}}^{\text{г}}$.

4. В характерных сечениях вала определяются суммарные изгибающие моменты в виде геометрической суммы изгибающих моментов, возникающих в этих сечениях от вертикальных и горизонтальных нагрузок: $M_{\text{и}} = \sqrt{(M_{\text{и}}^{\text{в}})^2 + (M_{\text{и}}^{\text{г}})^2}$. Строится суммарная эпюра изгибающих моментов $M_{\text{и}}$. При построении эпюр выбирается необходимый масштаб, и применяются знаки, принятые в сопротивлении материалов при построении эпюр крутящих и изгибающих моментов.

5. Выбирается опасное сечение по длине вала, где одновременно крутящий и суммарный моменты достаточно большие – на основании эпюр $M_{\text{и}}$ и T.

6. На основании третьей или четвертой теории прочности для опасного сечения определяется расчетный (эквивалентный) момент по формулам:

$$M_{\text{р}}^{\text{III}} = \sqrt{T^2 + M_{\text{и}}^2}; \quad M_{\text{р}}^{\text{IV}} = \sqrt{M_{\text{и}}^2 + 0,75T^2}. \tag{6.15}$$

7. Определяется диаметр сечения вала на основании условия прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\text{Р}}}{W_z} \le \sigma_{\text{adm}}, \tag{6.16}$$

где $W_z = \dfrac{J_z}{d/2} = \pi \dfrac{d^4/64}{d/2} = \dfrac{\pi d^3}{32}$ – момент сопротивления поперечного сечения вала изгибу.

$$d \ge \sqrt[3]{\frac{32M_{\text{Р}}}{\pi\sigma_{\text{adm}}}}. \tag{6.17}$$

Величина диаметра округляется до ближайшего целого.

Пример 6.4.

Шкив с диаметром D_1 и с углом наклона ветвей ремня к горизонту α_1 делает n оборотов в минуту и передает мощность N. Два других шкива имеют одинаковый диаметр D_2 и одинаковые углы наклона ветвей ремня к горизонту α_2 и, каждый из них передает мощность $N/2$ **(**рис. 6.8).

Требуется:

1. Определить моменты, приложенные к шкивам, по заданным N и n ;

2. Построить эпюру крутящих моментов T;

3. Определить окружные усилия t_1 и t_2 действующие на шкивы, по данным моментам и заданным диаметрам шкивов D_1 и D_2;

4. Принять $t_1 = 2 \cdot t_2$;

5. Определить силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях (вес шкивов и вала не учитывать);

6. Построить эпюры изгибающих моментов от горизонтальных и вертикальных сил $M_{\text{верт.}}$, $M_{\text{гор.}}$;

7. Построить эпюры суммарных изгибающих моментов, пользуясь формулой $M_{\text{и}} = \sqrt{M_{\text{гор}}{}^2 + M_{\text{верт}}{}^2}$;

8. При помощи эпюр T и $M_{\text{и}}$ найти опасное сечение и определить максимальный расчетный момент (по третьей теории прочности);

9. Подобрать диаметр вала d при $\sigma_{\text{adm}} = 70$ МПа и округлить его значение.

Решение.

1. Определяем крутящие моменты:

$$T_1 = \frac{9{,}55 \cdot N_1}{650} = \frac{9{,}55 \cdot 90}{650} = 1{,}32 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_2 = \frac{9{,}55 \cdot N_2}{n} = \frac{9{,}55 \cdot 45}{650} = 0{,}66 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

2. Строим эпюру крутящих моментов (см. рис. 6.8).

3. Определяем усилия натяжения в ветвях ремней:

$$t_1 = \frac{2 \cdot T_1}{D_1} = \frac{2 \cdot 1{,}32}{1} = 2{,}64 \text{ кН}; \quad t_2 = \frac{2 \cdot T_2}{D_2} = \frac{2 \cdot 0{,}66}{0{,}6} = 2{,}2 \text{ кН}.$$

4. Определяем изгибающие нагрузки:

$$S_1 = t_1 + 2 \cdot t_2 = 7{,}92 \text{ кН}; \quad S_2 = t_2 + 2 \cdot t_2 = 6{,}60 \text{ кН}.$$

5. Определяем изгибающие нагрузки в вертикальной плоскости и реакции от этих нагрузок:

$$S_1^y = S_1 \cdot \sin\alpha_1 = 7{,}92 \cdot \sin 75^\circ = 7{,}92 \cdot 0{,}9659 = 7{,}65 \text{ кН};$$

$$S_2^y = S_2 \cdot \sin\alpha_2 = 6{,}6 \cdot \sin 80^\circ = 6{,}6 \cdot 0{,}9848 = 6{,}49 \text{ кН}.$$

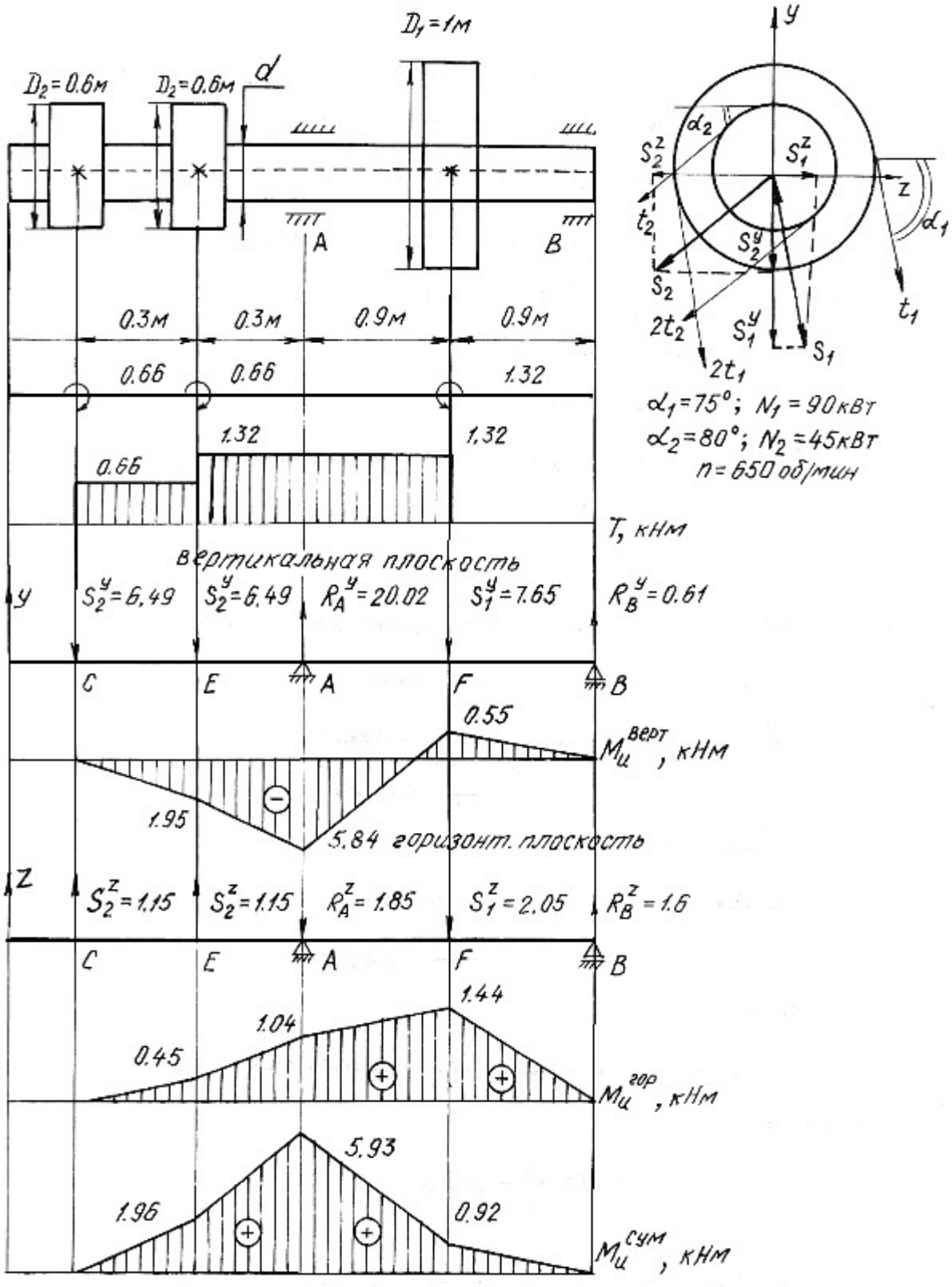

D1=1м
D2=0.6м
D2=0.6м
d
A
B
0.3м
0.3м
0.9м
0.9м
0.66
0.66
1.32
1.32
1.32
0.66
T, кНм
вертикальная плоскость
y
S2y=6.49
S2y=6.49
RAy=20.02
S1y=7.65
RBy=0.61
C
E
A
F
B
0.55
Mцверт, кНм
1.95
5.84 горизонт. плоскость
z
S2z=1.15
S2z=1.15
RAz=1.85
S1z=2.05
RBz=1.6
C
E
A
F
B
1.44
1.04
0.45
Mцгор, кНм
5.93
1.96
0.92
Mцсум, кНм
y
α2
S2z
S1z
z
α1
t2
S2y
S2
t1
2t2
S1y
S1
2t1
α1=75°; N1=90кВт
α2=80°; N2=45кВт
n=650 об/мин

Рис. 6.8.

$$\sum M_A = 0; \quad S_2^y \cdot 0,6 - S_1^y \cdot 0,9 + R_B^y \cdot 1,8 + S_2^y \cdot 0,3 = 0;$$

$$6,49 \cdot 0,6 + 6,49 \cdot 0,3 - 7,65 \cdot 0,9 + R_B^y \cdot 1,8 = 0;$$

$$R_B^y = 0,61 \text{ кН}.$$

$$\sum M_B = 0; \; S_2^y \cdot 2,4 + S_2^y \cdot 2,1 - R_A^y \cdot 1,8 + S_1^y \cdot 0,9 = 0;$$

$$6,49 \cdot 2,4 + 6,49 \cdot 2,1 - R_A^y \cdot 1,8 + 7,65 \cdot 0,9 = 0;$$

$$R_A^y = 20,02 \text{ кН}.$$

$$\sum Y = 0; \quad -S_2^y - S_2^y + R_A^y - S_1^y + R_B^y = 0;$$

$$-6,49 - 6,49 + 20,02 - 7,65 + 0,61 = 0;$$

$$0 = 0.$$

Строим эпюру изгибающих моментов в вертикальной плоскости:

$$M_{\text{и}}^E = -6,49 \cdot 0,3 = -1,95 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{и}}^A = -6,49 \cdot 0,6 - 6,49 \cdot 0,3 = -5,84 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{и}}^F = R_B^y \cdot 0,9 = 0,61 \cdot 0,9 = 0,55 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

6. Определяем изгибающие нагрузки в горизонтальной плоскости и реакции от этих нагрузок:

$$S_1^z = S_1 \cdot \cos\alpha_1 = 7,92 \cdot \cos 75^\circ = 2,05 \text{ кН};$$

$$S_2^z = S_2 \cdot \cos\alpha_2 = 6,6 \cdot \cos 80^\circ = 1,15 \text{ кН}.$$

$$\sum M_A = 0;$$

$$S_2^z \cdot 0,6 - S_1^z \cdot 0,9 + R_B^z \cdot 1,8 - S_2^z \cdot 0,3 = 0;$$

$$R_B^z = 1,6 \text{ кН}.$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$-S_2^z \cdot 2,4 - S_2^z \cdot 2,1 + R_A^z \cdot 1,8 + S_1^z \cdot 0,9 = 0;$$

$$R_A^z = 1,85 \text{ кН}.$$

$$\sum Z = 0; \quad S_2^z + S_2^z - R_A^z - S_1^z + R_B^z = 0;$$

$$1,15 + 1,15 - 1,85 - 2,05 + 1,6 = 0;$$

$$0 = 0.$$

Строим эпюру изгибающих моментов в горизонтальной плоскости:

$$M_{\text{и}}^{E} = 1{,}15 \cdot 0{,}3 = 0{,}45 \text{ кН} \cdot \text{м};$$
$$M_{\text{и}}^{A} = 1{,}15 \cdot 0{,}6 + 1{,}15 \cdot 0{,}3 = 1{,}04 \text{ кН} \cdot \text{м};$$
$$M_{\text{и}}^{F} = 1{,}6 \cdot 0{,}9 = 1{,}44 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

7. Строим эпюру суммарных изгибающих моментов:

$$M_{\text{и}}^{E} = \sqrt{1{,}95^2 + 0{,}45^2} = 1{,}96 \text{ кН} \cdot \text{м};$$
$$M_{\text{и}}^{A} = \sqrt{5{,}84^2 + 1{,}04^2} = 5{,}93 \text{ кН} \cdot \text{м};$$
$$M_{\text{и}}^{F} = \sqrt{0{,}55^2 + 1{,}44^2} = 0{,}92 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

8. Опасным сечением будет сечение A:

$$M_{\text{и}}^{A} = 5{,}93 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad T = 1{,}32 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетный момент для сечения A:

$$M_{\text{р}}^{\text{III}} = \sqrt{5{,}93^2 + 1{,}32^2} = 6{,}08 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

9. Определяем диаметр сечения вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_{\text{р}}}{\pi\sigma_{\text{adm}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 6{,}08 \cdot 10^{-3}}{3{,}14 \cdot 70}} = 0{,}096 \text{ м} = 96 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр вала $d = 100$ мм.

6.6. Задания для расчета на изгиб с кручением

Трансмиссионный вал делает n оборотов в минуту при мощности N. На шкив с диаметром D_1 с углом наклона ремней ветвей ремня к горизонту α_1 передается мощность N кВт от электродвигателя. Два других шкива имеют одинаковый диаметр D_2 и одинаковые углы α_2 наклона ветвей ремня к горизонту, и каждый из них передает мощность $0{,}5N$ на станки. Для заданной расчетной схемы и данных размеров и нагрузок требуется:

1) определить окружные моменты, приложенные к шкивам, по заданным величинам N и n;

2) построить эпюру крутящих моментов T;

3) определить окружные усилия, действующие на шкивы;

4) определить силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях (вес шкива и вала не учитывать);

5) построить эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил $M_{\text{гор}}$ и от вертикальных сил $M_{\text{верт}}$;

6) построить эпюру суммарных изгибающих моментов;

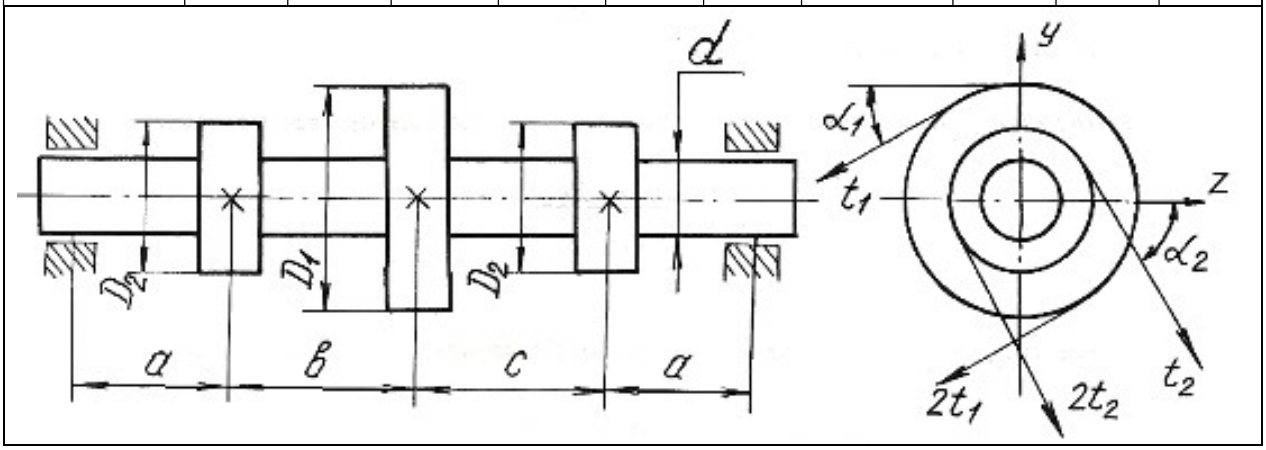
7) найти опасное сечение и определить величину максимально-расчетного момента по третьей теории прочности;

8) подобрать диаметр сечения вала при σ_{adm}=80 МПа.

Данные для расчета и схемы взять из табл. 6.6.

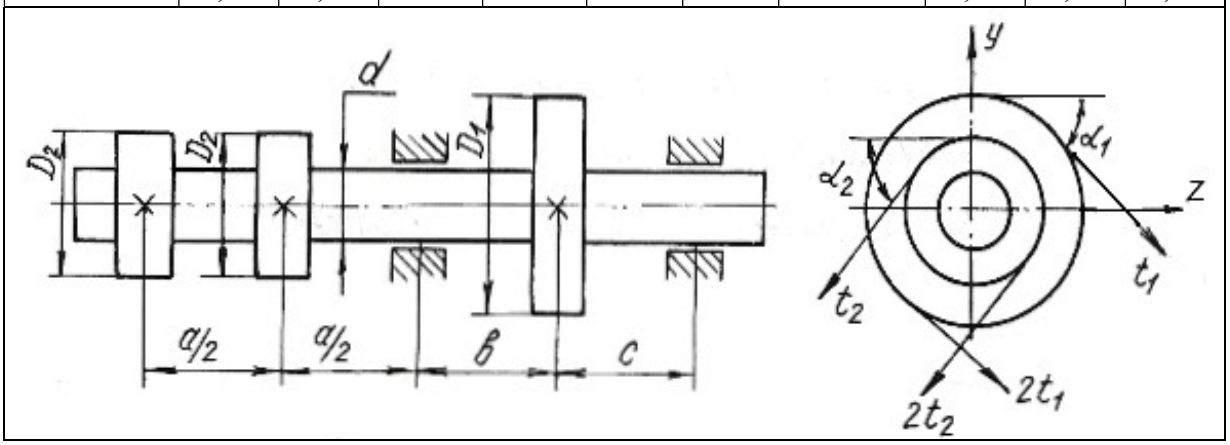
Таблица 6.6

Номер варианта	Числовые значения									
	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
1	1,00	0,30	45	40	30	15	250	0,50	1,00	1,00
2	0,80	0,40	15	10	40	20	200	0,50	1,30	1,20
3	1,00	0,40	30	35	30	15	250	0,40	1,25	2,00
4	1,20	0,50	60	55	50	25	200	0,40	1,00	2,50
5	1,40	0,40	45	45	60	30	300	0,60	1,20	1,80



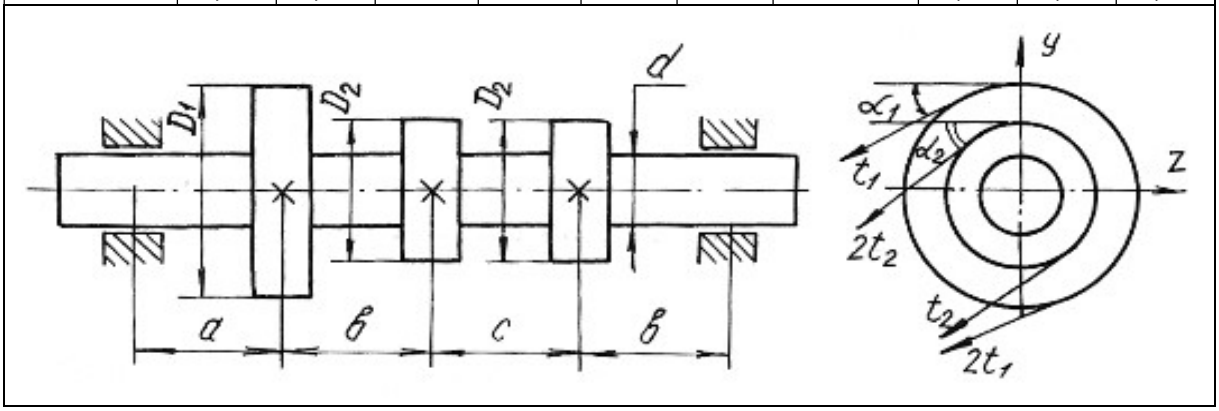
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
6	1,00	0,30	45	40	70	35	400	0,70	1,20	1,30
7	0,90	0,60	55	50	75	38	400	0,50	1,00	1,00
8	1,00	0,70	60	35	80	40	500	0,60	1,00	1,10
9	1,20	0,80	65	30	85	42	550	0,70	1,10	1,20
10	1,20	0,90	70	45	90	45	600	0,70	1,00	1,00



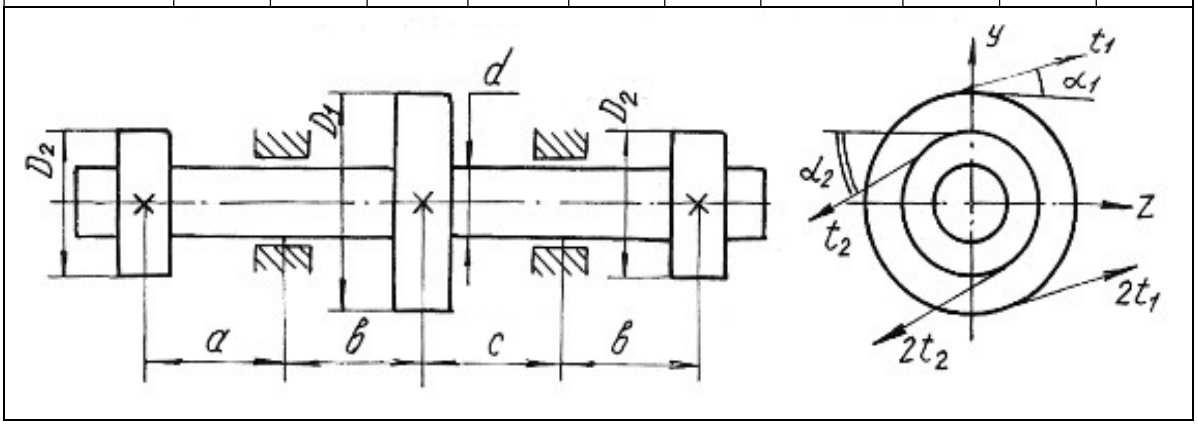
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
11	1,00	0,60	75	80	90	45	650	0,60	0,90	0,90
12	1,20	0,80	80	75	100	50	700	0,50	1,00	1,00
13	1,20	0,70	85	30	110	55	750	0,60	1,10	1,20
14	1,20	0,60	30	85	120	60	800	0,50	1,00	1,00
15	1,00	0,80	35	40	130	65	360	0,60	1,20	1,00



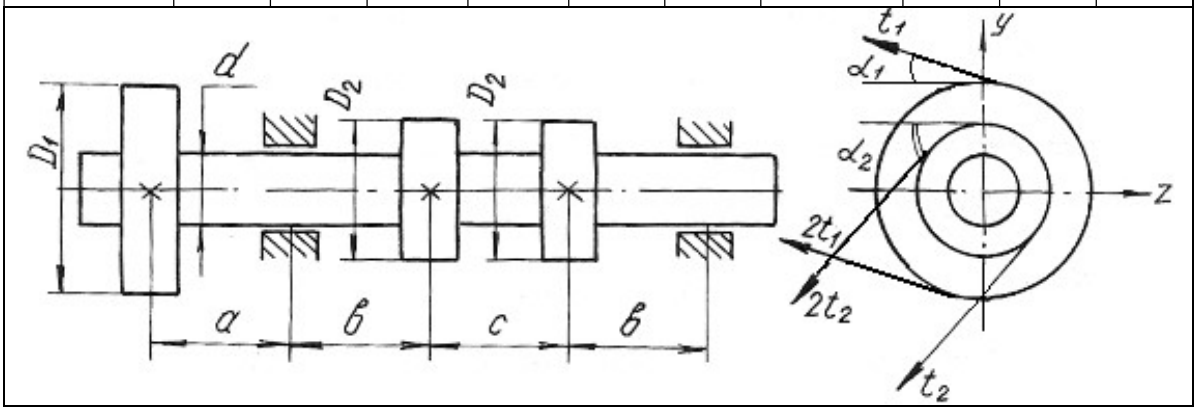
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
16	1,20	0,60	40	35	140	70	400	0,50	1,00	1,00
17	1,40	0,70	45	50	150	75	450	0,50	0,50	1,00
18	1,20	0,60	50	45	160	80	500	0,60	1,00	1,00
19	1,20	0,70	60	65	170	85	550	0,50	0,90	0,90
20	1,00	0,60	65	60	180	90	600	0,60	1,00	0,90



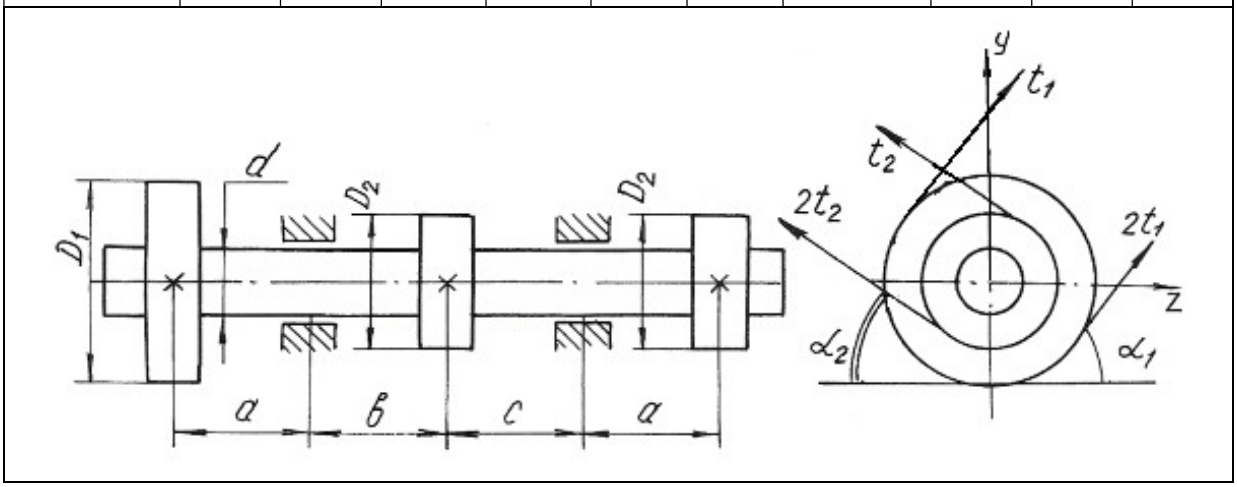
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
21	1,20	0,80	15	25	30	15	250	1,00	0,80	1,20
22	1,00	0,60	25	15	40	20	280	1,20	1,20	1,30
23	0,80	0,50	30	45	50	25	300	1,30	1,30	1,40
24	1,00	0,65	45	60	60	30	450	1,25	1,40	1,50
25	1,20	0,75	60	30	70	35	500	1,40	1,00	1,60



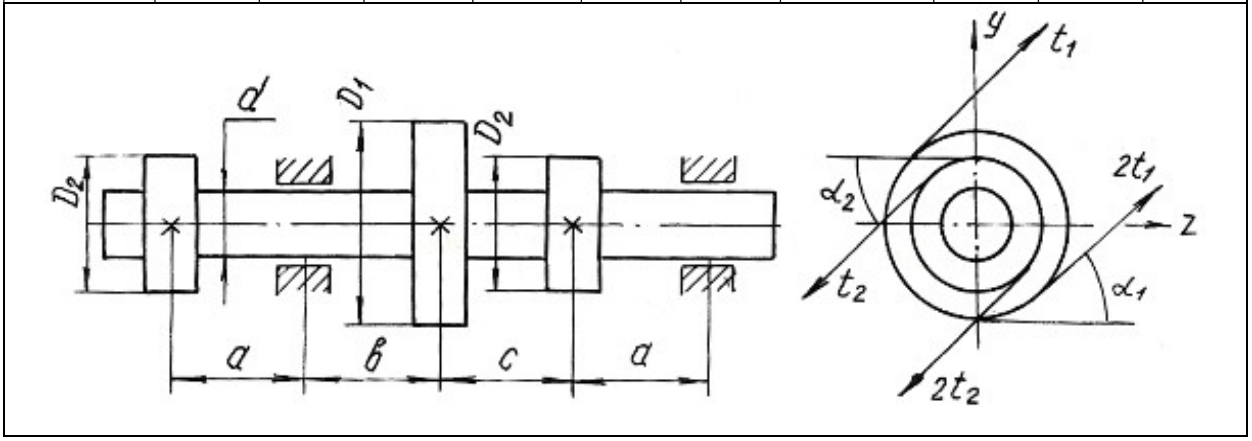
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
26	1,20	0,80	75	15	60	30	500	1,20	1,20	1,40
27	1,00	0,90	30	45	64	32	550	1,00	0,80	1,00
28	0,90	0,80	35	55	70	35	600	0,60	1,00	0,90
29	0,80	0,70	40	50	74	37	650	0,60	0,90	0,80
30	1,10	0,75	55	65	80	40	700	0,80	1,00	0,65



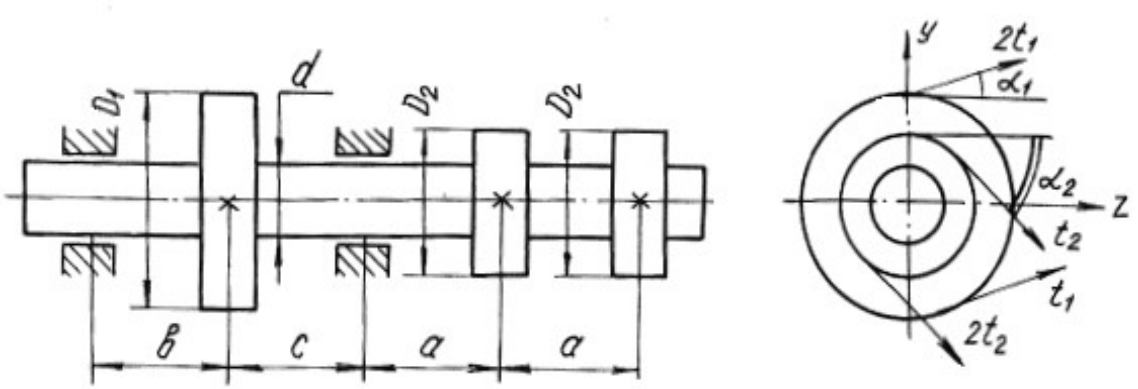
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
31	1,10	0,75	45	45	170	85	500	1,00	0,90	1,10
32	1,20	0,90	60	30	90	45	400	0,90	1,00	0,80
33	0,90	0,70	75	15	95	47	450	0,80	0,90	1,00
34	1,00	0,80	30	45	100	50	500	1,00	1,20	0,90
35	1,20	0,90	25	15	110	55	550	0,90	1,00	1,20



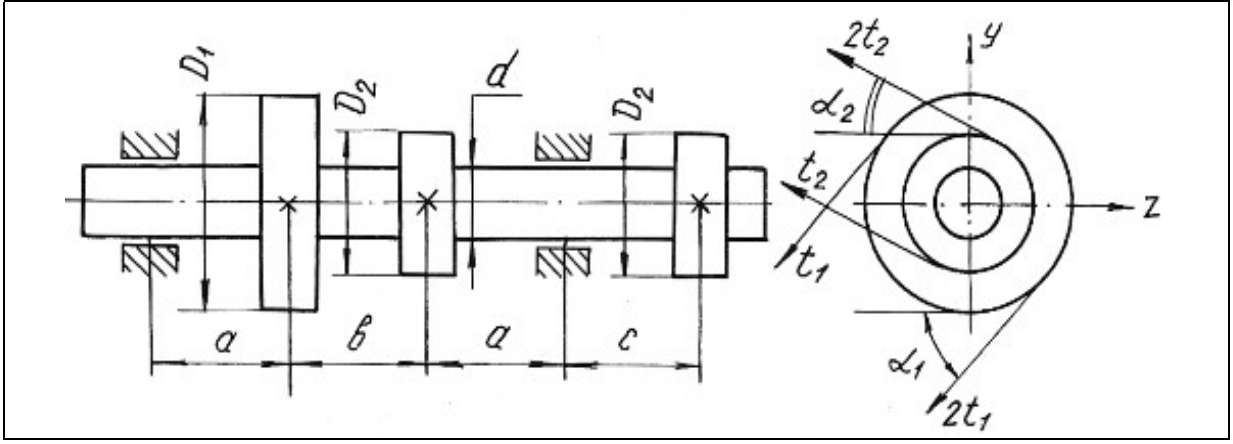
Продолжение табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
36	1,00	0,80	30	20	120	60	600	0,80	1,20	0,90
37	1,20	0,90	35	45	130	65	650	1,00	0,80	0,90
38	1,10	0,80	60	50	140	70	700	0,90	1,00	0,90
39	1,00	0,70	75	15	150	75	300	0,80	1,00	0,70
40	1,00	0,60	60	40	160	80	300	1,00	1,20	1,30



Окончание табл. 6.6

Номер варианта	D_1, м	D_2, м	α_1, град	α_2, град	N_1, кВт	N_2, кВт	n, об/мин	a, м	b, м	c, м
41	1,00	0,40	40	20	40	20	200	0,50	1,00	0,40
42	0,80	0,50	45	25	50	25	250	0,40	1,10	0,50
43	1,00	0,60	50	30	60	30	300	0,60	0,90	0,40
44	1,20	0,80	55	35	70	35	200	0,40	1,00	0,60
45	1,10	0,50	60	40	80	40	350	0,70	1,20	0,70



Глава 7

УСТОЙЧИВОСТЬ ГИБКИХ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Стержни, длина которых относительно невелика по сравнению с их поперечными размерами, рассчитываются на сжатие, исходя из условия прочности:

$$\frac{F}{A} \le \sigma_{\text{adm}}.$$

При этом полагается, что вплоть до разрушения стержень работает на осевое сжатие и продольная ось его остаётся прямолинейной.

Иная картина наблюдается при сжатии стержней, длина которых значительно больше размеров поперечного сечения. В этих случаях прямолинейная продольная ось стержней может искривляться. Искривление происходит в плоскости наименьшей жесткости стержня.

Деформация, которая возникает при сжатии стерня и сопровождается искривлением продольной оси стержня, называется продольным изгибом, а переход прямолинейной формы продольной оси стержня в криволинейную носит название потери устойчивости. Нагрузка, при которой стержень теряет устойчивость, называется критической силой F_{cr}.

Напряжение, возникающее в поперечном сечении стержня от критической силы, называется критическим напряжением σ_{cr}.

Критические напряжения весьма опасны для сжатых стержней, поэтому необходимо проводить расчёты на устойчивость.

Для стержней, закрепленных на одной или двух опорах, величина критической силы может быть определена по формуле Эйлера:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E\, J_{\min}}{(\mu l)^2}, \qquad (7.1)$$

где E − модуль продольной упругости материала; $J_{\min}$ − минимальный осевой момент инерции поперечного сечения стержня; l − длина стержня; μ − коэффициент приведенной длины стержня, отражающий способ закрепления концов стержня (рис. 7.1); μl − приведенная длина стержня.

Критические напряжения

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \qquad (7.2)$$

где λ − гибкость стержня

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}, \tag{7.3}$$

где $i_{\min}$ – минимальный радиус инерции поперечного сечения стержня

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}, \tag{7.4}$$

Формула Эйлера применима для стержней с гибкостью более гибкости, предельной для данного материала стержня

$$\lambda_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}}, \tag{7.5}$$

где σ_{pr} – предел пропорциональности материала стержня (напряжение, при котором сохраняется прямая пропорциональность между σ и ε).

Для расчёта сжатых стержней любой гибкости применяется способ, основанный на применении коэффициентов φ. Этот способ расчёта сжатых стержней на устойчивость сводится к расчёту стержня как бы на простое сжатие, только по заниженному допускаемому напряжению с использованием формулы:

$$\sigma^{\text{у}}_{\text{adm}} = \varphi\, \sigma_{\text{adm}}, \tag{7.6}$$

где $\sigma^{\text{у}}_{\text{adm}}$ – допускаемое напряжение при расчете на устойчивость; φ – коэффициент продольного изгиба (коэффициент понижения основного допускаемого напряжения σ_{adm} на простое сжатие), значения коэффициентов φ для различных материалов приведены в табл. 7.1.

Величина допускаемой нагрузки на устойчивость $F^{\text{у}}_{\text{adm}}$ сжатого стержня соответственно будет равна

$$F^{\text{у}}_{\text{adm}} = \sigma^{\text{у}}_{\text{adm}} A = \varphi \sigma_{\text{adm}} A, \tag{7.7}$$

где A – площадь поперечного сечения сжатого стержня.

Между критической и допускаемой нагрузкой на устойчивость существует следующая связь

$$F_{cr} = K_{\text{у}} F^{\text{у}}_{\text{adm}}, \tag{7.8}$$

где $K_{\text{у}}$ – коэффициент запаса на устойчивость.

Таблица 7.1

Гибкость, λ	Значение коэффициента φ				
	Материал				
	Ст. 4, Ст. 3	Ст. 5	Ст. СПБ	чугун	дерево
0	1	1	1	1	1
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,95	0,97
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,8
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,6
80	0,75	0,7	0,65	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,55	0,2	0,38
100	0,6	0,51	0,43	0,16	0,31
110	0,52	0,43	0,35	–	0,25
120	0,45	0,36	0,3	–	0,22
130	0,4	0,33	0,26	–	0,18
140	0,36	0,29	0,23	–	0,16
150	0,32	0,26	0,21	–	0,14
160	0,29	0,24	0,19	–	0,12
170	0,26	0,21	0,17	–	0,11
180	0,23	0,19	0,15	–	0,1
190	0,21	0,17	0,14	–	0,09
200	0,19	0,16	0,13	–	0,08

В зависимости от исходных данных для расчета на устойчивость решение сводится к определению допускаемой нагрузки $F_{\text{adm}}^{\text{у}}$ из условий устойчивости сжатого стержня или к подбору площади поперечного сечения сжатого стержня.

Рассмотрим возможные варианты решения на устойчивость сжатых стержней с помощью коэффициента φ на следующих примерах.

Пример 7.1.

Определить допускаемую нагрузку для стойки, изготовленной из Ст. 3 в виде трубы с наружным диаметром $d_1 = 0{,}04$ м и внутренним $d_2 = 0{,}03$ м, длиной $l = 1$ м. Концы стойки защемлены. Допускаемое напряжение для материала стержня $\sigma_{\text{adm}} = 120$ МПа, предел пропорциональности материала $\sigma_{pr} = 200$ МПа. Коэффициент запаса на устойчивость $K_{\text{у}} = 2$. Модуль продольной упругости материала $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па.

Решение.

Выявим возможность решения данной задачи с помощью формулы Эйлера. Для этого находим предельную гибкость для данного материала стойки

$$\lambda_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}} = \sqrt{\frac{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{200 \cdot 10^6}} = 99{,}5.$$

Для определения действительной гибкости данной стойки находим минимальный момент инерции поперечного сечения

$$J_{\min} = \frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_2^4) = \frac{3{,}14}{64}(0{,}04^4 - 0{,}03^4) = 8{,}586 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Площадь сечения

$$A = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2) = \frac{3{,}14}{4}(0{,}04^2 - 0{,}03^2) = 5{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Минимальный радиус инерции

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}586 \cdot 10^{-8}}{5{,}5 \cdot 10^{-4}}} = 1{,}25 \cdot 10^{-2} \text{м}.$$

Тогда гибкость стойки при $\mu = 0{,}5$

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{0{,}5 \cdot 1}{1{,}25 \cdot 10^{-2}} = 40.$$

Сравнивая полученные значения гибкостей, приходим к выводу, что расчет с помощью формулы Эйлера в данном случае не применим, так как $\lambda < \lambda_{\text{кр}}$.

Расчет производим с помощью коэффициента φ. Для данной стальной стойки при $\lambda = 40$ коэффициент $\varphi = 0{,}92$.

Найдем допускаемое напряжение на устойчивость

$$\sigma_{\text{adm}}^{\text{у}} = \varphi\sigma_{\text{adm}} = 0{,}92 \cdot 120 = 110{,}4 \text{ МПа},$$

а допускаемая нагрузка на устойчивость

$$F_{\text{adm}}^{\text{у}} = \sigma_{\text{adm}}^{\text{у}} A = 110{,}4 \cdot 10^6 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-4} = 60{,}72 \cdot 10^3 \text{ Н} = 60{,}72 \text{ кН}.$$

Критическая нагрузка

$$F_{cr} = K_{\text{у}} F_{\text{adm}}^{\text{у}} = 2 \cdot 60{,}72 = 121{,}44 \text{ кН}.$$

Пример 7.2.

Подобрать двутавровое сечение стойки с одним защемленным, а другим свободным концом. Осевая сжимающая сила $F = 400$ кН, длина стойки $l = 1{,}5$ м. Основное допускаемое напряжение на сжатие $\sigma_{adm} = 160$ МПа.

Решение.

Решаем задачу методом последовательных приближений. Примем для первого приближения коэффициент $\varphi_1 = 0{,}5$. В этом случае необходимая площадь поперечного сечения стойки:

$$A_1 \geq \frac{F}{\varphi_1 \sigma_{adm}} = \frac{400 \cdot 10^3}{0{,}5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 50 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

По сортаменту выбираем двутавр № 33 (см. табл. П. 1) с площадью $A_2 = 53{,}8 \cdot 10^{-4}$ м^2 и минимальным радиусом инерции $i_{\min_1} = 2{,}79 \cdot 10^{-2}$ м.

Соответствующая гибкость стойки при коэффициенте $\mu = 2$

$$\lambda_1 = \frac{\mu l}{i_{\min_1}} = \frac{2 \cdot 1{,}5}{2{,}79 \cdot 10^{-2}} = 107.$$

С помощью линейной интерполяции находим коэффициент φ_2 между его значениями по табл. 7.1 при $\lambda = 100$ и при $\lambda = 110$. При $\lambda = 100$, $\varphi = 0{,}60$; при $\lambda = 110$, $\varphi = 0{,}52$, следовательно, $\Delta\lambda = 10$, $\Delta\varphi = 0{,}08$:

$$\varphi_2 = \varphi_{\lambda=100} - \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda}\left[(\lambda{=}107) - (\lambda{=}100)\right] = 0{,}544.$$

Следовательно, при $\lambda = 107$ коэффициент $\varphi_2 = 0{,}544$.

Проводим проверку по условию

$$F_{\text{расч}_1} = \varphi_2 A_2 \sigma_{adm} = F \pm 5\ \%,$$

в нашем случае $F_{\text{расч}_1} = 0{,}544 \cdot 53{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot 160 \cdot 10^6 = 468270$ Н $= 468{,}27$ кН $> F$.

Находим величину расхождения между заданной и расчетной нагрузками

$$\delta = \frac{468{,}27 - 400}{400} 100 = 17\ \% > 5\ \%.$$

Делаем новый расчет (приближение)

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \frac{0,5 + 0,544}{2} = 0,522 .$$

Необходимая площадь поперечного сечения

$$A_3 = \frac{F}{\varphi_3 \sigma_{adm}} = \frac{400 \cdot 10^3}{0,522 \cdot 160 \cdot 10^6} = 48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 .$$

По сортаменту проката найденной площади соответствует двутавр № 30а (см. табл. П. 1) площадью сечения $A_4 = 49,9 \cdot 10^{-4}$ м^2 и $i_{\min_2} = 2,95 \cdot 10^{-2}$ м. Тогда гибкость

$$\lambda_2 = \frac{\mu l}{i_{\min_2}} = \frac{2 \cdot 1,5}{2,95 \cdot 10^{-2}} = 101,7 \approx 102 .$$

После интерполяции получаем

$$\varphi_4 = 0,6 - \frac{0,08}{10}(102 - 100) = 0,584 .$$

Проводим проверку

$$F_{\text{расч}_2} = 0,584 \cdot 49,9 \cdot 10^{-4} \cdot 160 \cdot 10^6 = 466265 \text{ Н} = 466,265 \text{ кН} > F .$$

Величина расхождения между заданной и расчетной нагрузками составляет:

$$\delta = \frac{466,265 - 400}{400} 100 = 16,6 \text{ \%} > 5 \text{ \%} .$$

Проверяем двутавр № 30 площадью сечения $A_5 = 46,5 \cdot 10^{-4}$ м^2, $i_{\min_3} = 2,69 \cdot 10^{-2}$ м.

Гибкость $\lambda_3 = \frac{2 \cdot 1,5}{2,69 \cdot 10^{-2}} \approx 112 .$

Коэффициент φ_5 находим линейной интерполяцией между значениями $\lambda = 110$ и $\lambda = 120$. Получим $\varphi_5 = 0,506$.

Проверка

$F_{\text{расч}_3} = \varphi_5 A_5 \sigma_{adm} = 0,506 \cdot 46,5 \cdot 10^{-4} \cdot 160 \cdot 10^6 = 376500 \text{ Н} = 376,5 \text{ кН}.$

Величина расхождения между заданной и расчетной нагрузками составляет

$$\delta = \frac{400 - 376,5}{400} 100 = 5,87 \text{ \%} > 5 \text{ \%} .$$

Следовательно, из трех рассмотренных номеров двутавров к практическому применению необходимо принять двутавр № 30а с площадью поперечного сечения $A = 49{,}9 \cdot 10^{-4}$ м^2, так как нагрузка, которую воспринимает двутавр № 30 меньше заданной нагрузки более чем 5 %.

7.1. Задания для расчета стержней на устойчивость

Подобрать поперечное сечение заданного профиля гибкого стержня при действии осевой сжимающей силы. Решение выполнить методом последовательных приближений с помощью коэффициентов φ. Допускаемые напряжения для материалов стержней на сжатие принять: для стали $\sigma_{adm} = 160$ МПа; для чугуна $\sigma_{adm} = 130$ МПа; для дерева $\sigma_{adm} = 10$ МПа.

Данные для расчетов взять из рис. 7.1, табл. 7.2 и П. 1.

Примечания:

1. Для сечения прямоугольного профиля принять соотношение между размерами как $b:h = 1:2$.
2. Для кольцеобразного сечения принять соотношение между внутренним и наружным диаметрами как $d/D = 0{,}85$.

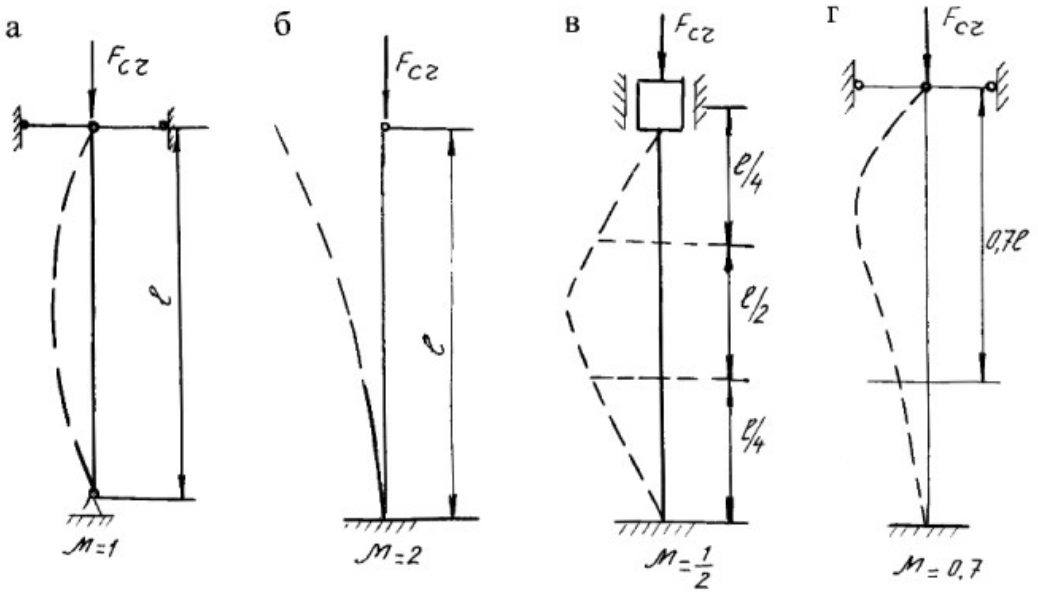
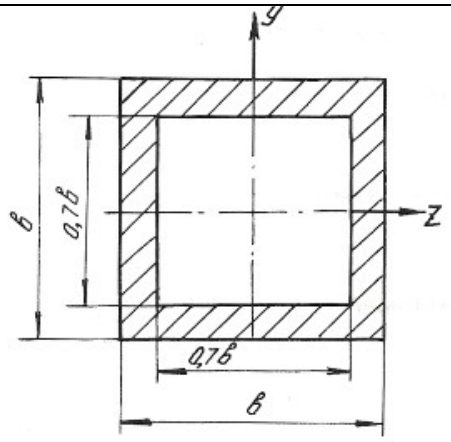
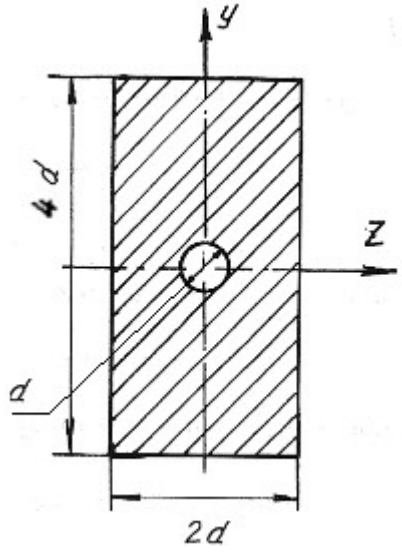
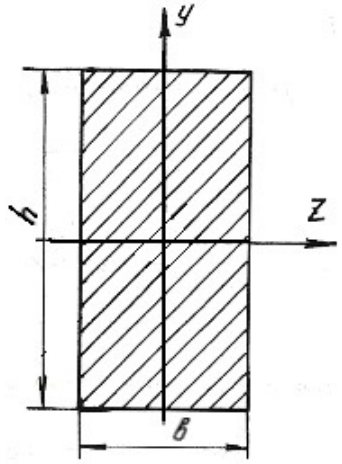
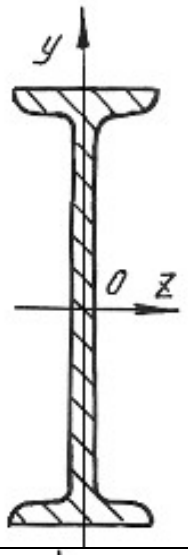
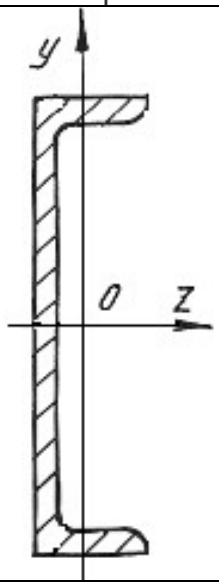


Рис. 7.1.

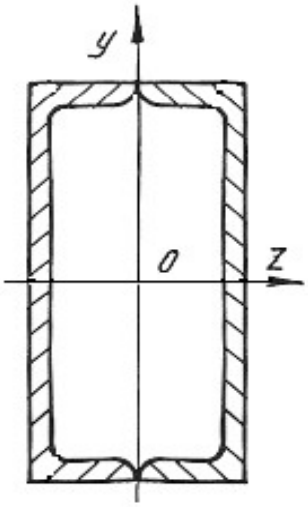
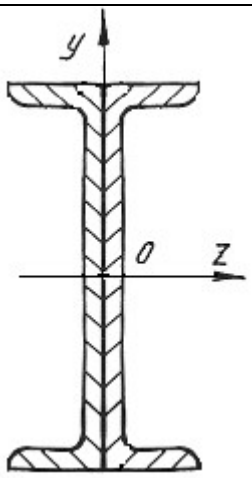
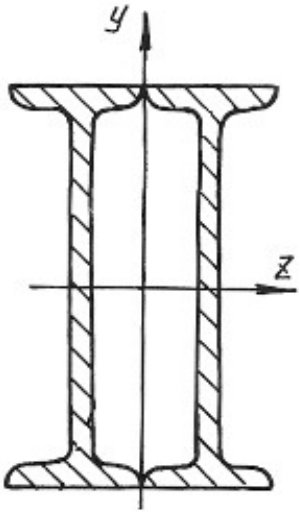
Таблица 7.2

Номер варианта	Схема поперечного сечения	Материал	Способ закрепления	Длина стержня, м	Сжимающая нагрузка, кН
1		Дерево	а б в г	3 4 4 1,6	90 120 150 60
2		Дерево	а б в г	3,6 5 5 2	140 250 400 180
3		Чугун	а б в г	5,2 4,8 4,5 2,8	600 800 900 700

Продолжение табл. 7.2

Номер варианта	Схема поперечного сечения	Материал	Способ закрепления	Длина стержня, м	Сжимающая нагрузка, кН
4		Чугун	а б в г	4,6 3,8 4,2 3,2	850 600 700 900
5		Сталь 5	а б в г	3,2 3,6 8 2,4	380 700 800 600
6		Сталь 3	а б в г	3,6 4,5 5 2,2	280 650 450 250

Окончание табл. 7.2

Номер варианта	Схема поперечного сечения	Материал	Способ закрепления	Длина стержня, м	Сжимающая нагрузка, кН
7		Сталь 3	а б в г	3 4 5,5 4,8	300 400 250 350
8		Сталь 3	а б в г	5,5 6,6 7 3,5	960 500 800 750
9		Сталь 3	а б в г	3 7 6 4	930 740 830 980

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Яковлев В.Н.

ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИКИ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4
1. УПРУГАЯ МОДЕЛЬ..... 5
1.1. Основные зависимости механики сплошной среды и упругой модели..... 5
1.1. Круговая диаграмма напряжений (задание № 1)..... 17
1.3. Определение компонент начального и дополнительного полей напряжений в массиве горных пород (задание № 2)..... 18
1.4. Определение начального поля напряжений применительно к горизонтальной выработке (задание № 3)..... 20
1.5. Определение напряжений методом разгрузки (задание № 4)..... 24
1.6. Определение зоны влияния выработки (задание № 5)..... 27
1.7. Перемещение контура сечения ствола (задание № 6)..... 29
1.8. Напряжения и деформации в массиве горных пород вокруг выработки (задание № 7)..... 30
2. ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ..... 33
2.1. Основные понятия и зависимости..... 33
2.2. Построение паспорта прочности породы (задание № 8)..... 35
2.3. Проверка прочности целика (задание № 9)..... 36
3. ЖЁСТКО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ..... 40
3.1. Нагрузка на крепь горизонтальных выработок (задание № 10).... 40
3.2. Определение размеров поперечного сечения стойки крепления (задание № 11)..... 44
3.3. Нагрузка на крепь вертикальных стволов шахт (задание № 12)... 48
4. УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ..... 53
4.1. Определение критического смещения крепи (задание № 13)..... 53
5. УСТОЙЧИВОСТЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК 57
5.1. Расчет ленточных целиков (задание № 14)..... 57
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 60
Приложение 1. Индивидуальные поправки..... 61
Приложение 2. Корректировка исходных данных заданий..... 62

ВВЕДЕНИЕ

Горные породы, слагающие земную кору, находятся в состоянии естественного равновесия. Проведение горных выработок – создание в толще пород «полостей» - нарушает существующее равновесие; возникают растягивающие и сжимающие напряжения, которые при определённых условиях приводят к разрушению горных пород.

Выбор способа обеспечения устойчивости выработок зависит от состояния массива горных пород, их назначения и срока существования. В зависимости от свойств пород, их поведения в обнажении и силового воздействия горного массива выбираются те или иные типы материалов, конструкции крепи и мероприятия по управлению горным давлением.

В этой связи определение нагрузок на крепь в каждом конкретном случае представляет собой отдельную геомеханическую задачу, решение которой позволяет рассчитать параметры крепи, выбрать её конструкцию и разработать необходимые мероприятия по охране наземных и подземных подрабатываемых объектов с учётом требований качества и экономической эффективности.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Геомеханика», утверждённой 23.09.2008 года для студентов специальности 130402 - "Маркшейдерское дело" (МД) направления 130400 Уральского государственного горного университета. Пособие учитывает изменения и дополнения, произошедшие в изложении курса.

Приведённые в учебно-методическом пособии расчётные схемы ориентированы на применение современных персональных компьютеров с использованием табличных процессоров и математических пакетов.

Для выполнения всех заданий студент принимает исходные данные, представленные в примерах задач пособия, с учётом приложения № 2 «Корректировка исходных данных заданий».

Индивидуальные поправки определяются по начальным буквам (инициалам) фамилии, имени, отчества студента в соответствии с приложением № 1 «Индивидуальные поправки».

1. УПРУГАЯ МОДЕЛЬ

1.1. Основные зависимости механики сплошной среды и упругой модели

В механике горных пород в качестве одной из возможных математических моделей применяются представления о сплошности породного массива. Массив горных пород, так же как и элементы крепи горных выработок и обделок подземных сооружений, рассматриваются как сплошная среда.

Предположение о сплошности среды позволяет наделять бесконечно малые объемы тел свойствами среды и эффективно использовать аналитический аппарат дифференциального и интегрального исчисления.

Горные породы в массиве находятся в объемном напряженном состоянии. Напряженное состояние в данной точке массива характеризуется напряжениями, действующими на трех взаимно перпендикулярных площадках (рис. 1.1).

Эти напряжения являются составляющими (компонентами) тензора напряжений:

$$T_{\text{н}} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} . \qquad (1.1)$$

В каждой точке напряженного тела всегда имеются три взаимно перпендикулярные площадки, на которых отсутствуют касательные напряжения. Такие площадки называются *главными*, а действующие на них нормальные напряжения – *главными напряжениями* σ_1, σ_2, σ_3, при этом

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3.$$

Наглядное представление о соотношениях между главными напряжениями на произвольных площадках (рис. 1.2, *а*) дает круг напряжений (круг Мора, рис. 1.2, *б*).

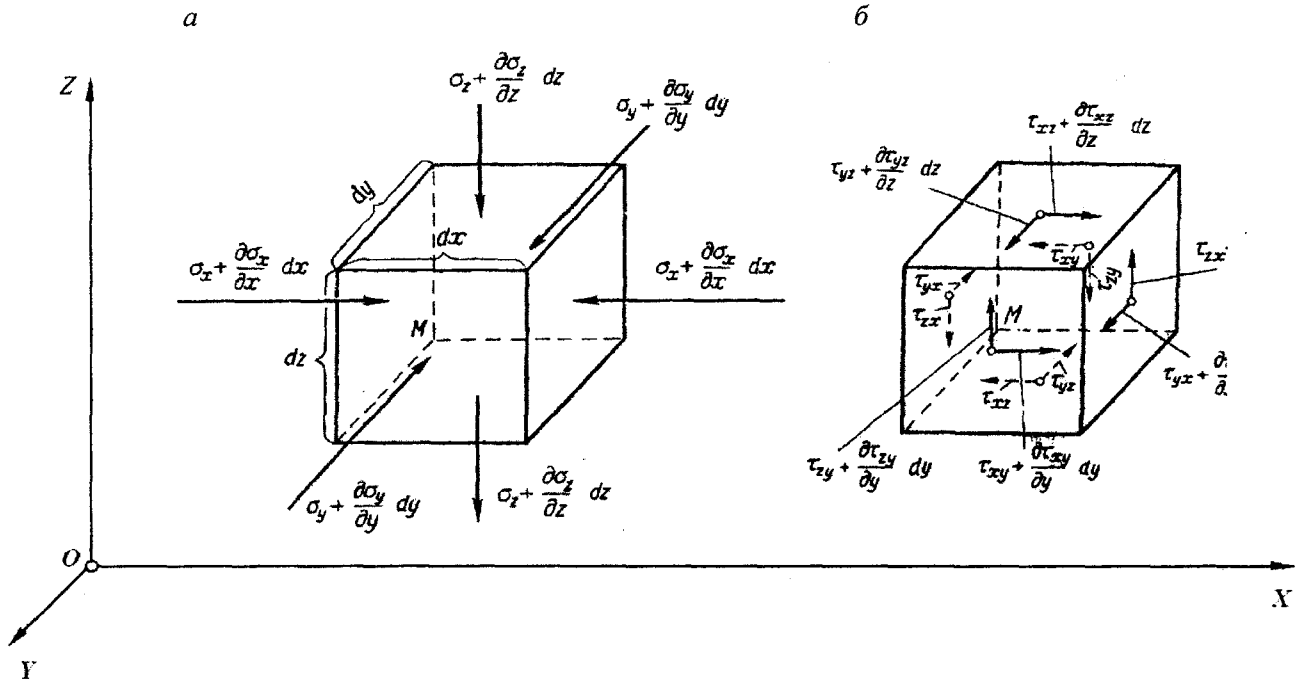


Рис. 1.1. Напряжения на гранях элементарного объема:
а - нормальные напряжения; *б* - компоненты касательных напряжений

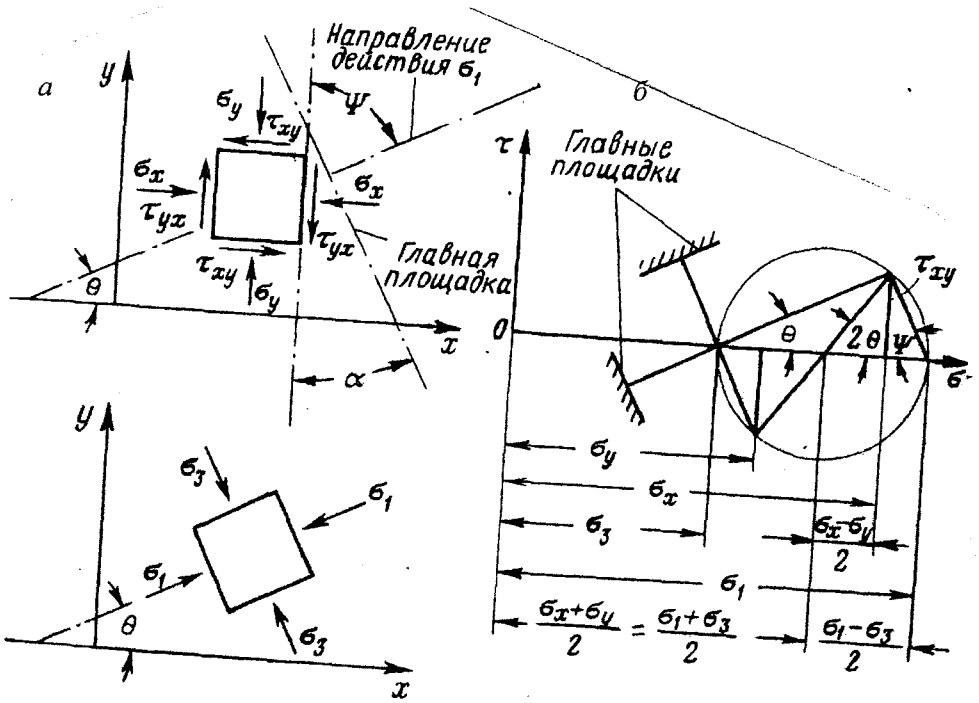


Рис. 1.2. Схема напряжений и круг Мора:
а - элемент в плоском напряженном состоянии; *б* - круговая диаграмма напряжений

Из диаграммы видны следующие основные зависимости:

$$\sigma_1 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y; \tag{1.2}$$

$$\left.\begin{matrix}\sigma_1\\ \sigma_3\end{matrix}\right\} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}; \tag{1.3}$$

$$\operatorname{tg} 2\Theta = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}; \tag{1.4}$$

$$\left.\begin{matrix}\sigma_x\\ \sigma_y\end{matrix}\right\} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\Theta; \tag{1.5}$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\sin 2\Theta. \tag{1.6}$$

С помощью этих зависимостей можно преобразовать условия предельного состояния, представленные в координатах τ, σ, в условиях, выраженных через главные нормальные напряжения и через компоненты напряжений. Условие предельного состояния породы, обладающей сцеплением и трением при прямолинейной огибающей, можно получить, воспользовавшись рис. 1.3.

Условие предельного состояния в компонентах главных нормальных напряжений

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 + \sigma_3 + 2c\operatorname{ctg}\varphi)\sin\varphi. \tag{1.7}$$

Это же уравнение легко получить, подставив в уравнение прямолинейной огибающей $\tau = \sigma\operatorname{tg}\varphi + c$ значения τ и σ, выраженные через σ_1 и σ_3

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cdot\cos\varphi; \tag{1.8}$$

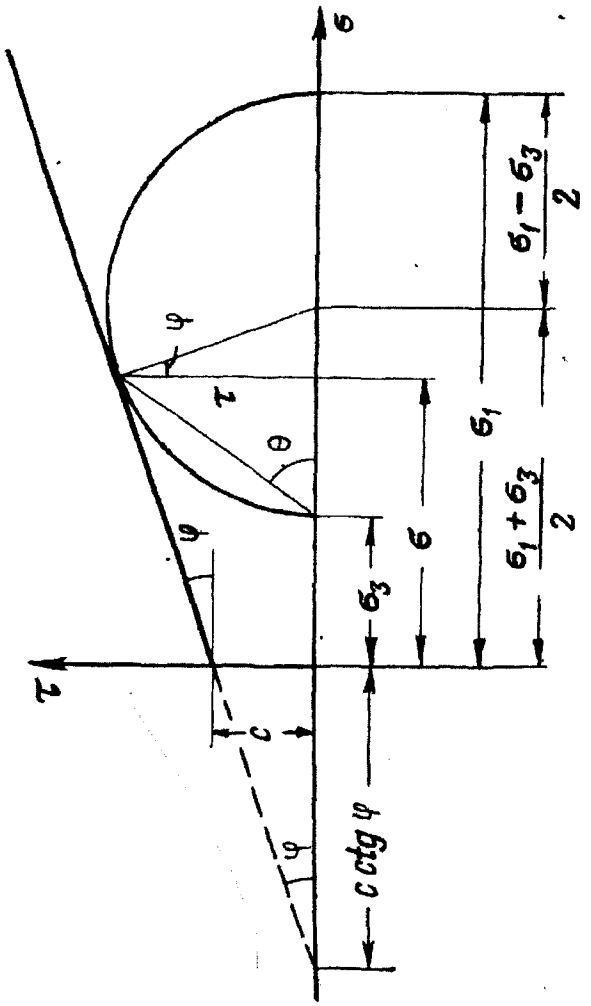


Рис. 1.3. Схема к определению условия предельного состояния породы при прямолинейной огибающей

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \sin\varphi. \qquad (1.9)$$

Путем подстановки можно получить форму записи условия предельного равновесия при прямолинейной огибающей через компоненты напряжения

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = (\sigma_x + \sigma_y + 2c\,\mathrm{ctg}\rho)^2 \sin^2\rho. \qquad (1.10)$$

Тензору напряжений соответствует тензор деформаций:

$$T_Д = \begin{vmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{vmatrix}. \qquad (1.11)$$

Компоненты относительных линейных и сдвиговых деформаций представлены на рис. 1.4.

Главным напряжениям σ_1, σ_2, σ_3, соответствуют компоненты главных деформаций ε_1, ε_2, ε_3.

Сумма линейных деформаций характеризует относительное изменение объема в процессе деформации – величину объемной деформации

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3. \qquad (1.12)$$

Основные уравнения теории упругости складываются из уравнений механики сплошной среды:

а) статические уравнения

Для элемента тела в виде бесконечно малого параллелепипеда дифференциальные уравнения равновесия (движения) в декартовых координатах записывают

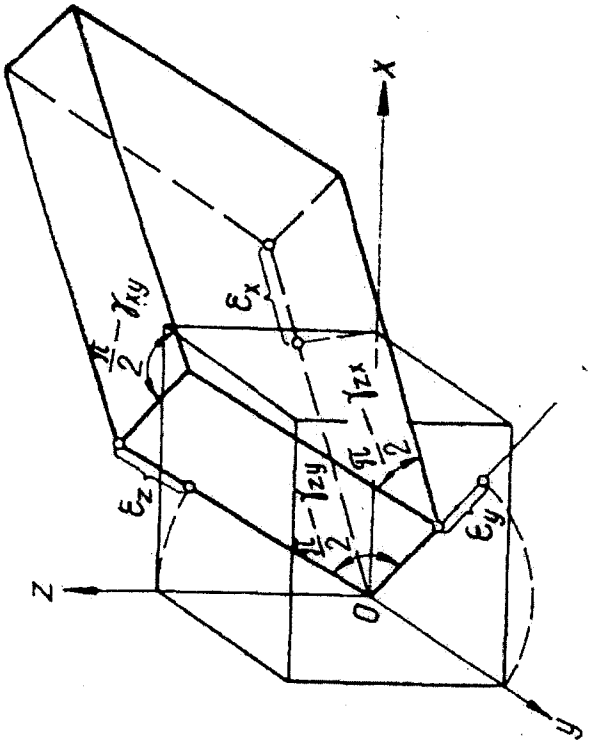


Рис. 1.4. Деформации элементарного объема

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial\sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{xz}}{\partial z}+X\rho=0 \quad (\text{или } \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}),\\
&\frac{\partial\tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_y}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{yz}}{\partial z}+Y\rho=0 \quad (\text{или } \rho\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial t^2}),\\
&\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_z}{\partial z}+Z\rho=0 \quad (\text{или } \rho\frac{\partial^2 \varpi}{\partial t^2}).
\end{aligned}\right\} \qquad (1.13)$$

Через *X, Y, Z* обозначены проекции на координатные оси объемной силы, отнесенные к единице массы.

К этим уравнениям присоединяются остающиеся без изменения, как в статической, так и в динамической задаче соотношения

$$\tau_{xy}=\tau_{yx},\ \tau_{yz}=\tau_{zy},\ \tau_{zx}=\tau_{xz}. \qquad (1.14)$$

В цилиндрической системе координат $r\theta z$ дифференциальные уравнения равновесия имеют вид:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial\sigma_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{rz}}{\partial z}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}+P=0,\\
&\frac{\partial_{\theta r}}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\sigma_\theta}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{\theta z}}{\partial z}+\frac{2\tau_{\theta r}}{r}+Q=0,\\
&\frac{\partial\tau_{zr}}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{z\theta}}{\partial\theta}+\frac{\partial\sigma_z}{\partial z}+\frac{\tau_{zr}}{r}+R=0,
\end{aligned}\right\} \qquad (1.15)$$

где *P, Q, R* – проекции объемной силы, отнесенные к единице объема на координаты оси *r*, θ, *z*.

В сферической системе координат *r*, θ, φ уравнения равновесия записывают:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial\sigma_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial\tau_{r\varphi}}{\partial\varphi}+\\
&+\frac{1}{r}\left[2\sigma_r-\left(\sigma_\theta+\sigma_\varphi\right)+\tau_{r\theta}ctg\theta\right]+P_r=0,\\
&\frac{\partial\tau_{\theta r}}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\sigma_\theta}{\partial\theta}+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial\tau_{\theta\varphi}}{\partial\varphi}+\\
&+\frac{1}{r}\left[3\tau_{\theta r}+\left(\sigma_\theta-\sigma_\varphi\right)ctg\theta\right]+P_\theta=0,\\
&\frac{\partial\tau_{\varphi r}}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{\varphi\theta}}{\partial\theta}+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial\sigma_\varphi}{\partial\varphi}+\\
&+\frac{1}{r}\left[3\tau_{\varphi r}+2\tau_{\varphi\theta}ctg\theta\right]+P_\varphi=0.
\end{aligned}\right\} \qquad (1.16)$$

б) условия на поверхности тела

Напряженное состояние в точке тела при заданной нагрузке определяется тензором напряжений. Для любой наклонной (по отношению к координатным осям) площадки, проходящей через данную точку, проекции на координатные оси (*x, y, z*) полного напряжения записывают:

$$\left.\begin{aligned}
p_{x\nu}&=\sigma_x l+\tau_{xy}m+\tau_{xz}n,\\
p_{y\nu}&=\tau_{yx}l+\sigma_y m+\tau_{yz}n,\\
p_{z\nu}&=\tau_{zx}l+\tau_{zy}m+\sigma_z n,
\end{aligned}\right\} \qquad (1.17)$$

а проекция на нормаль к площадке (т. е. нормальное напряжение σ_ν) и другая проекция, лежащая на самой площадке (т. е. касательное напряжение τ_ν), равны

$$\begin{aligned}
\sigma_\nu&=\sigma_x l^2+\sigma_y m^2+\sigma_z n^2+2\tau_{xy}lm+2\tau_{yz}mn+2\tau_{zx}nl,\\
\tau_\nu^2&=p_\nu^2-\sigma_\nu^2,
\end{aligned} \qquad (1.18)$$

где

$$p_v^2 = p_{xv}^2 + p_{yv}^2 + p_{zv}^2.$$

в) геометрические уравнения Коши

Компоненты деформации в декартовых координатах записывают через компоненты перемещений:

$$\left.\begin{aligned} &\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x},\ \varepsilon_y = \frac{\partial \upsilon}{\partial y},\quad \varepsilon_z = \frac{\partial \omega}{\partial z},\quad \gamma_{xy} = 2\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \upsilon}{\partial x};\\ &\gamma_{yz} = 2\varepsilon_{yz} = \frac{\partial \upsilon}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial y},\quad \gamma_{zx} = 2\varepsilon_{zx} = \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.19)$$

В цилиндрической системе координат r, θ, z компоненты деформации записывают через компоненты смещения u, υ и ω (u_r, u_θ, u_z):

$$\left.\begin{aligned} &\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r},\ \gamma_{r\theta} = \frac{\partial \upsilon}{\partial r} - \frac{\upsilon}{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial \theta},\\ &\varepsilon_0 = \frac{1}{r}\frac{\partial \upsilon}{\partial 0} + \frac{u}{r},\ \gamma_{\theta z} = \frac{1}{r}\frac{\partial \omega}{\partial \theta} + \frac{\partial \upsilon}{\partial z},\\ &\varepsilon_z = \frac{\partial \omega}{\partial z},\ \gamma_{zr} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial r}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.20)$$

В сферической системе координат r, θ, φ компоненты деформации записывают через компоненты смещения u, υ, ω (u_r, u_θ, u_φ):

$$\left.\begin{aligned} &\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r},\ \gamma_{r\theta} = \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial u_r}{\partial \theta},\\ &\varepsilon_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r}{r},\ \gamma_{\theta\varphi} = \frac{1}{r}\frac{\partial u_\varphi}{\partial \theta} - \frac{u_\varphi \operatorname{ctg}\theta}{r} + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial u_\theta}{\partial \varphi},\\ &\gamma_{\varphi r} = \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.21)$$

г) уравнения Сен-Венана

Компоненты деформации связаны условиями совместности (неразрывности) деформации:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y},\\ &\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z},\\ &\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.22)$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z}\right) = 2\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y},\\ &\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x}\right) = 2\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z},\\ &\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y}\right) = 2\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z \partial x} \end{aligned}\right\} \qquad (1.23)$$

Для изотропного линейно-упругого тела вышеперечисленные уравнения записывают в форме обобщенного закона Гука:

$$\left.\begin{aligned} &\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\right],\quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy},\\ &\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)\right],\quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz},\\ &\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\right],\quad \gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.24)$$

где E – модуль продольной упругости (модуль Юнга) породы:

$$E = \sigma/\varepsilon; \qquad (1.25)$$

G – модуль сдвига, коэффициент пропорциональности между касательным напряжением τ и соответсвующей упругой деформацией сдвига γ:

$$\tau = G\gamma; \tag{1.26}$$

ν – коэффициент Пуассона;

$$\nu = \Delta dl/(\Delta ld). \tag{1.27}$$

Модуль продольной упругости E и модуль сдвига G соответствуют основным видам напряжений и деформаций и поэтому считаются основными характеристиками упругости породы. Они связаны с коэффициентом Пуассона следующей зависимостью:

$$G = E/[2(1+\nu)]. \tag{1.28}$$

Наиболее вероятные значения модуля Юнга в породах $10^3 \div 3\cdot 10^5$ МПа. Коэффициент Пуассона ν – величина безразмерная, числовые значения его в соответствии с теорией упругости находятся в пределах $0 \le \nu \le 0{,}5$, для горных пород $\nu = 0{,}2 \div 0{,}4$.

Модули упругости характеризуют способность пород сопротивляться деформированию, т. е. определяют жесткость пород. Величина, обратная модулям, оценивает податливость пород и носит название *коэффициента соответствующей деформируемости.*

Если из уравнения (1.24) выразить напряжение через деформации, то получим:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_x &= 2G\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_V, \quad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}, \\ \sigma_y &= 2G\varepsilon_y + \lambda\varepsilon_V, \quad \tau_{yz} = G\gamma_{yz}, \\ \sigma_z &= 2G\varepsilon_z + \lambda\varepsilon_V, \quad \tau_{zx} = G\gamma_{zx}, \end{aligned}\right\} \tag{1.29}$$

где $$\varepsilon_V = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3, \tag{1.30}$$

$$\lambda = \frac{2\mu G}{1-2\mu}. \tag{1.31}$$

1.2. Круговая диаграмма напряжений (задание № 1)

Найти аналитически и графически (с помощью круга Мора) нормальные σ_x, σ_y и касательные τ_{xy} напряжения.

Исходные данные: $\sigma_1 = 547$ МПа; $\sigma_3 = 226$ МПа; $\Theta = 19^0$.

Аналитическое решение.

Нормальные напряжения σ_x и σ_y находим по формулам:

$$\sigma_x = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\Theta; \tag{1.32}$$

$$\sigma_y = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\Theta. \tag{1.33}$$

Касательное напряжение τ_{xy} определяем по формуле:

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\Theta. \tag{1.34}$$

Для условий задачи получим:

$$\sigma_x = \frac{547+226}{2} + \frac{547-226}{2}\cdot\cos 38^\circ = 513\ МПа;$$

$$\sigma_y = \frac{547+226}{2} - \frac{547-226}{2}\cos 38^\circ = 260\ МПа;$$

$$\tau_{xy} = \frac{547-226}{2}\sin 38^\circ = 98{,}8 МПа.$$

Графическое определение всех напряжений представлено на круговой диаграмме напряжений (рис. 1.5).

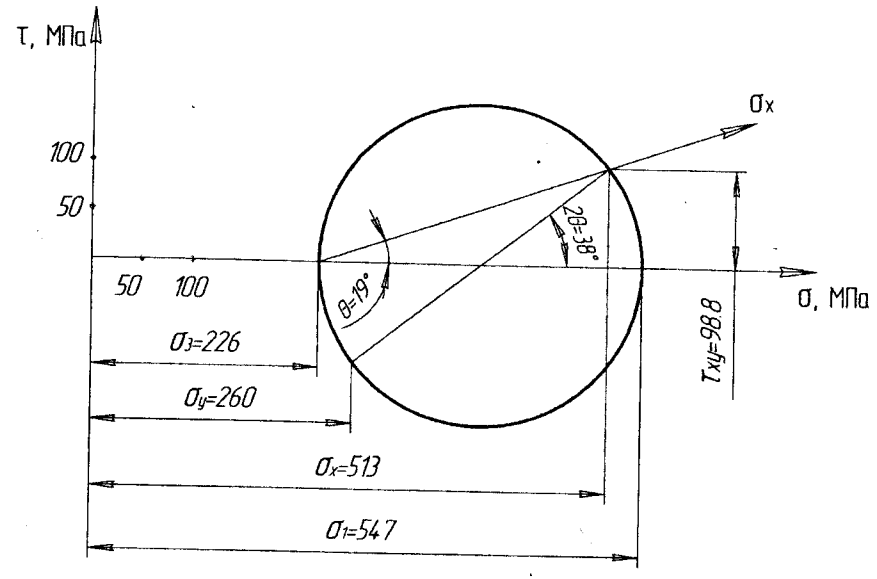


Рис. 1.5. Круговая диаграмма напряжений

С помощью графического метода получены следующие результаты:

$$\sigma_x = 513 \text{ МПа},$$
$$\sigma_y = 260 \text{ МПа},$$
$$\tau_{xy} = 98{,}8 \text{ МПа}.$$

Вывод: аналитический и графический методы обеспечивают с одинаковой точностью определение действующих напряжений.

1.3. Определение компонент начального и дополнительного полей напряжений в массиве горных пород (задание № 2)

а) Определить компоненты начального поля напряжений в массиве горных пород, представленных песчаниками. Глубина разработки H = 39 м.

Для решения принимаем следующие характеристики пород: $\gamma = 2{,}69$ тс/м^3; $\nu = 0{,}28$.

Компоненты начального поля напряжений показаны на рис. 1.6.

Определение компонентов начального поля напряжений производим по формулам:

$$\sigma_z^{(0)} = \gamma H; \tag{1.35}$$

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = \lambda\gamma H, \tag{1.36}$$

где λ - коэффициент бокового давления, определяется по формуле

$$\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}. \tag{1.37}$$

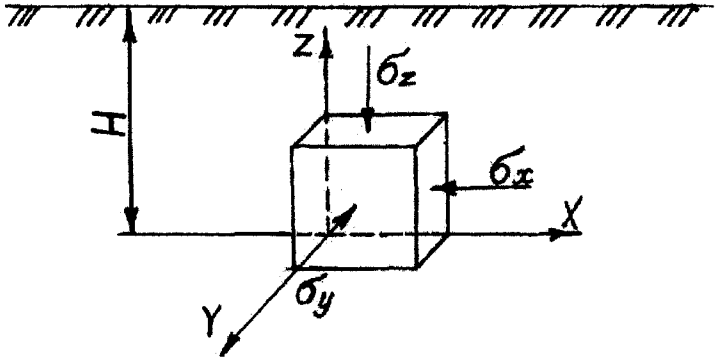


Рис. 1.6. Компоненты начального поля напряжений

$$\sigma_z^{(0)} = 2{,}69 \cdot 39 = 104{,}91 \ \frac{\text{тс}}{\text{м}^2};$$

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} == \frac{0{,}28}{1-0{,}28} \cdot 2{,}69 \cdot 39 = 41 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2}.$$

б) определить компоненты дополнительного поля напряжений, вызванного подработкой и обусловившего деформации сжатия по оси X, равной $\varepsilon_x = 6\cdot10^{-3}$. Деформации в направлении оси Y невозможны.

Исходные данные: модуль упругости
$E = 5{,}65\cdot10^{-5}$ кгс/см^2 = $5{,}65\cdot10^{-4}$ тс/м^2.

При решении этой задачи нужно решить систему линейных уравнений, описывающих объёмное напряжённое состояние, представляющих из себя обобщённый закон Гука:

$$\left.\begin{aligned} E\varepsilon_x &= \sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z);\\ E\varepsilon_y &= \sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x);\\ E\varepsilon_z &= \sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y) \end{aligned}\right\} \qquad (1.38)$$

Составим уравнения обобщённого закона Гука для данных примера задачи.

$$\left.\begin{aligned} 5{,}5\cdot10^{-4}\cdot6\cdot10^{-3} &= \sigma_x - 0{,}28(\sigma_y + 104{,}1);\\ 0 &= \sigma_y - 0{,}28(104{,}91 + \sigma_x);\\ 5{,}65\cdot10^{-4}\varepsilon_z &= 104{,}91 - 0{,}28(\sigma_x + \sigma_y) \end{aligned}\right\}$$

Система линейных уравнений может быть решена тремя способами: матричным, Гаусса, по формулам Крамера.

Целесообразней в данном случае применить способ Гаусса.

В результате получим:

σ_x = 40,8 тс/м^2; σ_y = 40,8 тс/м^2; ε_z = $1{,}45\cdot10^5$ тс/м^2.

1.4. Определение начального поля напряжений применительно к горизонтальной выработке (задание № 3)

Определить компоненты начального поля напряжений в месте проведения будущей выработки и по контуру поперечного сечения будущей выработки.

Исходные данные: H = 790 м; r_0 = 2 м; породы – габбро-диабазы.

Для решения принимаем следующие характеристики породы: γ = 2,76 тс/м^3 = $2{,}76\cdot10^{-2}$ мН/м^3; ν = 0,4.

Определяем компоненты начального поля напряжений (см. рис. 1.6) по формулам (16) и (17).

$$\sigma_z^{(0)} = \gamma H = 0{,}0276\cdot790 = 21{,}8 \text{ МПа};$$
$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = \frac{0{,}4}{1-0{,}4}\cdot21{,}8 = 14{,}5 \text{ МПа}.$$

Поскольку предполагается проведение выработки круглого сечения, то полученные выше напряжения представим в полярной системе координат (рис. 1.7).

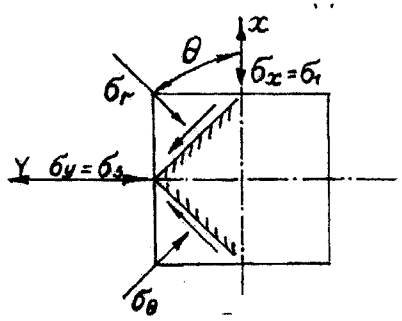


Рис. 1.7. Схема напряжений в декартовой и полярной системе координат

Имеем $\sigma_1^{(0)} = \sigma_z^{(0)}$; $\sigma_3^{(0)} = \sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)}$.

Компоненты напряжений в полярной системе координат (τ, Θ) определяем по следующим формулам:

$$\sigma_r = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\Theta; \qquad (1.39)$$

$$\sigma_\Theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\Theta. \qquad (1.40)$$

$$\tau_{r,\Theta} = -\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\Theta. \qquad (1.41)$$

Подставив $\sigma_1^{(0)}$; $\sigma_3^{(0)}$ в формулы (1.39) - (1.41) получим:

$$\left.\begin{matrix}\sigma_r^{(0)}\\ \sigma_\Theta^{(0)}\end{matrix}\right\} = \frac{21{,}8+14{,}5}{2} \pm \frac{21{,}8-14{,}5}{2}\cos 2\Theta;$$

$$\tau_{r\Theta} = -\frac{21{,}8-14{,}5}{2}\sin 2\Theta;$$

или

$$\sigma_r^{(0)} = 18{,}15 + 3{,}65\cos 2\Theta \text{ МПа};$$

$$\sigma_\Theta^{(0)} = 18{,}15 - 3{,}65\cos 2\Theta \text{ МПа};$$

$$\tau_{r\Theta}^{(0)} = -3{,}65\sin 2\Theta \text{ МПа}.$$

Для построения эпюр компонентов начального поля напряжений по контуру сечения будущей выработки используем таблицу, значения в которой вычисляются по полученным выше формулам (табл. 1.1).

Эпюры компонентов начального поля напряжений по контуру сечения выработки показаны на рис. 1.8.

Таблица 1.1

Значения начальных напряжений

Значения угла наклона главных осей к осям x и y, Θ, град.	Значения радиальных начальных напряжений $\sigma_r^{(0)}$, МПА	Значения нормальных тангенциальных напряжений $\sigma_\Theta^{(0)}$, МПА	Значения начальных касательных напряжений $\tau_{r,\Theta}^{(0)}$, МПА
0	21,80	14,54	0
15	21,32	15,02	-1,82
30	19,99	16,35	-3,15
45	18,17	18,17	-3,63
60	16,35	19,99	-3,15
75	15,02	21,32	-1,82
90	14,54	21,80	0
105	15,02	21,32	1,82
120	16,35	19,99	3,15
135	18,17	18,17	3,63
150	19,99	16,35	3,15
165	21,32	15,02	1,82
180	21,80	14,54	0
195	21,32	15,02	-1,82
210	19,99	16,35	-3,15
225	18,17	18,17	-3,63
240	16,35	19,99	-3,15
255	15,02	21,32	-1,82
270	14,54	21,80	0
285	15,02	21,32	1,82
300	16,35	19,99	3,15
315	18,170	18,17	3,63
330	19,99	16,35	3,15
345	21,32	15,02	1,82
360	21,80	14,54	0

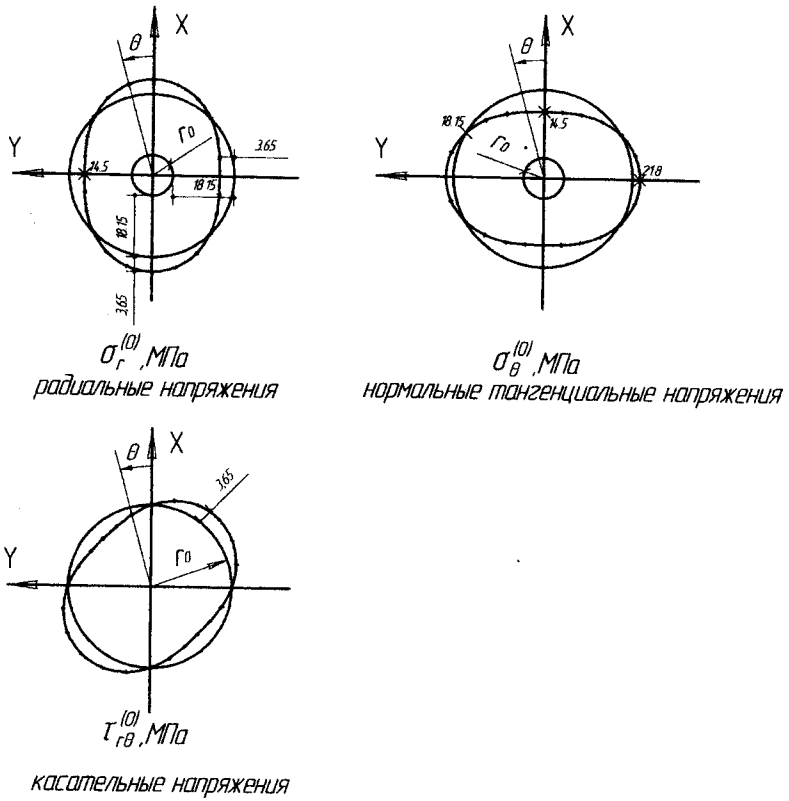


Рис. 1.8. Эпюры начальных напряжений по контуру поперечного сечения будущей выработки круглого сечения

1.5. Определение напряжений методом разгрузки (задание № 4)

Оценить погрешность определения компонент начального поля напряжений при плоском и объёмном напряжённом состоянии.

Для исследования начального поля напряжения методом разгрузки бурится скважина (рис. 1.9, *а*), на забой скважины наклеиваются датчики деформаций - 1.

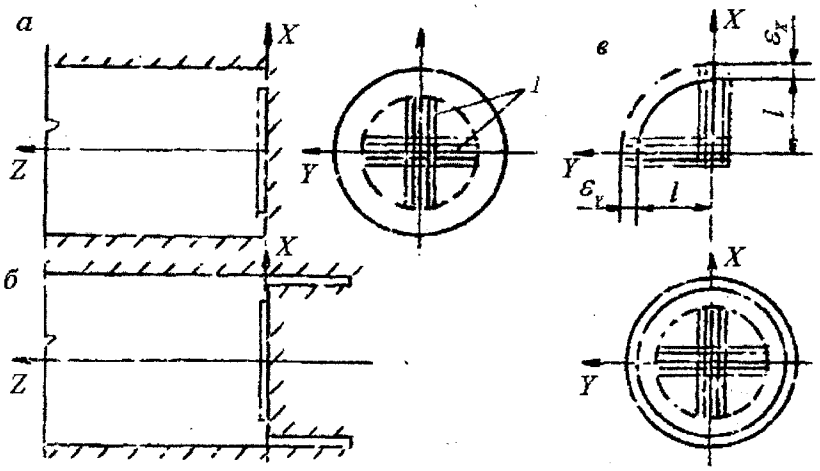


Рис. 1.9. Схема измерения напряжений в массиве методом разгрузки:
а, б – стадии работ наклеивания датчиков и обуривания кернов;
в – схема деформаций разгрузки керна

Затем вокруг датчиков обуривается кольцевая щель (рис. 1.9, *б*), вследствие чего породный керн с датчиками отделяется от массива и разгружается от действующих напряжений.

Деформации восстановления $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ измеряются и по ним определяются напряжения в массиве $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$.

Измерения проведены на глубине H = 1200 м в диоритах со следующими характеристиками: $\gamma = 0{,}03$ ***мН/м^3;*** $E = 8 \cdot 10^4$ ***МПа;*** $\nu = 0{,}26$.

1. В результате измерений в горизонтальной скважине получены следующие деформации восстановления:

$$\varepsilon_x = 3{,}66 \cdot 10^{-4}; \varepsilon_y = 0{,}03 \cdot 10^{-4}.$$

Поскольку на забое скважины имеется плоское напряжённое состояние ($\sigma_z = 0$) можно воспользоваться формулами обобщённого закона Гука для плоского напряжённого состояния:

$$\sigma_1 = E\frac{\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2}{1+\nu^2}; \quad \sigma_2 = E\frac{\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1}{1+\nu^2}. \qquad (1.42)$$

Подставив значения величин E, ν, $\varepsilon_x=\varepsilon_1$, $\varepsilon_y=\varepsilon_2$ в формулу (1.42), получим:

$$\sigma_1 = \sigma_x = 8\cdot 10^4 \frac{3{,}66\cdot 10^{-4} + 0{,}26\cdot 0{,}03\cdot 10^{-4}}{1+0{,}26^2} = 31{,}5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2 = \sigma_y = 8\cdot 10^4 \frac{0{,}03\cdot 10^{-4} + 0{,}26\cdot 3{,}66\cdot 10^{-4}}{1+0{,}26^2} = 8{,}4 \text{ МПа}.$$

2. *Отделённый от массива керн (см. рис. 1.9, б) испытывает деформации по всем трём направлениям ($\varepsilon_z \neq 0$). В результате измерений получены следующие деформации восстановления:*

$$\varepsilon_x = 3{,}66\cdot 10^{-4}; \varepsilon_y = \varepsilon_z = 0{,}03\cdot 10^{-4}.$$

Воспользуемся формулами (1.29). Предварительно по формуле (1.12) определяется объёмная деформация

$$\varepsilon_V = 3{,}66\cdot 10^{-4} + 0{,}03\cdot 10^{-4} + 0{,}03\cdot 10^{-4} = 3{,}72\cdot 10^{-4}.$$

Модуль сдвига определяется по формуле (1.28)

$$G = \frac{8\cdot 10^4}{2(1+0{,}26)} = 3{,}2\cdot 10^4 \text{МПа}.$$

Подставим значения величин в формулы (1.29):

$$\sigma_1 = \sigma_x = 2\cdot 3{,}2\cdot 10^4 (3{,}66\cdot 10^{-4} + \frac{0{,}26}{1-2\cdot 0{,}26} 3{,}72\cdot 10^{-4}) = 36{,}3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 = \sigma_2 = \sigma_z = \sigma_y =$$

$$= 2\cdot 3{,}2\cdot 10^4 (0{,}03\cdot 10^{-4} + \frac{0{,}26}{1-2\cdot 0{,}26} 3{,}72\cdot 10^{-4}) = 13{,}1 \text{ МПа}.$$

Для сравнения разных способов определения компонент напряжений вычислим компоненты начального поля напряжений по

формулам (1.35), (1.36), при этом коэффициент бокового давления равен

$$\lambda = \frac{0{,}26}{1-0{,}26} = 0{,}35,$$

$$\sigma_z = 0{,}03\cdot 1200 = 36 \text{ МПа},$$

$$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}35\cdot 36 = 13 \text{ МПа}.$$

Ошибки измерений в 1 и 2 - ом случаях соответственно составляют:

$$1)\ \Delta_{\sigma_1} = \frac{31{,}5-36}{36} 100 = -12{,}5\ \%;$$

$$\Delta_{\sigma_2} = \frac{8{,}4-13}{13} 100 = -35{,}4\ \%;$$

$$2)\ \Delta_{\sigma_1} = \frac{36{,}3-36}{36} 100 = 3\ \%;$$

$$\Delta_{\sigma_2} = \frac{13{,}1-13}{13} 100 = 1\ \%.$$

1.6. Определение зоны влияния выработки (задание № 5)

Определить, будут ли взаимно влиять друг на друга горизонтальные выработки радиусами $r_{0(1)}$ = 2,0 м, $r_{0(2)}$ = 2,8 м, пройденные в массиве горных пород с гидростатическим полем начальных напряжений. Выработки отстоят друг от друга на расстоянии l = 47 м при допустимой погрешности Δ отклонения тангенциальных напряжений σ_Θ от начального поля напряжений $\sigma_\Theta^{(0)}$, равной 5 %.

Условия на границе зоны влияния выработки запишется в виде

$$\Delta = \frac{\sigma_\Theta - \sigma_\Theta^{(0)}}{\gamma H}. \qquad (1.43)$$

Напряжения в массиве с выработкой описываются следующими формулами:

$$\sigma_r = \gamma H\left[\frac{1+\lambda}{2}\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)+\frac{1-\lambda}{2}\left(1+3\frac{r_0^4}{r^4}-4\frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos 2\Theta\right]; \qquad (1.44)$$

$$\sigma_Q = \gamma H\left[\frac{1+\lambda}{2}\left(1+\frac{r_0^2}{r^2}\right)-\frac{1-\lambda}{2}\left(1+3\frac{r_0^4}{r^4}\right)\cos 2\Theta\right]; \qquad (1.45)$$

$$\tau_{r,Q} = -\gamma H\frac{1-\lambda}{2}\left(1-3\frac{r_0^4}{r^4}+\frac{r_0^2}{r^2}\right)\sin 2\Theta, \qquad (1.46)$$

где r – текущий радиус, м; λ - коэффициент бокового давления.

В гидростатическом поле напряжения $\lambda = 1$, следовательно:

$$\sigma_\Theta^{(0)} = \gamma H\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right); \qquad (1.47)$$

$$\sigma_r^{(0)} = \sigma_\Theta^{(0)} = \gamma H. \qquad (1.48)$$

Подставим полученные выражения σ_Q и σ_r в формулу (1.43) и получим

$$\frac{r_0^2}{R_\Delta^2} = \Delta, \qquad (1.49)$$

где $R_\Delta = r$.

Отсюда

$$R_\Delta = \frac{r_0}{\sqrt{\Delta}}. \qquad (1.50)$$

Найдем значения зон влияния для обеих выработок по формуле (1.49)

$$R_{\Delta 1} = \frac{r_{0(1)}}{\sqrt{\Delta}} = \frac{2}{\sqrt{0{,}05}} = 8{,}9\text{ м};$$

$$R_{\Delta 2} = \frac{r_{0(2)}}{\sqrt{\Delta}} = \frac{2{,}8}{\sqrt{0{,}05}} = 12{,}5\text{ м}.$$

Так как полученные значения меньше расстояния между выработками, то выработки не оказывают влияние друг на друга.

Графическое пояснение данной задачи представлено на рис. 1.10.

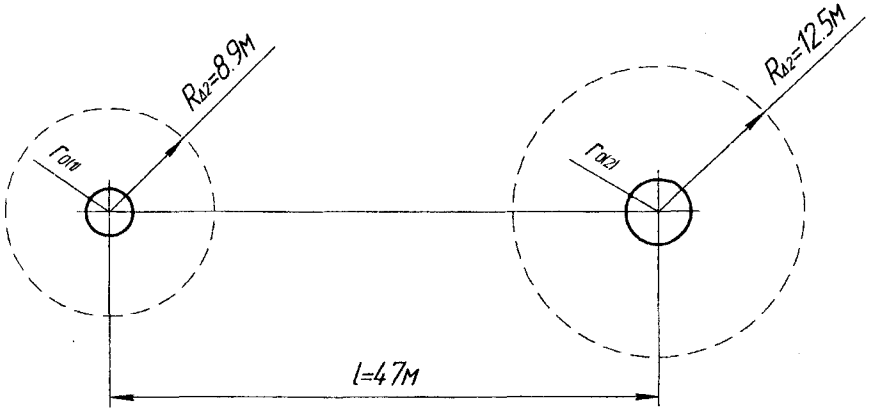


Рис. 1.10. Схема к определению границ зон влияния выработок

1.7. Перемещение контура сечения ствола (задание № 6)

Определить перемещения контура сечения вертикального ствола радиусом r_0 = 2,5 м, на глубине 100 м в супеси твёрдой консистенции.

Исходные данные: объёмный вес $\gamma = 1{,}93\cdot10^{-2}$ *МН*/м^3; модуль деформации E = 110 МПа; коэффициент поперечной деформации $\nu = 0{,}32$.

Перемещение контура сечения ствола определяется по формуле:

$$U = r_0 \frac{\lambda\gamma H}{2G}\left(1 - \frac{P}{\lambda\gamma H}\right), \qquad (1.51)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{110}{2(1+0{,}32)} = 41{,}7 \text{ МПа};$$

$$\lambda = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{0{,}32}{1-0{,}32} = 0{,}47;$$

$$U = 2{,}5 \cdot \frac{0{,}47 \cdot 0{,}0193 \cdot 100}{2 \cdot 41{,}7}\left(1 - \frac{0{,}0193 \cdot 100}{0{,}47 \cdot 0{,}0193 \cdot 100}\right) = 0{,}031 \text{ м},$$

если P = 0

$$U = 0{,}027 \text{ м}.$$

1.8. Напряжения и деформации в массиве горных пород вокруг выработки (задание № 7)

Построить графики эпюр напряжений σ_r, σ_Θ ***вокруг горизонтальной горной выработки круглого сечения*** r_0 ***= 2,8 м, пройденной в диабазах на глубине H = 280 м.*** Эпюры построить для $r = 1, r_0 \ldots 7\, r_0$ при $\Theta = 0°$; $\Theta = 45°$; $\Theta = 90°$.

Поле напряжений в массиве вокруг выработки круглого сечения описывается выражениями:

$$\sigma_r = \gamma H\left[\frac{1+\lambda}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right) + \frac{1-\lambda}{2}\left(1 + 3\frac{r_0^4}{r^4} - 4\frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos 2\Theta\right]; \qquad (1.52)$$

$$\sigma_\Theta = \gamma H\left[\frac{1+\lambda}{2}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2}\right) - \frac{1-\lambda}{2}\left(1 + 3\frac{r_0^4}{r^4}\right)\cos 2\Theta\right]; \qquad (1.53)$$

$$\tau_{r\Theta} = -\gamma H \frac{1-\lambda}{2}\left(1 - 3\frac{r_0^4}{r^4} + \frac{r_0^2}{r^2}\right)\sin 2\Theta. \qquad (1.54)$$

где r – текущий радиус.

Коэффициент бокового давления рассчитываем по формуле (1.37)

$$\lambda = \frac{0{,}4}{1-0{,}4} = 0{,}67.$$

Напряжения в массиве с выработкой рассчитываем по формулам (1.52) - (1.54). Расчеты производим для углов 0°; 45°, 90° при различном текущем радиусе. Все полученные данные записываем в таблицу напряжений (табл. 1.2), которую используем для построения эпюр.

Таблица 1.2

Значения напряжений

r, м	0°		45°		90°	
	σ_r, МПа	σ_Θ, МПа	σ_r, МПа	σ_Θ, МПа	σ_r, МПа	σ_Θ, МПа
1 r_0	0	7,73	0	12,88	0	18,03
2 r_0	5,07	6,52	4,83	8,05	4,59	9,58
3 r_0	6,49	5,82	5,72	7,16	4,96	8,49
4 r_0	7,02	5,54	6,04	6,84	5,06	8,15
5 r_0	7,27	5,40	6,18	6,70	5,09	7,99
6 r_0	7,41	5,33	6,26	6,62	5,11	7,91
7 r_0	7,49	5,28	6,31	6,57	5,12	7,86

Эпюры напряжений в массиве вокруг выработки круглого сечения показаны на рис. 1.11.

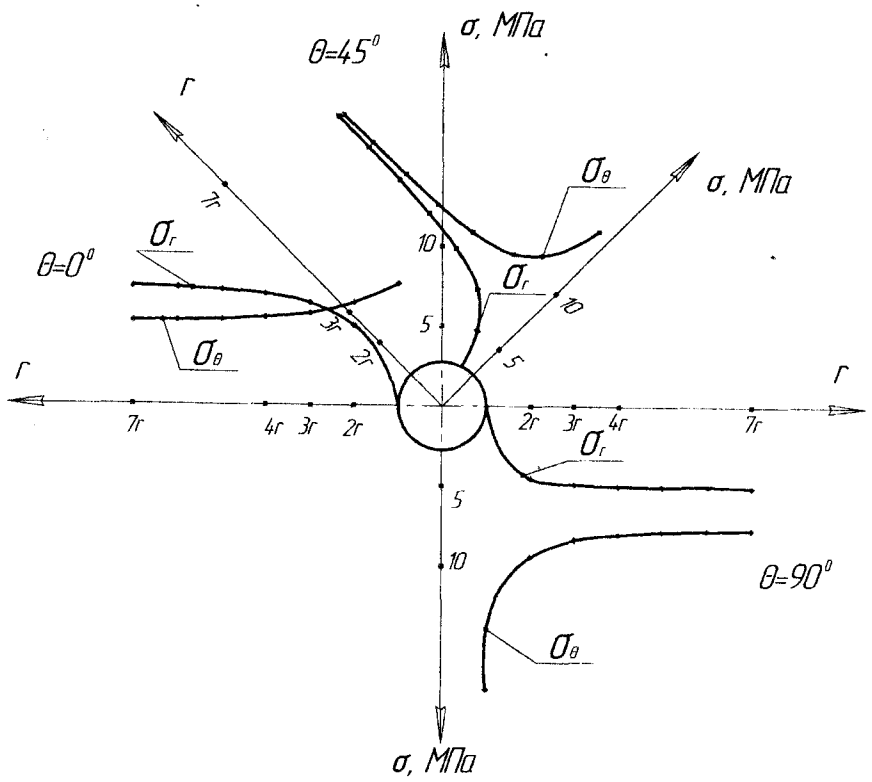


Рис. 1.11. Эпюры напряжений в массиве вокруг выработки круглого сечения

2. ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

2.1. Основные понятия и зависимости

Пластичность – свойство горных пород испытывать при нагружении необратимые (остаточные, пластические) деформации.

Прочность - свойство материалов воспринимать нагрузки без разрушения.

Для характеристики пластических свойств (прочности) горных пород, а также материалов крепи горных выработок и обделок подземных сооружений применяется пластическая модель (теория прочности Кулона-Мора).

Основные положения модели:

1. Пластические деформации (разрушения) происходят путём сдвига по площадкам скольжения.

2. Сдвигу по площадке скольжения препятствует сцепление и трение (рис. 2.1, *а*).

3. Пластичность (прочность) материала определяется величиной только максимальных и минимальных главных напряжений (σ_1 и σ_3).

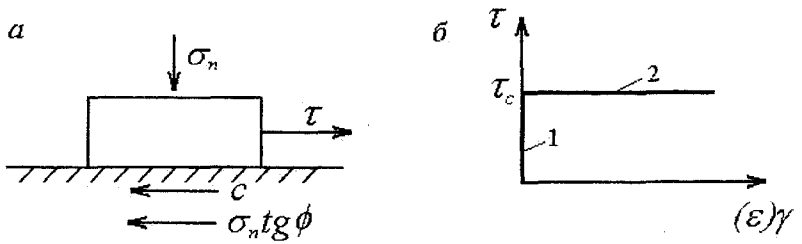


Рис. 2.1. Структурная схема (*а*) и диаграмма напряжений (*б*) жёсткопластической модели:
1 – отсутствие деформаций; 2 – пластические деформации

Из схемы (см. рис. 2.1, *а*) непосредственно следует условие пластичности (прочности) Кулона-Мора

$$\tau_c = c + \sigma_n \mathrm{tg}\varphi, \qquad (2.1)$$

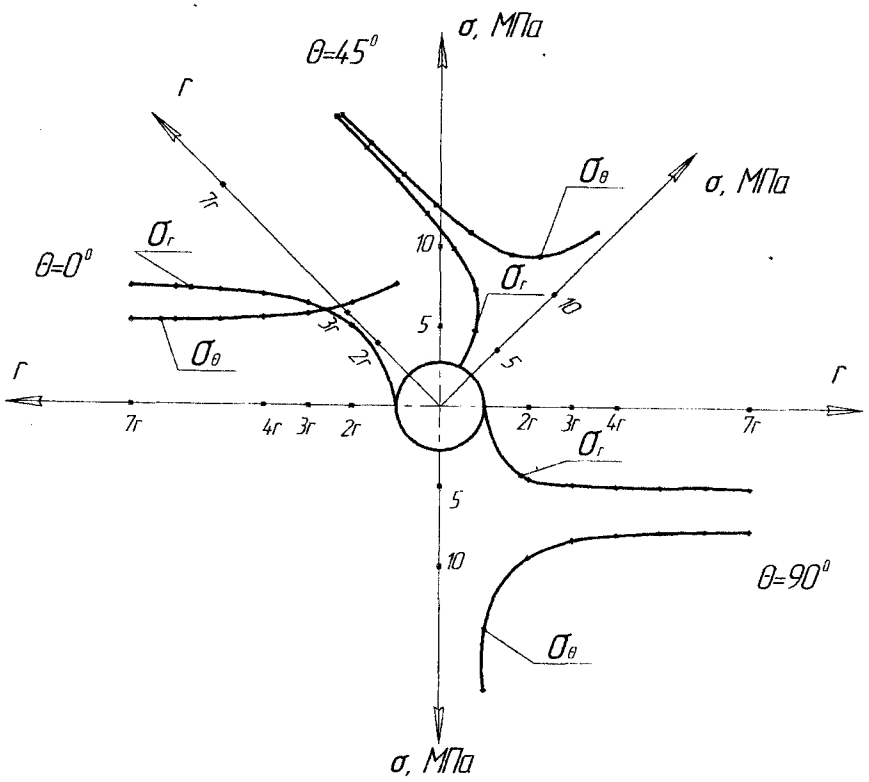


Рис. 1.11. Эпюры напряжений в массиве вокруг выработки круглого сечения

2. ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

2.1. Основные понятия и зависимости

Пластичность – свойство горных пород испытывать при нагружении необратимые (остаточные, пластические) деформации.

Прочность - свойство материалов воспринимать нагрузки без разрушения.

Для характеристики пластических свойств (прочности) горных пород, а также материалов крепи горных выработок и обделок подземных сооружений применяется пластическая модель (теория прочности Кулона-Мора).

Основные положения модели:

1. Пластические деформации (разрушения) происходят путём сдвига по площадкам скольжения.

2. Сдвигу по площадке скольжения препятствует сцепление и трение (рис. 2.1, *а*).

3. Пластичность (прочность) материала определяется величиной только максимальных и минимальных главных напряжений (σ_1 и σ_3).

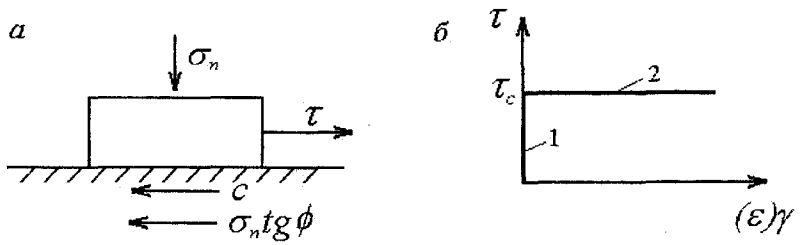


Рис. 2.1. Структурная схема (*а*) и диаграмма напряжений (*б*) жёсткопластической модели:
1 – отсутствие деформаций; 2 – пластические деформации

Из схемы (см. рис. 2.1, *а*) непосредственно следует условие пластичности (прочности) Кулона-Мора

$$\tau_c = c + \sigma_n \operatorname{tg}\varphi, \qquad (2.1)$$

где τ_c - касательные напряжения на площадках скольжения; c - сцепление; σ_n - нормальные напряжения на площадках скольжения; φ - угол внутреннего трения.

Условие (2.1) называют условием предельного состояния. Графическое изображение уравнения (2.1) представляет собой паспорт прочности горных пород (рис. 2.2, *а*) – огибающая наибольших кругов напряжений, которые испытывает порода на пределе прочности.

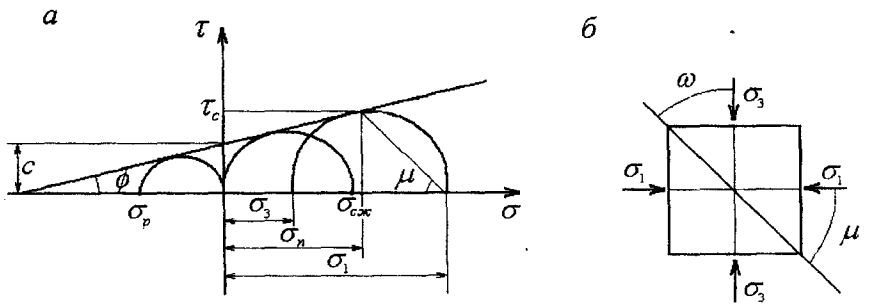


Рис. 2.2. Диаграмма наибольших кругов напряжений (*а*) и ориентировка площадок скольжения относительно главных напряжений (*б*) в пластической среде

Из геометрии кругов напряжений и огибающей можно получить следующие соотношения:

1. Предел прочности на одноосное сжатие

$$\sigma_{сж} = \frac{2c \cdot \cos\varphi}{1 - \sin\varphi}; \qquad (2.2)$$

2. Условие прочности в главных направлениях

$$\sigma_1 = \sigma_{сж} - \beta\sigma_3, \qquad (2.3)$$

где β - параметр объёмной прочности;

$$\beta = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi}; \qquad (2.4)$$

3. Условие пластичности в общем виде

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = (\sigma_x + \sigma_y + 2c \cdot \mathrm{ctg}\varphi)^2 \cdot \sin^2\varphi. \qquad (2.5)$$

Угол наклона площадок скольжения к направлению наибольшего σ_1 и наименьшего σ_3 главных напряжений (см. рис. 2.2, *б*) составляет

$$\mu = \pm\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right); \qquad \omega = \pm\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (2.6)$$

2.2. Построение паспорта прочности породы (задание № 8)

Проверить прочность горных пород в точке массива, расположенной на глубине H = 750 м, определить графически и аналитически прочностные характеристики по результатам испытаний. Горные породы представлены известняками.

Исходные данные: объёмный вес $\gamma = 2{,}68 \cdot 10^{-2}$ МН/м^3; коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}35$.

Результаты испытаний:

а) $\sigma_3 = 0$ МПа; $\sigma_1 = [\sigma_{сж}] = 51$ МПа.

б) $\sigma_3 = 22$ МПа; $\sigma_1 = 106$ МПа.

Решение

По данным испытаний строим круги напряжений 1 и 2 (рис. 2.3), к которым проводим общую касательную.

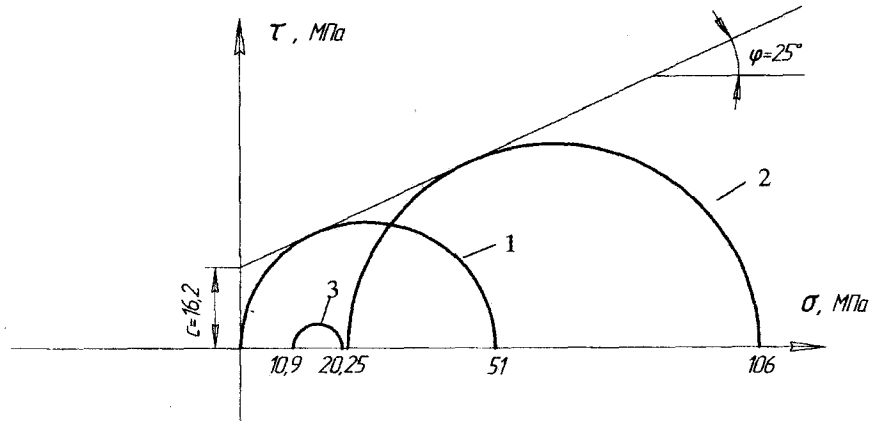


Рис. 2.3. Огибающая наибольших кругов напряжений

Определяем значения компонент напряжений в исследуемой точке массива:

$$\sigma_1^{(0)} = \sigma_Z^{(0)} = \gamma H = 0{,}027 \cdot 750 = 20{,}25 \text{ МПа};$$

$$\sigma_X^{(0)} = \sigma_Y^{(0)} = \sigma_2^{(0)} = \sigma_3^{(0)} = \lambda\gamma H = \frac{0{,}35}{1-0{,}35} \cdot 20{,}25 = 10{,}9 \text{ МПа}.$$

Полученные значения откладываем на оси σ (см. рис. 2.3) и как на диаметре строим круг напряжения 3. Если построенный круг не выйдет за пределы огибающей, то состояние горной породы в данной точке прочное. В том случае, если круг касается огибающей, то порода находится в предельном состоянии. Если круг напряжений пересекает касательную, то наступает разрушение породы.

В данном случае построенный круг напряжений не выходит за пределы огибающей, т. е. состояние горной породы в данной точке прочное.

По графику (см. рис. 2.3) определяем сцепление с = 16,2 МПа и угол внутреннего трения φ = 25°.

Аналитическое решение определения прочностных характеристик породы по результатам испытаний производится по формулам (2.2)-(2.4)

$$\beta = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} \quad \Rightarrow \quad \varphi = \arcsin\frac{\beta-1}{\beta+1} = \arcsin\frac{1{,}5}{3{,}5} = 25^0 22' 37'';$$

$$\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{сж}}{\sigma_3} = \frac{106-51}{22} = 2{,}5;$$

$$c = \frac{\sigma_{сж}(1-\sin\varphi)}{2\cos\varphi} = \frac{51 \cdot 0{,}5714}{2 \cdot 0{,}9035} = 16{,}19 \text{ МПа}.$$

2.3. Проверка прочности целика (задание № 9)

Исходные данные: целик в форме куба со стороной в = 5,2 м сжимается под действием веса вышележащих пород P = 25000 тс (рис. 2.4). Предел прочности на сжатие $[\sigma_{сж}] = 2470$ **тс/м²,** ***на растяжение*** $[\sigma_р] = 260$ **тс/м².**

Требуется проверить состояние прочности целика в точках наибольшей концентрации напряжений.

Решение

Так как напряженное состояние каждой четверти вертикального сечения целика одинаково, то достаточно рассмотреть одну четверть сечения. На рис. 2.4, *б* показана правая верхняя часть с эпюрами распределения нормальных и касательных напряжений.

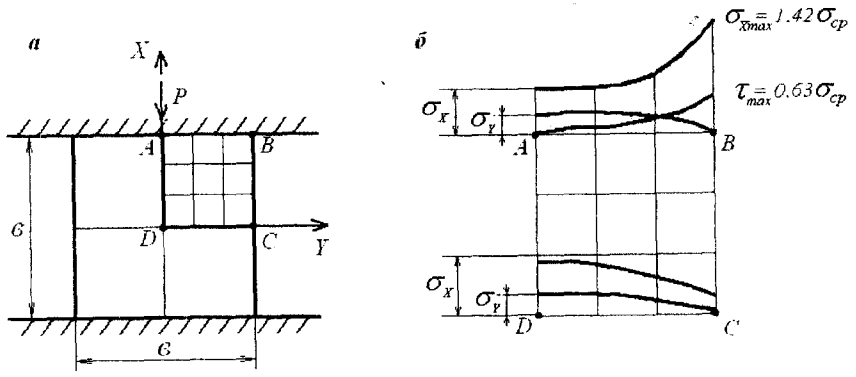


Рис. 2.4. Схема нагрузки (*а*) и напряжений, действующих в элементах целика (*б*)

Наибольшие концентрации напряжений имеют место в центре целика, в точке *D* и у контакта целика с кровлей, в точке *B*.

В точке *D* напряжения вычисляются следующим образом:

$$\sigma_3 = \sigma_y = 0{,}04\sigma_{ср} = 0{,}04 \cdot 924{,}6 = 37{,}0 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2};$$

$$\sigma_1 = \sigma_x = 1{,}11\sigma_{ср} = 1{,}11 \cdot 924{,}6 = 1026{,}3 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2};$$

$$\tau_{xy} = 0.$$

$$\sigma_{ср} = \frac{P}{в \cdot в} = \frac{25000}{5{,}2^2} = 924{,}6 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2}.$$

В точке *B* напряжения вычисляются следующим образом: так как в данной точке действуют касательные напряжения τ_{xy}, то вычисление главных напряжений производим по формулам (1.3).

Предварительно производим вычисление напряжений σ_x, σ_y, τ_{xy} по формулам:

$$\tau_{xy} = 0{,}63\sigma_{ср} = 0{,}63 \cdot 924{,}6 = 582{,}5 \frac{тс}{м^2};$$

$$\sigma_y = 0;$$

$$\sigma_x = 1{,}42\sigma_{ср} = 1{,}42 \cdot 924{,}6 = 1312{,}9 \frac{тс}{м^2}.$$

Подставляя полученные значения напряжений в формулу (1.3), получим:

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(1312{,}9 + 0) + \sqrt{\frac{1}{4}(1312{,}9 - 0)^2 + 582{,}5^2} = 1534 \frac{тс}{м^2};$$

$$\sigma_3 = \frac{1}{2}(1312{,}9 + 0) - \sqrt{\frac{1}{4}(1312{,}9 - 0)^2 + 582{,}5^2} = -221{,}2 \frac{тс}{м^2}.$$

По заданным значениям $[\sigma_{сж}]$ и $[\sigma_р]$ строим диаграмму прочности на следующих кругах напряжения:

$1 - \sigma_1 = [\sigma_р]; \sigma_3 = 0;$

$2 - \sigma_1 = 0; \sigma_3 = [\sigma_{сж}]$ (рис. 2.5).

Уравнение огибающей кругов принимают в виде параболы

$$\tau = \sqrt{([\sigma_р] + \sigma) f}, \qquad (2.7)$$

где

$$f = 2[\sigma_р] - 2\sqrt{[\sigma_р]([\sigma_р] + [\sigma_{сж}])} + [\sigma_{сж}]; \qquad (2.8)$$

σ - текущее значение нормального напряжения.

$$f = 2 \cdot 260 - 2\sqrt{260(260 + 2470)} + 2470 = 1305 \text{ тс/м}^2.$$

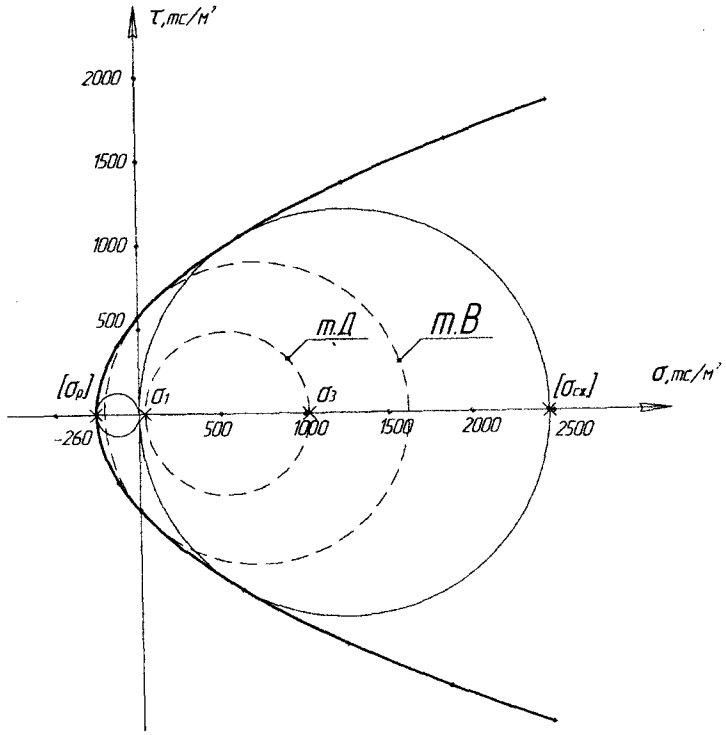


Рис. 2.5. Диаграмма прочности горных работ

Полученные значения, вычисленные по формуле (2.7), записываются в таблицу значений напряжений (таб. 2.1) и используются для построения огибающей кругов напряжений (см. рис. 2.5).

Таблица 2.1

Значения напряжений

Значение σ	σр	$\frac{1}{2}$σр	0	$\frac{1}{4}$σ сж	$\frac{1}{2}$σ сж	$\frac{3}{4}$σ сж	σ сж
	-260	-130	0	617,5	1235	1852,5	2470
Значение τ	0	411,9	582,5	1070,1	1396,8	1660,4	1887,5

Для проверки прочности горных пород в точках B и D целика на диаграмме прочности (см. рис. 2.5) строятся соответствующие круги напряжений и по вычисленным для данных точек значениям главные напряжения σ_1 и σ_3.

Если построенный круг не выйдет за пределы огибающей, то состояние породы в данной точке целика прочное, в противном случае должно наступить разрушение в виде трещин, наклонённых к наибольшему нормальному напряжению под углом θ.

Если касание круга напряжений произойдёт на оси σ диаграммы, это значит, что разрушение произойдёт по поверхности, нормаль к которой совпадает с положительным направлением оси главного максимального напряжения. Наклон трещины по отношению к опорной поверхности целика будет: $\beta = 180^0 - \theta$.

В данном случае, так как круги напряжений не выходят за пределы огибающей, то состояние породы в точках B и D целика прочное.

3. ЖЕСТКО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

3.1. Нагрузка на крепь горизонтальных выработок (задание № 10)

а) ***Определить величину максимальной нагрузки на крепь горизонтальной выработки шириной 2B = 3,6 м, пройденной в песчаниках. Принять концепцию опускающегося столба породы.***

Жестко-пластическая модель массива имеет две области:
1 – участок, где деформации отсутствуют (жесткая область);
2 - пластическая область (рис. 3.1).

Для решения принимаем следующие характеристики пород: $\gamma = 2{,}69$ тс/м^3; $c = 0{,}2$ тс/м^2; $\nu = 0{,}28$; $\varphi = 45°$.

Расчет отпора крепи, необходимого для удержания пород при принятии концепции опускающегося столба пород, осуществляется по формуле

$$P = \frac{\gamma \cdot в - c}{\lambda \cdot \mathrm{tg}\varphi}\left[1 - \exp\left(-\lambda \cdot \frac{H}{в} \cdot \mathrm{tg}\varphi\right)\right], \qquad (3.1)$$

где $в$ – полупролет выработки; c – сцепление горных пород; H – глубина заложения выработки; λ - коэффициент бокового давления.

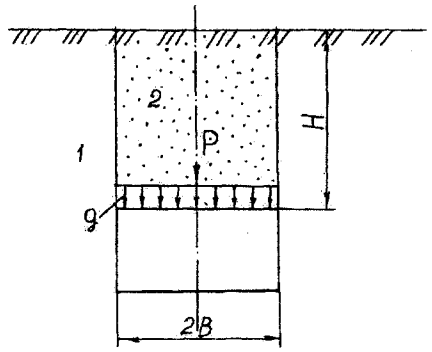


Рис. 3.1. Схема к определению нагрузки на крепь в соответствии с моделью опускающегося столба: 1 – жёсткая область; 2 – пластическая область

Максимальная нагрузка на крепь определяется взятием частной производной и приравниванием ее к нулю:

$$\frac{\partial P}{\partial H} = \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi} - \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right) = \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right) = 0;$$

$$\frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right) \cdot \frac{\lambda}{в}\mathrm{tg}\varphi = 0;$$

$$\frac{\gamma в - c}{в}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right) = 0\,. \qquad (3.2)$$

Коэффициент бокового давления вычисляется по формуле (1.37)

$$\lambda = \frac{0{,}28}{1 - 0{,}28} = 0{,}39.$$

Подставляем известные данные в формулу (3.2)

$$\frac{2{,}69\cdot 1{,}8-0{,}2}{1{,}8}\exp\left(-0{,}39\frac{H}{1{,}8}\cdot 1\right)=0;$$

$$2{,}58\exp(-0{,}22H)=0\Rightarrow \exp=0.$$

Так как глубина заложения выработки нам не известна, следовательно, $H\to\infty$, то в формуле (3.2) величина $\left(\exp\left(-\lambda\frac{H}{в}\operatorname{tg}\varphi\right)\right)$ тоже стремится в бесконечность, следовательно, максимальная нагрузка на крепь будет вычисляться по формуле

$$P_{\max}=\frac{\gamma\cdot в-c}{\lambda\cdot\operatorname{tg}\varphi},$$

$$P_{\max}=\frac{2{,}69\cdot 1{,}8-0{,}2}{0{,}39\cdot 1}=11{,}9\ \text{тс/м}^2.$$

б) ***определить нагрузку на крепь горизонтальной выработки прямоугольной формы шириной 2В = 3,0 м, пройденной по пласту суглинков, расположенному в известняках. Расчет производится по методу П. М. Цимбаревича.***

Исходные данные: суглинок: $\gamma = 2{,}2$ тс/м^3; $\varphi = 23°$; $c = 3$ МПа; кажущийся угол внутреннего трения $\varphi^к = 60°$; известняки: $\gamma = 2{,}68$ тс/м^3; кажущийся угол внутреннего трения $\varphi^к = 85$.

Современная расчетная схема для расчета по методу Цимбаревича представлена на схеме (рис. 3.2).

Половина пролета увеличенного свода определяем по формуле

$$a_1=в+h\cdot c\operatorname{tg}\left(45°+\frac{\varphi^к}{2}\right),\qquad(3.3)$$

где $в$ – полупролет выработки в проходке; h – высота выработки в проходке, $h = M$; $\varphi^к$ – кажущийся угол внутреннего трения суглинков.

$$a_1=1{,}5+3c\operatorname{tg}\left(45°+\frac{60°}{2}\right)=2{,}3\ \text{м}.$$

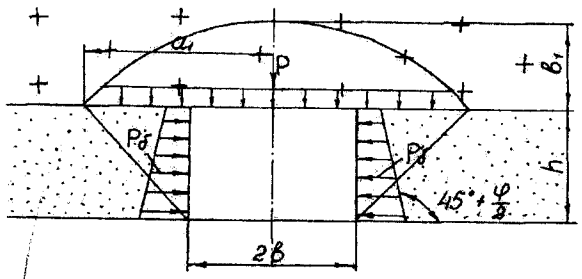


Рис. 3.2. Современная расчетная схема

Высота свода находится по формуле

$$в_1=\frac{a_1}{f},\qquad(3.4)$$

где f – коэффициент трения суглинков, определяется по формуле

$$f=\frac{[\sigma_{сж}]}{100},\qquad(3.5)$$

где

$$[\sigma_{сж}]=\frac{2c\cdot\cos\varphi}{1-\sin\varphi},\qquad(3.6)$$

$$[\sigma_{сж}]=\frac{2\cdot 3\cdot\cos 23^0}{1-\sin 23^0}=9\,\text{МПа}$$

$$f=\frac{900}{100}=0{,}9$$

$$в_1=\frac{2{,}3}{0{,}9}=2{,}6\ \text{м}.$$

Интенсивность нагрузки на крепь сверху определяем по формуле

$$Pв=k_p\cdot\gamma\cdot в_1,\qquad(3.7)$$

где k_p – коэффициент условий работы грунтового массива, принимается в зависимости от типов грунтов от 1 до 2; для условий зада-

чи в соответствии со СНиП II-44-78 принимаем равным 1, где γ - объемный вес суглинков.

$$P_в = 1 \cdot 2{,}2 \cdot 2{,}6 = 5{,}7 \text{ тс/м}^2.$$

Интенсивность боковой нагрузки определяем по формуле:

$$P_б = \gamma\left(k_р \cdot в_1 + 0{,}5h\right) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi^к}{2}\right), \qquad (3.8)$$

где γ – объемный вес, $\varphi^к$ – кажущийся угол внутреннего трения (для условий задачи известняков).

$$P_б = 2{,}68(1 \cdot 2{,}6 + 0{,}5 \cdot 3) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{85°}{2}\right) = 0{,}02 \text{ тс/м}^2.$$

3.2. Определение размеров поперечного сечения стойки крепления (задание № 11)

Подобрать сечения круглой деревянной стойки крепления выработки, пройденной на глубине* 100 м *в породах, объемный вес которых* γ = 2,4 тс/м^3*; кажущийся угол внутреннего трения $\varphi^* = 65°$.

Исходные данные: размеры выработки: $в$ = 4,2 м, h = 3,0 м, $[\sigma]_{дер}$ = 120 кгс/см^2.

Расчетная схема представлена на рис. 3.3.

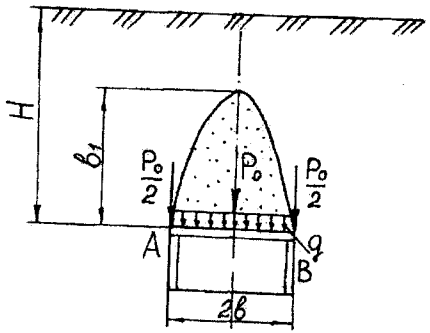


Рис. 3.3. Расчетная схема

При условии, что расстояние между рамами крепи L = 1 м, то величину вертикальной нагрузки определяем по формуле

$$P_в = q = \frac{4}{3} \cdot \frac{в^2}{f} \cdot \gamma, \qquad (3.9)$$

где $в$ - полупролет выработки; γ - объемный вес породы; f – коэффициент трения породы, равный

$$f = \operatorname{tg} \varphi^*. \qquad (3.10)$$

$$f = \operatorname{tg} 65° = 2{,}145.$$

$$P_в = q = \frac{4}{3} \cdot \frac{4{,}2^2}{2{,}145} \cdot 2{,}4 = 26{,}3 \text{ тс/м}.$$

Величины сосредоточенных нагрузок в центре P_0 и на краях верхнего элемента крепи P_A , P_B. (см. рис. 3.3) вычисляем по формулам:

$$P_0 = q \cdot 2в; \qquad (3.11)$$

$$P_A = P_B = \frac{P_0}{2}. \qquad (3.12)$$

$$P_0 = 26{,}3 \cdot 2 \cdot 4{,}2 = 221 \text{ тс};$$

$$P_A = P_B = \frac{221}{2} = 110{,}5 \text{ тс}.$$

Подбор сечения стоек ведется методом последовательных приближений с использованием коэффициента уменьшения основного допускаемого напряжения φ.

Для первого приближения задаем φ_1 = 0,5, тогда площадь определяем по формуле

$$S_1 = \frac{P_A}{[\sigma_{сж}] \cdot \varphi_1}. \qquad (3.13)$$

$$S_1 = \frac{110500}{120 \cdot 0{,}5} = 1842 \text{ см}^2.$$

Диаметр стойки определяем по формуле

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{S_1}{\pi}}. \qquad (3.14)$$

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{1842}{3{,}14}} = 48 \text{ см}.$$

Радиус инерции сечения определяем по формуле

$$i_1 = \sqrt{\frac{\pi d_1^4}{64} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_1^2}} = \frac{d_1}{4}; \qquad (3.15)$$

$$i_1 = \frac{48}{4} = 12 \text{ см}^2.$$

Гибкость стойки определяем по формуле

$$\lambda_1 = \frac{\omega \cdot l}{i_1}, \qquad (3.16)$$

где ω - коэффициент длины стойки, зависящий от способа закрепления концов стойки; для заданных условий, когда один конец стрежня жестко заделан, а другой свободен, принимаем ω = 2;
l – длина стойки, см; i_1 - минимальный радиус инерции поперечного сечения стойки, см.

$$\lambda = \frac{2 \cdot 300}{12} = 50.$$

По таблице 3.1 находим значение $\varphi_1' = 0{,}80$.

Таблица 3.1

Значение коэффициента φ'

λ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
φ'	1	0,99	0,97	0,93	0,87	0,80	0,71	0,60	0,48	0,38	0,31	0,25	0,22	0,18	0,16

Отсюда допускаемое напряжение на устойчивость определяем по формуле:

$$[\sigma]_y = [\sigma]_{\text{дер}} \cdot \varphi_1'; \qquad (3.17)$$

$$[\sigma]_y = 120 \cdot 0{,}80 = 96 \text{ кгс/см}^2.$$

Действительное напряжение определяем по формуле

$$\sigma = \frac{P_A}{S_1}; \qquad (3.18)$$

$$\sigma = \frac{110500}{1842} = 60 \text{ кгс/см}^2 < [\sigma_y].$$

Вычисления выполняются до тех пор, пока $[\sigma_y] \geq \sigma$. Значение диаметра d, при котором получается это неравенство, принимается за поперечный размер стойки.

В том случае, если $[\sigma_y] < \sigma$, необходимо увеличить сечение стойки, а следовательно, уменьшить значение коэффициента φ.

Для второго приближения $\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_1'}{2}$, для третьего $\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi_2'}{2}$ и т. д.

В данном случае $[\sigma_y] \geq \sigma$, поэтому принимаем значение диаметра стойки $d_1 = 48$ см.

3.3. Нагрузка на крепь вертикальных стволов шахт (задание № 12)

а) ***Определить, на какой глубине ствола радиусом r_0, пройденного в песчаниках, можно для определения давления использовать как формулу М. М. Протодьяконова и Н. С. Булычева.***

Исходные данные: $\gamma = 2{,}69$ тс/м^3; $\varphi = 45°$; Нс = 500 м; $r_0 = 4{,}2$ м.

Метод Булычева – метод сползающего объема пород вокруг ствола. Давление на крепь определяется весом сползающего объема (рис. 3.4), отделённого от остальной, недеформируемой части массива, поверхностью скольжения.

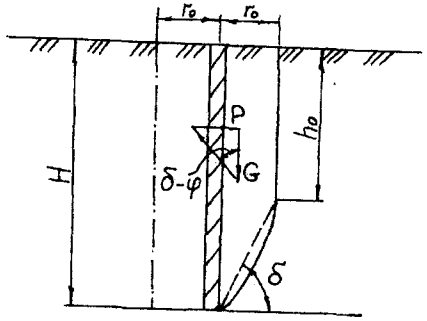


Рис. 3.4. Расчетная схема к определению нагрузки на крепь методом Булычева

Расчетное давление на крепь определяется по следующим выражениям:

$$P = \gamma r_0 \left(\operatorname{tg}(\delta - \varphi) - \frac{B_1}{2B_2 \cos^2(\delta - \varphi)} \right), \qquad (3.19)$$

где

$$\delta = \operatorname{arctg}\left[\cos ec\varphi \left(\sqrt{1 + 2\frac{Hc}{r_0}\operatorname{tg}\varphi} - \cos\varphi \right) \right]; \qquad (3.20)$$

$$B_1 = \sin 2\delta + \sin 2(\delta - \varphi) - 4\frac{H}{r_0}\cos^2\delta; \qquad (3.21)$$

$$B_2 = 2\frac{Hc}{r_0}\sin 2\delta + \cos 2\delta + \cos 2(\delta - \varphi); \qquad (3.22)$$

$$\delta = \operatorname{arctg}\left[\cos ec45° \left(\sqrt{1 + 2\frac{500}{4{,}2}\operatorname{tg}45°} - \cos 45° \right) \right] = 87{,}25°;$$

$$B_1 = \sin 174{,}5° + \sin 84{,}5° - 4\frac{H}{4{,}2}\cos^2 87{,}25° = 1{,}091 - 0{,}002\,H;$$

$$B_2 = 2\frac{500}{4{,}2}\sin 174{,}5° + \cos 174{,}5° + \cos 84{,}5° = 21{,}92.$$

Получаем:

$$P = 2{,}69 \cdot 4{,}2\left(\operatorname{tg}42{,}25° - \frac{1{,}091 - 0{,}002H}{2 \cdot 21{,}92 \cdot \cos^2 42{,}25°} \right) =$$

$$= 11{,}3 \cdot \left(0{,}908 - \frac{1{,}091 - 0{,}002H}{24{,}021} \right).$$

Подставляя в полученную выше формулу различные значения H, получаем (таб. 3.2).

Таблица 3.2

Значения давления на крепь ствола по методу Н. С. Булычёва

H, м	0	20	30	40	50	60	70	80	90
P, тс/м^2	9,747	9,766	9,775	9,785	9,794	9,804	9,813	9,822	9,832

H, м	100	110	120	130	140	150	200	250	300
P, тс/м^2	9,841	9,851	9,860	9,869	9,879	9,888	9,935	9,982	10,029

Максимальная величина давления составит

$$P_{\max} = \frac{\gamma r_0}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{2{,}69 \cdot 4{,}2}{\operatorname{tg}45} = 11{,}3 \text{ тс/м}^2.$$

Метод профессора М. М. Протодьяконова основан на аналогии с плоскими подпорными стенками. Давление на крепь вертикального ствола оказывает вес породы за счет сползающей призмы (рис. 3.5).

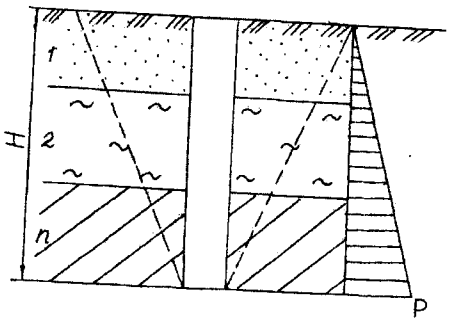


Рис. 3.5. Схема к определению нагрузки на крепь ствола по методу Протодьяконова

Определение нагрузки производится по формуле

$$P = \gamma H \mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right); \qquad (3.23)$$

Подставляя в формулу (3.23) различные значения H, получаем значения давления на крепь (таб. 3.3).

Таблица 3.3

Значения давления на крепь ствола по методу М. М. Протодьяконова

H, м	0	20	25	30	40	50	60	70	80	90
P, тс/м^2	0	9,23	11,54	13,85	18,46	23,08	27,69	32,31	36,92	41,54

H, м	100	150	200	250	300	350	400	450	500
P, тс/м^2	46,15	69,23	92,31	115,38	138,46	161,54	184,61	207,69	230,77

Используя полученные результаты (см. таб. 3.2 и 3.3), строим графики зависимости $P = U(H)$ (рис. 3.6). Находим глубину H, при которой значения давления на крепь, полученные по методу Н. С. Булычева и М. М. Протодьяконова еще совпадают.

Аналитический метод решения:

$$\gamma \cdot \eta_0 \left[\mathrm{tg}(\delta - \varphi) - \frac{B_1}{2B_2 \cos^2(\delta - \varphi)} \right] = \gamma \cdot H \,\mathrm{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right);$$

$$11{,}3 \cdot \left(0{,}908 - \frac{1{,}091 - 0{,}002H}{24{,}021}\right) = 2{,}69 \cdot H \cdot \mathrm{tg}^2\left(22{,}5^0\right);$$

$$10{,}260 - 0{,}513 + 0{,}00094H = 0{,}462\,H;$$

$$H = 21{,}16 \text{ м}.$$

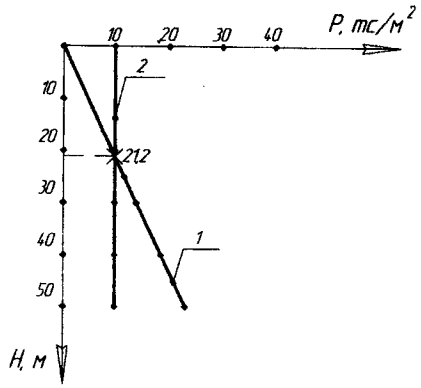


Рис. 3.6. Давление на крепь ствола по результатам расчётов

Вывод: для данных условий можно использовать как формулу Протодьяконова, так и формулу Булычёва до глубины ствола, равным 21,2 м. Определение глубины графическим и аналитическим метод дали одинаковые результаты.

б) ***определить максимальное давление и нагрузки, оказываемые засыпкой из щебня на горизонтальный полок, установленный в ремонтируемом стволе радиусом r_0.***

Исходные данные: породы - глины твердой консистенции; ν = 0,35; r_0 = 2,18 м; γ = 2,16 тс/м^3; с = 4,0 мПа = 0,04 тс/м^2; φ = 23°.

Расчет производим по формуле, характеризующей концепцию опускающегося столба породы (см. рис. 3.1)

$$P = \frac{\gamma в - c}{\lambda \cdot \mathrm{tg}\varphi}\left[1 - \exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right)\right]. \qquad (3.24)$$

Максимальное давление определяется взятием частной производной, и приравниваем ее к нулю.

$$P(H) = 0.$$

$$\frac{\partial P}{\partial H} = \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi} - \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right) = \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right)\frac{\lambda}{в}\mathrm{tg}\varphi = 0.$$

$$\frac{\gamma в - c}{в}\exp\left(-\lambda \frac{H}{в}\mathrm{tg}\varphi\right) = 0. \qquad (3.25)$$

Коэффициент бокового давления определяем по формуле (1.6):

$$\lambda = \frac{0{,}35}{1 - 0{,}35} = 0{,}54.$$

Подставляем известные данные в формулу (3.26)

$$\frac{2{,}16 \cdot 2{,}18 - 0{,}04}{2{,}18}\exp\left(-0{,}54 \cdot \frac{H}{2{,}18} \cdot \mathrm{tg}23^\circ\right) = 0.$$

$$2{,}14\exp(-0{,}105H) = 0 \Rightarrow \exp = 0, \text{ при } H \to \infty.$$

$$P_{\max} = \frac{\gamma в - c}{\lambda \mathrm{tg}\varphi}; \qquad (3.26)$$

$$P_{\max} = \frac{2{,}16 \cdot 2{,}18 - 0{,}04}{0{,}54 \cdot tg23^\circ} = 20{,}17 \text{ тс/м}^2.$$

4. УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

4.1. Определение критического смещения крепи (задание № 13)

Определить величину перемещения крепи $U_к$, при котором разграничивается применение податливой и жесткой крепи.

Исходные данные: c = 0 мПа; γ = 2,0 тс/м^3; H = 72 м; r_0 = 4,2 м; φ = 30°; G = 100 мПа; ν = 0,28.

Упруго-пластическая модель массива горных пород имеет две зоны: упругую I и пластическую II (рис. 4.1), в которых распределение напряжения подчиняется соответственно закону Гука и закону пластического течения – условию Кулона-Мора, при этом упругие деформации предшествуют пластическим (см. рис. 4.1, *а*).

Необходимо построить график равновесного состояния системы «массив-крепь».

Определение координат точки A (U_e; P_e) (рис. 4.2), соответствующей переходу от линейных деформаций к нелинейным, производится по формуле

$$P_e = \gamma H(1 - \sin\varphi); \qquad (4.1)$$

$$P_e = 2 \cdot 72\left(1 - \sin 30^\circ\right) = 72 \text{ тс/м}^2.$$

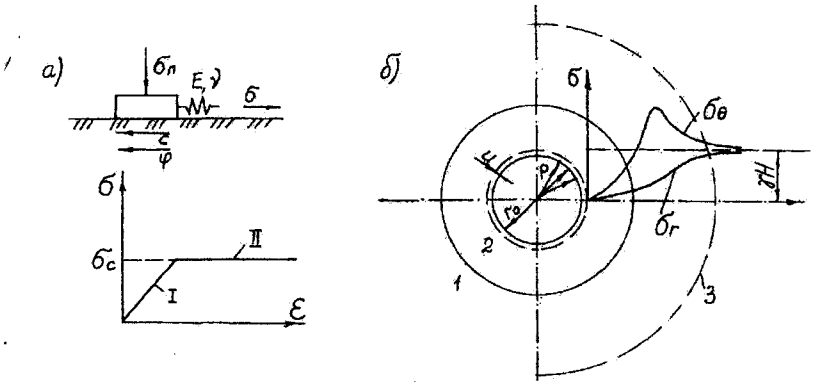
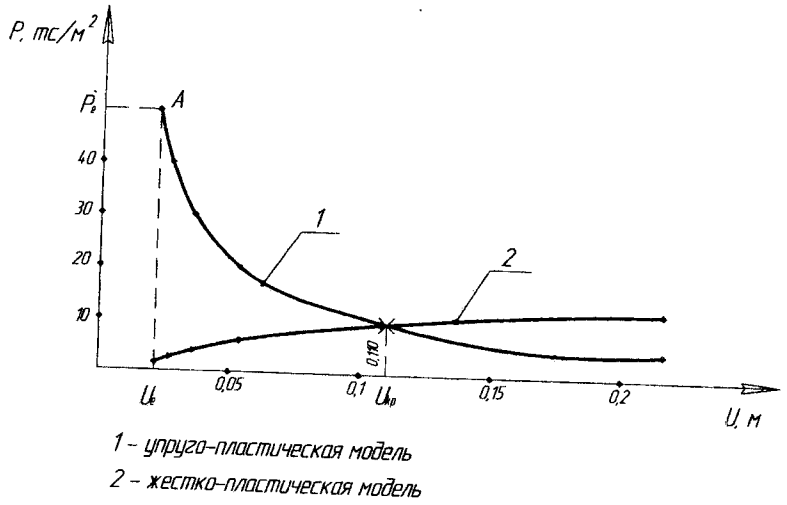


Рис. 4.1. Схема упруго-пластической модели:
а – I – область упругих деформаций; II – область пластических деформаций;
б – 1 – зона упругих деформаций; 2 – зона пластических деформаций;
3 – граница влияния выработки



1 – упруго-пластическая модель

2 – жестко-пластическая модель

Рис. 4.2. График равновесных состояний

Величину перемещения U_e определяем по формуле

$$U_e = r_0 \frac{\gamma H}{2G}\left(1 - \frac{P_e}{\gamma H}\right); \qquad (4.2)$$

$$U_e = 4{,}2 \cdot \frac{2 \cdot 72}{2 \cdot 10^4}\left(1 - \frac{72}{2 \cdot 72}\right) = 0{,}015 \text{ м}.$$

Полученные значения P_e и U_e откладываем на осях P и U (см. рис. 4.2).

Давая P различные значения ($P < P_e$) получаем соответствующие им значения радиуса зоны пластических деформаций, который вычисляется по формуле

$$\frac{r_e}{r_0} = \left[\frac{\gamma H}{P}(1 - \sin\varphi)\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (4.3)$$

где $\alpha = \dfrac{2 \cdot \sin\varphi}{1 - \sin\varphi}$.

$$\alpha = \frac{2\sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} = 2.$$

$$\frac{r_e}{r_0} = \left[\frac{2 \cdot 72}{P}\left(1 - \sin 30^\circ\right)\right]^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{72}{P}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Зная значения $\dfrac{r_e}{r_0}$ вычисляем соответствующие им смещения контура выработки при увеличении зоны пластических деформаций по формуле

$$U = r_0 \frac{\gamma H}{2G}\left(\frac{r_e}{r_0}\right)^2 \sin\varphi; \qquad (4.4)$$

$$U = 4{,}2 \frac{2 \cdot 72}{2 \cdot 10^4}\left(\frac{r_e}{r_0}\right)^2 \sin 30^\circ = 0{,}015\left(\frac{r_e}{r_0}\right)^2.$$

Результаты приведены в табл. 4.1. По полученным данным строится график зависимости $P = f(u)$ (см. рис. 4.2).

Таблица 4.1

Вычисление давления на крепь и смещения контура выработки

Давление на крепь, P, тс/м²	$\frac{r_e}{r_0}$	Смещение контура выработки, U, м	Жёстко-пласт. модель	
			высота столба, H, м	давление на крепь, P, тс/м²
50	1,20	0,022	0,84	1,60
40	1,34	0,027	1,44	2,64
30	1,55	0,036	2,31	4,04
20	1,90	0,054	3,77	6,08
10	2,68	0,108	7,07	9,59
5	3,80	0,216	11,74	12,71

Рост смещения контура выработки сопряжён с уменьшением давления на крепь (см. рис. 4.2). Предоставляя крепи возможность деформироваться, податливая крепь обеспечивает снижение нагрузки на крепь. Однако увеличение смещения ведёт к росту пластической деформации, т. е. все больший объём горного массива заключён между крепью и границей зоны. Это может привести к отрыву какой-то части массива и образованию либо свода обрушения, либо опускающегося столба пород, верхней границей которого будет граница зоны пластических деформаций.

Для условий задачи предположим, что образуется столб пород. Тогда, используя жёстко-пластическую модель массива при отсутствии сцепления пород, имеем

$$P_{ст} = \frac{\gamma \cdot r_0}{2\lambda \cdot \mathrm{tg}\varphi}\left[1 - \exp\left(-2\lambda \frac{H}{r_0}\mathrm{tg}\varphi\right)\right], \qquad (4.5)$$

при этом высота столба H будет ограничиваться радиусами зоны пластических деформаций r_e, т. е.

$$H = r_e - r_0 = r_0\left(\frac{r_e}{r_0} - 1\right). \qquad (4.6)$$

Значения давления на крепь от действия опускающегося столба пород определяем по формуле (4.6) и записываем в табл. 4.1.

Соответственно, зная значения H, легко вычислить и значения давления на крепь от действия опускающегося столба пород (см. табл. 4.1).

На основании полученных данных - $U_{ст}$ и $P_{ст}$ - строится график зависимости $P_{ст} = f(U_{ст})$ (см. рис. 4.2).

Точка пересечения графиков 1 и 2 – критическое значение перемещения крепи, $U_{кр}$ = 0,11 м, которое показывает, что дальнейшее использование податливой крепи необоснованно, т. е. необходимо переходить на жесткую крепь, рассчитанную на заданную нагрузку.

5. УСТОЙЧИВОСТЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК

5.1. Расчет ленточных целиков (задание № 14)

До какой глубины рационально использовать оборудование шириной 3,9 м , при отработке рудного тела с оставлением ленточных целиков, при $[\sigma_{сж}] = 8860 \frac{тс}{м^2}$, мощностью рудного тела m = 10 м, $\gamma_{ср} = 2{,}8 \frac{тс}{м^3}$; $\gamma_0 = 3{,}6 \frac{тс}{м^3}$, n = 1,5. Критерий рациональности - величина потерь (оставление в целике) $П \le 30$ %. Требование по технике безопасности: ширина камеры $A \ge 3\,a$, где a – ширина оборудования.

Принимаем $П$ – потери = 30 %; $\frac{x}{A} = 0{,}3; \Rightarrow x = A \cdot 0{,}3 = 4{,}5$ м.

Под устойчивостью горных пород понимается их способность сохранить форму и размеры обнажений, образуемых при строительстве горных выработок.

При расчете несущей способности целиков в условиях упругого деформирования и хрупкого разрушения полагается, что целики воспринимают вес всей толщи налегающих пород в пределах площади выработанного пространства. По этому методу размеры ленточных целиков определяют по теории прочности Мора, в предположении, что целики работают в условиях одноосного сжатия.

Для ленточных целиков (рис. 5.1, *а*) ширина целика определяется по формуле

$$x = \frac{A}{\frac{[\sigma_{сж}]}{n \cdot H \cdot \gamma_{пор}} - \frac{h_0 \gamma_0}{H \cdot \gamma_{пор}} - 1}, \qquad (5.1)$$

где A – ширина камеры, м; h_0 – высота целика (мощность залежи), м; γ_0 – объемный вес породы в целике, тс/м^3; $\gamma_{пор}$ – средний объемный вес породы над целиком, тс/м^3; n – коэффициент запаса прочности; H – глубина, м.

Для столбчатых целиков, окружённых выработанным пространством в виде камер с поперечными размерами A x B (рис. 5.1, б) ширина целика определяется по формуле

$$x = \frac{A + A\dfrac{B}{L}}{\dfrac{[\sigma_{сж}]}{n \cdot H \cdot \gamma_{пор}} - \dfrac{h_0\gamma_0}{H \cdot \gamma_{пор}} - \dfrac{B}{L} - 1}; \qquad (5.2)$$

где L – длина столбчатого целика.

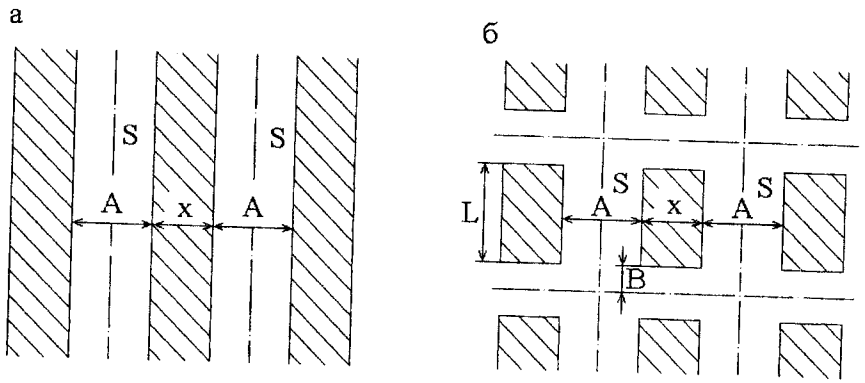


Рис. 5.1. Схема к определению размеров целиков:
а) ленточные целики; б) столбчатые целики.

Из формулы (5.1) выражаем H и находим глубину, при которой рационально использовать оборудование шириной a по формуле:

$$H = \frac{\dfrac{[\sigma_{сж}]}{n \cdot \gamma_{пор}} - \dfrac{h_0\gamma_0}{\gamma_{пор}}}{\left(\dfrac{A}{x} + 1\right)}; \qquad (5.3)$$

$$H = \frac{\dfrac{8860}{1{,}5 \cdot 2{,}8} - \dfrac{10 \cdot 3{,}6}{2{,}8}}{3{,}33 + 1} = 486{,}5 \text{ м}.$$

Таким образом, для заданных условий данное оборудование рационально использовать до глубины 486,5 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1989. – 270 с.

ГОСТ 20522-96 "Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний".

ГОСТ 21153.8-88 - Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии.

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 "Маркшейдерское дело"/сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Зотеев, О. В. Геомеханика: учебное пособие / О. В. Зотеев, В. А. Осинцев. – Екатеринбург: УГГГА, 1997. – 128 с.

Кацауров, И. Н. Механика горных пород / И. Н. Кацауров. – М.: Недра, 1981. – 166 с.

СНиП 2-01-07-85 «Нагрузки и воздействия».

СНиП 2-05-03-84 «Мосты и трубы».

СНиП 32-02-2003 «Метрополитены».

СНиП 32-04-97 «Тоннели железнодорожные и автодорожные».

СНиП II-94-80 «Подземные горные выработки».

СНиП II-94-80 «Тоннели железнодорожные и автодорожные».

Туринцев, Ю. И. Горная геомеханика. Ч. 2: учебное пособие / Ю. И. Туринцев, В. Н. Яковлев. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 192 с.

Турчанинов, И. А. Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.

Щукин, А. С. Определение нагрузки на крепь горных выработок: учебное пособие / А. С. Щукин. – Свердловск, 1979. – 77 с.

Индивидуальные поправки

Алфавит	Фамилия	Имя	Отчество
	*N*1	*N*2	*N*3
А	5	140	70
Б	10	135	65
В	15	130	60
Г	20	125	55
Д	25	120	50
Е	30	115	45
Ж	35	110	40
З	40	105	35
И	45	100	30
К	50	95	25
Л	55	90	20
М	60	85	15
Н	65	80	10
О	70	75	5
П	75	70	140
Р	80	65	135
С	85	60	130
Т	90	55	125
У	95	50	120
Ф	100	45	115
Х	105	40	110
Ц	110	35	105
Ч	115	30	100
Ш	120	25	95
Щ	125	20	90
Э	130	15	85
Ю	135	10	80
Я	140	5	75

Примечание, Индивидуальные поправки определяются по начальным буквам (инициалам) фамилии, имени, отчества. Например, Гущин Пётр Евгеньевич получает следующие поправки: *N*1=20, *N*2=70, *N*3=45.

Корректировка исходных данных заданий

Номер раздела	Номер задания	Корректировка в исходные данные заданий
1.2	1	$\sigma_1 = 547 - N1;\ \sigma_3 = 226 - N2$; [МПа]
1.3	2	$H = 39 + N3$; [м]; $\varepsilon_x = 6 \cdot 10^{-3} - (0{,}01 \cdot N3) \cdot 10^{-3}$
1.4	3	$H = 790 - N2;\ r_0 = 2 + (0{,}01 \cdot N1)$; [м]
1.5	4	$H = 1200 - N3$; [м]; $\varepsilon_x = 3{,}66 \cdot 10^{-4} + (0{,}01 \cdot N1) \cdot 10^{-4}$; $\varepsilon_y = 0{,}03 \cdot 10^{-4} + (0{,}01 \cdot N2) \cdot 10^{-4}$
1.6	5	$r_{0(1)} = 2 + (0{,}01 \cdot N1);\ r_{0(2)} = 2{,}8 + (0{,}01 \cdot N2);$ $l = 47 + (0{,}1 \cdot N3)$; [м]
1.7	6	$H = 100 + N1;\ r_0 = 2{,}5 + (0{,}01 \cdot N3)$; [м]
1.8	7	$H = 280 + N2;\ r_0 = 2{,}8 + (0{,}01 \cdot N1)$; [м]
2.2	8	$H = 750 - N1$; [м]; $[\sigma_{сж}] = 51 + (0{,}1 \cdot N3);$ $[\sigma_1] = 106 + (0{,}1 \cdot N2)$; [МПа]
2.3	9	$в = 5 + (0{,}01 \cdot N1)$; [м]; $[\sigma_р] = 260 + N2$; $[\frac{тс}{м^2}]$
3.1	10, а	$2в = 3{,}6 + (0{,}01 \cdot N3)$; [м]
3.1	10, б	$2в = 3{,}0 + (0{,}01 \cdot N1)$; [м]
3.2	11	$H = 100 + N3;\ h = 3{,}0 + (0{,}01 \cdot N2)$; [м]; $[\sigma]_{дер} = 120 + (0{,}1 \cdot N1)$; $[\frac{кгс}{см^2}]$
3.3	12	$H_c = 500 + N1;\ r_0 = 4.2 + (0{,}01 \cdot N3)$; [м]
4.1	13	$H = 72 + N2;\ r_0 = 4.2 + (0{,}01 \cdot N1)$; [м]
5.1	14	$a = 3{,}9 + (0{,}01 \cdot N1)$; [м]; $[\sigma_{сж}] = 8860 - N3$; $[\frac{тс}{м^2}]$

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Жабко А.В.

ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИКИ

Методические указания к самостоятельной работе и задания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для обучающихся по освоению учебной дисциплины

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Ознакомиться с календарно-тематическим планом самостоятельной работы обучающихся.

3. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

4. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы студента преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется проверка расчетно-графических работ, опрос, контрольная работа. Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа обучающихся (СРО) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента по данной учебной дисциплине. Объемы и виды трудозатрат по всем отдельным видам представлены в разделе 7. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы студентов, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРО, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий химии, новые незнакомые термины и назва-

ния, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служат вопросы для самопроверки и тренировочные тесты, позволяющие контролировать степень успешности изучения учебного материала.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, студентам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ КУРСА

При самостоятельном изучении теоретического курса обучающимся необходимо:

самостоятельно освоить и проработать темы теоретического курса в соответствии с учебной программой дисциплины, основательно подготовить ответы на вопросы, приведенные после каждой темы.

Самостоятельно изучаемые вопросы курса в последующем включаются в экзаменационные билеты.

Темы на самостоятельное изучение выдаются студентам на лекционных занятиях.

1. Определение геомеханики как фундаментальной части горной науки.
2. Свойства горных пород и массивов
3. Естественное напряженное состояние горного массива
4. Методы изучения горного давления
5. Математические модели горного массива
6. Методы решения задач механики сплошной среды
7. Управление горным давлением
8. Опорное давление
9. Расчет нагрузок на крепь
10. Динамические проявления горного давления
11. Прогноз и профилактика динамических проявлений горного давления.

ПОВТОРЕНИЕ МАТЕРИЛА ЛЕКЦИЙ

Для приобретения прочных знаний и выработки навыков самостоятельной работы по учебной дисциплине «Основы горной геомеханики» необходимо повторить материал лекционных занятий, а также прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную для самостоятельного изучения по данной дисциплине [1-5]. Работа с материалом должна носить системный характер.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Для успешной подготовки к практическим занятиям студенту невозможно ограничиться слушанием лекций. Требуется предварительная самостоятельная работа студентов по теме планируемого занятия. Не может быть и речи об эффективности занятий, если обучающийся предварительно не поработают над конспектом, учебником, учебным пособием, чтобы основательно овладеть теорией вопроса.

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

Тема 1: Определение геомеханики как фундаментальной части горной науки.

1. Содержание и задачи дисциплины.
2. Теоретическое и практическое значение геомеханики для маркшейдеров и горняков.
3. Связь курса с другими дисциплинами.
4. Предмет, объекты изучения.
5. Задачи геомеханики.

Тема 2: Свойства горных пород и массивов

1. Классификация свойств горных пород.
2. Плотностные, прочностные и деформационные характеристики горных пород.
3. Роль трещиноватости в формировании свойств горных массивов.
4. Методы определения свойств горных массивов.
5. Коэффициент структурного ослабления.
6. Исходные физико-механические характеристики горных пород и массивов

Тема 3: Естественное напряженное состояние горного массива

1. Напряженное состояние нетронутого массива горных пород как упругой среды.
2. Напряженное состояние массива раздельно-зернистых пород.
3.Влияние тектонических сил при оценке напряженного состояния массивов горных пород.
4. Методы определения естественных напряжений на малых базах.
5. Методы определения естественных напряжений на больших базах.

Тема 4: Методы изучения горного давления

1. Общие сведения о методах изучения горного давления.
2. Методы измерений в натурных условиях.
3. Предметное моделирование.
4. Метод эквивалентных материалов.
5. Поляризационно-оптический метод.
6. Математическое моделирование.
7. Аналитические методы исследования напряженно-деформированного состояния и прочности горных пород.
8. Применение моделей сплошных и дискретных сред

Тема 5: Математические модели горного массива

1. Математические модели горного массива: упругая.
2. Математические модели горного массива упругопластическая.
3. Математические модели горного массива жесткопластическая.

Тема 6: Методы решения задач механики сплошной среды

1. Аналитические методы решения.
2. Задача Кирша, Буссинеска, Фламана.
3. Бигармоническое уравнение и его приложения.
4. Теорема Леви-Митчела.
5. Приближенные методы решения задач теории упругости.
6. Метод конечных элементов.
7. Метод граничных интегральных уравнений.

Тема 7: Управление горным давлением

1. Общие сведения об управлении горным давлением.
2. Способы, повышающие устойчивость выработок.
3. Параметры управления горным давлением, снижающие нагрузку.
4. Расчет опорных целиков.
5. Расчет закладочных смесей.

Тема 8: Опорное давление

1. Опорное давление.
2. Теории горного давления.

Тема 9: Расчет нагрузок на крепь

1. Общие сведения о расчете нагрузок на крепь.
2. Методы расчета нагрузок на крепь горизонтальных горных выработок.
3. Методы расчета нагрузок на крепь наклонных горных выработок
4. Методы расчета нагрузок на крепь вертикальных горных выработок.
5. Методы механики подземных сооружений.

Тема 10: Динамические проявления горного давления

1. Общие сведения о динамических проявлениях горного давления.
2. Классификация динамических явлений.
3. Причины возникновения и механизм горных ударов.
4. Условия возникновения внезапных выбросов и представление о их механизме.

Тема 11: Прогноз и профилактика динамических проявлений горного давления.

1. Прогноз и профилактика динамических проявлений горного давления.
2. Прогнозирование динамических проявлений горного давления на основе локального геофизического резонанса.
3. Опыт разработки удароопасных месторождений.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *экзамену* по дисциплине «*Основы горной геомеханики*» обучающемуся рекомендуется:

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 горной геомеханики*».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса.

Рекомендуемая литература

1. Туринцев Ю.И., Яковлев В.Н. Горная геомеханика ч. 2. Горное давление при подземной разработке месторождений: Учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2001. – 192 с..

2. Макаров А.Б. Практическая геомеханика: пособие для горных инженеров. – М.: Горная книга, 2006. – 391 с.

3. Зотеев О.В. Геомеханика: Учебное пособие. — Екатеринбург: УГГУ, ИГД УРО РАН, 2003. — 252 с.

4. Учебное пособие “Горная геомеханика. Ч.2. Горное давление при подземной разработке месторождений” по специальности 21.05.04 «Горное дело».

5. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине “Основы горной геомеханики”для студентов специальности 21.05.04 – «Горное дело» специализации «Маркшейдерское дело» (МД), Сост.: В.Н.Яковлев, УГГУ, Екатеринбург, 2019. 63 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы обучающегося 6
2. Содержание курса. Контрольные вопросы и упражнения 7
2.1. Содержание курса 7
2.2. Контрольная вопросы и задачи 8
Рекомендуемая литература 11

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента составляет 252 часов или 7 зачетных единиц. Из них 97 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерское дело» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых практических работ; решение и защита типовых маркшейдерских задач по отдельным темам курса. Дополнительная самостоятельная работа связана с углубленным изучением отдельных разделов курса на основе научно-исследовательской работы студента (НИРС).

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Маркшейдерское дело». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на экзамен. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждой теме содержится в учебнике по курсу [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам дисциплины на кафедре маркшейдерского дела имеется учебные пособия для решения типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом [2]. Эта учебное пособие программа может быть скопирована студентом для использования на домашнем компьютере.

При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебнику [1] изучите каждую тему дисциплины,

используйте указанную дополнительную литературу[2]. Консультацию можете получить у преподавателя.

3. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные задачи. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

4. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

5. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в конце каждого раздела учебного пособия [2]. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Содержание курса

В процессе изучения учебной дисциплины следует:

1. Ознакомиться с рабочей учебной программой дисциплины. Рабочая учебная программа содержит перечень тем, которые необходимо изучить, планы лекционных и практических занятий, вопросы к текущей и промежуточной аттестации, перечень основной, дополнительной литературы и ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет».

2. Посещать теоретические (лекционные) и практические занятия.

3. При подготовке к практическим занятиям, а также при выполнении самостоятельной работы следует использовать методические указания для обучающихся.

При подготовке к практическим занятиям требуется:

- изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, электронные ресурсы;
- выполнить расчетно-графические работы;
- ответить на вопросы опросного списка.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, срокам сдачи заданий, порядке проведения зачета. Информацию о графике выполнения самостоятельных работ и критериях оценки учебной работы студента преподаватель сообщает на первой лекции курса.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется проверка расчетно-графических работ, опрос, контрольная работа. Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов (СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы студента по данной учебной дисциплине. Объемы и виды трудозатрат по всем отдельным видам представлены в разделе 7. РПД общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы студентов, предусмотренному учебными планами по дисциплине в текущем семестре.

Перечни аудиторных и внеаудиторных занятий и заданий (расчетно-графические работы), вносимых в графики СРС, определяются в соответствии с программой учебной дисциплины.

Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и

их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала. Этой же цели служит опрос.

Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, студентам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

2.2. Контрольные вопросы и задачи

Тема 1: Содержание и задачи дисциплины

1. Основные задачи маркшейдерского дела.
2. Основная цель маркшейдерских работ.
3. Какие особенности ведения маркшейдерских работ?
4. Какие разделы геодезии необходимо знать для изучения дисциплины?
5. Основные исторические этапы развития маркшейдерии.
6. Какова структура маркшейдерских отделов?

Тема 2: Опорные маркшейдерские сети на карьерах

1. Опорные маркшейдерские сети – цель и задачи.
2. Что является главной геометрической основой всех видов съемки горного предприятия?
3. Назовите исходные пункты для построения маркшейдерских опорных сетей.
4. Кем создаются маркшейдерские опорные сети?
5. Какие основные методы создания опорных сетей?

6. Как закрепляются центры опорных сетей?
7. Какой класс точности координат центров опорных сетей?

Тема 3: Создание съемочных маркшейдерских сетей на карьерах

1. Каковы цель и задачи съемочных маркшейдерских сетей?
2. Кем создаются съемочные сети на карьерах?
3. Назовите основные требования к созданию и реконструкции съемочных сетей?
4. Как подразделяются съемочные маркшейдерские сети?
5. От чего зависит выбор способа создания съемочных сетей?
6. Как закрепляются пункты съемочных сетей?
7. Назовите классические способы создания съемочных сетей.

Тема 4: Маркшейдерская съемка карьеров и отвалов

1. Назовите цель и задачи маркшейдерской съемки на карьерах и отвалах.
2. Какие способы съемки на карьерах и отвалах?
3. Какова периодичность съемки на карьерах и отвалах?
4. В каких масштабах выполняется маркшейдерская съемка на карьерах?
5. Каковы особенности и перспективы аэрофотограмметрической съемки карьеров?
6. Каковы особенности и перспективы наземной фотограмметрической съемки карьеров?
7. Каковы особенности и перспективы маркшейдерской съемки с использованием лазерного сканирования?

Тема 5: Маркшейдерские работы при обеспечении буровзрывных работ

1. Каковы цель и задачи маркшейдерских работ при обеспечении буровзрывных работ?
2. Назовите маркшейдерские работы до производства буровзрывных работ.
3. Какие маркшейдерские работы при производстве бурения взрывных скважин?
4. Назовите маркшейдерские работы после производства взрывных работ в карьере.
5. Какие основные задачи маркшейдера при составлении плана – проекта на буровзрывные работы?
6. Какие способы выноса в натуру взрывных скважин в карьере?
7. Какие способы маркшейдерского контроля глубины и сетки взрывных скважин?

Тема 6: Маркшейдерские работы при проходке траншей

1. Главная цель и задачи маркшейдера при проходке траншей.
2. Какие горно-графические материалы составляются для проходки траншей?
3. Методика расчета элементов параметра траншеи.
4. Способы привязки и выноса в натуру параметров траншеи.
5. Способы задания направления оси и параметров траншеи.
6. Методика расчета уклона трассы траншеи.
7. Маркшейдерский контроль проходки оси и параметров траншеи.

Тема 7: Маркшейдерские работы при дражном и гидравлическом способах разработки

1. Какими методами создаются опорные и съемочные сети на полигонах?
2. Как контролируется процесс строительства драги?
3. Как контролируется процесс добычи песков?
4. Какие способы измерения глубины черпанья драги?
5. Какие способы маркшейдерской съемки на полигонах?
6. Маркшейдерский контроль объемов добычи дражных полигонов.
7. Маркшейдерский контроль объемов добычи гидравлических полигонов.

Тема 8: Применение спутниковой геодезии на карьерах

1. Назовите основной принцип спутниковой геодезии.
2. Какие основные спутниковые системы применяются в маркшейдерии?
3. Какие в области спутниковых технологий маркшейдерских работ существуют схемы?
4. Дайте краткую характеристику навигационных спутников.
5. Что такое сегмент наземного контроля к управлению спутниковой системы?
6. Что такое технология дифференциальной GPS для определения точных координат пунктов?
7. Назовите схемы создания опорных, съемочных сетей и маркшейдерской съемки с использованием спутниковой геодезии.

Тема 9: Маркшейдерские работы при рекультивации земель на горных предприятиях

1. Основные задачи маркшейдерской службы при рекультивационных работах.
2. Методы планового съемочного обоснования для производства маркшейдерских работ.
3. Методы высотного съемочного обоснования для производства маркшейдерских работ.
4. Методы прогнозирования нарушенности земной поверхности и планирования работ.
5. Маркшейдерские работы при засыпке отработанных карьеров.
6. Маркшейдерские работы по реализации агрохимического плана.
7. Маркшейдерские работы при рекультивации породных отвалов.

Рекомендуемая литература

1. Голубко Б.П. Часть 1. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2010. –212 с.

2.Голубко Б.П. Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2018. – 71с.

Маркшейдерское дело: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело» / Б.П. Голубко; Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: 2019. – 12 с.

Автор

Голубко Борис Павлович

Корректура кафедры маркшейдерского дела

Подписано к печати

Формат бумаги 60х84 1/16

Печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ №

Цена С

Лаборатория множительной техники УГГГА

620144, Екатеринбург, Куйбышева, 30

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.ДВ.01.02 КОММУНИКАТИВНАЯ КУЛЬТУРА ЛИЧНОСТИ

Специальность
21. 05.04 Горное дело

Направленность
Маркшейдерское дело

формы обучения: **очная, заочная**

год набора: 2021

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

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Философии и культурологии	Горно-технологического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Беляев В.П.	Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 14.09.2020	Протокол № 2 от 12.10.2020
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

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

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

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

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

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

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

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

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

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

СРС может включать следующие формы работ:

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

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

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

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

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

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

.

1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

.

2. Методические указания по подготовке к опросу

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

Письменный опрос

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

Устный опрос

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

Критерии качества устного ответа.

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

---

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

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

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

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

3.Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

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

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

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

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

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

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

- необходимо соблюдать регламент: 7-10 минут выступления.

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

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

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

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

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

2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.

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

Общая структура доклада

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

Вступление.

Вступление должно содержать:

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

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

Основная часть.

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

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

Заключение.

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

Доклад оценивается по следующим критериям:

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

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

4. Методические рекомендации по написанию эссе

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

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

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

Структура эссе

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

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

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

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

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

Требования к фактическим данным и другим источникам

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

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

Как подготовить и написать эссе?

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

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

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

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

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

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

Цель должна определять действия.

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

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

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

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,

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

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

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

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

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

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

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

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

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

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

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

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

7. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

2) добросовестное выполнение заданий;

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

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

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

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

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

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

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

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

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П.

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРАКТИКА

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ 6

Программа практики 6

Рекомендуемая литература 7

1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕРЕЗОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ 8

1.1. Общие сведения о Березовском месторождении 8

1.2. Геологическое строение 8

1.3. Горнотехническая характеристика 9

2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ 10

2.1. Основные положения 10

2.2. Передвижение по горизонтальным, вертикальным и наклонным выработкам 11

2.3. Передвижение по горным выработкам с маркшейдерскими инструментами 12

2.4. Меры безопасности при выполнении соединительных съемок 13

2.5. Краткие сведения о ядовитых газах 14

2.6. Сведения из Правил техники безопасности при производстве взрывных работ 15

2.7. Меры безопасности при авариях в шахте. Самоспасание 15

2.8. Оказание первой помощи при поражении электрическим током 16

2.9. Самопомощь, взаимопомощь пострадавшим и способы искусственного дыхания 17

3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ 19

3.1. Поверки теодолитов 19

3.2. Поверки нивелиров 21

3.3. Поверки рулеток 22

3.3.1. Компарирование рулетки 22

3.3.2. Определение стрелы провеса рулетки 23

4. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ 24

4.1. Основные положения 24

4.2. Опорные сети 1-го разряда. Полевые работы 24

4.2.1. Рекогносцировка и закладка пунктов 24

4.2.2. Измерение горизонтальных углов 25

4.2.3. Измерение длин 27

4.3. Опорные сети 1-го разряда. Камеральная обработка результатов измерений 28
4.3.1. Обработка длин сторон 28
4.3.2. Вычисление координат пунктов полигонометрического хода 30
4.4. Высотные опорные сети 35
4.5. Съемочные работы на земной поверхности 38
4.6. Определение объемов отвалов 41
4.7. Маркшейдерское обеспечение горно-строительных работ 44
4.7.1. Основные положения 44
4.7.2. Перенос в натуру проектных данных горнотехнических объектов 49
4.7.3. Вынос центра и оси шахтного ствола в натуру 53
5. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ В ШАХТЕ 57
5.1. Создание подземной маркшейдерской опорной сети 57
5.1.1. Рекогносцировка и закрепление пунктов подземной полигонометрии 57
5.1.2. Измерение углов 58
5.1.3. Измерение длин сторон 58
5.1.4. Съемка подробностей 59
5.1.5. Камеральная обработка результатов измерений подземных маркшейдерских опорных сетей 59
5.2. Ориентирно-соединительная съемка подземных маркшейдерских опорных сетей 61
5.2.1. Общие положения 61
5.2.2. Ориентирование через один вертикальный шахтный ствол с использованием гирокомпаса 62
5.2.3. Ориентирование через два вертикальных ствола с использованием гирокомпаса 67
5.2.4. Анализ результатов ориентировок 73
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ПУНКТОВ ПОДЗЕМНОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ 73
6.1. Общие положения 73
6.2. Передача высотной отметки в шахту длиномером (глубиномером) ДА-2 74
6.3. Передача высотной отметки в шахту шахтной лентой 78
6.4. Геометрическое нивелирование в подземных горных выработках 81
6.5. Вертикальная съемка откаточных путей почвы и кровли выработки 82

7. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМ ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ 84
7.1. Задание направления горным выработкам в горизонтальной плоскости 84
7.2. Задание направления горным выработкам в вертикальной плоскости 84
8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА О ПРАКТИКЕ 86
8.1. Общие положения 86
8.2. Содержание отчета 88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 91

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие к учебной маркшейдерской практике предназначено для студентов специализации «Маркшейдерское дело» и освещает все вопросы, предусмотренные учебной программой по дисциплине «Маркшейдерия»: содержит описание отдельных видов маркшейдерских работ, последовательность их выполнения, нормы точности и преследует цель закрепления теоретических знаний, практических навыков ведения маркшейдерских работ в условиях действующего горного предприятия.

Учебная маркшейдерская практика проводится на действующей шахте Березовского золоторудного месторождения. Все виды работ выполняются студентами самостоятельно в составе бригад по 7-8 человек под руководством преподавателя.

Отчет по результатам выполненных на практике работ составляется и защищается каждым студентом индивидуально.

В комплект отчетной документации входят:

полевые журналы с записью результатов измерений (бригадные);

расчеты, выполненные по прилагаемым формам (индивидуальные);

чертежи, выполненные тушью на бумаге стандартных форматов, с соблюдением ГОСТ. Горная графическая документация. (бригадные).

Продолжительность практики – 4 недели.

Автор благодарит преподавателей кафедры маркшейдерского дела О. С. Раеву, А. А. Шевелева, И. С. Кощеева за активное участие в подготовке учебного пособия.

Автор выражает искреннюю признательность рецензентам д-ру техн. наук Б. Г. Афанасьеву, д-ру техн. наук А. В. Зубкову за ценные замечания по содержанию учебного пособия.

Программа практики

1. Изучение и сдача экзамена по техминимуму правил безопасности.

2. Маркшейдерские работы на земной поверхности шахты.

2.1. Создание опорных сетей на поверхности (полигонометрия 1-го разряда) – 2 км.

2.2. Создание высотного обоснования на поверхности (нивелирование 4-го класса) – 2 км.

2.3. Съемочные работы земной поверхности.

2.4. Вынос центра и осей вертикального ствола в натуру.

2.5. Съемка отвалов горных пород.

3. Маркшейдерские работы в шахте.

3.1. Создание опорных сетей в шахте (1,2 км).

3.2. Создание высотного обоснования в шахте (1,2 км).

3.3. Нивелировка откаточных путей в шахте (1,0 км).

4. Ориентирно-соединительная съемка.

4.1. Ориентировка подземных горных выработок через один вертикальный шахтный ствол.

4.2. Ориентировка подземных горных выработок через два вертикальных шахтных ствола.

4.3. Передача высотной отметки в шахту шахтной лентой, длиномером ДА-2.

5. Написание, оформление и защита отчета о практике.

Рекомендуемая литература

1. *Голубко Б. П., Земских Г. В., Шевелев А. А.* Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений полезных ископаемых: методические разработки к лабораторным работам по курсу «Маркшейдерия» для студентов специализации «Маркшейдерское дело». Екатеринбург: УГГГА, 2007. 64 с.

2. *Кортев Н. В., Леонтьев А. Т., Самарин А. В.* Маркшейдерская документация: учебное пособие. Екатеринбург: УГГГА, 2001. 68 с.

3. *Земских Г. В., Кортев Н. В.* Маркшейдерско-геодезические приборы: учебное пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2009. 146 с.

4. *Инструкция по производству маркшейдерских работ.* М., 2003. Серия 07, выпуск 15. 118 с.

5. *Маркшейдерское дело*: учебник для вузов / Д. Н. Оглоблин и др. М.: Недра, 1981.

1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕРЕЗОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1.1. Общие сведения о Березовском месторождении

Березовское месторождение, являющееся колыбелью золотопромышленности России и Урала, было открыто в мае 1745 года жителем деревни Шарташ рудознатцем Ерофеем Марковым. С 1748 года началась разработка Березовского месторождения. В 1757 году закончено строительство золотопромывального завода. При заводе по обоим берегам р. Березовки вскоре вырос небольшой поселок, получивший название Березовского (сейчас это старая часть города). В 1938 году он получил статус города.

Город Березовский расположен в 12 км от областного центра – г. Екатеринбурга. Местность района месторождения ровная, с незначительным понижением к северу. Климат района континентальный, ветры чаще всего юго-западного направления. Наибольшее количество осадков приходится на летние месяцы: июнь, июль, август. Растительность лесная с преобладанием сосны и березы. Главным металлическим ископаемым является золото. К нерудным ископаемым следует отнести поделочный и строительный камень.

1.2. Геологическое строение

Район, окружающий Березовское рудное поле, расположен в пределах полосы палеозойских зеленокаменных эффузивно-пирокластических и осадочных пород, ограниченной с востока Мурзино-Алабашской, с запада Верх-Исетской гранитными интрузиями.

В пределах этой полосы заключено несколько малых гранитных плутонов (Благодатский, Шарташский и Шабровский) и крупные интрузии пород габбро-перидотитового комплекса. Интрузии ультраосновных пород прорваны массивами габбро, диоритов и плагиогранитов. Внедрение гранитов и их жильных производных происходило в карбоно-пермский период.

На территории месторождения распространены серпентиниты, которые окаймляют толщу вулканогенных и туфогенных осадочных пород. Конечным продуктом гидротермального мета-

соматоза этих пород являются лиственитты, окаймляющие кварцевые жилы. Толща метаморфизованных пород пересечена многочисленными дайками гранитоидов. Преобладающее простирание даек меридиональное или близкое к нему. Средняя мощность даек не превышает 20 м. Протяженность их по простиранию 7-8 км и углы падения от 20 до 90°. Рудные проявления на месторождении выражены частыми параллельными системами с неравномерными расстояниями между ними. Жилы простираются перпендикулярно по отношению к дайкам, не выходя за их пределы. Протяженность жил по падению в среднем 10-20 м. Мощность жил изменяется от весьма тонких прожилков до жил в 50 см. Средняя мощность их колеблется в пределах 2-6 см.

Золотосодержащими являются не только жилы, но и прилегающие к ним зальбанды. Наибольшее оруденение даечного материала наблюдается в непосредственной близости к контактам кварцево-сульфидных жил. В жилах и прилегающих к ним зальбандах сосредоточено до 80-90 % металла.

1.3. Горнотехническая характеристика

Шахта «Южная» работает на дайках: Перво-Павловской, Второ-Павловской, Соймоновской и Севастьяновской.

Южная часть месторождения в пределах поля шахты «Южной» вскрыта двумя вертикальными стволами: «Южный» и «Вспомогательный». Ствол «Южный» является рудовыдачным и оборудован грузовым подъемом на два скипа и грузолюдским на одну клеть с противовесом. Ствол «Вспомогательный», оборудованный двухклетевым подъемом, служит для спуска и подъема людей и материалов. На флангах шахтного поля пройдены вертикальные вентиляционные стволы.

По горизонтам 212 и 314 м произведены сбойки с шахтами «Северная» и «Центральная».

2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1. Основные положения

В период прохождения практики каждый студент обязан строго соблюдать правила техники безопасности. Спуск бригады или отдельных студентов в шахту разрешается только после прохождения вводного инструктажа и проверки знаний правил безопасности. Без ведома руководителей практики спуск студентов в шахту категорически воспрещается.

Перед спуском в шахту студент должен надеть спецодежду и шахтерскую предохранительную каску. В шахте работать без каски запрещается.

Если в шахте установлен порядок индивидуального пользования самоспасателями, студенты должны получить их перед спуском, проверить целостность корпуса, наличие и исправность колец для вскрытия самоспасателей и плечевых ремней для ношения самоспасателя.

При спуске в шахту каждый студент должен иметь индивидуальный светильник. При получении светильника необходимо тщательно проверить его исправность (накаливание обоих волосков лампы, герметичность аккумулятора, целостность предохранительного стекла). При обнаружении неисправности светильник следует заменить в ламповой.

Строго запрещается:

а) курить в ламповой, на копре и в клети;

б) спускаться или подниматься в клети при открытой двери;

в) входить в клеть или выходить из клети после сигнала отправления;

г) во время движения клети высовываться или выставлять из нее руки и различные предметы;

д) кататься на вагонетках;

е) лежать на породе;

ж) пить шахтную воду (она не пригодна для питья и может вызвать серьезные желудочные заболевания).

При несчастном случае члены бригады должны оказать первую помощь пострадавшему и сообщить о несчастном случае преподавателю и горному мастеру.

2.2. Передвижение по горизонтальным, вертикальным и наклонным выработкам

После выхода из клети студенты должны следовать к месту работы, не задерживаясь в околоствольном дворе. Переходить с одной стороны околоствольного двора на другую можно только по обходной выработке или по специальному переходу под лестничным отделением ствола. Запрещается проходить через ствол шахты по клетевому отделению.

При передвижении к месту работы и обратно нужно строго придерживаться указаний предупредительных знаков, установленных в шахте. Движение должно проходить только по разрешенным для хождения выработкам, хождение по рельсовым путям запрещается.

При передвижении по выработкам путь нужно освещать лампой, наблюдая за состоянием почвы и кровли выработки и остерегаясь ушибов о выступающие предметы (фланцы труб, крепь и т. д.). О замеченных опасностях следует немедленно сообщить рядом идущему человеку. Передвигаясь по выработкам, необходимо следить за световыми сигналами. В случае приближения поезда нужно остановиться в свободном проходе или специальной нише, став спиной к стенке выработки, и пропустить поезд. Если при приближении поезда возникает опасность или грозит авария поезду, необходимо остановить поезд. Сигналом для остановки поезда служит поперечное движение лампой (от одного бока выработки к другому). Нужно иметь в виду, что тормозной путь электровоза с составом равен 40 метрам. Подходя к закруглению или повороту откаточной выработки, в случае приближения электровоза встаньте в безопасное место.

Не пролезайте между вагонетками, через канаты тягальных и скреперных лебедок во время их работы.

При передвижении по выработкам, где имеют место контактные провода или проложены кабели, надо опасаться поражения электрическим током.

Нельзя прикасаться к контактным проводам руками, головой, одеждой или каким-либо предметом. Запрещается брать кабель руками без средств защиты (резиновых электротехнических перчаток).

Запрещается входить в нерабочие, временно остановленные, заброшенные выработки. Запрещающим знаком входа служит знак из сбитых крест-накрест досок, установленный поперек выработки, или специальный аншлаг: «ПОМНИ: пребывание в непроветриваемой выработке опасно для жизни». Нельзя останавливаться и задерживаться в местах с неисправной крепью. Запрещается проходить около люков в момент выпуска руды. При передвижении по неосвещенным горизонтальным выработкам с испорченной лампой необходимо руководствоваться рельсовыми путями, направлением вентиляционной струи воздуха (двигаться навстречу свежей струе) или течением воды в водоотливной канавке (идти по течению воды).

Поднимаясь по лестницам в восстающих выработках, тщательно проверяйте прочность стремянок (ступенек). Пока нога не ступит на лестничный полок, необходимо крепко держаться за стремянки. Между лестничными полками одного пролета разрешается подниматься одному человеку.

При передвижении в вертикальных и наклонных выработках необходимо следить за исправностью лестниц и полков, в случае обнаружения неисправности сообщить об этом лицам технического надзора.

2.3. Передвижение по горным выработкам с маркшейдерскими инструментами

Все маркшейдерские приборы и инструменты должны быть приспособлены для переноски их по горным выработкам. Измерительные приборы и принадлежности к ним надежно закрепляются в ящиках, закрывающихся на ключ. Ящики и штативы к измерительным приборам для переноски их на спине или плече должны быть снабжены специальными ремнями. Ножки штатива при переноске должны быть скреплены ремнем.

Мелкий инструмент (рулетки, отвесы и пр.) укладывается в специальную сумку для предотвращения выпадения при передвижении по восстающим. При спуске в шахту инструменты ставят на пол у боковой стенки клети, штативы и нивелирные рейки держат вертикально в руках. Ни один из предметов, уложенных на пол клети, не должен выступать за ее пределы. По горизонтальным выработкам следует передвигаться друг за другом. Во

избежание задевания контактного провода и кровли выработки штативы и нивелирные рейки переносятся на руках в горизонтальном положении.

При спуске и подъеме инструментов и оборудования по лестничному отделению вертикальной или наклонной выработки следует соблюдать осторожность, чтобы не уронить какие-либо предметы на ниженаходящихся товарищей. Интервал передвижения по ходовому отделению – один лестничный пролет.

2.4. Меры безопасности при выполнении соединительных съемок

Работы при выполнении соединительных съемок производятся в стволе шахты или в непосредственной близости от него.

Приступая к соединительным съемкам, руководитель работ должен объявить через технический надзор шахты о начале и конце работы и категорически запретить находиться в околоствольном дворе и надшахтном здании всем лицам, не участвующим в выполнении этой работы. Предупреждение должно быть сделано через Книгу распоряжений по шахте в установленном порядке.

Всем участвующим в выполнении работы должно быть разъяснено:

а) работающим на поверхности – о необходимости осторожно работать над стволом шахты, не допуская падения в ствол различных предметов (щепок, кусков породы, гвоздей, инструментов и т. д.);

б) работающим в шахте – о недопустимости приближения к стволу шахты без разрешения руководителя и нахождения возле ствола, когда этого не требуется.

Ствол шахты на земной поверхности и на каждом ориентируемом промежуточном горизонте должен быть перекрыт предохранительным полком из достаточно прочного материала (металл, дерево) на все время работ, включая время спуска и подъема отвесов. Приступая к спуску отвесов, руководитель работ на поверхности должен предупредить об этом руководителя работ в шахте и получить его подтверждение о приеме предупреждения.

Спуск и обратный подъем отвесов на металлической проволоке должны производиться с малой нагрузкой, не превышающей 5 кгс.

Руководитель должен лично проверить надежность закрепления грузов на проволоке.

Отверстия для спуска отвесов через временные перекрытия ствола шахты должны иметь диаметр 15-20 см.

Спуск и подъем отвесов производятся равномерно со скоростью не более 1 м/с с небольшими остановками через каждые 50 м для успокоения качания.

Руководитель работ на поверхности должен лично просмотреть всю проволоку и пропустить ее при спуске «через руку».

При спуске и подъеме отвесов никто не должен находиться вблизи ствола шахты.

Приступая к работе в стволе, руководитель работ на ориентируемом горизонте обязан предупредить об этом руководителя на поверхности. При производстве соединительных съемок должна быть обеспечена телефонная связь ориентируемого горизонта с поверхностью.

2.5. Краткие сведения о ядовитых газах

Угарный газ (оксид углерода, CO) – это газ без цвета и запаха, немного легче воздуха, относительная плотность 0,97. Отравляющее действие окиси углерода объясняется тем, что этот газ во много раз быстрее, чем кислород, соединяется с гемоглобином крови. Содержание окиси углерода в воздухе в количестве свыше 0,0017 % по объему опасно для жизни. Если где-либо произошло загорание, в процессе которого выделяется окись углерода, узнать об этом можно по дыму или запаху гари. При необходимости прохождения по выработкам, заполненным продуктами горения, обязательно пользование самоспасателем и выход на свежую струю.

Окислы азота образуются при взрывных работах и работе машин с двигателями внутреннего сгорания. Вступая в реакцию с влагой, окислы азота образуют азотную кислоту, пары которой сильно раздражают слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. Содержание окислов азота в воздухе в количестве более 0,00026 % по объему в пересчете на NO_2 опасно для жизни. В забой входить после взрывных работ можно только после тщательного проветривания выработки и после истечения времени, предусмотренного графиком проветривания.

Углекислый газ (диоксид углерода, CO_2) – это бесцветный газ со слабокислым вкусом и запахом, относительная плотность 1,52, поэтому он скапливается внизу выработок. Образуется при гниении дерева, дыхании людей, взрывных работах и пожарах. Допустимое содержание углекислого газа на рабочих местах 0,5 %.

Фильтрующие самоспасатели пригодны только для защиты от окиси углерода. Самоспасатель не может быть использован при содержании в шахтном воздухе менее 17 % кислорода.

2.6. Сведения из Правил техники безопасности при производстве взрывных работ

При производстве взрывных работ в подземных горных выработках обязательно применение звуковых сигналов. Запрещается подача сигналов голосом. Сигналы должны быть хорошо слышны.

Звуковые сигналы подаются взрывником, а при одновременной работе нескольких взрывников – руководителем взрывных работ в следующем порядке:

первый сигнал – предупредительный (один продолжительный). Все люди, не занятые заряжанием и взрыванием, должны удалиться за пределы опасной зоны или в безопасное место, заранее указанное ответственным за ведение взрывных работ, а у мест возможного входа в опасную зону должны быть выставлены посты охраны;

второй сигнал – боевой (два продолжительных). По этому сигналу взрывники зажигают огнепроводные шнуры и удаляются в укрытия, а при электрическом взрывании включают ток;

третий сигнал – отбой (три коротких) – подается после окончания взрывных работ.

Допуск к месту взрыва разрешается лицом технадзора, осуществляющим непосредственное руководство взрывными работами, после принудительного проветривания.

2.7. Меры безопасности при авариях в шахте. Самоспасание

Сигналом аварии служит появление запаха тухлой капусты из труб сжатого воздуха (запах этилмеркаптана) или пятикратное включение-отключение света. При сигнале «авария» все должны

немедленно оставить работу и уходить согласно плану ликвидации аварий. При возникновении аварии соблюдайте спокойствие и действуйте по указанию лиц горного надзора. Если лиц горного надзора нет, нужно узнать по телефону или громкоговорящей связи о месте и характере аварии и выходить на поверхность в соответствии с планом ликвидации аварий.

Во всех случаях прорыва воды в выработки необходимо быстро перекрыть водоупорные перемычки, подняться на вышележащий горизонт и по запасным выходам выйти на поверхность. При возникновении пожара необходимо использовать самоспасатель. Для этого вскройте самоспасатель, возьмите мундштук в рот и выходите на свежую струю воздуха. Не бегите, а идите быстро и ровно, дышите ртом через самоспасатель.

Если самоспасатель и вдыхаемый вами воздух нагревается, – это значит, что самоспасатель работает исправно. Ни при каких обстоятельствах не выбрасывайте мундштук изо рта и не снимайте носового зажима до тех пор, пока не выйдете на свежий воздух. Берегите самоспасатель и не вскрывайте его без надобности. Самоспасатель без пломбы, с надорванной лентой или пробитым корпусом непригоден для пользования, и его нужно своевременно обменять на исправный.

2.8. Оказание первой помощи при поражении электрическим током

Быстро освободить пострадавшего от источника тока, оказать ему первую помощь, немедленно вызвать врача. При освобождении пострадавшего от тока следует принять все меры личной предосторожности. Лучше всего в этом случае отключить напряжение. Если этого сделать нельзя, надо освободить пострадавшего от проводника тока. В электрических установках до 1 кВ для отделения пострадавшего от земли или токоведущих материалов следует пользоваться сухой одеждой, пеньковым канатом, палкой, доской или каким-нибудь другим сухим непроводником, действуя по возможности одной правой рукой. При высоком напряжении для отделения пострадавшего от земли или от токоведущих частей следует надеть резиновые боты, перчатки. При напряжении до 6 кВ, если пострадавший касается одного полюса или одной фазы (ток идет через тело в землю), можно под-

ложить под ноги пострадавшему сухую доску или другое изолирующее приспособление.

На линиях электропередачи, когда освобождение пострадавшего одним из указанных способов не может быть осуществлено быстро и безопасно, необходимо прибегнуть к замыканию накоротко (например, набросом проволоки) всех проводов линии и к надежному заземлению их. Набрасываемая проволока не должна касаться тела пострадавшего. Кроме того: а) если пострадавший на высоте, то надо обезопасить его от падения; б) если пострадавшего касается один провод, то достаточно заземлить этот провод; в) осуществляя заземление или закорачивание, необходимо применяемый для этого провод сначала соединить с землей, а затем набросить его на провода, подлежащие отключению; г) необходимо также помнить, что и по отключении линии бронированного кабеля на нем может сохраниться опасный для жизни заряд, для снятия которого каждая жила кабеля должна быть соединена с землей в течение минуты (до полного разряда). При прикосновении заземленной штанги к жилам кабеля не должна проскакивать искра.

2.9. Самопомощь, взаимопомощь пострадавшим и способы искусственного дыхания

Легко пострадавшие при авариях люди должны сами оказать себе доврачебную помощь, используя для этого индивидуальный пакет и аптечку. Тяжело пострадавшим доврачебную помощь должны оказать работающие рядом люди. Все подземные рабочие должны иметь при себе индивидуальные перевязочные пакеты в прочной водонепроницаемой оболочке.

При обмороке и потере сознания пострадавшему необходимо расстегнуть воротник одежды, ослабить пояс и уложить так, чтобы его ноги были выше головы.

В случае сотрясения мозга пострадавшего укладывают так, чтобы его голова была приподнята, и, обеспечивая полный покой, кладут на лоб смоченное холодной водой полотенце. Признаки сотрясения мозга: потеря сознания, а после его восстановления головокружение, тошнота, рвота. Транспортировать пострадавшего нельзя до тех пор, пока он не придет в сознание.

При шоке наблюдается тяжелое общее состояние, безучастный вид пострадавшего, бледность, снижение температуры тела (иногда до 34,5°).

Пострадавшего освобождают от стесняющей одежды и укладывают так, чтобы его ноги были выше головы, и согревают все тело. До выведения из состояния шока пострадавшего транспортировать нельзя.

При ушибах пострадавшему создают покой и на ушибленное место накладывают холодные компрессы и давящие повязки.

При вывихах необходимо придать поврежденной конечности наиболее удобное положение и наложить повязку. Вправление вывихнутого сустава производит хирург.

В случае перелома к поврежденной конечности необходимо прибинтовать шину, а если перелом открытый, то на него предварительно надо наложить стерильную повязку.

Искусственное дыхание необходимо производить во всех случаях ослабленного или едва заметного дыхания человека, при потере сознания или мнимой смерти. Если появились судороги, то искусственное дыхание производить нельзя.

Искусственное дыхание производится с помощью оживляющих аппаратов («Горноспасатель – 8» и др.), а при их отсутствии – способом «рот в рот» с одновременным непрямым массажем сердца. Способ искусственного дыхания «рот в рот» заключается в том, что оказывающий помощь делает выдох из своих легких в легкие пострадавшего через специальное приспособление или непосредственно в рот или нос пострадавшего.

Приспособление состоит из двух отрезков резиновой или гибкой пластмассовой трубки диаметром 8-12 мм, длиной 60-100 мм, натянутых на металлическую или твердую пластмассовую трубку длиной 40 мм, и овального фланца, вырезанного из плотной резины.

Прежде чем приступить к искусственному дыханию, необходимо пострадавшего положить на спину, быстро, не теряя ни секунды, освободить его от стесняющей одежды – расстегнуть во-рот, брюки и т. п.; освободить рот от слизи; если рот крепко стиснут, раскрыть его путем выдвижения нижней челюсти.

Для предотвращения западания языка и закрывания дыхательного пути необходимо запрокинуть голову пострадавшего назад так, чтобы подбородок оказался на одной линии с шеей.

Пострадавшему следует вложить в рот трубку (приспособление) длинным концом, следя за тем, чтобы она попала в дыхательное горло, а не в пищевод. Затем, встав на колени над головой пострадавшего, следует плотно пристегнуть к его губам фланец, а большими пальцами обеих рук зажать пострадавшему нос, после чего оказывающий помощь делает в трубку выдохи со скоростью 10-12 выдохов в минуту (каждые 5-6 с). При этом после каждого вдувания должны освобождаться нос и рот пострадавшего (при этом не вынимать изо рта трубки).

При отсутствии приспособления (трубки) следует, проделав все необходимые подготовительные операции, делать выдох в рот пострадавшему. Вдувание воздуха можно производить через марлю, салфетку или носовой платок.

При отсутствии у пострадавшего пульса необходимо одновременно с искусственным дыханием проводить наружный массаж сердца путем ритмичных (60-70 раз в минуту) нажатий на переднюю стенку грудной клетки.

Производить искусственное дыхание пострадавшему надо до тех пор, пока у него не восстановится самостоятельное правильное дыхание (искусственное дыхание иногда производится в течение 4-5 час.) или не появятся признаки явной биологической (действительной) смерти, устанавливаемой врачом.

3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Перед началом полевых работ производится осмотр и поверка всего оборудования и инструментов. Каждая бригада делает поверки закрепленных за нею теодолитов, нивелиров, выполняет компарирование и определение стрелы провеса рулеток.

Под руководством преподавателя производится осмотр и подготовка оборудования, предназначенного для ориентирно-соединительных съемок.

3.1. Поверки теодолитов

Перед началом измерения углов необходимо провести поверки теодолита. Теодолит должен удовлетворять следующим основным условиям:

1. Вращение подъемных винтов подставки должно быть плавным, с отсутствием торможения и раскачки.

2. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга (*UU*) должна быть перпендикулярной к оси вращения (*ZZ*) прибора (рис. 3.1).

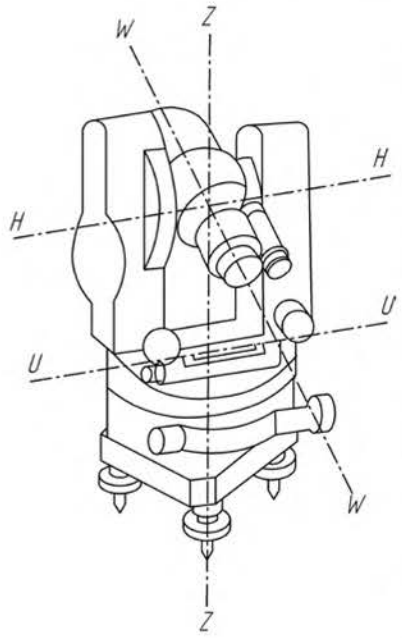


Рис. 3.1. Основные оси теодолита

3. Вертикальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения зрительной трубы. Допускается отклонение от вертикали на три толщины штриха для теодолитов класса Т2, Т5.

4. Визирная ось зрительной трубы (*WW*) должна быть перпендикулярной к горизонтальной оси (*HH*) теодолита (поверка коллимационной ошибки), (см. рис. 3.1).

Значение коллимационной ошибки (*C*) определяется по двум визирным целям, расположенным на горизонте стояния инструмента на расстояниях до 10 м и более 150 м. С целью исключения грубых погрешностей коллимационная ошибка для каждой цели определяется дважды.

Величина *C* рассчитывается по формуле

$$C = \frac{КЛ - КП}{2},$$

где КЛ и КП – отсчеты по горизонтальному кругу теодолита при положении вертикального круга слева и справа при наведении на одну и ту же цель.

Средние значения *C*, определенные для точек, расположенных на различных расстояниях, должны совпадать (в пределах тройной средней квадратической погрешности измерения угла поверяемым теодолитом). Значение СКП указывается в паспорте прибора.

Абсолютная величина *C* не имеет значения, так как не влияет на точность угловых измерений по методике полного приема, важно, чтобы при дальнейших измерениях она была близка (в пределах тройной СКП) к значению, полученному при поверке.

5. Визирная ось оптического отвеса должна совпадать с вертикальной осью инструмента (допустимое несовпадение составляет 2 мм).

Поверка оптического центрира выполняется при наблюдении центра в процессе вращения прибора после его горизонтирования и центрирования. Юстировка в полевых условиях не выполняется.

6. При горизонтальном положении трубы верхний центр должен совпадать с вертикальной осью инструмента.

Проверка правильности расположения верхнего центра на визирном целике трубы выполняется после горизонтирования прибора и его центрирования под точкой, находящейся в кровле выработки. Отклонение центра прибора относительно положения нитяного отвеса не должно превышать 2 мм.

Перечисленные поверки являются основными и обязательными.

3.2. Поверки нивелиров

Геометрическое нивелирование основано на визировании горизонтальным лучом. Для установки визирного луча в горизонтальное положение нивелиры должны удовлетворять следующим условиям (рис. 3.2):

1. Ось установочного круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения инструмента.

2. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора.

3. У нивелира с уровнем при зрительной трубе ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

Значение угла i вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(l'_1 - l'_2) - (l_1 - l_2)]\rho''}{S_{1,2} - S_{2,3}} = \frac{h' - h}{S_{1,2} - S_{2,3}}\rho'',$$

где $S_{1,2}$ – расстояние между точками 1 и 2; $S_{2,3}$ – расстояние между точками 3 и 2.

С целью уменьшения возможного искажения результатов измерений за счет неправильного хода фокусирующей линзы расстояние от точки 2 до точки 3 должно быть не менее 6 м.

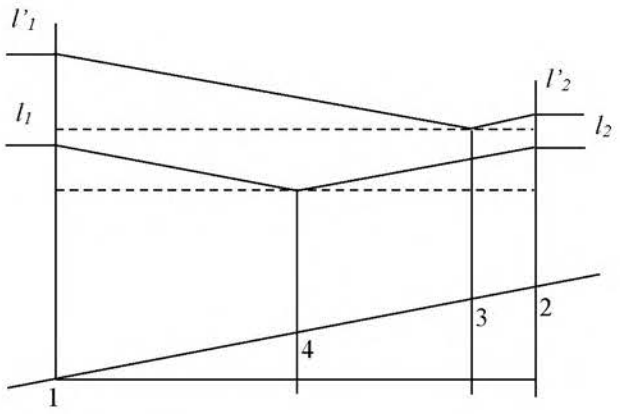


Рис. 3.2. Взаимное расположение нивелира и реек при определении угла *i*

4. У нивелира с компенсатором линия визирования должна быть горизонтальной при наклонах оси вращения инструмента в пределах работы компенсатора.

3.3. Поверки рулеток

Измерение длин сторон подземных полигонометрических ходов в опорных и съемочных сетях производится компарированными стальными рулетками.

3.3.1. *Компарирование рулетки*

Под компарированием понимают определение истинной длины рулетки на специальном приборе – компараторе.

Подробное изучение процесса компарирования рулеток со студентами проводится в период лабораторных работ [1]. Каждая бригада студентов компарирует рулетку длиной 50 м и выполняет камеральную обработку результатов компарирования с вычислением поправки за компарирование. Данный вид работ в период практики не проводится.

3.3.2. *Определение стрелы провеса рулетки*

При измерении длины рулеткой на весу неизбежен ее провес, поэтому в результат измерения следует вводить поправку за провес. Для этого необходимо определить опытным путем значение стрелы провеса рулетки.

На равнинном участке забивается два кола или устанавливается два штатива, расстояние между которыми равняется длине рулетки. Колья устанавливаются на одном уровне по лучу нивелира (рис. 3.3). С помощью динамометра рулетка натягивается между кольями с усилием 10 кгс.

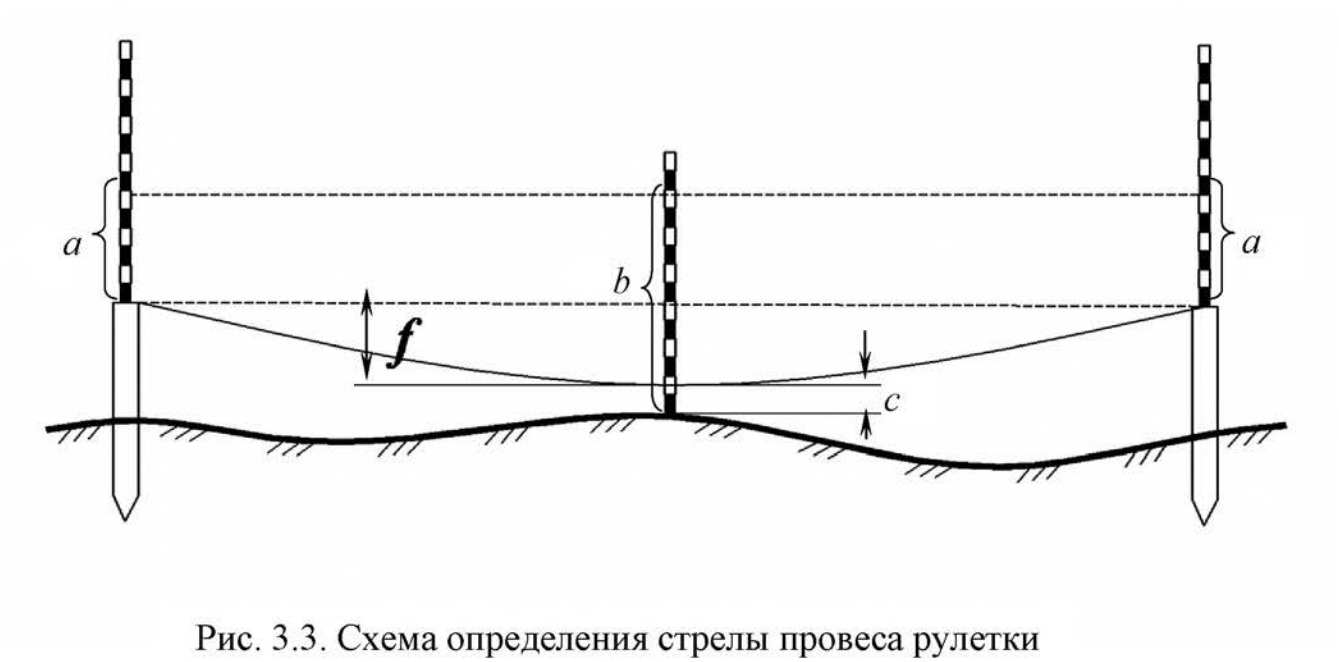


Рис. 3.3. Схема определения стрелы провеса рулетки

По нивелирной рейке, установленной поочередно на кольях и в середине рулетки, с помощью нивелира берутся отсчеты a, b и визуально – c. Стрела провеса определяется по формуле

$$f = b - a - c.$$

Для контроля определение стрелы провеса рулетки делается повторно и после интенсивной работы в шахте или на поверхности.

4. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

4.1. Основные положении

Главной геометрической основой для выполнения съемок на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия и в подземных горных выработках являются маркшейдерские опорные геодезические сети. В качестве исходных пунктов для построения маркшейдерской опорной геодезической сети служат пункты государственной геодезической сети 1-го, 2-го, 3-го и 4-го классов и сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов.

Маркшейдерские опорные сети на земной поверхности создаются методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов, нивелирования III и IV классов в соответствии с установленными требованиями [3].

В программе практики предусмотрено создание опорных сетей на территории шахты в виде замкнутого полигона 1-го разряда: предельная относительная невязка хода $f_{доп} \leq 1{:}10000$, допустимая угловая невязка, c, $f_\beta \leq 10\sqrt{n}$, где n – число углов в ходе.

4.2. Опорные сети 1-го разряда. Полевые работы

4.2.1. *Рекогносцировка и закладка пунктов*

Перед началом полевых работ по созданию опорных маркшейдерских сетей на территории шахты проводится рекогносцировка. В результате рекогносцировки выбирается схема замкнутого полигона, места закладки пунктов и составляются абрисы привязки пунктов к местным предметам. Схема опорных сетей на территории шахты «Южная» Березовского РУ представлена на рис. 4.1.

Ввиду кратковременного использования пунктов (на период практики в течение 4-х недель) они закрепляются реперами забивного типа (отрезками арматуры). На каждом репере наносится керн и рядом с ним устанавливается сторожок с указанием номера пункта.

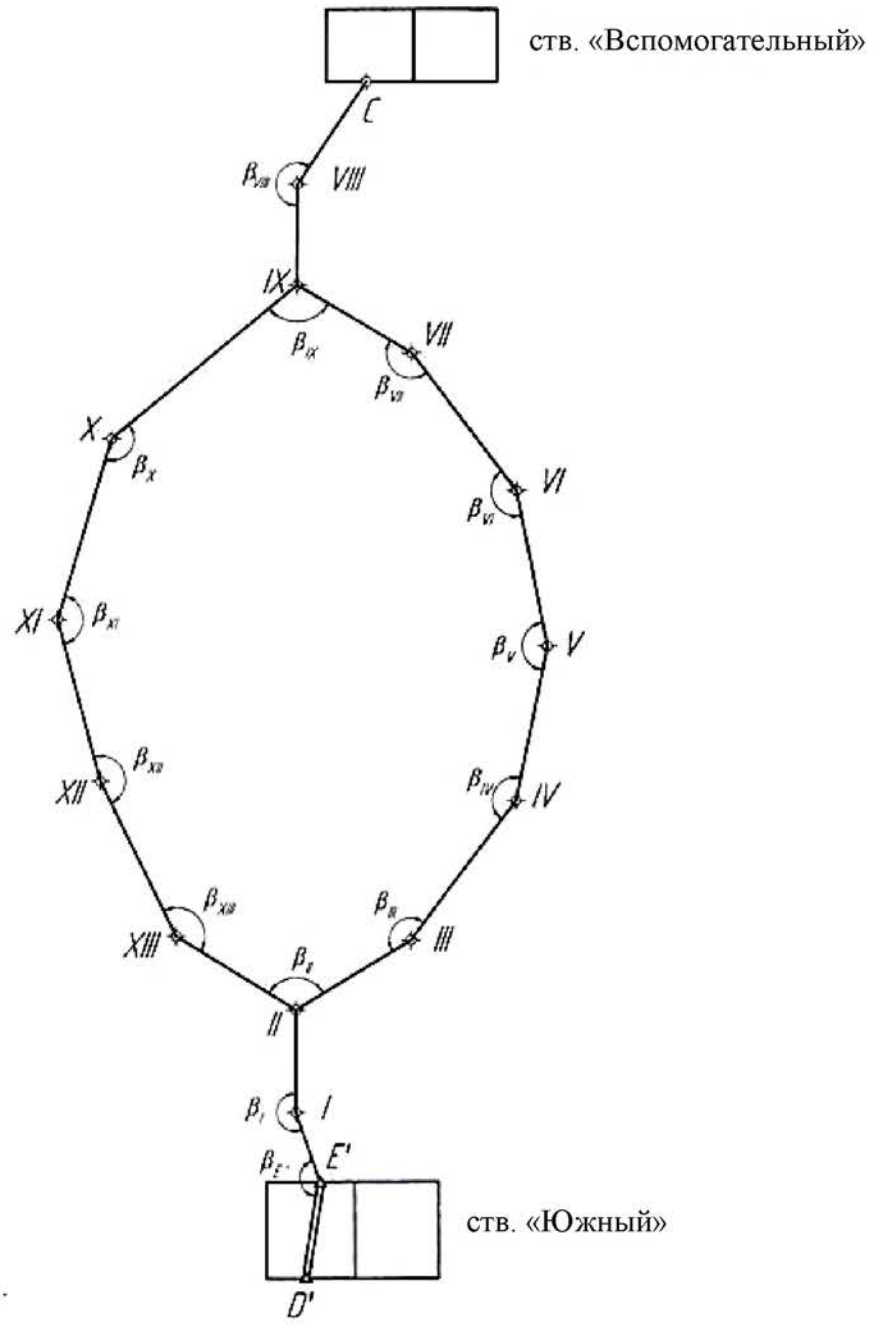


Рис. 4.1. Схема полигона опорных сетей 1-го разряда на поверхности шахты «Южная»

4.2.2. *Измерение горизонтальных углов*

Измерение горизонтальных углов производится теодолитом или электронным тахеометром способом приемов (при наблюдении двух направлений) и способом круговых приемов (при наблюдении более двух направлений). Число приемов – 2, расхождение между результатами наблюдений на начальное и промежуточные направления в приемах не должно превышать $\pm 10''$.

Таблица 4.1

Формуляр журнала угловых и линейных измерений

Номера точек стояния		Отсчеты по теодолиту							Номера точек пролетов	Отсчеты по рулетке, м						Номера точек пролетов	Абрисы, примечания
		горизонтальный круг				вертикальный круг				ход «прямо»			ход «обратно»				
ин-стру-мента	визир. цели	КЛ/КП	2С	(КЛ+КП±180)/2	направления или углы	КЛ/КП	2МО	углы		П	З	П-З	П	З	П-З		
		° ′ ″		° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″									
X	IX	0°06'54"	+6"	0°06'51"													
		180°06'48"			126°22'03"				IX-X_1	47573	100	47473	47593	120	47473	IX-X_1	
	XI	126°28'54"	0	126°28'54"						47572	100	47472	47595	120	47475		
		306°28'54"															
X	IX	60°20'54"	+6"	60°20'51"													
		240°20'48"			126°22'03"					47573	100	47473	47595	120	47475		
	XI	186°42'54"	0	186°42'54"							ср	47473		ср	47474		
		6°42'54"							X_1-X_2	38795	100	38695	38815	120	38695	X_1-X_2	
X	IX	120°15'06"	+6"	120°15'03"						38793	100	38693	38817	120	38697		
		300°15'00"															
	XI	246°37'06"	0	246°37'06"													
		66°37'06"			126°22'03"					38793	100	38693	38815	120	38695		
											ср	38694		ср	38696		
					ср. 126°22'03"				X_2-X	23685	100	23585	23703	120	23583	X_2-X	
										23680	100	23580	23700	120	23580		
										23681	100	23581	23700	120	23580		
			0	60°24'00"									1				
					182°37'30"					23680	100	23580	23700	120	23580		
			0	243°01'30"							ср	23580		ср	23580		
					20°14'24"							$\Sigma_{ср}$	109747				

Линейная ошибка центрирования не должна превышать ± 1 мм.

Результаты измерений записываются в полевой журнал (табл. 4.1).

4.2.3. *Измерение длин*

Измерение длин сторон полигонов в условиях учебной маркшейдерской практики производится стальными компарированными рулетками и электронным тахеометром.

Измерение длин стальными рулетками выполняется при постоянном натяжении рулетки, равном натяжению при компарировании (10 кгс).

В случае когда длина сторон хода больше длины рулетки, выставляются промежуточные точки (x_1, x_2… x_n), т. е. сторона разбивается на интервалы. Провешивание промежуточных точек (установка их в створе) осуществляется теодолитом. Длины интервалов должны быть примерно равными и несколько меньше длины рулетки.

Отсчеты по рулетке берутся с точностью до 1 мм по переднему (П) и заднему (З) концам рулетки. Длина стороны (интервала) определяется вычитанием значений переднего и заднего отсчетов (П - З). Каждая длина (интервал) стороны измеряется трижды. Разница между тремя измерениями одной длины (интервала) стороны не должна превышать 2 – 5 мм ($f_{отн} \leq 1 : 10000$).

Для определения горизонтальных проложений сторон (интервалов) хода определяют превышения между пунктами сторон хода. Превышения определяются геометрическим нивелированием.

Горизонтальные проложения сторон (интервалов) хода вычисляются:

$$d = l - \frac{h^2}{2l},$$

где d – горизонтальное проложение, м; l – наклонное (измеренное) расстояние, м; h – превышение между точками измеренной длины (интервала) стороны хода, м. Результаты измерений записываются в журнал (см. табл. 4.1).

Измерение длин электронными тахеометрами проводят в одном направлении (при одной установке прибора и отражателя) по трехштативной системе. Программу измерений устанавливают для каждого типа тахеометра в соответствии с его точностью и требованиями к линейным измерениям опорных сетей 1-го разряда.

Температуру и атмосферное давление измеряют один раз для каждой линии в точке установки прибора.

Результаты измерения записываются в полевой журнал (см. табл. 4.1).

4.3. Опорные сети 1-го разряда. Камеральная обработка результатов измерений

Конечной целью камеральной обработки результатов полевых работ является получение плановых координат пунктов полигона опорных сетей на земной поверхности.

4.3.1. *Обработка длин сторон*

В длину, измеренную металлической рулеткой, вводятся следующие поправки (табл. 4.2):

а) за компарирование рулетки $\Delta\, l_к$, мм (из ведомости обработки компарирования);

б) за разность температур при измерении и компарировании рулетки, мм:

$$\Delta\, l_t = \alpha\, l\, (t - 20°),$$

где l – длина измеренной стороны (интервала), м; t – температура измерения, °С; 20 °С – температура, к которой приведена длина рулетки при ее компарировании; $\alpha = 1{,}15 \cdot 10^{-5}$ – коэффициент линейного температурного расширения металла, из которого сделана рулетка;

в) за наклон измеренного интервала, мм:

$$\Delta l_h = -\frac{h^2}{2l},$$

где h – превышение одного конца интервала над другим, м;

г) за провес рулетки, мм:

$$\Delta l_f = -\frac{8f^2}{3l},$$

в случае измерения длины частью рулетки

$$\Delta l_{f\,i} = \Delta l_f \cdot \frac{l_i^3}{l^3},$$

где Δl_f – поправка для полной длины рулетки (l); Δl_{fi} – поправка для измеренного интервала длины частью рулетки (l_i); f – стрела провеса всей рулетки, м; l, l_i – длина всей рулетки и части рулетки соответственно.

Таблица 4.2

Ведомость обработки длин

Номера интервалов	Измеренная длина, мм		Средняя длина интервала, мм	Среднее превышение, мм	$t_{ср}$, ^{0}C	Поправки, мм					Испр. длина интервала d, мм	$\Delta d_{пп}$, мм	$\Delta d_{ум}$, мм	Окончат. длина интервала, мм
	прямой ход	обратный ход				$\Delta l_к$	Δl_t	Δl_h	Δl_f	$\sum\Delta l$				
V-1	20341	20342	20342	70	26	-1,4	+1,4	-0,1	-0,8	-0,9	20341			
1-2	23152	23151	23152	583	26	-1,8	+1,6	-7,3	-1,3	-8,8	23143			
. . .														
5-VI	19682	19682	19682	240	25	-1,3	+1,4	-1,5	-0,7	-2,1	19680			
											145987	+6	-6	145987

Вычислил: _____

Проверил:_____

Дата: "_____"_____20 г.

После введения перечисленных поправок в измеренные длины (интервалы) подсчитывается общая исправленная длина стороны хода. В эту длину вводятся поправки:

д) за приведение длин сторон на плоскость поверхности Гаусса, м:

$$\Delta d_{\text{пп}} = \frac{Y_{\text{т}}^2}{2R^2} \cdot d,$$

где $Y_{\text{т}}$ – ордината средней точки данной стороны хода, км; R – средний радиус Земли (6387 км); d – горизонтальное проложение стороны, м;

е) за приведение длин к уровню моря, м:

$$\Delta d_{\text{ум}} = -\frac{H}{R} d = -0{,}000156 H \cdot d,$$

где H – средняя абсолютная отметка стороны, км; H = 0,260 км.

Поправки $\Delta d_{\text{пп}}$ и $\Delta d_{\text{ум}}$ вводятся, если их сумма превышает 1:15000 длины измеренной линии (d).

4.3.2. *Вычисление координат пунктов полигонометрического хода*

Перед вычислением координат пунктов проводится тщательная проверка вычисленных средних значений углов и длин. Средние значения измеренных углов и обработанных длин сторон записываются в ведомости вычисления координат (табл. 4.3).

Требуется определить координаты пунктов (II, III, IV, V, VI, VII, IX, X, XI, XII, XIII) и примычных точек (I, VIII, С – рис. 4.2).

Методика вычислений (см. табл. 4.3):

1) рассчитывают угловую невязку замкнутого полигона (см. рис. 4.2):

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}},$$

где f_β – угловая невязка; $\sum \beta_{\text{изм}}$ – сумма измеренных углов (внутренних или внешних) в замкнутом полигоне; $\sum \beta_{\text{теор}}$ – теоретическая сумма углов многоугольника:

$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n-2)$ – внутренних углов; $\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n+2)$ – внешних углов; $f_\beta = 1620°00'27'' - 1620° = 27''$;

Таблица 4.3

Ведомость вычисления координат опорных сетей 1-го разряда на поверхности шахты «Южная»

Точки		Горизонт. пролож., м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы			Приращения, м		Координаты, м		Номер пункта
стоя-ния	наблю-дения		измеренные	исправленные	°	′	′′	ΔY	ΔX	Y	X	
D '	E'				269° 10′10					48050,952	9704,279	E'
E '	D '											
	I	29,116	179°03′13′′	179° 03′13′′	268°13′23′′			-29,102	-0,903	48021,850	9703,376	I
I	E'											
	II	86,093	176°37′29′′	176° 37′29′′	264°50′52′′			-85,745	-7,731	47936,105	9695,645	II
II	I											
	III	130,724	200°03′36′′	200°03′36′′	284°54′28′′			+4 -126,324	33,631	47809,785	9729,276	III
III	II		-2									
	IV	103,352	205°20′40′′	205° 20′38′′	310°15′06′′			+3 -78,880	66,780	47730,908	9796,056	IV
IV	III		-2									
	V	118,818	161°05′44′′	161° 05′42′′	291°20′48′′			+4 -110,666	-1 43,251	47620,446	9839,306	V
V	IV		-3									
	VI	124,889	137°03′10′′	137°03′07′′	248°23′55′′			+4 -116,118	-1 -45,977	47504,132	9793,328	VI
VI	V		-2									
	VII	74,100	188°01′50′′	188°01′48′′	256°25′43′′			+2 -72,031	-17,388	47432,103	9775,940	VII
VII	VI		-3									
	IX	58,331	162°47′04′′	162°47′01′′	239°12′44′′			+2 -50,110	-29,857	47381,995	9746,083	IX

Продолжение табл. 4.3

Точки		Горизонт. пролож., м	Горизонтальные углы		Дирекционные углы			Приращения, м		Координаты, м		Номер пункта
стояния	наблюдения		измеренные	исправленные	°	′	″	ΔY	ΔX	Y	X	
IX	VII		-2					+2				
	X	65,088	25°41′02″	25°41′00″		84°53′44″		64,830	5,791	47446,827	9751,874	X
X	IX		-2					+6	-1			
	XI	181,722	157°13′30″	157°13′28″		62°07′12″		160,629	84,977	47607,462	9836,850	XI
XI	X		-3					+5	-1			
	XII	147,727	247°03′29″	247°03′26″		129°10′38″		114,517	-93,322	47721,984	9743,527	XII
XII	XI		-2					+4	-1			
	XIII	112,892	161°34′17″	161°34′15″		110°44′53″		105,571	-39,993	47827,559	9703,533	XIII
XIII	XII		-3					+3	1			
	II	108,829	163°24′33″	163°24′30″		94°09′23″		108,543	-7,888	47936,105	9695,645	II
IX	VII									47432,103	9775,940	VII
	VIII	44,408	198°50′33″	198°50′33″		258°03′17″		-43,446	-9,191	47338,549	9736,892	VIII
VIII	IX											
	C	24,772	211°42′47″	211°42′47″		289°46′04″		-23,312	8,378	47315,237	9745,270	C

$f_y = -39$ мм; $f_x = 5$ мм; $f_{abc} = 39$ мм;

$$f_{\text{отн}} = \frac{39}{1226472} = \frac{1}{31448} < \frac{1}{10000}.$$

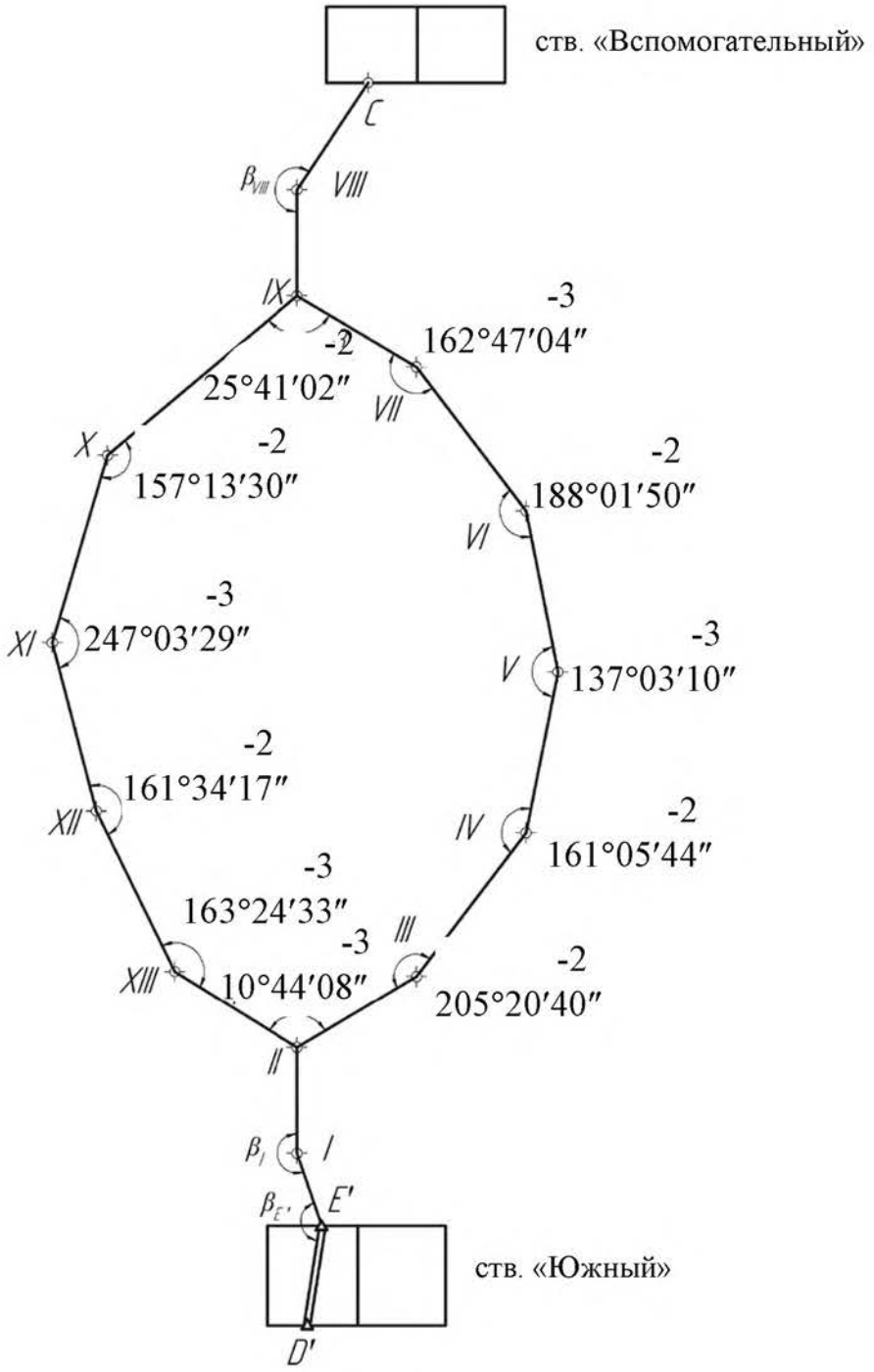


Рис. 4.2. Схема полигонов

$f_{\beta,\text{доп}} \le 10\sqrt{n} = 10\sqrt{11} = 33''$, где n – число углов в ходе;

2) при соблюдении условия $f_\beta \le f_{\beta,\text{доп}}$ угловая невязка f_β распределяется во все углы полигона поровну с обратным знаком (см. табл. 4.3) и записываются исправленные углы;

3) после распределения угловой невязки, решая прямую геодезическую задачу, рассчитывают дирекционные углы всех сторон полигона и приращение координат пунктов полигона:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \beta_\text{л} - 180^0;\ \alpha_{i+1} = \alpha_i - \beta_\text{п} + 180^0;$$

$$\Delta Y = d_i \cdot \sin\alpha_i;\ \Delta X = d_i \cdot \cos\alpha_i,$$

где α_{i+1}, α_i – дирекционные углы исходной и искомой сторон соответственно; $\beta_\text{л}, \beta_\text{п}$ – измеренные горизонтальные углы и правые по ходу расчета соответственно; f_y, f_x – линейная невязка по Y и X соответственно; $\Delta Y, \Delta X$ – приращение координат, м; d_i – горизонтальное проложение сторон, м;

4) вычисляют линейные невязки и относительную погрешность замкнутого полигона:

$$f_\text{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2};\ f_\text{отн} = \frac{f_\text{абс}}{P};\ f_\text{отн} \le f_\text{доп} \le \frac{1}{10000},$$

где $f_\text{абс}, f_\text{отн}, f_\text{доп}$ – абсолютная, относительная и предельная относительная невязки хода соответственно; P – периметр полигона, м.

Распределение допустимых линейных невязок производится пропорционально длинам сторон с обратным знаком (см. табл. 4.3):

$$\Delta f = \frac{f_y}{P} \cdot d_i = \frac{f_x}{P} \cdot d_i$$

Исходные данные для расчета полигона:

$\alpha_{D'E'} = 269°\ 10'\ 10''+N°\ N'\ N''$ – дирекционный угол исходной стороны;

где N – номер варианта для индивидуального расчета каждого студента;

$Y_{E'} = 48050{,}952$ м; $X_{E'} = 9704{,}279$ м – координаты исходного пункта.

Пример расчета координат пунктов полигонометрического хода 1-го разряда приведен в табл. 4.3.

4.4. Высотные опорные сети

Высотные опорные сети на территории горного предприятия создаются нивелированием III и IV классов в соответствии с установленными требованиями [3]. В период учебной практики студенты выполняют нивелирование IV класса.

Нивелирование IV класса проводится в одном направлении по пунктам полигона (рис. 4.3). На каждой станции берутся отсчеты в следующей последовательности: по верхней и средней нитям по черной стороне задней рейки; по верхней и средней нитям по черной стороне передней рейки; по средней нити по красной стороне передней рейки; по средней нити по красной стороне задней рейки. Пример записей приведен в табл. 4.4.

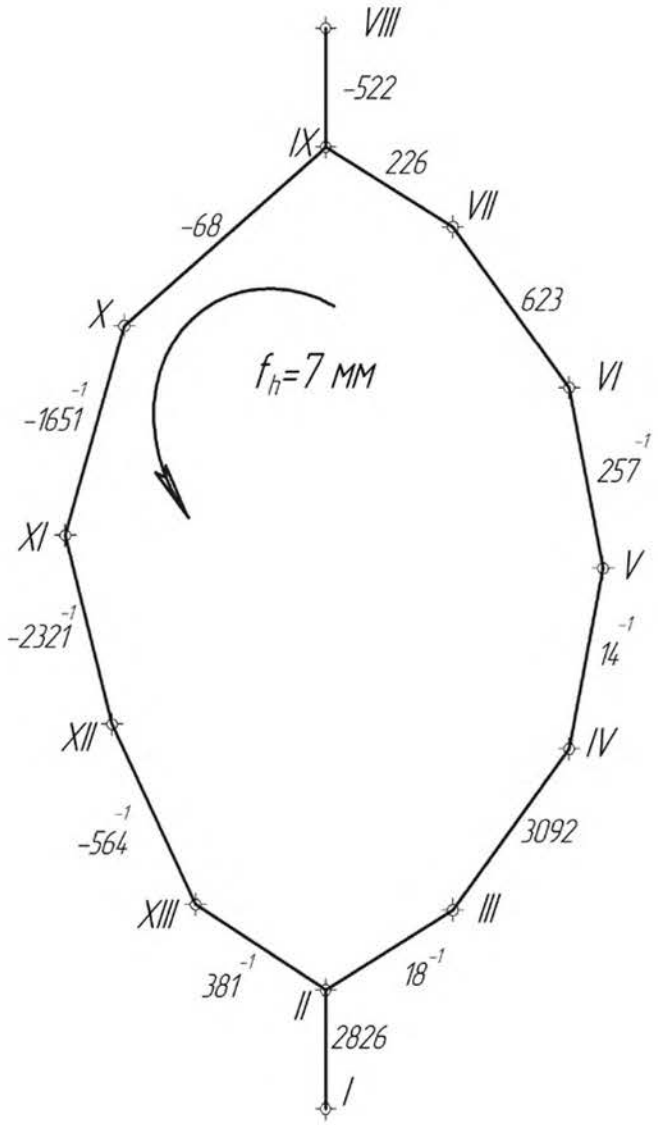


Рис. 4.3. Схема полигона.
Нивелирование IV класса, распределение высотной невязки

Таблица 4.4

Журнал нивелирования IV класса

Дата _____ Инструмент_____№_____

Наблюдатель _____ Погода _____

Номер станций	Номера пикетов	Дальномерное расстояние до задней и передней реек, м	Отсчеты по рейкам, мм		Превышение, мм	Среднее превышение, мм
			задней	передней		
1	IV-V	(7) 89,4	(1) 1809	(3) 0968		
		(8) 85,2	(2) 1362	(4) 0542	(11)+820	(13)+820
			(6) 6162	(5) 5342	(12)+820	
			(9) 4800	(10)4800	(14) 0	
2	V-VI	41,0	1800	2300		
		57,6	1595	2012	–417	–417
			6396	6812	–416	
			4801	4800	+1	
и так далее						

Примечание. Цифрами в скобках указан порядок действий.

После окончания нивелирования всего полигона определяют:

Среднее превышение:

по черной стороне (15) + 7846

по красной стороне (16) – 7863

Расхождение:

полученное (17) – 17

допустимое (18) + 22

Среднее превышение: (19) + 7854

Расхождение в превышениях на станции, определяемых по черным и красным сторонам реек, не должно превышать 5 мм.

Максимальную длину визирного луча принимают не более 150 м. Высота визирного луча над земной поверхностью должна быть не менее 0,2 м, неравенство плеч до реек не более 5 м.

Допустимая высотная невязка хода не должна превышать $20\sqrt{L}$, мм, где L – длина хода, км. При наличии более 15 штативов (станций) на 1 км хода невязка не должна превышать 5 мм $\sqrt{n}$. В нашем случае $f_{h_{\text{доп}}} = 20\sqrt{1{,}23} = 23$ мм. Допустимая высотная невязка распределяется пропорционально длинам сторон с обратным знаком:

$$\Delta f_{h_i} = -\frac{f_h \cdot l_i}{P};$$

где f_h – допустимая высотная невязка; l_i – горизонтальное проложение соответствующей стороны; P – периметр полигона. Пример распределения высотной невязки показан на рис. 4.3.

После распределения невязки вычисляют высотные отметки пунктов на поверхности (табл. 4.5):

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_i,$$

где $H_{\text{посл}}$ – последующая высотная отметка, м; $H_{\text{пред}}$ – предыдущая высотная отметка, м; h_i – превышение между пунктами, м.

Таблица 4.5

Определение высотных отметок пунктов опорной сети

Пункты	Превышения, мм	Высотные отметки, м	Высотные отметки уравненные, м	Пункты	Гор. проложения, м
E′		260,613	260,613	E′	29,074
I	-1874	258,739	258,739	I	
I		261,565	261,565	II	86
II	2826				
II	-1	261,583	261,582	III	138,988
III	18				
III	0	264,675	264,674	IV	105,486
IV	3092				
IV	-1	264,689	264,687	V	105,778
V	14				
V	-1	264,946	264,943	VI	124,466
VI	257				
VI	0	265,569	265,566	VII	74,396
VII	623				
VII	0	265,795	265,792	IX	56,93
IX	226				
IX	0	265,727	265,723	X	63,582
X	-68				
X	-1	264,076	264,071	XI	181,691
XI	-1651				
XI	-1	261,755	261,749	XII	147,684
XII	-2321				
XII	-1	261,191	261,185	XIII	112,862
XIII	-564				
XIII	-1	261,572	261,565	II	108,789
II	381				
IX		265,273	265,270	VIII	45,848
VIII	-522				

Исходные данные для индивидуального расчета высотных отметок пунктов полигона:

$$Z_{E'} = 260{,}613 + N_{\text{м}} + N_{\text{мм}},$$

где $N_{\text{м}}, N_{\text{мм}}$ – номер варианта в м и мм соответственно.

По результатам выполненных работ каждый студент представляет таблицу с вычисленными значениями превышений, высотных отметок пунктов опорной сети и горизонтальных проложений между пунктами (см. табл. 4.5).

4.5. Съемочные работы на земной поверхности

При топографической съемке территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия соблюдаются требования Инструкции по топографической съемке и Инструкции по производству маркшейдерских работ [1].

Топографическую съемку выполняют в масштабах: 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.

На топографических планах подлежат обязательному отображению действующими условными знаками все предметы местности, ситуация, объекты. Основными методами съемки являются: стереотопографический, лазерное сканирование и тахеометрический.

Для условий учебной практики съемка земной поверхности территории шахты выполняется тахеометрическим методом в масштабе 1:1000.

Съемку ведут с пунктов полигона по схеме, приведенной на рис. 4.4.

От начального направления VII–VI на выбранные пикеты 1, 2, 3 измеряются горизонтальные углы β_1, β_2, β_3, вертикальные углы и наклонные расстояния l_1, l_2, l_3. Аналогичные измерения проводятся на остальных пунктах полигона.

Измерение горизонтальных углов допускается при одном положении круга с точностью отсчитывания 1′. Во избежание грубых ошибок в конце работы на каждом пункте полигона (стоянке инструмента) рекомендуется контрольное визирование на начальное направление. Допустимое смещение не должно превышать 2′. С помощью рулетки замеряют высоту инструмента с точностью 1,0 см и записывают в журнал (табл. 4.6).

Журнал тахеометрической съемки

Таблица 4.6

Точка стояния __пункт VIII_____

Дата _____

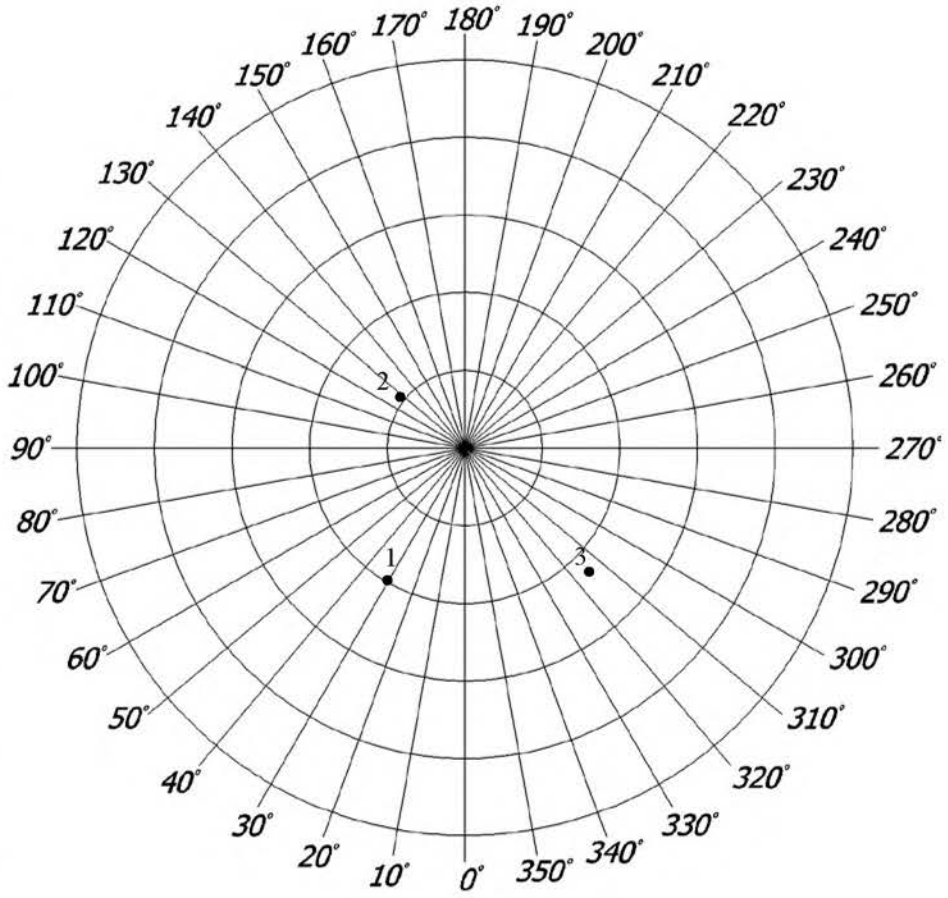
Инструмент ___Theo 015, МГ=90°, К=100_____

Исполнитель _____

Станция _____ i = _____ м v = м.

0°00′ на ст.

Точки визирования	Отсчет по дальномеру	Отсчет по горизонтальному кругу	Отсчет по вертикальному кругу	Угол наклона δ	Горизонтальное проложение d, м	Превышение, м $h=d\mathrm{tg}\delta+i-v$	Высоты точек, м	Примечания
VI		0°0′0″					265,566	
1	20,5	30°30′	90°28′	-0°28′	20,5	-0,170	265,396	
2	21,4	129°00′	91°10′	-01°10′	21,4	-0,430	265,136	
3	24,3	316°00′	89°00′	01°00′	24,3	0,420	265,986	



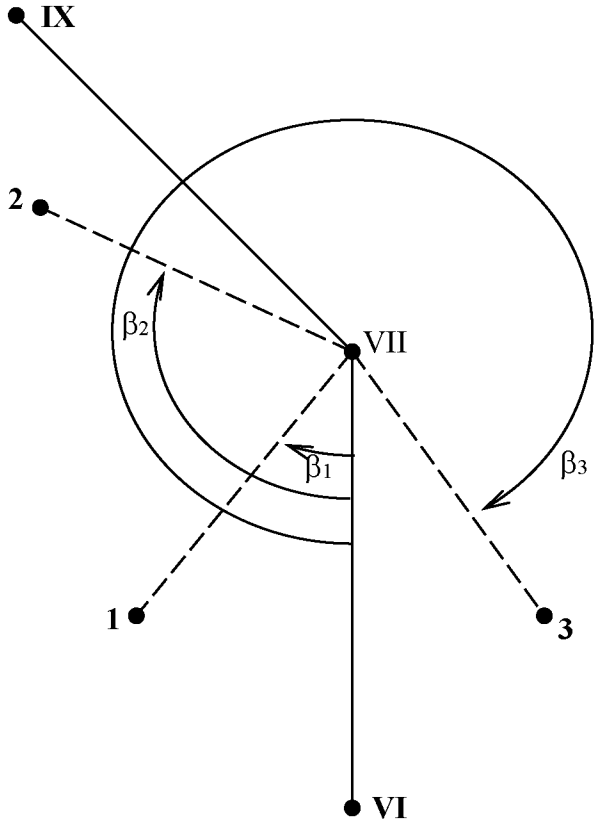


Рис. 4.4. Тахеометрическая съемка

Горизонтальное проложение длины линии до пикета (d_i) и превышение (h_i) определяют по формулам:

$$d_i = l_i \cos\delta_i;\ h_i = d_i tg\delta_i;\ h_i = l_i \sin\delta_i$$

при условии наведения трубы теодолита на отметку высоты инструмента на нивелирной рейке.

Расстояние от прибора до пикета для съемки в масштабе 1:1000 не должно превышать 80 м для четких контуров (здания, сооружения) и 150 – м для нечетких (дороги, линии электропередач).

На каждой стоянке тахеометрической съемки ведется абрис съемки с нанесением положений снимаемых контуров.

Измерения записываются в журнал тахеометрической съемки, в котором ведут вычисления горизонтальных проложений, приращений и высот пикетов (см. табл. 4.3).

Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки начинается с проверки полевых записей в журнале. После проверки журнала работу проводят в следующей последовательности:

– наносят пункты полигона;

– вычисляют горизонтальные проложения, превышения и высотные отметки пикетов;

– наносят пикеты и все элементы и контуры участков съемки, используя абрис.

Для нанесения горизонтальных углов и длин линий на план применяют тахеометрические транспортиры, линейки с миллиметровыми делениями.

Точность планов земной поверхности оценивают по данным контрольных измерений. Предельные расхождения в положении контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших пунктов полигона не должны превышать на плане 1,0 мм.

4.6. Определение объемов отвалов

До начала складирования полезного ископаемого на складах или вмещающих пород на отвалах должна быть выполнена съемка земной поверхности участка, отведенного под склад или отвал в масштабе 1:500 или 1:1000 с сечением рельефа 0,25-0,5 м.

Объемы отвалов в зависимости от их формы определяют рулеточным замером или по результатам тахеометрической съемки.

Рулеточным замером определяют объемы отвалов сравнительно правильной геометрической формы, например конусообразные, пирамидальные, призматические с трапецеидальным сечением. Объемы подсчитывают по формулам геометрически правильных тел.

Для определения объемов отвалов со сложными поверхностями выполняют съемку тахеометрическим способом, лазерным сканированием в масштабе не мельче 1:1000.

В программе учебной практики используется тахеометрический способ. Пикеты выбирают на характерных точках рельефа. Расстояние до пикетов от съемочных точек не превышает 60 м, расстояние между пикетами не более 10 м.

При составлении плана поверхности отвала в горизонталях по результатам тахеометрической съемки сечения принимают в зависимости от средней высоты отвала (табл. 4.7).

Таблица 4.7

К выбору высоты сечений

Средняя высота отвала складированной руды, м	Сечение горизонталей, м
Менее 5	0,25-0,50
Более 5	1,0

На рис. 4.5 по результатам тахеометрической съемки изображен склад руды в горизонталях. Тахеометрическая съемка производилась с точек I, II, III. Профильные линии для построения разрезов были проведены через 20 м. Пример построения вертикального разреза по линии 5-5 показан на рис. 4.6.

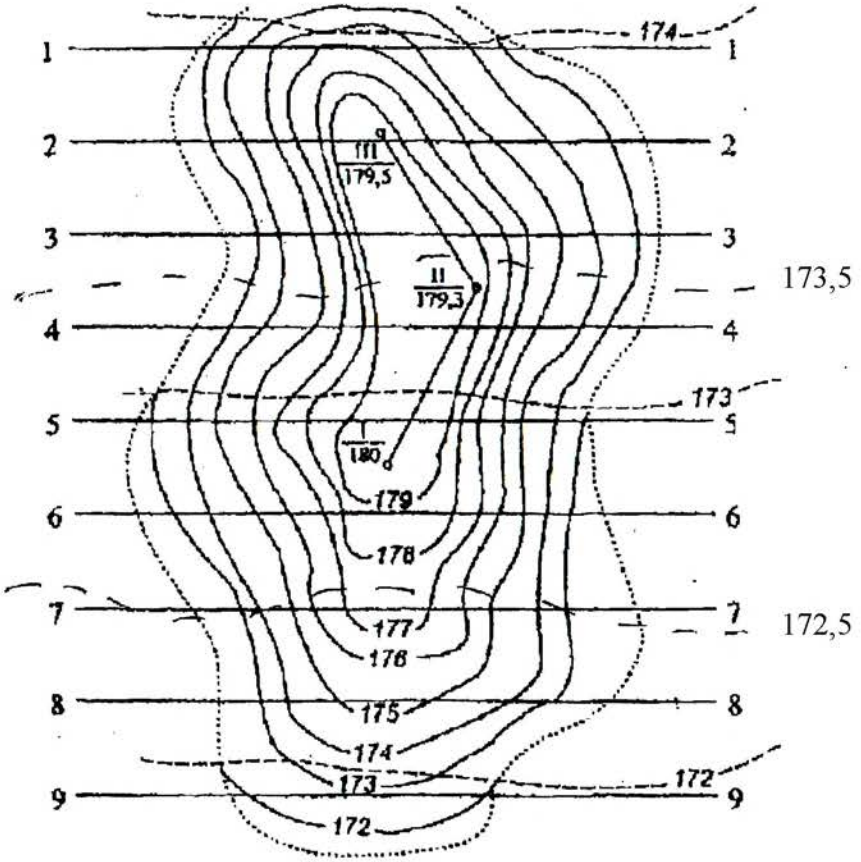


Рис. 4.5. Определение объема складированной руды

Площади сечений S определяют по формуле, м^2:

$$S = \frac{S \cdot M^2}{100^2},$$

где M – знаменатель масштаба; S – в см^2.

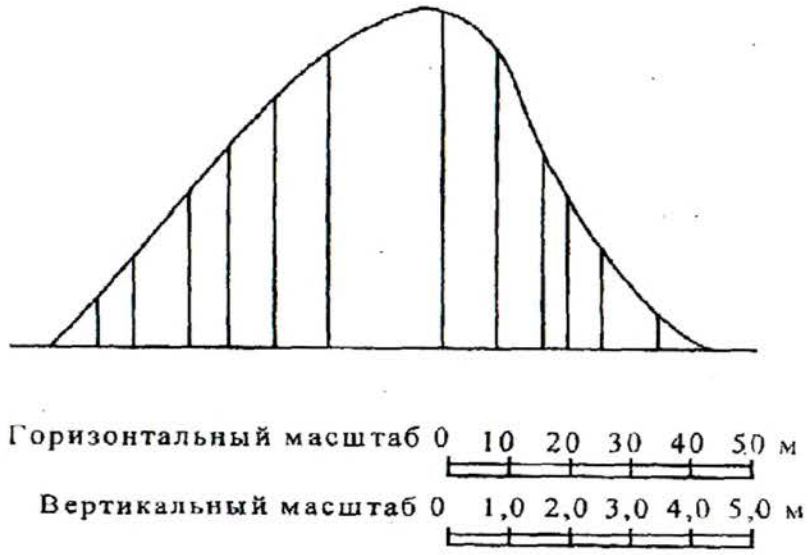


Рис. 4.6. Разрез по линии 5-5

Площади сечений измеряли планиметром дважды (табл. 4.8). За окончательный результат принимали средние значения. Коэффициент планиметра $K = 1{,}03$ (получен из трех определений).

Таблица 4.8

Определение площадей разрезов планиметром

Номера сечений	Отсчеты по планиметру		$(n_2 - n_1)$	Среднее значение $n_2 - n_1$	S, см^2	S, см^2
	n_1	n_2				
1-1	750,1	763,1	13,0	13,05	13,44	134,4
	763,1	776,2	13,1			
2-2	160,5	189,9	26,4	26,40	27,19	271,9
	189,9	213,3	26,4			
3-3	253,9	284,6	30,7	30,65	31,57	315,7
	284,6	315,2	30,6			
4-4	843,7	874,1	30,4	30,40	31,31	313,1
	874,1	904,5	30,4			
5-5	437,5	473,8	36,3	36,40	37,49	374,9
	473,8	510,3	36,5			
6-6	367,0	398,8	31,8	31,9	32,86	328,6
	398,8	430,8	32,0			
7-7	514,5	536,9	22,4	22,60	23,28	232,8
	536,9	559,7	22,8			
8-8	658,0	676,0	18,0	17,80	18,33	183,3
	676,0	693,6	17,6			
9-9	776,7	780,9	4,2	4,30	4,43	44,3
	780,9	785,3	4,2			

Площади сечений S определялись по формуле, см^2:

$$S = K(n_2 - n_1),$$

где K – коэффициент планиметра; n_1, n_2 – отсчет по счетному механизму планиметра до обводки площади и после обводки измеряемой площади соответственно.

Если вертикальные и горизонтальные масштабы разные, то

$$S = \frac{S \cdot M_{\text{г}} \cdot M_{\text{в}}}{100^2},$$

где $M_{\text{г}}$ – знаменатель горизонтально масштаба; $M_{\text{в}}$ – знаменатель вертикального масштаба.

Объем полезного ископаемого между двумя соседними сечениями определится как произведение полусуммы площадей на расстоянии между сечениями:

$$\upsilon_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot l_i.$$

Объемы краевых частей склада определяют по формуле

$$\upsilon_{\text{к}} = \frac{1}{2} S_{\text{к}} \cdot l_{\text{ср}}$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь краевого сечения (на рис. 4.5 S_{1-1} и S_{9-9}); $l_{\text{ср}}$ – среднее расстояние от краевого сечения до контура складированной руды (измеряется на чертеже в характерных точках).

Объем склада руды (см. рис. 4.5), подсчитанный по вышеизложенной методике, равен 43140 м^3.

4.7. Маркшейдерское обеспечение горно-строительных работ

4.7.1. *Основные положения*

Задачами маркшейдерского обеспечения горно-строительных работ являются:

перенесение геометрических элементов проекта в натуру;

контроль соблюдения геометрических элементов горно-строительных работ, предусмотренных проектом;

производство маркшейдерской съемки, составление и пополнение горно-графической документации инженерных сооружений и горных выработок;

учет объемов горной массы и добычи полезного ископаемого, если таковая производится в процессе горно-строительных работ.

При выполнении разбивочных работ, учитывая их особую ответственность, маркшейдеры выполняют вычисления и проверяют соответствие указанных в проектных чертежах координат и размеров основных элементов горно-строительных работ.

Проектные чертежи принимают к производству разбивочных работ после проверки правильности размеров и числовых значений, всех элементов комплекса горно-строительных работ, указанных в проекте.

При маркшейдерской подготовке проекта выполняют его привязку, т. е. расчет разбивочных элементов, по которым выносят его в натуру от пунктов маркшейдерских съемочных сетей. Разбивочными элементами являются расстояния, углы и превышения (высотные отметки), выбор и расчет которых зависят от принятого способа разбивки. Результатом маркшейдерской подготовки проекта являются разбивочные чертежи, по которым выполняются разбивочные работы в натуре. Разбивочные чертежи выполняются в масштабе 1:500 – 1:2000 и крупнее в зависимости от сложности объекта.

На разбивочных чертежах показывают:

координаты исходных пунктов маркшейдерских сетей;

дирекционные углы исходных сторон;

высотные отметки исходных маркшейдерских пунктов;

контур и размеры горно-строительных работ;

пункты маркшейдерских сетей, от которых производится разбивка;

разбивочные элементы, значение которых может быть указано прямо на чертеже.

Точность разбивочных работ зависит от многих факторов: вида, назначения, местоположения объекта, его размеров, порядка и способа производства работ, особенностей эксплуатации и т. п.

Нормы точности на разбивочные работы задаются в проекте или в нормативных документах (СНиПы, ГОСТы, ведомственные инструкции). Точность выноса геометрических параметров объекта в нормативных документах и чертежах определяется предельно допустимыми отклонениями. По принципу равных

ошибок всех источников, в том числе и на маркшейдерские измерения ($m_м$), приходится доля от общей погрешности ($M_{общ}$):

$$m_м = \frac{M_{общ}}{\sqrt{n}},$$

где n – количество источников погрешностей.

Переход от допуска к среднеквадратическому отклонению получают из выражения

$$m = \frac{m_м}{3}.$$

Разбивочные работы сводятся к фиксированию на местности отдельных точек, определяющих геометрические параметры объекта. Плановое положение этих точек определяют путем построения на местности проектного угла от исходной стороны и выноса проектного расстояния от исходного пункта (рис. 4.7).

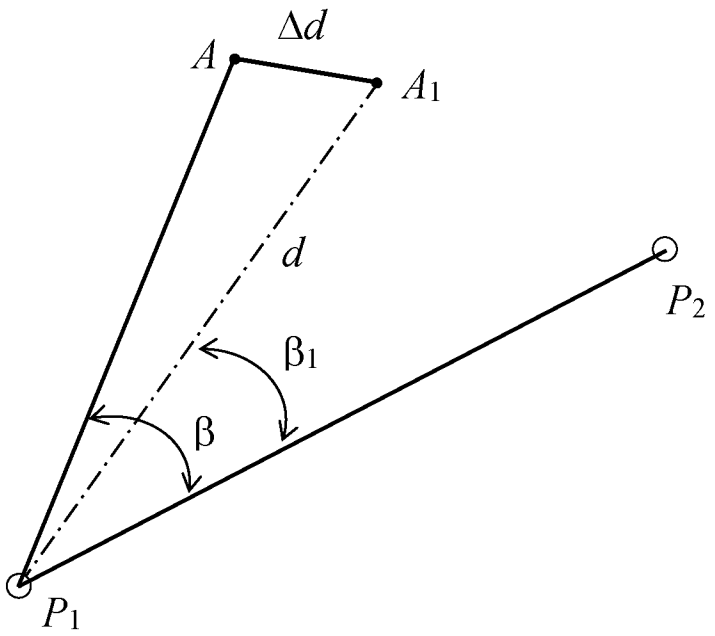


Рис. 4.7. Схема построения проектного угла на местности:
P_1P_2 – исходное направление; A – точка определяемого направления

Работы выполняются в следующей последовательности: в точке съемочного обоснования P_1 устанавливают теодолит, наводят зрительную трубу на точку съемочного обоснования P_2 и берут отсчет по лимбу горизонтального круга. К данному отсчету прибавляют проектный угол β и, открепив алидаду, устанавливают вычисленный отсчет. Труба теодолита указывает проектное направление. Далее откладываем проектное расстояние (d) и фиксируем на местности точку A.

Маркшейдерские приборы по точности предназначены для выполнения измерений, а не построений. Поэтому точность вынесения разбивочных элементов оказывается ниже, чем точность измерений. Если необходимо построить проектный угол с заданной точностью, нужно построенный проектный угол измерить несколькими приемами (n):

$$n = \frac{m_{\beta 1}^2}{m_{\beta 2}^2},$$

где $m_{\beta 1}$, $m_{\beta 2}$ – средняя квадратическая погрешность соответственно теодолита и требуемая для вынесения угла.

Измерив построенный угол, вычисляют угловую ($\Delta\beta = \beta - \beta_1$) и линейную ($\Delta d = d(\frac{\Delta\beta}{\rho})$) поправки.

Далее откладывают в точке A перпендикулярно к линии P_1A линейную поправку Δd и фиксируют точку A_1. Полученный угол $A_1\ P_1P_2$ будет равен проектному с заданной точностью.

Вынос проектного расстояния от исходного пункта производится отложением в заданном направлении длины, равной проектному значению. Для этого используются мерные приборы: рулетки, светодальномеры, оптические дальномеры, гарантирующие необходимую точность. В случае, когда требуется вынесение линии с высокой точностью, на местности от исходной точки сначала откладывают и закрепляют приближенное значение расстояния, а затем это расстояние измеряют с необходимой точностью с учетом всех поправок. Измеренную длину ($l_{изм}$) сравнивают с ее проектным значением ($l_{пр}$) и находят линейную поправку: $\Delta l = l_{пр} - l_{изм}$.

Поправку Δl откладывают с соответствующим знаком от ранее закрепленной точки. Для контроля вынесенную линию повторно измеряют.

Вынос в натуру точки с проектной высотной отметкой ($Z_{пр}$) производится геометрическим нивелированием, при угле наклона земной поверхности менее 5 – 8°, или тригонометрическим нивелированием, при угле наклона более 5 – 8°.

Геометрическое нивелирование. Нивелир устанавливается примерно посередине между точкой съемочного обоснования с известной высотной отметкой ($Z_{изв}$) и выносимой точкой с про-

ектной высотной отметкой ($Z_{пр}$). На точке с известной высотной отметкой устанавливают рейку и берут отсчет (a). Вычисляют вначале горизонт инструмента:

$$ГИ = Z_{изв} + a,$$

а затем вычисляют значение отсчета по рейке b, которая будет установлена на выносимой точке A_1:

$$b = ГИ - Z_{пр} = Z_{изв} + a - Z_{пр}.$$

Вычислив отсчет (b), в точке выноса проектной отметки поднимают или опускают рейку до тех пор, пока отсчет по ней не будет равен вычисленному значению (b). Данная позиция рейки (ее пятка) соответствует проектной отметке выносимой точки. После этого точка фиксируется в натуре.

Для контроля проводят геометрическое нивелирование необходимой точности, определяют фактическую отметку вынесенной точки и сравнивают ее с проектной. В случае недопустимых отклонений работу выполняют заново.

Тригонометрическое нивелирование. Теодолит устанавливают в точке съемочного обоснования (P_1) с известной высотной отметкой ($Z_{изв}$), (рис. 4.8).

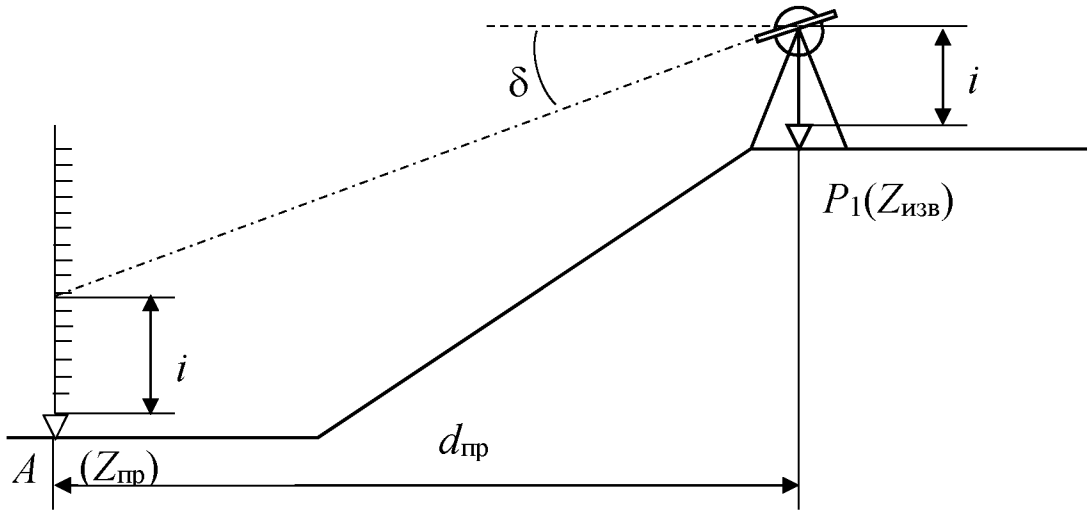


Рис. 4.8. Вынос проектной высотной отметки тригонометрическим нивелированием

Измеряют высоту инструмента (i) с точностью до 1 мм и вычисляют угол наклона визирного луча теодолита (δ):

$$\delta = \text{arctg}(Z_{пр} - Z_{изв}) / d_{пр}.$$

Далее на вертикальном круге теодолита с учетом места нуля устанавливают вычисленный отсчет угла наклона (δ). В точке выноса проектной отметки (A), поднимая или опуская нивелирную рейку, фиксируют ее положение по горизонтальной нити зрительной трубы на высоте инструмента (i), отмеченной на рейке. Данное положение рейки (ее пятка) соответствует проектной отметке точки. Точка фиксируется в натуре.

Для контроля проводят тригонометрическое нивелирование и определяют фактическую отметку вынесенной точки и сравнивают ее с проектной. В случае недопустимых отклонений работу повторяют.

4.7.2. *Перенос в натуру проектных данных горнотехнических объектов*

Перенос элементов проекта в натуру выполняется следующими способами: полярным, засечек (угловой, линейной), перпендикуляров. Выбор того или иного способа зависит от геометрических размеров объекта, технологии его выполнения, имеющихся в наличии маркшейдерских приборов и инструментов и этапа производства разбивочных работ. Критерием выбора способа, при прочих равных условиях, является необходимая точность и минимальная трудоемкость.

Полярный способ. Положение выносимой точки (A) на местности находят путем отложения от направления (P_1P_2) пунктов съемочного обоснования проектного угла (β) и расстояния (d) (рис. 4.9).

Разбивочный угол (β) вычисляют по разности дирекционных углов: $\alpha_1 = \alpha_{P2A}$; $\alpha_2 = \alpha_{P2P1}$; $\beta = 360° - (\alpha_2 - \alpha_1)$.

Дирекционные углы и расстояние (d) вычисляют, решая обратную геодезическую задачу по известным координатам точек P_1, P_2 и A. Данный способ целесообразно применять, когда проектное расстояния (d) меньше базисного (P_1P_2).

Способ прямой угловой засечки. Положение выносимой точки (A) на местности находят путем отложения на пунктах съемочного обоснования (P_1 и P_2) углов (β_1 и β_2) (рис. 4.10).

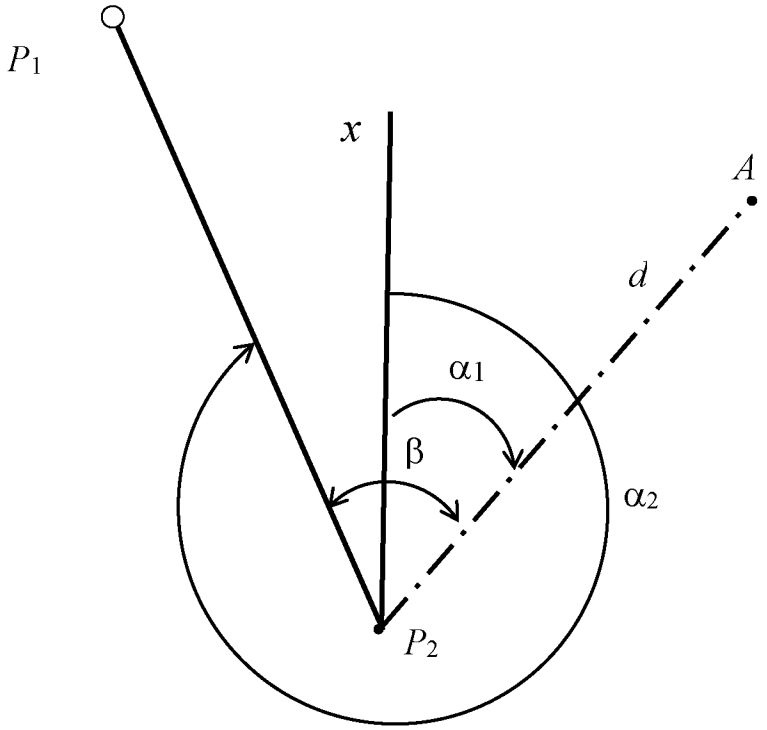


Рис. 4.9. Полярный способ разбивочных работ

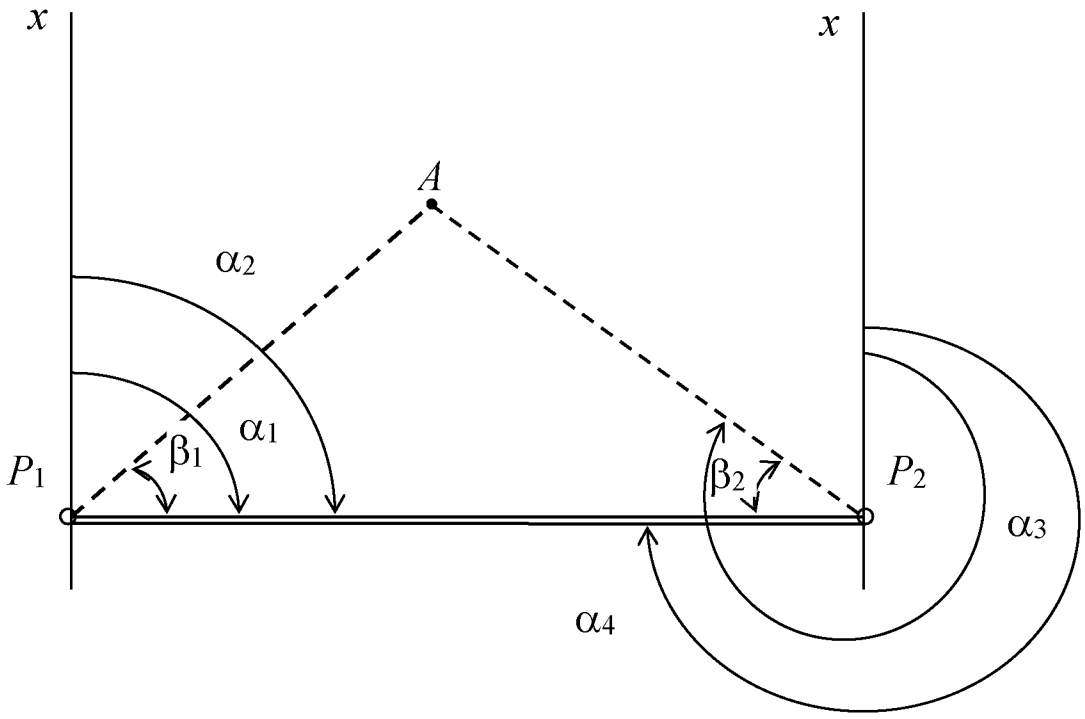


Рис. 4.10. Способ прямой угловой засечки при выполнении разбивочных работ

Разбивочные углы β_1 и β_2 вычисляют по разности дирекционных углов исходной стороны ($P_1\ P_2$) и сторон ($P_1\ A$) и ($A\ P_2$):

$$\beta_1 = \alpha_1 - \alpha_2; \quad \beta_2 = \alpha_3 - \alpha_4.$$

Дирекционные углы сторон вычисляют из решения обратной геодезической задачи по известным координатам точек P_1, P_2 и A.

Данный способ целесообразно применять для выноса точек, находящихся на значительном расстоянии от исходных пунктов съемочного обоснования. В этом случае погрешность центрирования теодолита и фиксация точки выполняются сравнительно точно. Основными погрешностями являются погрешности собственно засечки и исходных данных.

Способ обратной угловой засечки (*способ редуцирования*).

Способ применяют в случаях, когда доступ к пунктам съемочного обоснования затруднен, а визирование на них беспрепятственное.

В этом случае находят приближенное проектное положение выносимой точки (A) и фиксируют ее на местности (рис. 4.11).

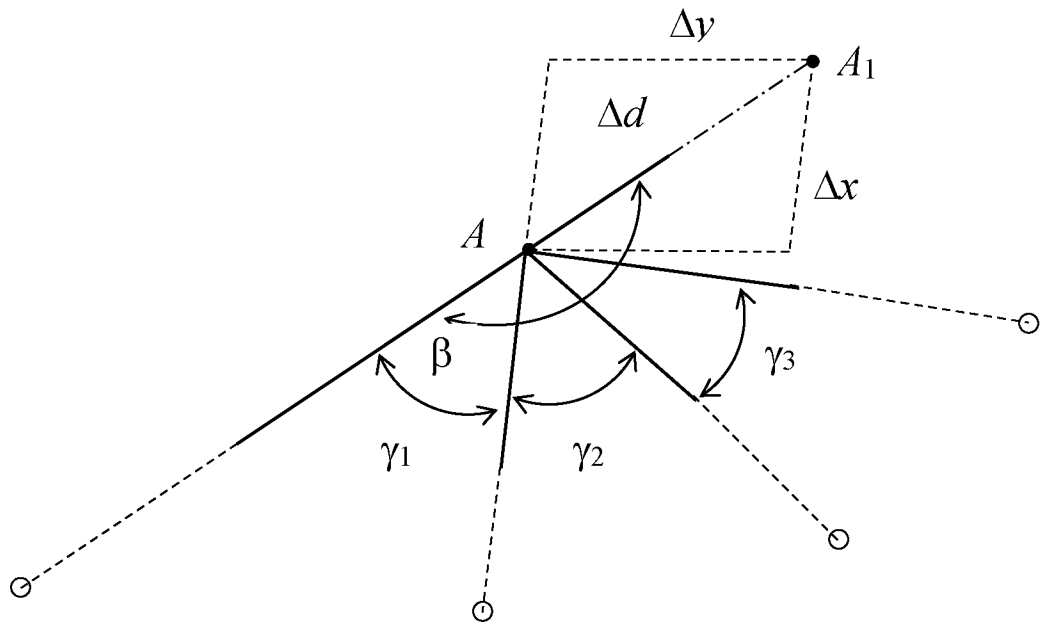


Рис. 4.11. Способ обратной угловой засечки (способ редуцирования)

Устанавливают теодолит и с требуемой точностью измеряют горизонтальные углы не менее чем на три исходных пункта

съемочного обоснования. По измеренным углам (γ) решают обратную геодезическую засечку и вычисляют координаты приближенно установленной точки. Полученные координаты сравнивают с проектными и по разности координат вычисляют величину смещения (редукции) точки в проектное положение. Отложив угол (β) и длину (Δd), фиксируют проектное положение выносимой точки (A_1).

Способ линейной засечки. Положение выносимой точки (A) на местности находят путем пересечения двух проектных длин линий (d_1 d_2), отложенных от исходных пунктов съемочного обоснования (P_1P_2) (рис. 4.12).

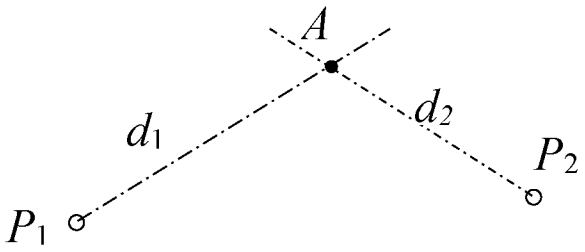


Рис. 4.12. Способ линейной засечки

Разбивку производят при помощи двух мерных приборов (рулетка, мерная лента). Расстояние от исходных точек до выносимой точки не должно превышать длины мерного прибора.

Способ перпендикуляров. Положение выносимой точки (A) на местности определяют путем отложения проектной длины (d_1) от створа исходных точек (P_1P_2) (рис. 4.13).

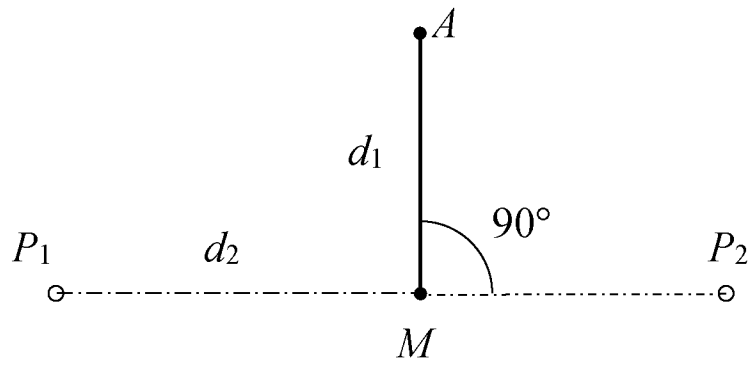


Рис. 4.13. Способ перпендикуляров

От одной из известных точек в створе линии откладывают проектную длину (d_2), устанавливают в точке (M) теодолит, от-

кладывают прямой угол от створа (P_1P_2) и выносят на расстояние (d_1) точку (A).

Целесообразно выбирать большее расстояние – по створу исходной стороны, а меньшее – по перпендикуляру. Для контроля положения выносимой точки измерения можно повторить от другого пункта.

4.7.3. *Вынос центра и оси шахтного ствола в натуру*

Для приобретения практических навыков по вопросам маркшейдерского обеспечения горно-строительных работ в программе учебной практики предусмотрено решение задачи по выносу с проекта в натуру центра и осей вертикального шахтного ствола.

Данную работу выполняет каждая бригада по исходным данным, полученным из результатов расчета координат пунктов полигона и проектных данных (координат центра ствола и дирекционного угла оси ствола).

Исходные данные: рис. 4.14, табл.4.9.

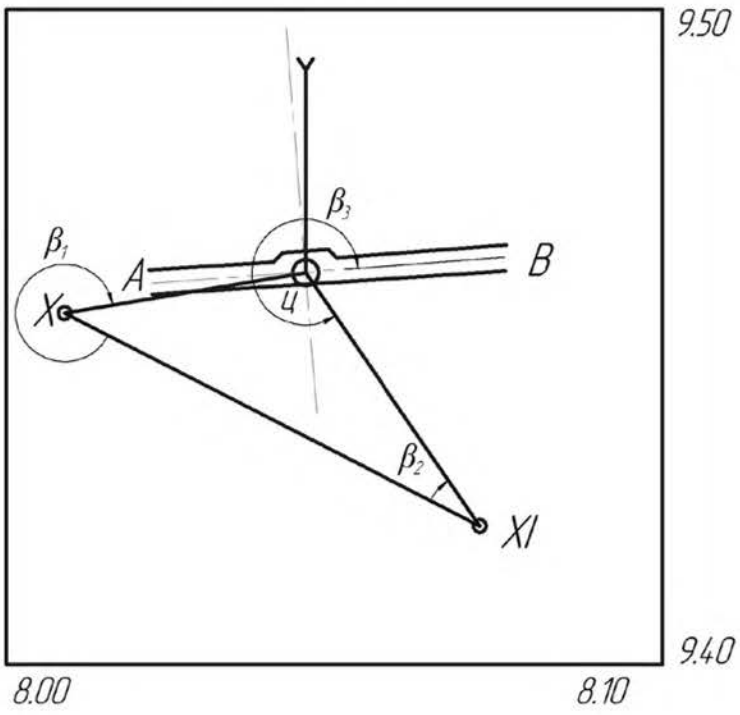


Рис. 4.14. Схема разбивки центра (ц. с.) и строительной оси ствола:
X, XI – пункты опорной маркшейдерской сети;
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – разбивочные горизонтальные углы; AB – строительная ось ствола

Пункты опорной сети и их координаты бригада выбирает из закрепленного за ними полигона. Координаты центра ствола и дирекционный угол оси ствола выдаются преподавателем.

Таблица 4.9

Исходные данные

Номера точек	Координаты, м			Направления	Дирекционный угол
	X	*Y*	*Z*		
X	9453,755	8008,870	263,092		
XI	9421,131	8071,764	265,784	*AB*	86°00'00"
ц. с.	9460,000	8045,000	264,000		

Пример решения задачи. Для вычисления разбивочных углов β_1, β_2, (см. рис. 4.14) необходимо знать значения дирекционных углов $\alpha_{X-ц.с}$ и $\alpha_{XI-ц.с}$. Дирекционные углы указанных направлений определяют решением обратной геодезической задачи:

$$\alpha'_{X-ц.с}\text{arctg}\left(\frac{Y_{ц.с}-Y_X}{X_{ц.с}-X_X}\right);$$

$$\alpha'_{X-ц.с}=\text{arctg}\left(\frac{8045{,}000-8008{,}870}{9460{,}000-9453{,}755}\right)=80^\circ 11'36''\ (\text{I четверть});$$

$$\alpha_{X-ц.с}=80^\circ 11'36'';$$

$$\alpha'_{XI-ц.с.}=\text{arctg}\left(\frac{Y_{ц.с}-Y_{XI}}{X_{ц.с}-X_{XI}}\right);$$

$$\alpha'_{XI-ц.с}=\text{arctg}\left(\frac{8045{,}000-8071{,}764}{9460{,}000-9421{,}131}\right)=34^\circ 33'00''\ (\text{IV четверть});$$

$$\alpha_{XI-ц.с}=360^\circ-34^\circ 33'00''=325^\circ 27'00'';$$

$$\alpha_{ц.с-XI}=\alpha_{XI-ц.с}-180^\circ=325^\circ 27'00''-180^\circ=145^\circ 27'00'';$$

$$\alpha'_{XI-X}=\text{arctg}\left(\frac{Y_X-Y_{XI}}{X_X-X_{XI}}\right);$$

$$\alpha'_{XI-X}=\text{arctg}\left(\frac{8008{,}870-8071{,}764}{9453{,}755-9421{,}131}\right)=62^\circ 35'01''\ (\text{IV четверть});$$

$$\alpha_{XI-X} = 360^\circ - 62^\circ 35'01'' = 297^\circ 24'59'';$$
$$\alpha_{X-XI} = \alpha_{XI-X} - 180^\circ = 297^\circ 24'59'' - 180^\circ = 117^\circ 24'59''.$$

Разбивочные углы β_1, β_2 вычисляют по разности дирекционных углов направлений, составляющих искомый угол:

$$\beta_1 = \alpha_{X-ц.с} - \alpha_{X-XI}; \quad \beta_1 = 80^\circ 11'36'' + 360^\circ - 117^\circ 24'59'' = 322^\circ 46'37'';$$

$$\beta_2 = \alpha_{XI-ц.с} - \alpha_{XI-X}; \quad \beta_2 = 325^\circ 27'00'' - 297^\circ 24'59'' = 28^\circ 02'01'';$$

$$\beta_3 = \alpha_{A-B} - \alpha_{ц.с-XI}; \quad \beta_3 = 86^\circ 00'00'' + 360^\circ - 145^\circ 27'00'' = 300^\circ 33'00''$$

Горизонтальное проложение $d_{XI-ц.с}$ вычисляется по следующей формуле:

$$d_{XI-ц.с} = \frac{\Delta Y_{XI-ц.с}}{\sin \alpha_{XI-ц.с}} = \frac{\Delta X_{XI-ц.с}}{\cos \alpha_{XI-ц.с}};$$

$$d_{XI-ц.с} = \frac{-26{,}764}{\sin 325^\circ 27'00''} = 47{,}192 \quad \text{м};$$

$$d_{XI-ц.с} = \frac{38{,}869}{\cos 325^\circ 27'00''} = 47{,}192 \quad \text{м};$$

$$d_{XI-ц.с.} = 47{,}192 \quad \text{м}.$$

Наклонная длина $l_{XI-ц.с}$ вычисляется по формуле

$$l_{XI-ц.с} = \sqrt{d^2{}_{XI-ц.с} + (Z_{XI} - Z_{ц.с})^2};$$

$$l_{XI-ц.с} = \sqrt{(47{,}192)^2 + (265{,}784 - 264{,}000)^2} = 47{,}226 \quad \text{м};$$

$$d_{X-ц.с} = \frac{\Delta Y_{X-ц.с}}{\sin \alpha_{X-ц.с}} = \frac{\Delta X_{X-ц.с}}{\cos \alpha_{X-ц.с}};$$

$$d_{X-ц.с} = \frac{36{,}130}{\sin 80^\circ 11'36''} = 36{,}666 \ \text{м};$$

$$d_{\text{X-ц.с}} = \frac{6{,}245}{\cos 80^{\circ}11'36''} = 36{,}666 \text{ м};$$

$$\text{d}_{\text{X-Ц.С}} = 36{,}666 \text{ м};$$

$$l_{\text{X-ц.с}} = \sqrt{d^2{}_{\text{X-ц.с.}} + \left(Z_{\text{X}} - Z_{\text{ц.с.}}\right)^2};$$

$$l_{\text{X-ц.с}} = \sqrt{(36{,}666)^2 + (263{,}092 - 264{,}000)^2} = 36{,}677 \text{ м}.$$

На точке XI с помощью теодолита от направления XI – X откладывают угол β_2 (см. рис. 4.14) при двух положениях вертикального круга (КЛ и КП). В результате (при наличии в приборе коллимационной ошибки) с точки XI откладывают два направления, каждое их которых закрепляют двумя вешками. Вешки 1, 2, 3, 4 устанавливают приблизительно в районе центра ствола (с точностью до 10 м) (рис. 4.15).

Среднее направление с точки XI на точку ц.с закрепляют вешками 5 и 6 в серединах отрезков 1-3 и 2-4 соответственно. По среднему направлению от точки XI откладывают длину $l_{\text{XI-ц.с}}$. Центр ствола закрепляют колышком.

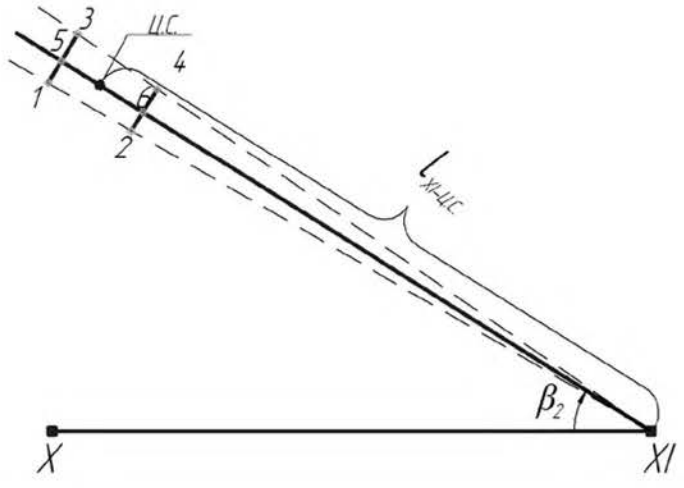


Рис. 4.15. Схема выноса центра ствола в натуру

Направление главной оси ствола АВ определяют отложением разбивочного угла β_3 от направления ц.с – XI (см. рис. 4.14). Вспомогательную ось разбивают под углом 90° к главной оси. Направления осей закрепляют постоянными центрами (на учебной практике кольями).

5. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ В ШАХТЕ

5.1. Создание подземной маркшейдерской опорной сети

Подземные маркшейдерские опорные сети являются геометрической основой для выполнения съемок горных выработок и решения горно-геометрических задач, связанных с обеспечением правильной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых.

Подземные опорные сети состоят из полигонометрических ходов, прокладываемых, как правило, по вскрывающим и подготовительным выработкам.

Программой учебной маркшейдерской практики предусматривается прокладка полигонометрического хода, являющегося одновременно соединительным ходом между шахтными стволами при ориентировании маркшейдерской сети через два вертикальных ствола.

Высоты пунктов определяют геометрическим нивелированием.

5.1.1. *Рекогносцировка и закрепление пунктов подземной полигонометрии*

Перед прокладкой подземного полигонометрического хода в намеченном участке проводят рекогносцировку с целью выбора места расположения пунктов. При этом учитывают безопасность производства съемки, удобство установки инструмента при измерении углов и длин и сохранность пунктов.

Пункты подземных маркшейдерских опорных сетей в зависимости от срока их существования и способа закрепления разделяют на постоянные и временные. Постоянные пункты закладывают в устойчивых коренных породах подошвы и кровли выработки, а также в бетонной крепи или фундаментах стационарных установок.

Центры временных знаков закрепляются в верхняках дверных окладов, на болтах или деревянных клиньях, пробках, забитых в шпуры.

Все пункты должны быть пронумерованы. Порядок нумерации определяет руководитель практики, на производстве – главный маркшейдер.

При выборе расстояний между пунктами необходимо стремиться к тому, чтобы стороны хода были примерно равными и по возможности не менее 20 м.

Для облегчения отыскания пунктов на стенке выработки указывают их номера масляной краской.

5.1.2. *Измерение углов*

Углы в подземных полигонометрических ходах измеряют теодолитами, обеспечивающими среднюю квадратическую погрешность не более 20". Способ и точность центрирования теодолита и сигналов зависят от длины сторон:

Автоматическое центрирование, м	5 – 10
Оптическое или двукратное центрирование отвесом (с измерением угла при каждом центрировании), м	10 – 20
Однократное центрирование теодолита шнуровым отвесом, м	> 20

В случае применения шнурового отвеса для центрирования должны быть приняты меры по ограждению отвеса от влияния воздушной струи.

Углы (левые по ходу) в полигонометрических ходах измеряют двумя приемами. Расхождение углов между приемами не должно превышать $1{,}5t$ инструмента (теодолита), но $\leq 45''$, где t – точность инструмента (теодолита).

На узловых точках измерение углов производят способом круговых приемов.

Результаты измерений записывают в журнал угловых и линейных измерений.

5.1.3. *Измерение длин сторон*

Длины сторон в полигонометрических ходах измеряют стальными компарированными рулетками, электронными тахеометрами. Линейные измерения выполняют, как правило, одновременно с угловыми.

При измерении линий рулетками стороны разбивают на интервалы, несколько меньшие, чем длина рулетки. Отклонение концов интервалов от створа при минимальной их длине 10 м не должно превышать 10 см. Длины измеряют «на весу» с постоянным натяжением рулетки, равным натяжению при компарировании (10 кгс), которое фиксируется динамометром. С целью непосредственного измерения горизонтальных длин на отвесах, размечающих створ линии, с помощью теодолита или нивелира отмечают горизонт инструмента. Отсчеты по рулетке берут на уровне горизонта инструмента. Производят измерение температуры воздуха в горной выработке.

Стороны измеряют в прямом и обратном направлениях. Разрешается измерить линии в одном направлении со смещением промежуточных отвесов.

При измерении длин линий электронными тахеометрами используют трехштативную систему (с переменой мест отражателя и тахеометра). Длину измеряют двумя приемами.

Расхождение между двумя измерениями линий не должно превышать 1:3000 длины стороны [1].

Результаты измерений записывают в журнал угловых и линейных измерений.

5.1.4. *Съемка подробностей*

Одновременно с измерением длин производится съемка подробностей, включающая съемку контуров горных выработок, геологических нарушений, элементов крепи, характерных объектов и т. п. Съемка ведется ординатным способом с точностью до ±5 см. На точках стояния теодолита и в характерных точках горной выработки измеряют расстояния до стенок выработки и ее высоту.

5.1.5. *Камеральная обработка результатов измерений подземных маркшейдерских опорных сетей*

Камеральную обработку начинают с предварительной обработки результатов измерений, в которую входят: контроль вычислений в журналах угловых и линейных измерений; вычис-

ление длин линий и поправок к ним; вычисление угловых и линейных невязок и уравнивание (распределение невязок).

Угловая невязка в опорных сетях не должна превышать величин:

$f_\beta = 2m_\beta\sqrt{n} = 40''\sqrt{n}$ – в замкнутых полигонах;

$f_\beta = 2m_\beta\sqrt{n_1 + n_2} = 40''\sqrt{n_1 + n_2}$ – в висячих полигонах, пройденных дважды (в прямом и обратном направлениях);

$f_\beta = 2\sqrt{2m_\alpha^2 + nm_\beta^2}$ – в полигонах, проложенных между гиросторонами,

где $m_\beta = 20''$ – средняя квадратическая погрешность измерения углов, m_α – средняя квадратическая погрешность определения дирекционных углов гиросторон; n – число углов полигонометрического хода; $(n_1 + n_2)$ – число углов в прямом и обратном направлениях соответственно.

Если угловая невязка хода в пределах допустимой, она распределяется с обратным знаком поровну на все углы. После исправления углов приступают к вычислению дирекционных углов сторон хода, решая прямую геодезическую задачу.

В измеренные металлической рулеткой длины линий вводят поправки за компарирование, температуру, провес и наклон линии.

Поправки за приведение к поверхности референц-эллипсоида вводят при высотных отметках более + 200 м, а поправки за приведение на плоскость проекции Гаусса вводят при удалении от осевого меридиана более 50 км. Поправки выбирают из специальных таблиц [1] или вычисляют по формулам [2].

По вычисленным дирекционным углам сторон полигонометрического хода и обработанным длинам вычисляют приращения координат.

Линейная относительная невязка (невязка в приращениях координат) в замкнутых полигонах не должна превышать 1:3000 длины хода, в разомкнутых и дважды пройденных – 1:2000.

Допустимые линейные невязки распределяют в приращения координат пропорционально длине каждой линии с обратным знаком. По исправленным приращениям вычисляют координаты пунктов полигонометрического хода. Пример вычисления координат пунктов подземного хода приводится в главе «Ориентирно-соединительная съемка подземной маркшейдерской опорной сети».

5.2. Ориентирно-соединительная съемка подземных маркшейдерских опорных сетей

5.2.1. *Общие положения*

Ориентирно-соединительная съемка является чисто маркшейдерской задачей, в результате которой должны быть найдены плановые координаты (X и Y) первого пункта (центрирование сетей) и дирекционный угол (α) первой стороны (ориентирование сети) подземных маркшейдерских опорных сетей в системе координат, принятой на земной поверхности.

Практическое значение ориентировки весьма велико. Без надлежащей ориентировки не может быть безопасного и технически правильного ведения горных работ. Ориентировка, как это принято называть у маркшейдеров-производственников, является основой решения ответственных задач практической маркшейдерии.

В маркшейдерии на всех этапах ее развития уделялось особое внимание вопросам ориентирования, поскольку составление планов земной поверхности горного предприятия и планов подземных горных работ в единой системе координат обеспечивает взаимное совмещение как всей съемки в целом, так и отдельных ее частей. Такое совмещение позволяет определить местоположение любого участка подземных горных работ относительно земной поверхности. Точность определения положения подземных выработок зависит от точности способов ориентирования.

В зависимости от схемы вскрытия месторождения различают три основных вида ориентировки: через один вертикальный ствол; через два вертикальных ствола, соединенных между собой горными выработками на ориентируемом горизонте; через наклонный ствол или штольню.

Последний вид ориентировки не требует особых комментариев и выполняется известными методами геодезии – прокладка разомкнутых теодолитных ходов. Особое внимание заслуживает ориентировка через вертикальные стволы.

Современная маркшейдерия поставленные задачи решает двумя способами: геометрическим и гироскопическим ориентированием [1].

Учитывая ответственность указанных видов работ, в Инструкции [1] предусматривают двукратное независимое ориентирование, выполненное одним или разными методами.

Расхождение в результатах ориентирования одной и той же стороны не должно превышать 3'. За окончательное значение принимают среднее арифметическое из двух результатов.

Гироскопический способ ориентирования рекомендуется применять во всех случаях. В этом случае среднеквадратическая погрешность не должна превышать ±30″.

Геометрическое ориентирование применяют при глубине шахтного ствола не более 500 м.

Центрирование сети, передача плановых координат в шахту через вертикальный ствол выполняют как при гироскопическом, так и при геометрическом ориентировании с помощью отвесов.

Координаты отвесов на земной поверхности определяют от опорных геодезических сетей проложением подходного полигона. Количество сторон от исходных пунктов до отвесов – не более трех.

Расхождение в положении пункта подземной опорной сети между двумя независимыми передачами не должно превышать 5 см при $H < 500$ м и величины $0{,}01H$, см, при $H > 500$ м, где H – глубина ствола, м. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из двух передач.

В программе учебной практики предусмотрено ориентирование через один и два вертикальных ствола с использованием гирокомпаса.

5.2.2. *Ориентирование через один вертикальный шахтный ствол с использованием гирокомпаса*

При ориентировании данным способом задачи центрирования (передача координат) и ориентирования (определение дирекционного угла) подземной опорной сети решаются раздельно.

Передача координат в шахту осуществляется с помощью одного отвеса, а определение дирекционного угла одной из сторон в шахте – гироскопическим ориентированием.

Выполнение работ производится в следующей последовательности:

1) проектирование точки с поверхности в шахту с помощью отвеса;

2) примыкание к отвесу на поверхности и в шахте;

3) гироскопическое ориентирование стороны подземного теодолитного хода на ориентируемом горизонте;

4) вычисление координат первых двух пунктов подземного теодолитного хода (подземной маркшейдерской опорной сети).

Перед началом ориентировки руководитель производит осмотр шахтного ствола, намечает места расположения отвеса, оборудования, инструментов и распределяет обязанности между студентами.

Перед опусканием отвеса и установкой оборудования производят перекрытие ствола. Перекрытие ствола начинают с нулевой площадки копра. В это время всех людей на ориентируемом горизонте удаляют от ствола. Перекрытие должно быть прочным и сплошным, чтобы в процессе работы не могли провалиться вниз мелкие инструменты, камни, сор и т. д.

В перекрытии прорубается одно небольшое отверстие для пропуска отвеса. После этого наверху людей удаляют от ствола, и они устанавливают оборудование. В это время производится перекрытие ствола на ориентируемом горизонте. При установке перекрытия в стволе работают только в специальных предохранительных поясах при самой строгой страховке. Между поверхностью и ориентируемым горизонтом заранее условливаются о сигнализации по спуску и подъему отвеса, о начале и окончании работ. Обычно сохраняется система сигнализации, принятая для шахтного подъема, и постоянная телефонная связь.

Для спуска и закрепления отвесов применяют следующее оборудование: ручные лебедки с намотанной на барабаны проволокой необходимой длины; блоки; центрировочные пластины; комплекты грузов; сосуды для успокоителя отвеса.

После установки всего оборудования приступают к спуску отвеса. Для этого к концу проволоки подвешивают небольшой груз весом 2-3 кг и медленно спускают в ствол. Во время спуска отвеса людей на ориентируемом горизонте следует удалить от ствола. Ответственный за ориентировку на поверхности при спуске отвеса пропускает проволоку «через руку» с целью обнаружения ее изгибов (барашков). Спуск проволоки производится со скоростью 1 м/с с периодическими остановками для предот-

вращения сильного раскачивания отвеса. Когда груз опустится до ориентируемого горизонта, малый груз осторожно снимают, удерживая руками проволоку в натянутом состоянии, и навешивают подставку (грузодержатель), на которую устанавливают рабочий груз. Для более быстрого успокоения качаний отвес погружают в бак-успокоитель, не касаясь дна (бак, наполненный водой с древесными опилками).

После успокоения отвеса проверяют, не касается ли он стенок ствола или оборудования, расположенного в стволе. Проверка осуществляется посылкой «почты» с поверхности в шахту.

Для этого на проволоку отвеса на поверхности надевают кольцо диаметром 2 – 3 см, изготовленное из мягкой проволоки, и опускают его по проволоке отвеса в шахту. Если кольцо, не задерживаясь, доходит до груза, предполагают, что отвес висит в стволе свободно. Для надежного контроля по каждому отвесу спускают два – три кольца.

Проверка отвесов является ответственным моментом проектирования, поэтому ее производят обязательно.

На рис. 5.1 показана схема ориентировки через один ствол «Вспомогательной» шахты «Южная» Березовского РУ подземных маркшейдерских опорных сетей гор. 262 м, и далее приведены порядок, методика измерений и пример вычислений координат пунктов первой стороны.

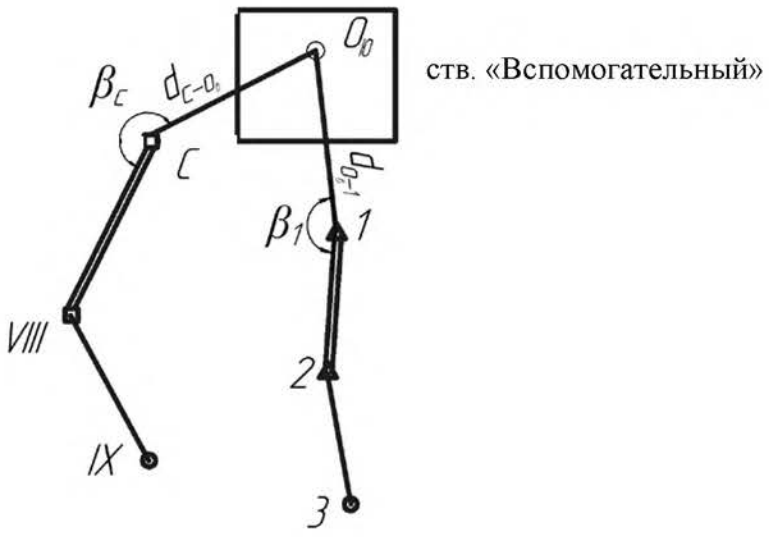


Рис. 5.1. Схема ориентировки через один вертикальный ствол с использованием гирокомпаса

Исходные данные:

$X_{\text{VIII}} = 9736{,}892$; $Y_{\text{VIII}} = 47338{,}549$; $\alpha_{\text{VIII}-C} = 289^\circ 46' 04''$.

Координаты точки VIII и дирекционный угол стороны $\alpha_{\text{VIII}-C}$ берутся из ведомости расчета координат полигона на поверхности (см. табл. 4.3).

Дирекционный угол первой стороны подземного теодолитного хода на ориентируемом горизонте (гироскопическое ориентирование)

$$\alpha_{2-1} = 270^\circ 31' 35'' + N^\circ + N' + N'',$$

где N – номер варианта для индивидуального расчета.

Методика и порядок измерений:

В точке примыкания C на земной поверхности и в точке 1 на ориентируемом горизонте поочередно, вначале в шахте, а затем на поверхности, измеряют:

на земной поверхности – горизонтальный угол β_C, горизонтальные расстояния $d_{\text{VIII}-C}, d_{C-\text{ОВ}}$;

на ориентируемом горизонте – горизонтальный угол β_1, горизонтальное расстояние $d_{\text{ОВ}-1}$.

Измерение углов теодолитом типа Т5 производят тремя приемами. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из приемов.

Измерение длин производится металлической рулеткой пять раз с точностью отсчета 1 мм. Расхождения между результатами измерений не должны превышать 2 мм. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из пяти измерений. Углы и длины могут быть измерены.

Вычисление координат пунктов 1 и 2 первой стороны подземных маркшейдерских опорных сетей (*табл. 5.1*):

1) вычислим координаты отвеса на поверхности:

$$X^{\text{п}}_{\text{ОВ}} = X_{\text{VIII}} + d_{\text{VIII}-C} \cdot \cos\alpha_{\text{VIII}-C} + d_{C-\text{ОВ}} \cdot \cos\alpha_{C-\text{ОВ}};$$

$$Y^{\text{п}}_{\text{ОВ}} = Y_{\text{VIII}} + d_{\text{VIII}-C} \cdot \sin\alpha_{\text{VIII}-C} + d_{C-\text{ОВ}} \cdot \sin\alpha_{C-\text{ОВ}},$$

где X_{VIII}, Y_{VIII}, $\alpha_{\text{VIII-}C}$ из табл. 4.3.

$$\alpha_{C-\text{ОВ}} = \alpha_{\text{VIII}-\text{С}} + \beta_C - 180^\circ;$$

2) вычислим координаты точки 1 в шахте:

Таблица 5.1

Вычисление ориентировки через один вертикальный ствол с использованием гироскопического ориентирования

Точки		Горизонтальное проложение, м	Горизонтальные углы	Дирекционные углы	Приращения, м		Координаты		Номер точки
стояния	наблюдения				ΔY	ΔX	Y	X	
VIII							47338,549	9736,892	VIII
	С	24,772		289°46′04″			47315,237	9745,270	С
С	VIII								
	Ов	6,658	196°40′15″	306°26′19″	-5,356	+3,954	47309,881	9750,940	Ов
2									
	1			270°31′35″					
1	2								
	Ов	8,623	172°06′34″	262°38′09″			47309,881	9749,224	Ов
Ов									
	1	8,623		82°38′09″	8,552	-0,105	47318,433	9750,329	1
1	Ов								
	2	43,244	187°53′26″	90°31′35″	43,242	-0,397	47361,675	9749,932	2

$$X_1 = X^{ш}_{ОВ} + d_{ОВ-1} \cdot \cos\alpha_{ОВ-1};$$

$$Y_1 = Y^{ш}_{ОВ} + d_{ОВ-1} \cdot \sin\alpha_{ОВ-1},$$

где $X^{ш}_{ОВ} = X^{п}_{ОВ}$; $Y^{ш}_{ОВ} = Y^{п}_{ОВ}$;

$\alpha_{ОВ-1} = \alpha_{1-ОВ} + 180°$;

$\alpha_{1-ОВ} = \alpha_{2-1} + \beta_1 - 180°$;

$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} + 180°$;

α_{1-2} определяют гироскопическим ориентированием;

3) вычислим координаты точки 2 в шахте:

$$X_2 = X_1 + d_{1-2} \cdot \cos\alpha_{1-2};$$

$$Y_2 = Y_1 + d_{1-2} \cdot \sin\alpha_{1-2}.$$

Результаты вычисления приведены в табл. 5.1.

Для контроля выполняют сдвиг отвеса $П_В$, вторичное примыкание к отвесу и повторный расчет координат точек 1 и 2.

5.2.3. *Ориентирование через два вертикальных ствола с использованием гирокомпаса*

При ориентировке через два вертикальных ствола геометрическую связь между съемками на земной поверхности и в шахте осуществляют с помощью двух отвесов. В каждый из стволов опускают по одному отвесу.

Ориентирно-соединительная съемка через два вертикальных ствола состоит из следующих операций: 1) проектирования точек с поверхности на ориентируемый горизонт горных работ; 2) примыкания к отвесам на поверхности и в шахте; 3) вычисления координат пунктов подземного теодолитного хода (опорных сетей).

На рис. 5.2 приведена схема ориентировки через стволы «Южный» и «Вспомогательный» шахты «Южная» Березовского РУ.

Подготовительные работы, включающие перекрытие ствола, расположение отвесов в стволе, место установки оборудования и инструментов, аналогичны в случае ориентировки через один вертикальный ствол.

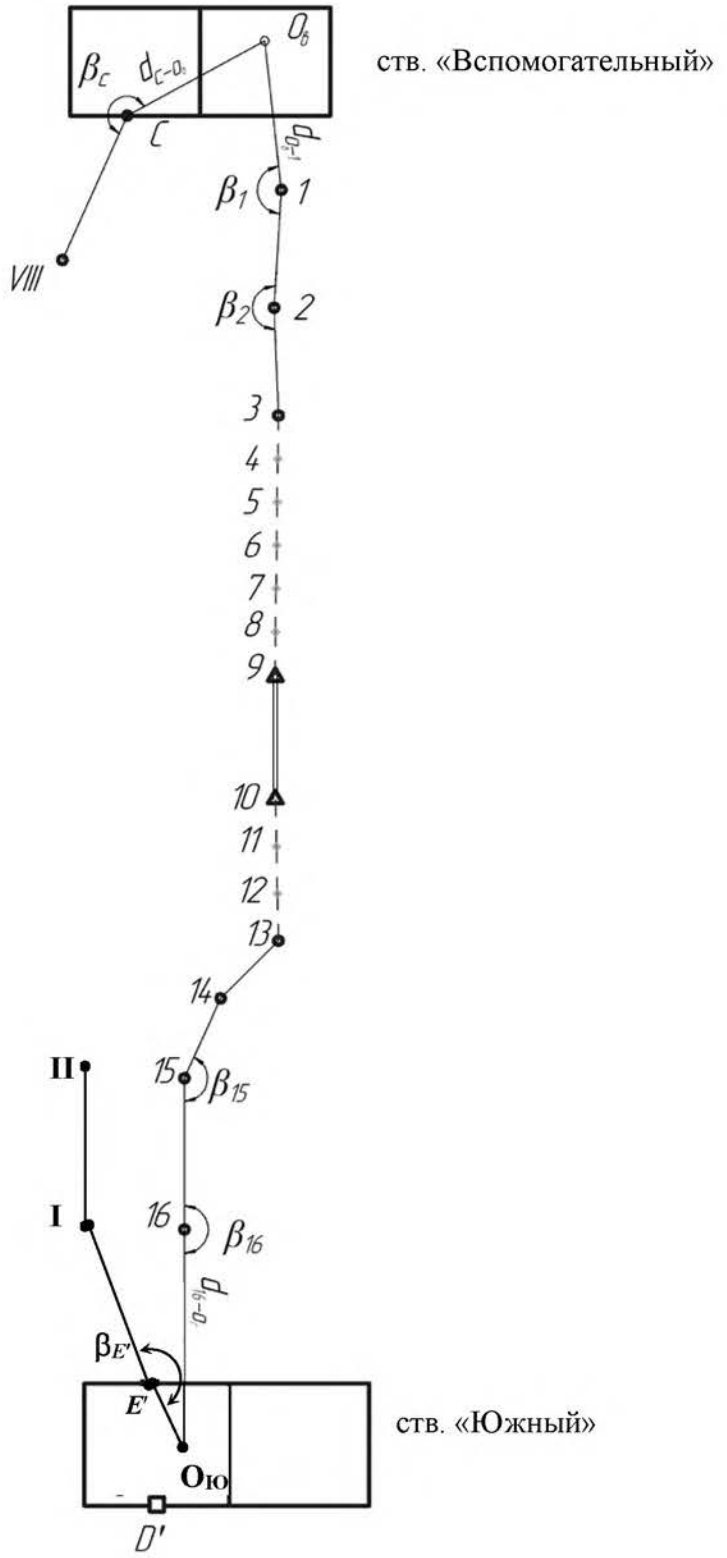


Рис. 5.2. Схема ориентировки через два вертикальных ствола с использованием гирокомпаса

Проектирование координат с земной поверхности на ориентируемый горизонт (центрирование сети) производят с помощью отвесов через каждый ствол поочередно.

На земной поверхности от пунктов опорной сети с известными координатами $X_{E'}$, $Y_{E'}$, X_{VIII}, Y_{VIII} (см. табл. 4.3) измеряют углы и расстояния для определения координат отвесов $О_{В}, О_{Ю}$.

В шахте на ориентируемом горизонте проходится соединительный теодолитный ход между стволами. На примычных точках 1 и 16 измеряются углы и длины до отвесов $О_{В}; О_{Ю}$.

Углы измеряют теодолитом или тахеометром тремя приемами. За окончательный результат принимают среднее арифметическое.

Длины измеряют металлической рулеткой пять раз с точностью отсчета 1 мм. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение, длина может быть измерена электронными приборами с относительной погрешностью 1:3000.

Исходные данные: $X_{\text{ОВ}} = 9749{,}224; Y_{\text{ОВ}} = 47309{,}881$ (берутся из ориентировки через один ствол), (см. табл. 5.1).

$X_{E'} = 9704{,}249; \quad Y_{E'} = 48050{,}952; \quad d_{E'-О_{Ю}} = 8{,}930$ м;

$\alpha_{I-E'} = 88^{0}13'23''$ (см. табл. 4.3); $\alpha_{10-9} = 272^{0}53'35'' + N^{0} + N' + N''$,

где N – номер варианта для индивидуального расчета;

α_{10-9} - дирекционный угол стороны подземного теодолитного хода на ориентируемом горизонте (гироскопическое ориентирование).

Требуется определить: координаты пунктов соединительного теодолитного хода в шахте (опорные сети). Расчет дирекционных углов в шахте ведется от стороны, дирекционный угол которой определен гироскопическим ориентированием (α_{10-9}) в сторону отвеса $О_{В}$ и в сторону отвеса $О_{Ю}$. Приведем расчет координат от отвеса $О_{В}$, приняв значение его координат, полученных на поверхности.

Решение:

1. Координаты отвеса на поверхности:

$$X^{\text{п}}_{\text{ОЮ}} = X_{D'} + d_{\text{ОГ}-D'} \cdot \cos\alpha_{\text{ОЮ}-D'};$$

$$Y^{\text{п}}_{\text{ОЮ}} = Y_{D'} + d_{\text{ОГ}-D'} \cdot \sin\alpha_{\text{ОЮ}-D'}.$$

2. Вычисление дирекционных углов соединительного теодолитного хода в шахте от стороны 10-9 (α_{10-9}):

$$\alpha_{9-8} = \alpha_{10-9} + \beta_9 - 180^0; \ldots; \alpha_{1-О_В} = \alpha_{2-1} + \beta_1 - 180^0;$$

$$\alpha_{10-11} = \alpha_{9-10} - \beta_{10} + 180^0; \ldots; \alpha_{16-О_Г} = \alpha_{15-16} + \beta_{16} - 180^0.$$

3. Координаты пунктов хода в шахте от отвеса $О_В$, в том числе $О_Ю$:

$$X_1 = X_{О_В} + d_{О_В-1} \cdot \cos\alpha_{О_В-1};$$
$$Y_1 = Y_{О_В} + d_{О_В-1} \cdot \sin\alpha_{О_В-1};$$
$$X^{ш}_{О_Ю} = X_{16} + d_{16-О_Г} \cdot \cos\alpha_{16-О_Г};$$
$$Y^{ш}_{О_Ю} = Y_{16} + d_{16-О_Г} \cdot \sin\alpha_{16-О_Г}.$$

4. Линейная невязка определяется сравнением координат отвеса Ою на поверхности и в шахте:

$$X^{п}_{О_Ю} - X^{ш}_{О_Ю} = \Delta X;$$
$$Y^{п}_{О_Ю} - Y^{ш}_{О_Ю} = \Delta Y.$$

Уравнивание:

$$\frac{\Delta X}{P} \cdot d_i; \ \frac{\Delta Y}{P} \cdot d_i; \quad \text{где} \quad P = \Sigma d_i.$$

Результаты вычислений приведены в табл. 5.2.

Для контроля отвес $О_Ю$ сдвигается и выполняется повторное примыкание и повторный расчет координат точек 1, 2, 3,…, 16.

Таблица 5.2

Вычисление ориентировки через два вертикальных ствола с использованием гирокомпаса

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы	Дирекционные углы	Приращения, м		Координаты, м		Номер точки
стояния	наблюдения				ΔY	ΔX	Y	X	
I									
	E'			88°13′23″			48050,952	9704,279	E'
E'	I								
	$О_{ю}$	8,930	178°57′28″	87°10′51″	8,919	0,439	48059,871	9704,718	$О_{ю}$
10									
	9	60,937		272°53′35″			47750,907	9732,300	9
9	10								
	8	61,888	180°03′00″	272°56′35″	-61,806	3,178	47689,100	9735,478	8
8	9								
	7	53,136	180°30′00″	273°26′35″	-53,040	3,191	47636,060	9738,669	7
7	8								
	6	62,835	179°24′52″	272°51′27″	-62,757	3,132	47573,303	9741,801	6
6	7								
	5	79,676	180°37′45″	273°29′12″	-79,529	4,846	47493,775	9746,647	5
5	6								
	4	54,053	179°57′00″	273°26′12″	-53,956	3,240	47439,819	9749,887	4
4	5								
	3	50,444	175°47′38″	269°13′50″	-50,439	-0,677	47389,380	9749,210	3
3	4								
	2	27,714	182°15′45″	271°29′35″	-27,705	0,722	47361,675	9749,932	2
2	3								
	1	43,244	179°02′00″	270°31′35″	-43,242	0,397	47318,433	9750,329	1
1	2								
	$О_{В}$	8,623	172°06′34″	262°38′09″	-8,852	-1,105	47309,881	9749,224	$О_{В}$

Продолжение таблицы 5.2

Точки		Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы	Дирекционные углы	Приращения, м		Координаты, м		Номер точки
стояния	наблюдения				ΔY	ΔX	Y	X	
9									
	10	60,937		92°53′35″	60,859	-3,076	47811,766	9729,225	10
10	9								
	11	65,885	180°21′45″	93°15′20″	65,779	-3,742	47877,545	9725,483	11
11	10								
	12	50,275	177°04′00″	90°19′20″	50,274	-0,283	47927,819	9725,200	12
12	11								
	13	52,442	177°31′53″	87°51′13″	52,405	1,964	47980,224	9727,164	13
13	12								
	14	24,158	240°46′30″	148°37′43″	12,576	-20,626	47992,800	9706,538	14
14	13								
	15	26,450	125°17′15″	93°54′58″	26,388	-1,806	48019,188	9704,732	15
15	14								
	16	34,886	177°58′18″	91°53′16″	34,867	-1,149	48054,055	97,03583	16
16	15								
	$O_{ю}$	5,640	166°19′18″	78°12′34″	5,521	1,152	48059,576	9704,735	$O_{ю}$

$\sum d_i = 762{,}286$ $\qquad f_Y = 0{,}295;\ f_X = 0{,}017$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0{,}09 + 0{,}003} \approx 0{,}3$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{abc}}}{\sum d_i} = \frac{0{,}3}{762{,}286} \le \frac{1}{3000}.$$

5.2.4. Анализ результатов ориентировок

По результатам выполненных ориентировок через один и два вертикальных шахтных ствола проводят сравнительный анализ результатов расчета координат пунктов подземных маркшейдерских опорных сетей.

Каждый студент анализирует результаты своих расчетов, должен изложить свою точку зрения на качество выполненных работ и, руководствуясь Инструкцией [1], сделать выводы о целесообразности применения того или иного способа ориентирования в условиях, имеющих место на учебной практике.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ПУНКТОВ ПОДЗЕМНОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ

6.1. Общие положения

Вертикальная съемка – совокупность измерений и вычислений, в результате которых определяются высотные отметки (координата Z) отдельных точек. Исходными данными для построения высотной сети на поверхности шахты являются реперы государственного нивелирования не ниже IV класса.

Определение высотных отметок пунктов подземной маркшейдерской сети состоит из следующих этапов: а) геометрическое нивелирование на поверхности от реперов III или IV класса до устья ствола; б) передача высотной отметки в шахту; в) техническое нивелирование в горных выработках.

Программой учебной маркшейдерской практики предусмотрено выполнение следующих видов работ: а) передача высотной отметки через вертикальный ствол шахты длиномером (глубиномером) ДА-2 и шахтной лентой; б) техническое нивелирование пунктов маркшейдерской опорной сети в шахте; в) нивелирование транспортных путей.

Передачу высот в горные выработки производят независимо дважды. Допустимые расхождения между двумя независимыми передачами высот по вертикальным выработкам определим по формуле [1], м

$$\Delta Z = 0{,}0003H,$$

где H – глубина шахтного ствола, м.

При допустимых расхождениях за окончательное значение принимают среднее арифметическое из двух определений.

6.2. Передача высотной отметки в шахту длиномером (глубиномером) ДА-2

Передачу высотной отметки с земной поверхности в шахту длиномером ДА-2 выполняют в следующей последовательности:

1. На верхней приемной площадке вблизи шахтного ствола (рис. 6.1) устанавливают длиномер. Над стволом закрепляют направляющий блок.

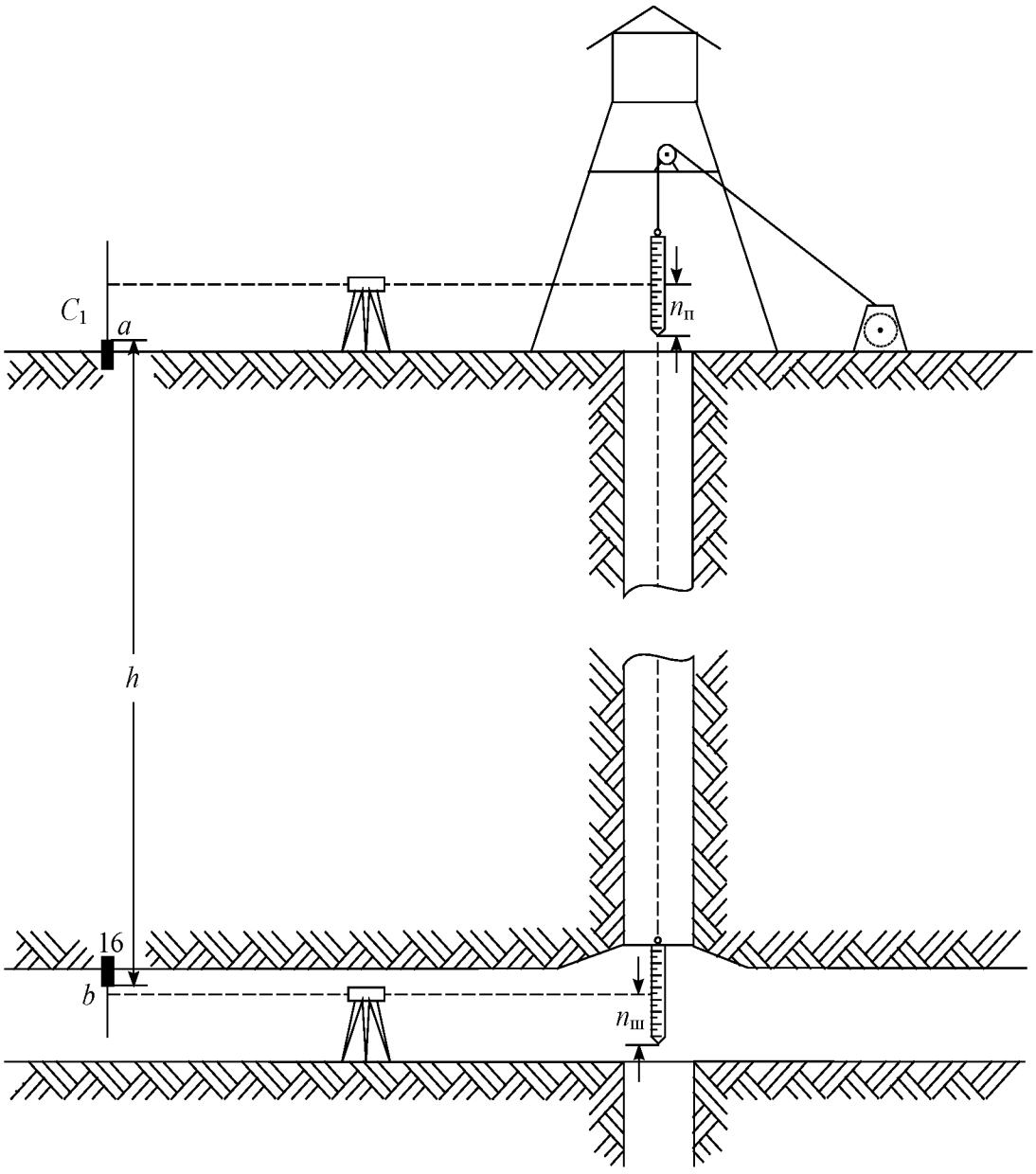


Рис. 6.1. Схема передачи высотной отметки в шахту длиномером (глубиномером) ДА-2

Длиномер ДА-2 представляет собой лебедку, на оси которой насажены барабан для наматывания проволоки и мерный диск, снабженный счетным механизмом.

2. На уровне визирного луча нивелира на конец проволоки крепят груз-рейку, на 1 м выше – контрольную рейку.

3. Нивелир устанавливают посередине между исходным репером, с известной координатой Z, и груз-рейкой.

4. Берут отсчеты:

$N_п$ – по счетчику оборотов на шкале мерного диска, м (отсчет, соответствующий положению груз-рейки или контрольной рейки на уровне визирного луча нивелира на поверхности);

$n_п$ – по шкале груз-рейки (или контрольной рейки) на поверхности, мм;

a – по нивелирной рейке, установленной на репере C с известной высотной отметкой на поверхности, мм.

5. Груз-рейка и контрольная рейка опускаются в ствол шахты до уровня визирного луча трубы нивелира, установленного на ориентируемом горизонте. Нивелир устанавливают посередине между репером в шахте и груз-рейкой. По сигналу из шахты спуск проволоки прекращают и берут следующие отсчеты:

$N_ш$ – по счетчику оборотов на шкале мерного диска, м;

$n_ш$ – по шкале груз-рейки (или контрольной рейки), мм;

b – по нивелирной рейке, установленной на пункте 16 в околоствольном дворе. Пример передачи высотной отметки приведен в табл. 6.1.

Повторно производят передачу высотной отметки при подъеме проволоки, для чего предварительно изменяют положение груз-рейки (контрольной рейки) по высоте или изменяют горизонты нивелиров на земной поверхности и в шахте. Отсчеты по нивелирным рейкам, груз-рейкам и контрольной рейке берут до миллиметра.

Расхождение между двумя результатами или двумя превышениями не должно быть более 4 мм, за результат принимают среднее арифметическое. Расчет превышения и определение отметки репера, находящегося в шахте, производят в следующей последовательности:

$$L = N_ш - N_п + n_п - n_ш,$$
$$h = L - a - b$$

Таблица 6.1

Результаты передачи высотной отметки в шахту ствол «Южный» длиномером ДА-2

Операция	Рейки	Отсчеты						h, м	Поправки, мм				
		$N_п$, м	$n_п$, мм	a, мм	$N_ш$, м	$n_ш$, мм	b, мм		ΔL_d	ΔL_{t_1}	ΔL_{t_2}	$\Delta_к$	$\Sigma\Delta L$
Спуск	Груз-рейка	12,271	223	1149	274,439	375	1539	259,328	658,900	-20,351	10,093	-812,824	-164,181
	Контр-рейка	13,322	144	1149	275,298	105	1539	259,327	658,418	-20,336	10,086	-812,229	-164,061
Подъем	Груз-рейка												
	Контр-рейка												
								259,163	658,659	-20,343	10,090	-812,527	-164,121

$h_{ср}$ = 259,202

Паспортные данные ДА-2 № 82

Диаметр мерного диска 317,323 мм

Длина окружности диска 996,8996 мм

Температура компарирования мерного диска – $t_к$ = 23°

$Z_{16} = Z_I - h_{ср}$ = 258,734 – 259,163 = -0,429 м

Температура на поверхности $t_п$ = 29°, в шахте $t_ш$ = 9°, $t_{ср}$ = 19°

Коэффициент линейного расширения α = 0,000011

Вычислил:_____

Проверил:_____

или

$$h = N_{ш} - N_{п} - n_{ш} - a - b + n_{п},$$

с учетом поправок

$$h' = h + \Delta L_d + \Delta L_{t_1} + \Delta L_{t_2} + \Delta L_{к},$$

где ΔL_d – поправка за диаметр проволоки, мм; ΔL_{t_1} – поправка за разность температур проволоки на земной поверхности и в стволе шахты, мм; ΔL_{t_2} – поправка за разность температур мерного диска при измерениях и при компарировании, мм, $\Delta L_{к}$ – поправка за компарирование мерного диска, мм.

Поправки вычисляют по формулам:

$$\Delta L_d = 0{,}001 \cdot d \cdot \pi(N_{ш} - N_{п});$$

$$\Delta L_{t_1} = 0{,}001 \cdot \alpha_1(N_{ш} - N_{п})(t_{ср} - t_{п});$$

$$\Delta L_{t_2} = 0{,}001 \cdot \alpha_2(N_{ш} - N_{п})(t_{п} - t_{к});$$

$$\Delta L_{к} = 0{,}001(l - 1000)\ (N_{ш} - N_{п}),$$

где d – диаметр проволоки, равный по паспорту 0,8 мм; π – 3,1416; α_1 – температурный коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлена проволока (для стали α_1 = 0,0115); $t_{ср}$ – средняя температура воздуха в стволе шахты, принятая как среднее арифметическое значение из температур в околоствольном дворе и у устья шахты, град; $t_{п}$ – температура мерного диска при измерениях, т. е. температура воздуха на земной поверхности, град; α_2 – температурный коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлен мерный диск (из паспорта длиномера α_2 = 0,011); l – длина окружности мерного диска (по паспорту завода); $(N_{ш} - N_{п})$ – разность отсчетов по счетчику оборотов и мерному диску при положении груза-рейки (контрольной рейки) в околоствольном дворе и на земной поверхности, мм.

Поправки вводят в $h_{ср}$, полученное из двух независимых передач высотной отметки.

Пример камеральной обработки результатов передачи высотной отметки при помощи длиномера ДА-2 приведен в табл. 6.1.

6.3. Передача высотной отметки в шахту шахтной лентой

Производство работ при передаче высотной отметки с земной поверхности в шахту шахтной лентой аналогично предыдущему методу и заключается в следующем.

Перед началом работы шахтная лента должна быть прокомпарирована. Барабан с лентой прочно укрепляется над стволом шахты (рис. 6.2). На конец ленты подвешивается небольшой груз, после чего лента осторожно разматывается и опускается в ствол шахты. После спуска ленты барабан фиксируют, а внизу на ленту подвешивают рабочий груз, равный натяжению ленты при компарировании.

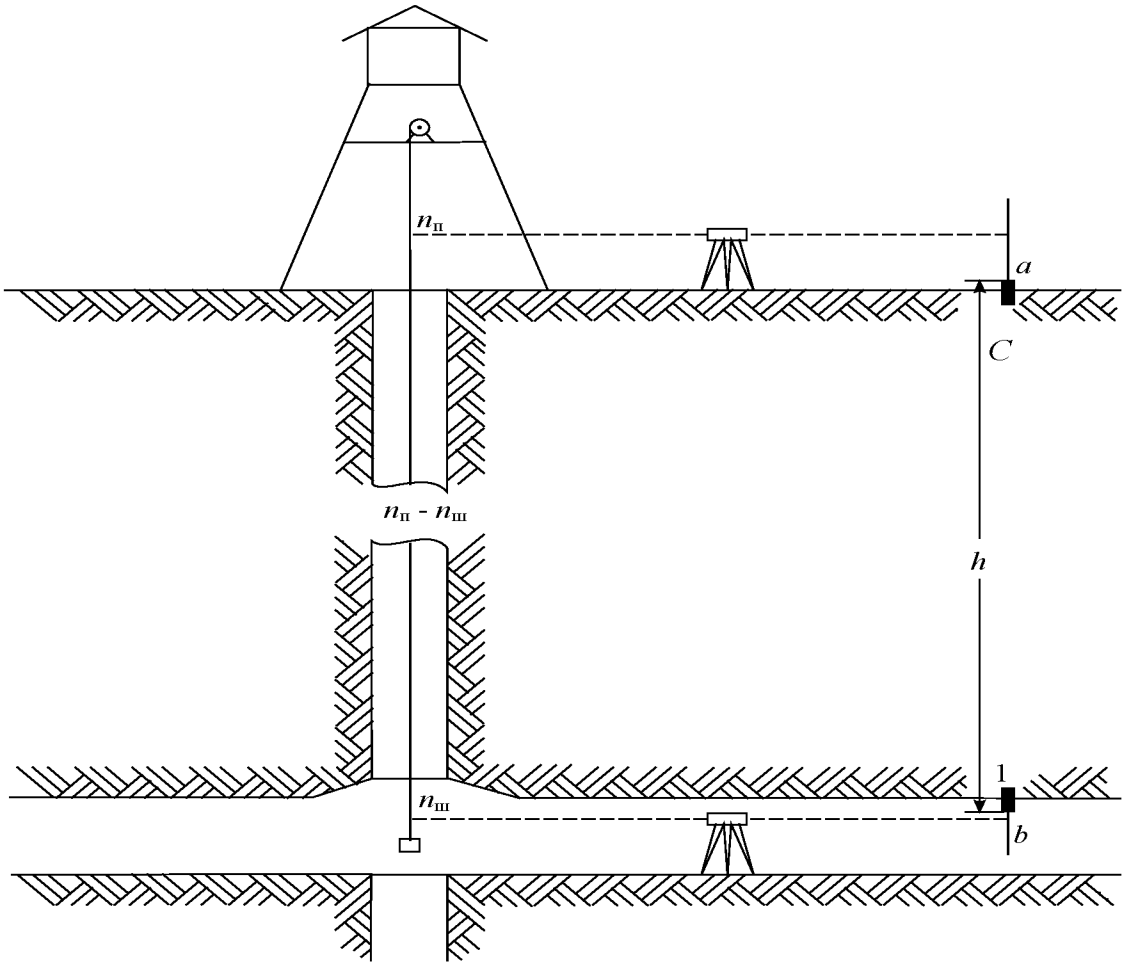


Рис. 6.2. Схема передачи высотной отметки в шахту шахтной лентой

На земной поверхности и на ориентируемом горизонте нивелиры устанавливают так, чтобы в трубу каждого нивелира были видны лента и рейка, установленная на репере. Расстояния от нивелира до ленты и рейки должны быть по возможности одина-

ковыми, чтобы в процессе работы исключить перефокусировку трубы нивелира.

По команде руководителя поочередно на поверхности, затем в шахте берутся отсчеты по ленте $n_п$ и $n_ш$ и по рейкам, установленным на реперах на поверхности a и в шахте b. Затем лента передвигается (подтягивается вверх или опускается) и серия отсчетов повторяется, т. е. производится новая независимая передача высотной отметки.

Высотная отметка должна быть передана в шахту не менее двух раз.

Превышение h вычисляют по формуле

$$h = n_п - n_ш - a - b.$$

Если все значения h из нескольких независимых передач высотной отметки удовлетворяют допуску, то вычисляется среднее арифметическое значение превышения $h_{ср}$. В эту величину необходимо ввести следующие поправки:

$\Delta l_к$ – за компарирование шахтной ленты, эта поправка берется из ведомости обработки результатов компарирования ленты с соответствующим знаком;

Δl_t – за разность температур шахтной ленты при измерениях и при компарировании, мм:

$$\Delta l_t = 1000 \cdot \alpha \cdot l(t - t_к),$$

знак поправки определяется знаком разности температур $(t - t_к)$;

Δl_g – за растяжение шахтной ленты от собственного веса, мм:

$$\Delta l_g = \frac{100\gamma \cdot l^2}{2E},$$

где α – коэффициент линейного расширения стали, равный 0,000015; l – длина ленты, опущенной на глубину ствола, м; t – температура ленты в момент измерения, т. е. средняя температура воздуха в стволе, которая получается как среднее арифметическое значение температур, измеренных на поверхности у устья ствола и в околоствольном дворе в шахте, град; $t_к$ – температура ленты при компарировании, град; γ – плотность стали (7,8 т/м^3); E – модуль упругости, равный для стали $2 \cdot 10^6$ кг/см^2.

Таблица 6.2

Результаты измерений и расчет передачи высотной отметки в шахту ств. «Вспомогательный» шахтной лентой

Положение ленты	Отсчеты на земной поверхности		Отсчеты в шахте		h, м	Поправки, мм				$h_{ср}$, м
	$n_п$, м	a, мм	$n_ш$, м	b, мм		$\Delta L_к$	ΔL_l	ΔL_g	$\sum\Delta L$	
1	69,372	1294	336,124	1330	264,128					
2	69,167	1294	335,918	1330	264,127					
3	69,142	1294	335,892	1330	264,126					
						+5,0	-1,3	+2,6	+6,3	264,133

$$h_{ср} = 264{,}133$$

$$Z_1 = Z_c - h_{ср} = 265{,}890 - 264{,}133 = 1{,}757 \text{ м}$$

Вычислил_____

Проверил_____

Если натяжения шахтной ленты при компарировании и при измерениях не равны, то вводится поправка за разность натяжений, мм:

$$\Delta l_Q = \frac{10 \cdot l(Q_{\text{и}} - Q_{\text{к}})}{E \cdot F},$$

где $Q_{\text{и}}$ – масса груза при измерении, кг; $Q_{\text{к}}$ – масса груза (или сила натяжения) при компарировании ленты, кг; F – площадь поперечного сечения ленты, см^2.

Знак поправки определяется знаком разности веса ($Q_{\text{и}} - Q_{\text{к}}$). Пример вычисления передачи высотной отметки при помощи длинной шахтной ленты приведен в табл. 6.2.

6.4. Геометрическое нивелирование в подземных горных выработках

Геометрическое нивелирование технического класса точности выполняют в выработках с углом наклона не более 5-8° с целью создания высотного обоснования для вертикальной съемки в шахте и решения различных маркшейдерских задач.

Для данного класса нивелирования применяют нивелиры типа Н-10, позволяющие обеспечить точность 10 мм на 1 км двойного хода.

Нивелирные ходы прокладывают замкнутые или разомкнутые, пройденные в прямом и обратном направлениях. Расстояние между нивелиром и рейками не должно превышать 50 м. Отсчеты по рейкам берут до миллиметра, расхождение в превышениях на станции, определенных по черным и красным сторонам реек или при двух горизонтах инструмента, не должно превышать 10 мм.

Невязки хода технического нивелирования не должны превышать 50 мм$\sqrt{L}$, где L – длина хода, км. Уравнивание нивелирных ходов выполняют распределением допустимой невязки, взятой с обратным знаком, пропорционально числу станций или длине сторон хода.

Методика выполнения геометрического нивелирования и камеральной обработки результатов известна студентам из курса геодезии и здесь не приводится.

6.5. Вертикальная съемка откаточных путей почвы и кровли выработки

Вертикальная съемка производится с целью определения уклонов рельсов, почвы и кровли выработки для составления продольного профиля [4]. Съемка выполняется по пикетам через 10 или 20 м техническим нивелированием по головке рельсов. Одновременно берут отсчеты по почве и кровле выработки на каждом пикете и в характерных местах резкого изменения почвы и кровли выработки.

Конечным результатом нивелирования является профиль откаточного пути, почвы и кровли выработки. Профиль вычерчивается на ватмане или на миллиметровой бумаге. На профиле указывают:

а) фактические отметки (черным цветом);

б) проектные отметки (красным цветом).

Уклоны пути между пикетами указывают с точностью до 1 мм/м, а отметки пикетов - до 0,001 м. В нижней части профиля вычерчивается план выработки, составленный по результатам съемки подробностей, выполненной при проложении теодолитного хода. На плане указывают контур выработки, пункты теодолитного хода, положение откаточных путей, пикеты и другие объекты.

Поскольку определение отметок пунктов плановой опорной сети и пикетов обеспечивается техническим нивелированием, то на учебной маркшейдерской практике рекомендуется совмещать работы по проведению геометрического нивелирования подземных горных выработок и вертикальной съемки откаточных путей.

Пример заполнения журнала технического нивелирования приведен в табл. 6.3.

В случае если используется односторонняя рейка, в прямом ходе на каждой стоянке производится смена горизонта нивелира. При каждом горизонте инструмента берут отсчеты по рейке, установленной на пикетах (на головке рельса), маркшейдерских точках, в почве и кровле выработки.

В обратном ходе при двух горизонтах инструмента берут отсчеты по рейке, установленной на маркшейдерских точках и пикетах.

Если используется двухсторонняя рейка, нивелирование выполняют при одном горизонте инструмента.

Таблица 6.3

Формуляр журнала технического нивелирования в шахте

Наблюдатель: Дата: Вычислитель: Дата:

Номера пикетов, реперов и промеж. точек	Отсчеты по рейке					Превышения		Отметки		Примечания
	задние	читанные		средние		+	–	условные	абсолютные	
		промеж.	передние	задние	передние					
МТ3	-1573								63,830	МТ 3 (ГК 1 +0,9)
1+20		1310					2883		60,947	
Кровля		-1310					0263		63,567	
1+40		1332					2905		60,925	
Кровля		-1479					0094		63,736	
МТ4		-1321					0252		63,578	МТ 4 (ГК 1 +54,4)
1+60		1440					3013		60,817	
Кровля		-1038					0535		63,295	
1+80		1440					3013		60,817	
Кровля		-1210					0363		63,467	
МТ5		-0980					0693		63,137	МТ 5 (ГК 1 +92,7)
2		+1512					3085		60,745	
Кровля		-1119					0454		63,376	
2+20		1561					3134		60,696	
Кровля		-1365					0208		63,622	
МТ6			-0925				0648		63,182	МТ 6 (ГК 1 +33,6)

7. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМ ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ

7.1. Задание направления горным выработкам в горизонтальной плоскости

Методика подготовки разбивочных данных для задания направления проходки выработки в горизонтальной плоскости аналогична методике подготовки данных для выноса центра ствола в натуру, описанной в главе 4 (раздел 4.7.3).

Различие заключается в том, что в натуру выносится направление, а не точка.

Выносимое проектное направление выработки следует фиксировать не менее чем тремя точками, закрепляемыми в кровле временными маркшейдерскими знаками на расстоянии 3...5 м друг от друга. Створом шнуровых отвесов, подвешенных к закрепленным точкам, проходчики могут пользоваться до удаления забоя от ближней к забою створной точки не более 50 м.

Если направление выработки задается параллельно ее оси, то необходимо указывать расстояния (скобы) от заданного направления до одной из стенок.

Данная работа выполняется с использованием в качестве исходных данных координат двух смежных точек подземной опорной сети и проектного дирекционного угла оси выработки.

Современными средствами закрепления проектного направления выработки, заменяющими шнуровые отвесы, являются световые и лазерные указатели направления ЛУН-17.

7.2. Задание направления горным выработкам в вертикальной плоскости

Для задания направления горной выработке в вертикальной плоскости могут быть использованы отвесы, подвешенные к створным точкам, закрепляющим направление выработки в горизонтальной плоскости. В этом случае проектный угол задается теодолитом (при проектном уклоне более 0,1), установленным в створе отвесов, а отвесы вывешиваются по визирной оси таким образом, что их верхние площадки закрепляют в пространстве линию проектного уклона.

Квершлаг, соединяющий стволы «Вспомогательный» и «Южный», имеет минимальный уклон, необходимый для обеспечения стока шахтной воды в направлении ближайшего ствола. Контроль правильности проведения выработок с проектным уклоном менее 0,1 (6°) и укладки рельсовых путей по заданному уклону удобнее производить с помощью нивелира способом стенных реперов (рис. 7.1).

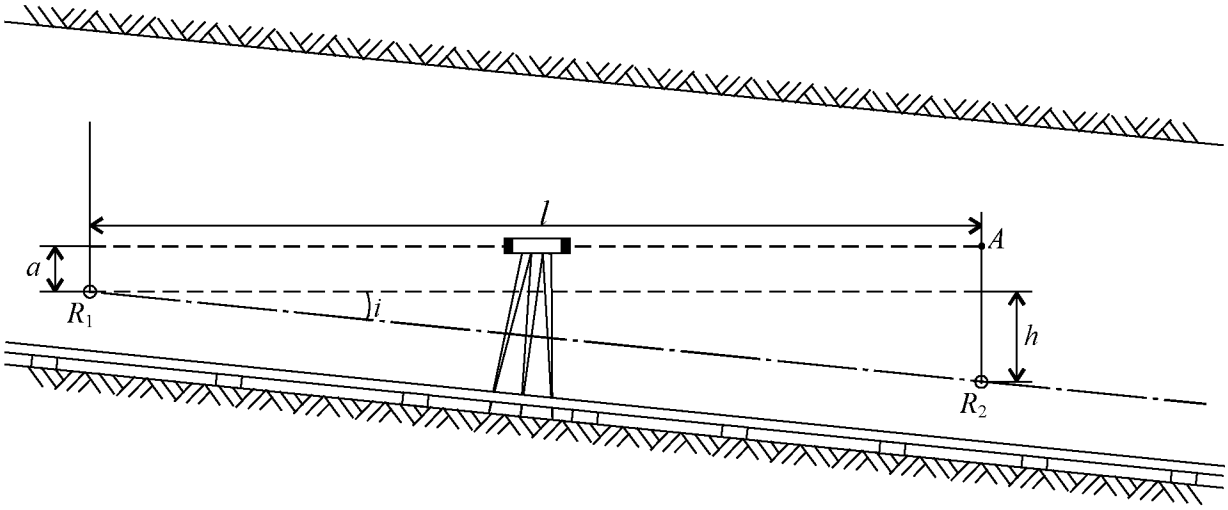


Рис. 7.1. Задание направления выработке в вертикальной плоскости стенными реперами с помощью нивелира

На высоте 0,5...0,7 м от головки рельсов в стенке выработки закрепляется репер R_1. На расстоянии 10...12 м от этого репера отмечают на той же стенке точку A, которая является проекцией визирного луча нивелира, а по рейке, установленной на репере R_1, берут отсчет a. Измерив расстояние l между нивелирной рейкой и точкой A, по заданному уклону i вычисляют превышение:

$$h = i \cdot l.$$

Отложив от точки A по вертикали размер, равный $a + h$, определяют положение репера R_2. Створ $R_1 - R_2$ указывает в натуре линию заданного уклона. Аналогично закладываются реперы на противоположной стенке выработки.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА О ПРАКТИКЕ

8.1. Общие положения

По окончании практики студент составляет индивидуальный отчет и представляет его на проверку руководителю практики с последующей защитой.

Все полевые измерения и вычисления оформляются в бригадных полевых журналах. На основании этих журналов, содержащих предварительно обработанные результаты измерений, каждый студент самостоятельно составляет окончательные расчеты по всем видам работ.

Отчеты составляются по окончании каждого вида работ с последующим предъявлением на проверку руководителю практики.

По завершении практики отчет брошюруется и сдается для окончательной оценки. При написании отчета следует пользоваться данным учебным пособием, но категорически запрещается переписывание текста пособия или учебников. Обложка отчета оформляется на листе ватмана. Образец оформления обложки показан на рис. 8.1.

Каждый раздел отчета должен сопровождаться схемами, зарисовками, выписками из полевых журналов с личными измерениями и записями. Схемы и рисунки должны выполняться тушью или черной пастой, отражать действительность, пояснять и дополнять текст отчета.

Нумерация страниц принимается сквозная (начиная с обложки) и включает страницы с рисунками и таблицами. Номера страниц проставляют в правом верхнем углу листа. Титульный лист и оглавление не нумеруют. Текст в рамку не заключается. Весь отчет, включая заголовки, выполняется одноцветной пастой. Разделы отчета нумеруются арабскими цифрами с точкой. Номера подразделов состоят из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой, например, 1.1; 1.2; и т. д. Подразделы могут состоять из пунктов. Номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точкой, например, 1.1.1; 1.1.2. Переносы слов в заголовках не допускаются. Каждый раздел отчета начинается с новой страницы.

Уральский государственный горный университет

Кафедра маркшейдерского дела

О Т Ч Е Т

об учебной маркшейдерской практике

Студент
Группа
Бригада

Руководитель практики

Березовский, 20__ г.

Рис. 8.1. Образец оформления обложки отчета о практике

Отчет начинается с оглавления, введения и заканчивается заключением, списком использованной литературы и приложениями. Упомянутые разделы не нумеруются.

Формулы, если их более одной, нумеруют в пределах раздела. Номер формулы указывают справа в скобках. Допускается сквозная нумерация формул в пределах всего отчета.

Рисунки и таблицы следует располагать по тексту отчета (позже и возможно ближе к тексту, где имеется ссылка). Номер иллюстрации и таблицы состоит из номера раздела и номера иллюстрации или таблицы, разделенных точкой, например: Рис. 1.1, Таблица 1.1. Допускается сквозная нумерация таблиц и рисунков в пределах всего отчета.

Название рисунка помещается над рисунком, а номер – под рисунком.

Номер таблицы и ее название помещаются над таблицей.

Профиль откаточного пути и совмещенный план поверхности и подземных горных выработок целесообразно поместить в конце отчета в качестве приложений.

8.2. Содержание отчета

Пояснительная записка отчета должна включать следующие разделы:

оглавление (с названием разделов и подразделов с соответствующими номерами и указанием страницы);

введение (цели и задачи практики, 1-2 стр.).

1. Краткая геологическая и горнотехническая характеристики месторождения (1-2 стр.).

В этом разделе дается краткое описание геологических особенностей месторождения и шахтного поля, общие сведения о районе.

2. Подготовительные работы (1-2 стр.).

К подготовительным относятся все работы, выполняемые студентами для подготовки инструментов и оборудования к работе: определение стрелы провеса рулетки, поверки инструментов (теодолитов и нивелиров) и т. д. При описании поверок инструментов указывается тип инструмента, его номер и порядок проведения поверок. Обязательно следует описать, какие отклонения были получены, какие сделаны исправления и на каких

значениях после исправления остановились, формулируются выводы о готовности инструмента к работе.

3. Маркшейдерские работы на земной поверхности (15-20 стр.): прокладка полигонометрии 1-го разряда; нивелирование IV класса; съемка участка, оконтуренного полигонометрическими ходами, и составление плана снятого участка; тахеометрическая съемка складированной руды, составление плана и разрезов склада, подсчет его объема. В отчете должны быть описаны полевые работы (методика измерения углов и длин полигона с приведением выписок из полевых журналов), при этом следует сопоставлять фактические данные результатов измерений с требованиями инструкции.

Камеральная обработка выполняется каждым студентом самостоятельно. По окончании вычислительных работ должен быть сделан критический анализ работ, включающий сличение полученных результатов с требованиями инструкции, и личный вывод по качеству выполненных работ.

4. Ориентирование и центрирование подземной опорной сети (15-20 стр.).

В вводной части этого раздела следует кратко описать цель и назначение ориентирования и центрирования.

Ориентирование подземной опорной сети через один вертикальный ствол. Сначала приводится схема ориентировки, которая вычерчивается в определенном масштабе с расположением отвесов и подходных пунктов. На схеме показывают отделения ствола шахты и конфигурацию околоствольного двора. Приводится перечень оборудования и инструментов. Особое внимание следует обратить на подготовительные работы и вопросы техники безопасности при выполнении ориентировки. Затем описывается методика измерений с указанием необходимой точности их выполнения. Далее прилагаются результаты вычислений с необходимым контролем и личными выводами о точности произведенных работ.

Ориентирование подземной опорной сети через два вертикальных ствола. Вначале описывается и иллюстрируется схема ориентирования, перечисляются необходимые инструменты и оборудование. Затем следует описание методики измерения с приведением выписок из полевых журналов. После завершения

камеральных работ нужно дать оценку качества ориентировки и критические выводы по методике работ.

Аналогично предыдущим видам описываются методика и приводятся результаты ориентировок, выполненных с применением гирокомпаса. Далее производится сопоставление результатов всех видов ориентирования, выполненных во время практики.

По результатам съемок на поверхности и в шахте по квершлагу (подходной и соединительный полигоны) и съемке подробностей составляется совмещенный план поверхности и подземных горных выработок в масштабе 1:1000. При вычерчивании плана следует руководствоваться ГОСТ 2.850-75-2.857-75. Горная графическая документация [3]. План прилагается к отчету в виде копии с бригадного плана.

5. Передача высотной отметки с земной поверхности в шахту при помощи длиномера ДА-2 и шахтной ленты (5-7 стр.).

В вводной части следует описать цель и назначение передачи высотной отметки, а затем изложить сущность выполнения каждого способа, методику измерения и вычисления с оценкой точности работ.

6. Геометрическое нивелирование в горных выработках (5-7 стр.).

Излагается сущность вертикальной съемки горных выработок и нивелирования транспортных путей, дается описание инструментов и методики выполнения нивелировки обоих видов. При описании камеральной обработки дается оценка точности работ, а также излагается порядок вычерчивания профиля откаточных путей. Профиль прилагается к отчету в виде копии с бригадного чертежа.

7. Краткий отчет об экскурсиях, проведенных во время практики (3-5 стр.).

8. Заключение (1-2 стр.).

9. Список использованной литературы.

10. Приложение.

10.1. Совмещенный план поверхности и подземных горных выработок (формат А1).

10.2. Профиль откаточных путей (формат А1).

10.3. Бригадные материалы (для бригадира).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль*: Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Серия 07. Выпуск 15 / колл. авт. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. 120 с.

2. *Кортев Н. В., Леонтьев А. Т., Самарин А. В.* Маркшейдерская документация: учебное пособие. Екатеринбург: УГГГА, 2001. 68 с.

3. *Голубко Б. П., Земских Г. В., Шевелев А. А.* Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Екатеринбург: УГГУ, 2007. 64 с.

4. *Маркшейдерское дело* / Д. Н. Оглоблин и др. М.: Недра, 1981. С. 13-234.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Земских Г.В.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА Ч.1

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ 5
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК 6
2.1. Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения 6
2.1.1. Общие сведения о районе нахождения месторождения (предприятия) 6
2.1.2. Геологическая характеристика месторождения 7
2.2. Горнотехнологическая характеристика предприятия 8
2.2.1. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом 8
2.2.2. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом 9
2.2.3. Горные работы при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых 11
2.2.4. Горные работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 12
2.3. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых 13
2.3.1. Общие положения 13
2.3.2. Маркшейдерские работы на земной поверхности 13
2.3.3. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений 14
2.3.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и россыпных месторождений 15
2.3.5. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 15
2.3.6. Маркшейдерские работы при строительстве горных производств 17
2.3.7. Документация, инструменты, оборудование и штаты маркшейдерских отделов 17
2.4. Выводы 18
2.5. Производственные экскурсии 18

3 УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ
И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ 18
3.1. Основные положения..... 18
3.2. Требования к оформлению отчета 20
3.2.1. Общие требования 20
3.2.2. Порядок брошюровки работы 21
3.2.3. Требования к оформлению титульного листа..... 21
3.2.4. Требования к оформлению реферата..... 21
3.2.5. Требования к оформлению содержания..... 23
3.2.6. Требования к оформлению введения..... 24
3.2.7. Требования к оформлению основных разделов
пояснительной записки 24
3.2.8. Изложение текста..... 25
3.2.9. Требования к оформлению формул 26
3.2.10. Требования к оформлению примечаний 29
3.2.11. Требования к оформлению иллюстраций 29
3.2.12. Требования к оформлению таблиц 30
3.2.13. Требования к оформлению списка литература..... 31
3.2.14. Требования к оформлению приложений..... 32
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 34

ВВЕДЕНИЕ

Производственная практика является обязательной частью профессионального обучения студентов специальности «Маркшейдерское дело». В учебном плане подготовки маркшейдеров УГГУ предусматривается три производственные практики: производственная маркшейдерская – после четвертого курса обучения, производственная инженерная – после пятого и преддипломная – после шестого. Главная задача производственных практик – закрепить теоретические знания и научить студента применять эти знания при решении практических задач на производстве.

Изученный материал в период практики и выполненные студентом самостоятельно или при его участии работы излагаются в отчете по практике.

Материалы, изученные в период производственных практик, могут быть использованы студентом при выполнении курсового проектирования и подготовки ВКР специалиста.

С учетом специфики специальности студенту-маркшейдеру в течение двух производственных практик необходимо стремиться познакомиться с различными горными предприятиями, ведущими разработку месторождений полезных ископаемых как подземным, так и открытым способами.

За время прохождения практики студент знакомится и изучает: общие сведения о районе, где находится предприятие; геологическую характеристику месторождения; горнотехнические условия разработки; технико-экономические показатели предприятия; безопасность горного производства и его воздействие на окружающую среду; маркшейдерские работы; маркшейдерскую структуру предприятия и производство маркшейдерских работ.

Основные обязанности студента и последовательность решения организационных вопросов в период практики изложены в разделе 2.1 данных методических указаний.

1. ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ

Во время прохождения производственной практики студент специальности «Маркшейдерское дело» знакомится с горнотехнологическим процессом предприятия, принимает участие в его производстве и изучает следующие разделы:

1. Общие сведения о районе, где находится месторождение полезного ископаемого и горное предприятие.

2. Геологическая характеристика месторождения.

3. Горнотехнологическая характеристика горного предприятия, технология разработки и добычи полезного ископаемого.

4. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождения полезных ископаемых.

По окончании производственной практики студент пишет отчет. Содержание отчета и порядок изложения материала в отчете по практике должны соответствовать требованиям «Программы и методических указаний по прохождению производственных практик».

Программа производственной практики составлена в соответствии с учебным планом подготовки студентов специальности «Горное дело», специализация «Маркшейдерское дело».

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК

Перечень вопросов, подлежащих изучению, порядок изложения изученного материала в отчете по практике, указания по организации практики и требования к оформлению отчета по практике.

2.1. Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения

2.1.1. Общие сведения о районе нахождения месторождения (предприятия)

Географическое положение месторождения (республика, область, административный район), расстояние от железной дороги, водных путей, ближайших населенных пунктов и пути сообщения с ними. Климатические условия района (среднемесячные изменения температуры, осадки, господствующие направления ветров, глубина промерзания грунта).

Экономические сведения, транспортные связи, топливно-энергетическая база, условия водоснабжения, местные строительные материалы.

Объем раздела 2.1.1 – 1-2 стр.

Графический материал к разделу 2.1.1:

– обзорная карта района в мелком масштабе, формат А4.

– фотографии.

2.1.2. Геологическая характеристика месторождения

Краткие сведения по стратиграфии, литологии и тектонике

Описание горных пород, слагающих месторождение, условия залегания, характеристика основных элементов тектоники, форма и размеры тел полезного ископаемого (мощность, длина по простиранию и падению), разделение рудных тел по петрографическому, минералогическому и химическому составу, структуре и текстуре, первичные и вторичные изменения вмещающих пород, содержание полезных и вредных компонентов, изменчивость содержания по простиранию и падению с глубиной.

Геологические условия образования (генезис) месторождения.

Объем раздела – до 10 стр.

Гидрогеологическая характеристика месторождения

Описание водоносных горизонтов, гидростатические напоры вод, коэффициенты фильтрации, площади возможной инфильтрации поверхностных вод, взаимосвязь вод различных горизонтов, состав и качество подземных вод различных горизонтов и в целом по месторождению, приток воды (данные по водоотливу шахты, карьера). Использование подземных вод.

Объем раздела – до 2 стр.

Геологоразведочные работы и подсчет запасов

Методика и схема разведки месторождения, объем произведенных работ и степень разведанности месторождения, категория разведанности, принятые расстояния между разведочными выработками.

Опробование полезного ископаемого, методика отбора проб в горных выработках и скважинах, размеры проб, расстояния между ними, обработка проб, химический анализ. Кондиции. Коэффициент рудоносности. Эксплуатационная разведка.

Принятая методика подсчета запасов на месторождении. Обеспеченность предприятия запасами по категориям.

Объем раздела – до 8 стр.

Инженерно-геологические условия эксплуатации месторождения

Физико-механические свойства вмещающих пород и тел полезного ископаемого (устойчивость пород кровли и почвы, кливаж, крепость, твердость, кусковатость, влажность, газоносность, пыленосность).

Объем радела – до 2 стр.

Графический материал к разделу 2.1.2:

– геологический план в М 1:1000 – 1:5000, на формате предприятия;

– продольный и поперечный геологические разрезы месторождения в М 1:1000 – 1:5000, на формате предприятия;

– иллюстрации, зарисовки наиболее характерных участков месторождения, схемы, диаграммы, таблицы и структурные колонки – формат А4.

Объем раздела 2.1.2 – до 25 стр.

2.2. Горнотехнологическая характеристика предприятия

2.2.1. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом

Основные параметры шахты

Размеры шахтного поля по простиранию и падению, глубина разработки, способ вскрытия, число стволов и места их заложения, годовая производительность. Элементы расчета основных параметров шахты. Технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – 1-2 стр.

Подготовка шахтного поля к эксплуатации

Способ и порядок подготовки шахтного поля. Характеристика существующих горных работ. Система разработки. Сравнительный анализ схемы вскрытия и системы разработки, критерии их выбора. Механизация работ, перечень применяемого оборудования.

Объем раздела – до 10 стр.

Горнокапитальные, горно-подготовительные и очистные работы

Капитальные, подготовительные, нарезные и очистные горные выработки. Механизация работ. Крепление очистного забоя. Управление горным давлением и сдвижением горного массива для условий данной шахты. Паспорта крепления горных выработок.

Вентиляция. Водоотлив. Электроснабжение. Пневмохозяйство. Водоснабжение.

Объем раздела – до 10 стр.

Техника безопасности производства горных работ и мероприятия по охране окружающей среды

Техника безопасности. Мероприятия по производственной санитарии (борьба с пылью и шумом, освещение подземных выработок, питьевое водоснабжение, санитарно-бытовое и медицинское обслуживание). Горно- спасательное дело. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель.

Объем раздела – до 5 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров горнокапитальных, горно-подготовительных, нарезных и очистных горных работ, системы вскрытия и системы разработки;

– расчет себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого шахты или рудника.

Графический материал к разделу 2.2.1:

– план и схема вскрытия шахтного поля;

– система разработки и технология проходки горных выработок;

– графики и схемы решения горно-эксплуатационных задач;

– фотографии.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

Объем раздела 2.2.1 – до 30 стр.

2.2.2. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом

Основные параметры карьера (*разреза*)

Производительность карьера; распределение объемов добычи горной массы по технологическим направлениям; режим работы карьера и срок его существования. Элементы расчета основных параметров карьера (разреза). Технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – 1-5 стр.

Подготовительные и эксплуатационные работы

Существующая схема вскрытия карьера. Система разработки: элементы системы разработки при горно-подготовительных и очистных работах; высота борта, средний угол откоса; длина блока; параметры рабочей площадки и т. д.

Технология ведения горных работ: буровзрывные работы; экскавация горной массы; транспортировка полезного ископаемого и вмещающих горных пород; отвалообразование; водоотлив; энергоснабжение. Перспективы дальнейшего развития карьера. Сравнительный анализ схемы вскрытия и систем разработки, отвалообразования.

Оползневые явления откосов, уступов и бортов карьера, противодеформационные методы борьбы с ними.

Объем раздела до 15 стр.

Техника безопасности производства горных работ. Мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Борьба с пылью и вредными газами. Санитарно-бытовое медицинское обеспечение. Водоснабжение. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель.

Объем раздела – до 5 стр.

Объем раздела 2.2.2 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров вскрытия въездной и разрезной траншей, буровзрывных работ, системы разработки, отвалообразования;

– расчет себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого карьера (разреза).

Графический материал к разделу 2.2.2:

– план горных работ карьера (разреза) на данный период отработки;

– план поверхности с указанием: фактического и проектного контуров отработки карьера (разреза); положения отвалов; железнодорожных и автомобильных дорог, линий связи и ЛЭП промплощадки и др. объектов;

– технологические схемы системы разработки, вскрытия, отвалообразования;

– графики и схемы решения горнотехнологических задач;

– фотографии.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.2.3. Горные работы при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых

Основные параметры дражного (гидро) полигона

Производительность драги (гидромониторов); схема, режим работы и срок эксплуатации полигона. Элементы расчета основных параметров технологии добычи. Перспективы дальнейшего развития и технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – до 5 стр.

Подготовительные и эксплуатационные работы

Схема подготовки полигона. Технология ведения горных работ. Параметры полигона, транспортировка горной массы, отвалообразование, водооборот, энергоснабжение. Учет добычи полезного ископаемого и горной массы.

Объем раздела – до 15 стр.

Техника безопасности производства горных работ. Мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Санитарно-бытовое и медицинское обеспечение. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация наружных земель.

Объем раздела 2.2.3 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров технологического процесса горных работ, системы разработки;

– расчет себестоимости добычи полезного ископаемого, драги (гидромонитора).

Графический материал к разделу 2.2.3:

– план земной поверхности с нанесением фактического и проектного контуров горных работ, транспортных путей, ЛЭП и других объектов;

– технологические схемы системы разработки, график работ.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.2.4. Горные работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Основные параметры горных работ

Технология разведки или доразведки месторождения. Основные параметры разведочных площадок, подземных хранилищ, отдельных участков месторождения. Их соответствие техническому проекту и программа работ. Технология разработки нового месторождения. Технология доработки месторождения действующего предприятия. Технология консервации или ликвидации месторождения.

Во всех случаях приводятся примеры решения:

- подсчета балансовых и промышленных запасов;
- расчета производительности и срока службы месторождения;
- вскрытия и подготовки к добыче месторождения;
- системы разработки и механизации добычи полезного ископаемого;
- организации работ при строительстве буровой вышки и ее ликвидации.

Техника безопасности производства работ и мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Санитарно-бытовое и медицинское обеспечение. Водоснабжение, противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация наружных земель.

Объем раздела 2.2.4 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров технологического процесса горных работ, системы разработки;

– расчет себестоимости добычи полезного ископаемого.

Графический материал к разделу 2.2.4:

– проект технологии горных работ;

– план земной поверхности с нанесением объектов горного производства, транспортных путей, линий связи, ЛЭП и других объектов;

– технологические схемы ведения горных работ.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых

2.3.1. Общие положения

За время прохождения производственной практики студент знакомится с общей организацией и структурой маркшейдерской службы, ее ролью в производственном процессе на горном предприятии. Изучает методику полевых и камеральных маркшейдерских работ, проводимых маркшейдерской службой предприятия, знакомится с инструментарием, оборудованием и маркшейдерской документацией.

Для закрепления знаний, полученных при изучении теоретических курсов маркшейдерии и др. дисциплин, а также для получения практических навыков студенту необходимо принять непосредственное участие во всех видах маркшейдерских работ, выполняемых маркшейдерской службой предприятия. Особое внимание следует уделить производству работ, выполненных лично студентом. В случае невозможности личного участия в том или ином виде маркшейдерских работ студент должен подробно их изучить по материалам предприятия и сделать самостоятельный анализ изученных работ с учетом требований Инструкции [1].

Самостоятельная работа студента включает теоретическое обоснование методики, проводимых на предприятии маркшейдерских съемок, оценку их точности, выводы и предложения по их совершенствованию с учетом современных инструментов, методик и вычислительной техники.

2.3.2. Маркшейдерские работы на земной поверхности

Маркшейдерские опорные сети на территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Исходные данные для построения и реконструкции опорных сетей и сетей сгущения. Методы создания плановых и высотных сетей, плотность, класс точности, схема заложения пунктов, конструкция знаков, реперов (центров).

Выполнение съемок и обновление планов земной поверхности на территории предприятия, масштабы съемки, сечение рельефа. Съемка складов, отвалов хвостохранилищ, методы определения объемов.

Графический материал по разделу 2.3.2:

– ситуационный план земной поверхности территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия, границы земельных и горного отвода;

– план-схема маркшейдерской опорной геодезической сети.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.3. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений

Маркшейдерские работы на промплощадке. Ориентирование подземных съемок, передача высотных отметок в подземные выработки. Опорные и съемочные маркшейдерские подземные сети. Подземная съемка горизонтальных и наклонных выработок, подземное нивелирование горизонтальных и наклонных выработок. Оценка точности маркшейдерско-геодезического обоснования и ориентирно-соединительных съемок. Предрасчет точности сбоек горных выработок. Задание направления горным выработкам. Проверка геометрических элементов шахтного подъема. Профилировка шахтных стволов. Съемка нарезных и очистных выработок. Декадные и месячные маркшейдерские замеры горных работ. Определение остатков полезного ископаемого и составление отчетности.

Маркшейдерские работы при проведении буровзрывных работ.

Маркшейдерское планирование горных работ. Виды и этапы планирования. Исходные данные для составления годового плана развития горных работ. Элементы текущего проектирования горных работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи при выполнении курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 1.3.2:

– схема маркшейдерско-геодезического обоснования на поверхности и в шахте;

– схема ориентирно-соединительной съемки и передачи высотной отметки;

– схема задания направления горным выработкам;

– результаты маркшейдерской съемки подготовительных, нарезных и очистных горных выработок (выкопировки с планов с указанием пунктов съемочного обоснования).

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и россыпных месторождений

Съемочные (плановые и высотные) маркшейдерские сети на земной поверхности и в карьере. Виды съемочных сетей и точность их выполнения.

Маркшейдерская съемка, вынос в натуру и контроль технических параметров ведения горных работ. Виды маркшейдерских съемок, оценка точности и периодичность их выполнения, приборы и оборудование.

Маркшейдерские работы при ведении буровзрывных работ, съемка транспортных путей.

Контроль за погрузкой и распределением горной массы, нормирование и учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Учет движения вскрытых, подготовленных к выемке запасов.

Маркшейдерские работы при проведении экскавации горной массы, отвалообразования.

Маркшейдерские съемки дражных и гидромониторных полигонов.

Проектирование и съемка внешних и внутренних отвалов вскрыши. Учет объемов складируемых руд.

Маркшейдерское планирование горных работ. Виды и этапы планирования. Исходные данные для составления годового плана развития горных работ. Элементы текущего проектирования горных работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи при выполнении курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.4:

– схема съемочного обоснования на земной поверхности и в карьере;

– схемы, рисунки (по тексту отчета) создания и развития съемочных сетей, задания направлений горных выработок, выноса в натуру элементов проекта, решения различных маркшейдерских задач.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.5. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Описание и анализ маркшейдерских работ при разработке нефти и газа включает комплекс маркшейдерских работ на месторождениях, подземных хранилищах сырья, разведочных площадях и отдельных участках.

Критериями оценки фактического производства работ является их сравнение с требованиями технического проекта или программой маркшейдерских работ, утвержденными руководством организации и согласованными в установленном порядке.

Согласно указанным документам необходимо представить:

– маркшейдерскую картографическую документацию, отображающую рельеф, гидрографию, населенные пункты, схему государственной геодезической и маркшейдерской сети, инженерные коммуникации, инженерные сооружения объектов по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;

– схему и методику создания опорных и съемочных сетей;

– маркшейдерско-геодезическую съемку с указанием погрешности определения положения на плане контуров снимаемых объектов относительно пунктов съемочного обоснования;

– подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру, решение задач переноса в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин и других сооружений;

– плановую и высотную привязку устьев скважин после монтажа буровой установки;

– анализ и оценку точности определения планового и высотного положения устьев скважин относительно пунктов съемочной сети;

– геомеханический мониторинг за осадками и деформациями земной поверхности и построенными на ней объектами. Количественную оценку геодинамических полигонов. Гидрогеологические и геокриологические исследования;

– приборы и оборудование и методику выполнения маркшейдерских работ, выполняемых на предприятии.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи для выполнения курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.5:

– топографический план месторождения или участка с нанесением гидрографии, населенных пунктов, государственной геодезической и маркшейдерской сети;

– маркшейдерско-геодезическая съемка объектов;

– подготовка исходных данных для выноса элементов проекта в натуру;

– схема и количественная оценка геомеханического мониторинга.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.6. Маркшейдерские работы при строительстве горных производств

При строительстве горных производств маркшейдерские работы выполняются в строгом соответствии с проектной документацией и включают:

– проверку числовых значений и графической части проектных чертежей. Перенесение геометрических элементов проекта в натуру с пунктов маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса на шахтной поверхности;

– работы при возведении зданий, сооружений и копров. Проверка правильности установки подъемных машин;

– работы при проходке вертикальных шахтных стволов, монтаж армировки;

– работы при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок, при проходке встречными забоями.

Согласно указанным документам, необходимо изучение всех видов маркшейдерских работ, обеспечивающих производство строительства горного производства в соответствии с проектной документацией.

Необходимо представить приборы, оборудование и методику маркшейдерской съемки. Анализ и оценку точности выполнения маркшейдерских работ в соответствии с требованиями ГОСТов и Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи для выполнения курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.6:

– схема маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– примеры детальных разбивочных работ при строительстве технологических комплексов.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.7. Документация, инструменты, оборудование и штаты маркшейдерских отделов

Основные требования, предъявляемые к документации. Обязательный комплект документации и ее содержание. Пополнение и размножение документации. Задачи, решаемые по маркшейдерским планам и графикам. Хранение

маркшейдерской документации. Структура маркшейдерской службы. Оборудование, инструменты, вычислительная техника и программное обеспечение.

Объем маркшейдерской части 20 – 25 стр.

2.4. Выводы

В заключение студент делает свои выводы по всем разделам отчета по практике, оценивая изученный и представленный им материал с известными ему лучшими достижениями в данной отрасли горного производства с учетом новых технологий, инструментов, методик.

2.5. Производственные экскурсии

Экскурсии проводятся с целью расширения технических знаний студентов и общего кругозора в области истории развития предприятия и его роли в общей технологии производства. Экскурсии могут быть организованы в отдельные цеха предприятия, а также на соседние родственные предприятия.

3. УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ

3.1. Основные положения

Перед выездом на практику студенты проходят инструктаж, получают направление–путевку с указанием места назначения на практику, сроков практики. Руководитель практики от кафедры выдает каждому студенту индивидуальное задание по вопросам маркшейдерского дела с учетом специфики предприятия, научно-исследовательской работы студента.

По прибытии на место прохождения практики студент обязан решить следующие организационные вопросы:

а) зарегистрироваться в отделе кадров предприятия, отметить свое прибытие;

б) представиться главному маркшейдеру предприятия и определиться с руководителем производственной практики от предприятия;

в) решить бытовые вопросы;

г) составить план прохождения практики.

С целью лучшего ознакомления с горным предприятием и получения необходимых производственных навыков студент должен стремиться устроиться на должность участкового маркшейдера, горного съемщика или рабочего

маркшейдерского отдела. Это значительно организует практиканта и вносит элемент ответственности. В крайнем случае, если нет возможности получить рабочее место, студент проходит практику в качестве дублера. Это не освобождает его от выполнения производственных обязанностей, которые он должен выполнять под руководством маркшейдера по режиму работы предприятия.

Рабочее время в период практики студент должен планировать по согласованию с руководителем практики от предприятия таким образом, чтобы была возможность практического выполнения основных маркшейдерских работ, проводимых на данном предприятии, знакомства с маркшейдерскими работами, проводившимися ранее, и индивидуальной работы по обработке собранного материала и написания отчета по практике.

При прохождении практики студент обязан вести записи о проделанной работе на предприятии. Записи должны служить основой для составления отчета. Имея в виду, что текстовый материал по геологической части является компилятивным, его следует во время практики систематизировать и изложить уже в таком виде, как это требуется по программе практики. То же самое относится к характеристике современного состояния горных работ и характеристике маркшейдерских работ горного предприятия. При анализе выполняемых работ студент должен пользоваться учебной, нормативной и справочной литературой [1, 2, 3, 4, 5]. Планы и графики, цифровой и справочный материал следует систематизировать и приложить к отчету по практике в виде таблиц, рисунков, приложений.

Для успешного проведения производственной практики большое значение имеет наличие хороших деловых взаимоотношений студента с местными организациями и отдельными работниками предприятия. Студент должен быть исполнительным, вежливым, соблюдать трудовую дисциплину и выполнять требования руководства предприятия.

В случае возникновения вопросов, требующих срочной консультации преподавателей кафедры, студент может ее получить по электронной почте на сайте кафедры.

В конце практики студент представляет отчет руководителю практики от предприятия, получает его отзыв с оценкой. К отчету прилагается заверенное администрацией предприятия направление-путевка студента.

Отчет по практике в готовом виде сдается на кафедру для проверки в течение двух недель после начала занятий.

При выставлении оценки по производственной практике обращается особое внимание на наличие полевых и камеральных работ, выполненных лично студентом.

Отсутствие отчета, несвоевременное его представление на кафедру или неудовлетворительная оценка отчета – все это лишает студента права быть аттестованным и обязывает его пройти производственную практику повторно.

Студентам, сократившим срок пребывания на практике без уважительных причин, практика не засчитывается.

3.2. Требования к оформлению отчета

3.2.1. Общие требования

Отчет оформляются согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 (2001) «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.850 (851-857)–75 «Горная графическая документация».

Отчет выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода с компьютера.

Текст отчета оформляется на листах белой писчей бумаги формата А4. Для данного формата следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При наборе текста рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифтов Times New Roman Cyr. Размер основного шрифта – кегль 14 (или 16), межстрочный интервал – 1,5 (или 1,0). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

– все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом;

– перед знаками препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел;

– между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять один пробел (352 МПа, 30 °С, 10 % и т. д.). Нельзя отделять размерность от числа, в этом случае ставится непрерывный пробел Ctrl + Shift + + пробел;

– при наборе должны различаться тире (–) и дефисы (-);

– между инициалами, после инициалов (перед фамилией), перед сокращениями и между ними ставится неразрывный пробел: Ctrl + + Shift + пробел (1999 год, т. д., т. е., н. э., А. С. Пушкин и т. д.);

– выделения курсивом, полужирным, прописным обеспечиваются средствами Word.

Подчеркивания в качестве выделений не допускаются.

Нумерация страниц и приложений должна быть сквозная. Номера страниц проставляются внизу под линией правого поля с отступом на 15 мм от нижнего края листа.

3.2.2. Порядок брошюровки работы

Отчет брошюруется в следующей последовательности:
– титульный лист;
– направление–путевка;
– реферат;
– содержание;
– введение;
– основные разделы;
– заключение;
– список литературы;
– приложения.

3.2.3. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом отчета. Номер страницы на титульном листе не проставляется. Пример титульного листа приведен ниже.

3.2.4. Требования к оформлению реферата

Слово «РЕФЕРАТ» записывают прописными буквами симметрично тексту.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример оформления реферата приведен ниже.

Пример оформления титульного листа отчета по практике

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
"Уральский государственный горный университет"

Кафедра маркшейдерского дела

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой,
профессор, д-р техн. наук
_____ Гордеев В. А.
« __ » _____20__ г.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРАКТИКА НА ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

Отчет

Исполнитель
Петров И. Л.
МД – 14 – 1

Руководитель
ФИО преподавателя

Екатеринбург – 2018

Пример оформления реферата отчета по практике

РЕФЕРАТ

Отчет по производственной маркшейдерской практике: 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ, КАРЬЕР, ГОРНЫЕ РАБОТЫ, МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ.

Целью работы являлось закрепление теоретических знаний по геологии месторождений, технологии горных работ, методике выполнения маркшейдерских работ.

Работы включали полевые маркшейдерско-геодезические измерения и камеральную обработку полученных результатов, сбор, обработку и анализ материалов горного предприятия.

В результате работы приобретены практические навыки выполнения различных видов маркшейдерских работ.

3.2.5. Требования к оформлению содержания отчета

Содержание отчета включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и страницы.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записываются строчными буквами.

Пример содержания приведен ниже.

Пример оформления содержания

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ 6

1.1. Общие сведения о районе месторождения 6

1.2. Геологическая характеристика месторождения 10

1.3. Гидрогеологические условия 14

2. ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 17
2.1. Фактическое состояние горных работ 18
2.2. Проект доработки горизонта 260 м 24
3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ... 32
4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ 32
5. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА 46
6. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 69
7. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОПОРНЫХ И СЪЕМОЧНЫХ СЕТЕЙ В ШАХТЕ 75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема опорной сети 107

3.2.6. Требования к оформлению введения

Слово «ВВЕДЕНИЕ» записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» не нумеруется.

3.2.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки

Текст пояснительной записки подразделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста, обозначенные арабскими цифрами.

Например: 1. Общие сведения

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. После номера подраздела ставится точка.

Например: 2.1. Фактическое состояние горных работ

Подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.2.1.3 и т. д.

Каждый пункт и подпункт записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы с точкой в конце, не подчеркивать. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам, при выполнении рукописным способом – 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервал, при выполнении рукописным способом – 8 мм.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

3.2.8. Изложение текста

Текст отчета должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова «должен», «следует», «необходимо», «требуется, чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «в случае» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста, например: «применяют», «указывают» и т. п.

В тексте должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

Если необходимо применение специфической терминологии, то перед списком литературы должен быть глоссарий – перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Глоссарий включают в содержание документа.

В тексте не допускается:

– применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

– применять произвольные словообразования;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами;

– 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.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения. Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры

1. Провести измерение пяти линий, каждая длиной около 5 м.
2. Измерить 15 горизонтальных углов полигона.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например, 10,50; 15,75; 20,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не ,).

3.2.9. Требования к оформлению формул

Формулы набираются в редакторе формул, гарнитуры шрифтов: Times New Roman, Symbol. При наборе формул рекомендуется использовать следую-

щие размеры шрифтов (для формата А4): основной – кегль 16 (или 14), крупный индекс – кегль 12 (или 11); мелкий индекс – кегль 10 (или 8).

Латинские обозначения, кроме устойчивых сочетаний типа max, min, cos, sin, tg, log, exp, det и т. д., набираются курсивом; русские, греческие обозначения и цифры – прямым шрифтом.

Математические символы в формулах набирают курсивом, греческие и готические – прямым, химические символы (Cu, Mn и т. д.) – прямым, сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (м, кВт, МПа и т. д.) – прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Перенос в формулах допускается делать на знаках соотношений (±, ≤, ≥, ..., ≈), на отточии (...), на знаках (+) и (–), (×) с дублированием знака на другой строке.

Например: $f(x_1, x_2, \ldots x_n) =$

$= b_0 + b_y + \ldots + b_n.$

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в тексте. В зависимости от объема используется сквозная и индексационная нумерация формул, таблиц, рисунков. Индексационная нумерация используется, как правило, при делении текста на главы и параграфы.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывают номер раздела, затем (после точки) ставят порядковый номер формулы в данном разделе. Номер формулы заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю печатного листа.

Например:

$$\lambda \approx \frac{2\pi}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{\pi}{f\mu\gamma}}; \qquad (3.1)$$

$$\delta = \frac{1}{b}. \qquad (3.2)$$

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликация) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример

Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг; V – объём образца, м^3.

Расшифровка дроби: сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе.

В формулах допускается использовать все виды скобок: (), [], {}. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Основным знаком умножения является точка на средней линии.

Она ставится:

а) между числовыми сомножителями: $20 \cdot 75$;

б) для выделения какого-либо сомножителя: $2 \cdot 2xy \cdot z$;

в) для записи скалярного произведения векторов: $a \cdot b$;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: $a \cos x \cdot b \cos y$;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенным символом: $5ab$;

б) перед скобками и после них: $(b+c)(a-d)$;

в) перед дробными выражениями и после них: $\alpha \dfrac{\cos \alpha}{b} \dfrac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: $\arccos \omega t$.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: $4{,}5 \times 3$ м;

б) при записи векторного произведения $a \times b$;

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$y = (x + 2) \times$$
$$\times (x + 4)^2.$$

Расположение формул в тексте

Наиболее важные и все нумерованные, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, интегрирования, располагают на отдельных строках. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой. Небольшие и несложные формулы, не имеющие самостоятельного значения, размещают внутри строк текста.

На все нумерованные формулы обязательно должны быть ссылки. Они оформляются в той же графической форме, что и после формулы, т. е. арабскими цифрами в круглых скобках.

Например: в формуле (3.7); из уравнения (5.4) вытекает... и т. д.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент, поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулами ставят:

а) после обобщающего слова;

б) если этого требует построение текста, предшествующего формуле.

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием и после него:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_1 + b_2 + \ldots + b_n.$$

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (П. 1).

3.2.10. Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова “Примечание” ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

3.2.11. Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце текста. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1» или «Рисунок 1 – Схема полигона».

Подписи к иллюстрациям рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основного текста.

Экспликацию и легенду рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основной подписи. Экспликация обычно пишется с новой строки. Перед экспликацией ставится двоеточие, между элементами экспликации – точка с запятой.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например – Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать: «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» – при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования – в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например, «Рисунок 1 – Схема полигона».

3.2.12. Требования к оформлению таблиц

Название таблицы, при его наличии, печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на один - два интервала.

***Например*:**

«Таблица 1 – Сводные данные».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Текст таблицы и выводы печатаются более мелким шрифтом, чем основной текст. Так, если:

Основной текст – кг 16 (14)
Текст таблицы – кг 14 (12)
Текст головки таблицы – кг 13 (11)
Примечания к таблице – кг 13 (11).

В одноярусной головке таблицы все заголовки пишутся с прописной буквы, в двух- и многоярусной головке заголовки верхнего яруса пишутся с прописной буквы, а заголовки последующих ярусов – с прописной, если они грамматически не подчинены стоящему над ними заголовку верхнего яруса, и со строчной, если грамматически подчинены стоящему над ними заголовку.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, – в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

***Например*:**

Химический состав стали должен соответствовать нормам табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав, %

Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Медь	Никель	Сера	Фосфор
			не более				
0,12 – 0,18	0,5 – 1,7	0,4 – 0,7	0,05 – 0,1	0,3	0,3	0,04	0,035

3.2.13. Требования к оформлению списка литературы

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т. д., материал которых использован при составлении пояснительной записки. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка состоит из следующих элементов:

– заголовка описания - фамилия, инициалы автора (авторов);

– основного заглавия - название издания (книги, статьи и т. п.);

– места издания – название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М., Ленинград – Л., Санкт-Петербург – СПб.;

– издательства – наименование издательства приводят, как правило, в сокращенной форме – Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

– года издания - обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографического описания

Издание одного автора

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Издание с количеством авторов более трех

Сидоров, А. В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / А. В. Сидоров [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 80 с.

Методические указания

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 «Маркшейдерское дело» / сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Издание под заглавием

Глубинное строение и геодинамика литосферы / под ред. А. А. Смыслова. – Л.: Недра, 1983. – 276 с.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него) проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке и в необходимых случаях – страницы, например:

[18, т. I, с.75]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[Николаев И. Н., 1965]

3.2.14. Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст отчета, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы

большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке появления ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. Серия 07. Нормативные документы по вопросам охраны недр геолого-маркшейдерского контроля. Выпуск 15. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. – М.: ГУП «НТЦ БП», 2003. – 117 с.

2. *Оглоблин, Д. Н.* Маркшейдерское дело: учебник для вузов / Д. Н. Оглоблин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 704 с.

3. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Часть 1. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: учеб. пос. / Б. П. Голубко, В. А. Гордеев, В. И. Яковлев; УГГУ. – Екатеринбург, 2010. – 212 с.

4. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом: учеб. пос. / Б. П. Голубко; УГГУ. – Екатеринбург, 2015. – 73 с.

5. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений подземным способом: учеб. пос. / Б. П. Голубко, Г. В. Земских, О. С. Раева; УГГУ. – Екатеринбург, 2017. – 98 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Земских Г.В.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА Ч.2

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ 5
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК 6
2.1. Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения 6
2.1.1. Общие сведения о районе нахождения месторождения (предприятия) 6
2.1.2. Геологическая характеристика месторождения 7
2.2. Горнотехнологическая характеристика предприятия 8
2.2.1. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом 8
2.2.2. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом 9
2.2.3. Горные работы при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых 11
2.2.4. Горные работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 12
2.3. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых 13
2.3.1. Общие положения 13
2.3.2. Маркшейдерские работы на земной поверхности 13
2.3.3. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений 14
2.3.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и россыпных месторождений 15
2.3.5. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 15
2.3.6. Маркшейдерские работы при строительстве горных производств 17
2.3.7. Документация, инструменты, оборудование и штаты маркшейдерских отделов 17
2.4. Выводы 18
2.5. Производственные экскурсии 18

3 УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ
И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ 18
3.1. Основные положения..... 18
3.2. Требования к оформлению отчета 20
3.2.1. Общие требования 20
3.2.2. Порядок брошюровки работы 21
3.2.3. Требования к оформлению титульного листа..... 21
3.2.4. Требования к оформлению реферата..... 21
3.2.5. Требования к оформлению содержания..... 23
3.2.6. Требования к оформлению введения..... 24
3.2.7. Требования к оформлению основных разделов
пояснительной записки 24
3.2.8. Изложение текста..... 25
3.2.9. Требования к оформлению формул 26
3.2.10. Требования к оформлению примечаний 29
3.2.11. Требования к оформлению иллюстраций 29
3.2.12. Требования к оформлению таблиц 30
3.2.13. Требования к оформлению списка литература..... 31
3.2.14. Требования к оформлению приложений..... 32
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 34

ВВЕДЕНИЕ

Производственная практика является обязательной частью профессионального обучения студентов специальности «Маркшейдерское дело». В учебном плане подготовки маркшейдеров УГГУ предусматривается три производственные практики: производственная маркшейдерская – после четвертого курса обучения, производственная инженерная – после пятого и преддипломная – после шестого. Главная задача производственных практик – закрепить теоретические знания и научить студента применять эти знания при решении практических задач на производстве.

Изученный материал в период практики и выполненные студентом самостоятельно или при его участии работы излагаются в отчете по практике.

Материалы, изученные в период производственных практик, могут быть использованы студентом при выполнении курсового проектирования и подготовки ВКР специалиста.

С учетом специфики специальности студенту-маркшейдеру в течение двух производственных практик необходимо стремиться познакомиться с различными горными предприятиями, ведущими разработку месторождений полезных ископаемых как подземным, так и открытым способами.

За время прохождения практики студент знакомится и изучает: общие сведения о районе, где находится предприятие; геологическую характеристику месторождения; горнотехнические условия разработки; технико-экономические показатели предприятия; безопасность горного производства и его воздействие на окружающую среду; маркшейдерские работы; маркшейдерскую структуру предприятия и производство маркшейдерских работ.

Основные обязанности студента и последовательность решения организационных вопросов в период практики изложены в разделе 2.1 данных методических указаний.

1. ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ

Во время прохождения производственной практики студент специальности «Маркшейдерское дело» знакомится с горнотехнологическим процессом предприятия, принимает участие в его производстве и изучает следующие разделы:

1. Общие сведения о районе, где находится месторождение полезного ископаемого и горное предприятие.

2. Геологическая характеристика месторождения.

3. Горнотехнологическая характеристика горного предприятия, технология разработки и добычи полезного ископаемого.

4. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождения полезных ископаемых.

По окончании производственной практики студент пишет отчет. Содержание отчета и порядок изложения материала в отчете по практике должны соответствовать требованиям «Программы и методических указаний по прохождению производственных практик».

Программа производственной практики составлена в соответствии с учебным планом подготовки студентов специальности «Горное дело», специализация «Маркшейдерское дело».

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК

Перечень вопросов, подлежащих изучению, порядок изложения изученного материала в отчете по практике, указания по организации практики и требования к оформлению отчета по практике.

2.1. Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения

2.1.1. Общие сведения о районе нахождения месторождения (предприятия)

Географическое положение месторождения (республика, область, административный район), расстояние от железной дороги, водных путей, ближайших населенных пунктов и пути сообщения с ними. Климатические условия района (среднемесячные изменения температуры, осадки, господствующие направления ветров, глубина промерзания грунта).

Экономические сведения, транспортные связи, топливно-энергетическая база, условия водоснабжения, местные строительные материалы.

Объем раздела 2.1.1 – 1-2 стр.

Графический материал к разделу 2.1.1:

– обзорная карта района в мелком масштабе, формат А4.

– фотографии.

2.1.2. Геологическая характеристика месторождения

Краткие сведения по стратиграфии, литологии и тектонике

Описание горных пород, слагающих месторождение, условия залегания, характеристика основных элементов тектоники, форма и размеры тел полезного ископаемого (мощность, длина по простиранию и падению), разделение рудных тел по петрографическому, минералогическому и химическому составу, структуре и текстуре, первичные и вторичные изменения вмещающих пород, содержание полезных и вредных компонентов, изменчивость содержания по простиранию и падению с глубиной.

Геологические условия образования (генезис) месторождения.

Объем раздела – до 10 стр.

Гидрогеологическая характеристика месторождения

Описание водоносных горизонтов, гидростатические напоры вод, коэффициенты фильтрации, площади возможной инфильтрации поверхностных вод, взаимосвязь вод различных горизонтов, состав и качество подземных вод различных горизонтов и в целом по месторождению, приток воды (данные по водоотливу шахты, карьера). Использование подземных вод.

Объем раздела – до 2 стр.

Геологоразведочные работы и подсчет запасов

Методика и схема разведки месторождения, объем произведенных работ и степень разведанности месторождения, категория разведанности, принятые расстояния между разведочными выработками.

Опробование полезного ископаемого, методика отбора проб в горных выработках и скважинах, размеры проб, расстояния между ними, обработка проб, химический анализ. Кондиции. Коэффициент рудоносности. Эксплуатационная разведка.

Принятая методика подсчета запасов на месторождении. Обеспеченность предприятия запасами по категориям.

Объем раздела – до 8 стр.

Инженерно-геологические условия эксплуатации месторождения

Физико-механические свойства вмещающих пород и тел полезного ископаемого (устойчивость пород кровли и почвы, кливаж, крепость, твердость, кусковатость, влажность, газоносность, пыленосность).

Объем радела – до 2 стр.

Графический материал к разделу 2.1.2:

– геологический план в М 1:1000 – 1:5000, на формате предприятия;

– продольный и поперечный геологические разрезы месторождения в М 1:1000 – 1:5000, на формате предприятия;

– иллюстрации, зарисовки наиболее характерных участков месторождения, схемы, диаграммы, таблицы и структурные колонки – формат А4.

Объем раздела 2.1.2 – до 25 стр.

2.2. Горнотехнологическая характеристика предприятия

2.2.1. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом

Основные параметры шахты

Размеры шахтного поля по простиранию и падению, глубина разработки, способ вскрытия, число стволов и места их заложения, годовая производительность. Элементы расчета основных параметров шахты. Технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – 1-2 стр.

Подготовка шахтного поля к эксплуатации

Способ и порядок подготовки шахтного поля. Характеристика существующих горных работ. Система разработки. Сравнительный анализ схемы вскрытия и системы разработки, критерии их выбора. Механизация работ, перечень применяемого оборудования.

Объем раздела – до 10 стр.

Горнокапитальные, горно-подготовительные и очистные работы

Капитальные, подготовительные, нарезные и очистные горные выработки. Механизация работ. Крепление очистного забоя. Управление горным давлением и сдвижением горного массива для условий данной шахты. Паспорта крепления горных выработок.

Вентиляция. Водоотлив. Электроснабжение. Пневмохозяйство. Водоснабжение.

Объем раздела – до 10 стр.

Техника безопасности производства горных работ и мероприятия по охране окружающей среды

Техника безопасности. Мероприятия по производственной санитарии (борьба с пылью и шумом, освещение подземных выработок, питьевое водоснабжение, санитарно-бытовое и медицинское обслуживание). Горно- спасательное дело. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель.

Объем раздела – до 5 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров горнокапитальных, горно-подготовительных, нарезных и очистных горных работ, системы вскрытия и системы разработки;

– расчет себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого шахты или рудника.

Графический материал к разделу 2.2.1:

– план и схема вскрытия шахтного поля;

– система разработки и технология проходки горных выработок;

– графики и схемы решения горно-эксплуатационных задач;

– фотографии.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

Объем раздела 2.2.1 – до 30 стр.

2.2.2. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом

Основные параметры карьера (*разреза*)

Производительность карьера; распределение объемов добычи горной массы по технологическим направлениям; режим работы карьера и срок его существования. Элементы расчета основных параметров карьера (разреза). Технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – 1-5 стр.

Подготовительные и эксплуатационные работы

Существующая схема вскрытия карьера. Система разработки: элементы системы разработки при горно-подготовительных и очистных работах; высота борта, средний угол откоса; длина блока; параметры рабочей площадки и т. д.

Технология ведения горных работ: буровзрывные работы; экскавация горной массы; транспортировка полезного ископаемого и вмещающих горных пород; отвалообразование; водоотлив; энергоснабжение. Перспективы дальнейшего развития карьера. Сравнительный анализ схемы вскрытия и систем разработки, отвалообразования.

Оползневые явления откосов, уступов и бортов карьера, противодеформационные методы борьбы с ними.

Объем раздела до 15 стр.

Техника безопасности производства горных работ. Мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Борьба с пылью и вредными газами. Санитарно-бытовое медицинское обеспечение. Водоснабжение. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель.

Объем раздела – до 5 стр.

Объем раздела 2.2.2 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров вскрытия въездной и разрезной траншей, буровзрывных работ, системы разработки, отвалообразования;

– расчет себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого карьера (разреза).

Графический материал к разделу 2.2.2:

– план горных работ карьера (разреза) на данный период отработки;

– план поверхности с указанием: фактического и проектного контуров отработки карьера (разреза); положения отвалов; железнодорожных и автомобильных дорог, линий связи и ЛЭП промплощадки и др. объектов;

– технологические схемы системы разработки, вскрытия, отвалообразования;

– графики и схемы решения горнотехнологических задач;

– фотографии.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.2.3. Горные работы при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых

Основные параметры дражного (гидро) полигона

Производительность драги (гидромониторов); схема, режим работы и срок эксплуатации полигона. Элементы расчета основных параметров технологии добычи. Перспективы дальнейшего развития и технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – до 5 стр.

Подготовительные и эксплуатационные работы

Схема подготовки полигона. Технология ведения горных работ. Параметры полигона, транспортировка горной массы, отвалообразование, водооборот, энергоснабжение. Учет добычи полезного ископаемого и горной массы.

Объем раздела – до 15 стр.

Техника безопасности производства горных работ. Мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Санитарно-бытовое и медицинское обеспечение. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация наружных земель.

Объем раздела 2.2.3 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров технологического процесса горных работ, системы разработки;

– расчет себестоимости добычи полезного ископаемого, драги (гидромонитора).

Графический материал к разделу 2.2.3:

– план земной поверхности с нанесением фактического и проектного контуров горных работ, транспортных путей, ЛЭП и других объектов;

– технологические схемы системы разработки, график работ.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.2.4. Горные работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Основные параметры горных работ

Технология разведки или доразведки месторождения. Основные параметры разведочных площадок, подземных хранилищ, отдельных участков месторождения. Их соответствие техническому проекту и программа работ. Технология разработки нового месторождения. Технология доработки месторождения действующего предприятия. Технология консервации или ликвидации месторождения.

Во всех случаях приводятся примеры решения:

- подсчета балансовых и промышленных запасов;
- расчета производительности и срока службы месторождения;
- вскрытия и подготовки к добыче месторождения;
- системы разработки и механизации добычи полезного ископаемого;
- организации работ при строительстве буровой вышки и ее ликвидации.

Техника безопасности производства работ и мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Санитарно-бытовое и медицинское обеспечение. Водоснабжение, противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация наружных земель.

Объем раздела 2.2.4 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров технологического процесса горных работ, системы разработки;

– расчет себестоимости добычи полезного ископаемого.

Графический материал к разделу 2.2.4:

– проект технологии горных работ;

– план земной поверхности с нанесением объектов горного производства, транспортных путей, линий связи, ЛЭП и других объектов;

– технологические схемы ведения горных работ.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых

2.3.1. Общие положения

За время прохождения производственной практики студент знакомится с общей организацией и структурой маркшейдерской службы, ее ролью в производственном процессе на горном предприятии. Изучает методику полевых и камеральных маркшейдерских работ, проводимых маркшейдерской службой предприятия, знакомится с инструментарием, оборудованием и маркшейдерской документацией.

Для закрепления знаний, полученных при изучении теоретических курсов маркшейдерии и др. дисциплин, а также для получения практических навыков студенту необходимо принять непосредственное участие во всех видах маркшейдерских работ, выполняемых маркшейдерской службой предприятия. Особое внимание следует уделить производству работ, выполненных лично студентом. В случае невозможности личного участия в том или ином виде маркшейдерских работ студент должен подробно их изучить по материалам предприятия и сделать самостоятельный анализ изученных работ с учетом требований Инструкции [1].

Самостоятельная работа студента включает теоретическое обоснование методики, проводимых на предприятии маркшейдерских съемок, оценку их точности, выводы и предложения по их совершенствованию с учетом современных инструментов, методик и вычислительной техники.

2.3.2. Маркшейдерские работы на земной поверхности

Маркшейдерские опорные сети на территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Исходные данные для построения и реконструкции опорных сетей и сетей сгущения. Методы создания плановых и высотных сетей, плотность, класс точности, схема заложения пунктов, конструкция знаков, реперов (центров).

Выполнение съемок и обновление планов земной поверхности на территории предприятия, масштабы съемки, сечение рельефа. Съемка складов, отвалов хвостохранилищ, методы определения объемов.

Графический материал по разделу 2.3.2:

– ситуационный план земной поверхности территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия, границы земельных и горного отвода;

– план-схема маркшейдерской опорной геодезической сети.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.3. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений

Маркшейдерские работы на промплощадке. Ориентирование подземных съемок, передача высотных отметок в подземные выработки. Опорные и съемочные маркшейдерские подземные сети. Подземная съемка горизонтальных и наклонных выработок, подземное нивелирование горизонтальных и наклонных выработок. Оценка точности маркшейдерско-геодезического обоснования и ориентирно-соединительных съемок. Предрасчет точности сбоек горных выработок. Задание направления горным выработкам. Проверка геометрических элементов шахтного подъема. Профилировка шахтных стволов. Съемка нарезных и очистных выработок. Декадные и месячные маркшейдерские замеры горных работ. Определение остатков полезного ископаемого и составление отчетности.

Маркшейдерские работы при проведении буровзрывных работ.

Маркшейдерское планирование горных работ. Виды и этапы планирования. Исходные данные для составления годового плана развития горных работ. Элементы текущего проектирования горных работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи при выполнении курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 1.3.2:

– схема маркшейдерско-геодезического обоснования на поверхности и в шахте;

– схема ориентирно-соединительной съемки и передачи высотной отметки;

– схема задания направления горным выработкам;

– результаты маркшейдерской съемки подготовительных, нарезных и очистных горных выработок (выкопировки с планов с указанием пунктов съемочного обоснования).

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и россыпных месторождений

Съемочные (плановые и высотные) маркшейдерские сети на земной поверхности и в карьере. Виды съемочных сетей и точность их выполнения.

Маркшейдерская съемка, вынос в натуру и контроль технических параметров ведения горных работ. Виды маркшейдерских съемок, оценка точности и периодичность их выполнения, приборы и оборудование.

Маркшейдерские работы при ведении буровзрывных работ, съемка транспортных путей.

Контроль за погрузкой и распределением горной массы, нормирование и учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Учет движения вскрытых, подготовленных к выемке запасов.

Маркшейдерские работы при проведении экскавации горной массы, отвалообразования.

Маркшейдерские съемки дражных и гидромониторных полигонов.

Проектирование и съемка внешних и внутренних отвалов вскрыши. Учет объемов складируемых руд.

Маркшейдерское планирование горных работ. Виды и этапы планирования. Исходные данные для составления годового плана развития горных работ. Элементы текущего проектирования горных работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи при выполнении курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.4:

– схема съемочного обоснования на земной поверхности и в карьере;

– схемы, рисунки (по тексту отчета) создания и развития съемочных сетей, задания направлений горных выработок, выноса в натуру элементов проекта, решения различных маркшейдерских задач.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.5. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Описание и анализ маркшейдерских работ при разработке нефти и газа включает комплекс маркшейдерских работ на месторождениях, подземных хранилищах сырья, разведочных площадях и отдельных участках.

Критериями оценки фактического производства работ является их сравнение с требованиями технического проекта или программой маркшейдерских работ, утвержденными руководством организации и согласованными в установленном порядке.

Согласно указанным документам необходимо представить:

– маркшейдерскую картографическую документацию, отображающую рельеф, гидрографию, населенные пункты, схему государственной геодезической и маркшейдерской сети, инженерные коммуникации, инженерные сооружения объектов по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;

– схему и методику создания опорных и съемочных сетей;

– маркшейдерско-геодезическую съемку с указанием погрешности определения положения на плане контуров снимаемых объектов относительно пунктов съемочного обоснования;

– подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру, решение задач переноса в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин и других сооружений;

– плановую и высотную привязку устьев скважин после монтажа буровой установки;

– анализ и оценку точности определения планового и высотного положения устьев скважин относительно пунктов съемочной сети;

– геомеханический мониторинг за осадками и деформациями земной поверхности и построенными на ней объектами. Количественную оценку геодинамических полигонов. Гидрогеологические и геокриологические исследования;

– приборы и оборудование и методику выполнения маркшейдерских работ, выполняемых на предприятии.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи для выполнения курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.5:

– топографический план месторождения или участка с нанесением гидрографии, населенных пунктов, государственной геодезической и маркшейдерской сети;

– маркшейдерско-геодезическая съемка объектов;

– подготовка исходных данных для выноса элементов проекта в натуру;

– схема и количественная оценка геомеханического мониторинга.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.6. Маркшейдерские работы при строительстве горных производств

При строительстве горных производств маркшейдерские работы выполняются в строгом соответствии с проектной документацией и включают:

– проверку числовых значений и графической части проектных чертежей. Перенесение геометрических элементов проекта в натуру с пунктов маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса на шахтной поверхности;

– работы при возведении зданий, сооружений и копров. Проверка правильности установки подъемных машин;

– работы при проходке вертикальных шахтных стволов, монтаж армировки;

– работы при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок, при проходке встречными забоями.

Согласно указанным документам, необходимо изучение всех видов маркшейдерских работ, обеспечивающих производство строительства горного производства в соответствии с проектной документацией.

Необходимо представить приборы, оборудование и методику маркшейдерской съемки. Анализ и оценку точности выполнения маркшейдерских работ в соответствии с требованиями ГОСТов и Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи для выполнения курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.6:

– схема маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– примеры детальных разбивочных работ при строительстве технологических комплексов.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.7. Документация, инструменты, оборудование и штаты маркшейдерских отделов

Основные требования, предъявляемые к документации. Обязательный комплект документации и ее содержание. Пополнение и размножение документации. Задачи, решаемые по маркшейдерским планам и графикам. Хранение

маркшейдерской документации. Структура маркшейдерской службы. Оборудование, инструменты, вычислительная техника и программное обеспечение.

Объем маркшейдерской части 20 – 25 стр.

2.4. Выводы

В заключение студент делает свои выводы по всем разделам отчета по практике, оценивая изученный и представленный им материал с известными ему лучшими достижениями в данной отрасли горного производства с учетом новых технологий, инструментов, методик.

2.5. Производственные экскурсии

Экскурсии проводятся с целью расширения технических знаний студентов и общего кругозора в области истории развития предприятия и его роли в общей технологии производства. Экскурсии могут быть организованы в отдельные цеха предприятия, а также на соседние родственные предприятия.

3. УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ

3.1. Основные положения

Перед выездом на практику студенты проходят инструктаж, получают направление–путевку с указанием места назначения на практику, сроков практики. Руководитель практики от кафедры выдает каждому студенту индивидуальное задание по вопросам маркшейдерского дела с учетом специфики предприятия, научно-исследовательской работы студента.

По прибытии на место прохождения практики студент обязан решить следующие организационные вопросы:

а) зарегистрироваться в отделе кадров предприятия, отметить свое прибытие;

б) представиться главному маркшейдеру предприятия и определиться с руководителем производственной практики от предприятия;

в) решить бытовые вопросы;

г) составить план прохождения практики.

С целью лучшего ознакомления с горным предприятием и получения необходимых производственных навыков студент должен стремиться устроиться на должность участкового маркшейдера, горного съемщика или рабочего

маркшейдерского отдела. Это значительно организует практиканта и вносит элемент ответственности. В крайнем случае, если нет возможности получить рабочее место, студент проходит практику в качестве дублера. Это не освобождает его от выполнения производственных обязанностей, которые он должен выполнять под руководством маркшейдера по режиму работы предприятия.

Рабочее время в период практики студент должен планировать по согласованию с руководителем практики от предприятия таким образом, чтобы была возможность практического выполнения основных маркшейдерских работ, проводимых на данном предприятии, знакомства с маркшейдерскими работами, проводившимися ранее, и индивидуальной работы по обработке собранного материала и написания отчета по практике.

При прохождении практики студент обязан вести записи о проделанной работе на предприятии. Записи должны служить основой для составления отчета. Имея в виду, что текстовый материал по геологической части является компилятивным, его следует во время практики систематизировать и изложить уже в таком виде, как это требуется по программе практики. То же самое относится к характеристике современного состояния горных работ и характеристике маркшейдерских работ горного предприятия. При анализе выполняемых работ студент должен пользоваться учебной, нормативной и справочной литературой [1, 2, 3, 4, 5]. Планы и графики, цифровой и справочный материал следует систематизировать и приложить к отчету по практике в виде таблиц, рисунков, приложений.

Для успешного проведения производственной практики большое значение имеет наличие хороших деловых взаимоотношений студента с местными организациями и отдельными работниками предприятия. Студент должен быть исполнительным, вежливым, соблюдать трудовую дисциплину и выполнять требования руководства предприятия.

В случае возникновения вопросов, требующих срочной консультации преподавателей кафедры, студент может ее получить по электронной почте на сайте кафедры.

В конце практики студент представляет отчет руководителю практики от предприятия, получает его отзыв с оценкой. К отчету прилагается заверенное администрацией предприятия направление-путевка студента.

Отчет по практике в готовом виде сдается на кафедру для проверки в течение двух недель после начала занятий.

При выставлении оценки по производственной практике обращается особое внимание на наличие полевых и камеральных работ, выполненных лично студентом.

Отсутствие отчета, несвоевременное его представление на кафедру или неудовлетворительная оценка отчета – все это лишает студента права быть аттестованным и обязывает его пройти производственную практику повторно.

Студентам, сократившим срок пребывания на практике без уважительных причин, практика не засчитывается.

3.2. Требования к оформлению отчета

3.2.1. Общие требования

Отчет оформляются согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 (2001) «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.850 (851-857)–75 «Горная графическая документация».

Отчет выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода с компьютера.

Текст отчета оформляется на листах белой писчей бумаги формата А4. Для данного формата следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При наборе текста рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифтов Times New Roman Cyr. Размер основного шрифта – кегль 14 (или 16), межстрочный интервал – 1,5 (или 1,0). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

– все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом;

– перед знаками препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел;

– между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять один пробел (352 МПа, 30 °С, 10 % и т. д.). Нельзя отделять размерность от числа, в этом случае ставится непрерывный пробел Ctrl + Shift + + пробел;

– при наборе должны различаться тире (–) и дефисы (-);

– между инициалами, после инициалов (перед фамилией), перед сокращениями и между ними ставится неразрывный пробел: Ctrl + + Shift + пробел (1999 год, т. д., т. е., н. э., А. С. Пушкин и т. д.);

– выделения курсивом, полужирным, прописным обеспечиваются средствами Word.

Подчеркивания в качестве выделений не допускаются.

Нумерация страниц и приложений должна быть сквозная. Номера страниц проставляются внизу под линией правого поля с отступом на 15 мм от нижнего края листа.

3.2.2. Порядок брошюровки работы

Отчет брошюруется в следующей последовательности:
– титульный лист;
– направление–путевка;
– реферат;
– содержание;
– введение;
– основные разделы;
– заключение;
– список литературы;
– приложения.

3.2.3. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом отчета. Номер страницы на титульном листе не проставляется. Пример титульного листа приведен ниже.

3.2.4. Требования к оформлению реферата

Слово «РЕФЕРАТ» записывают прописными буквами симметрично тексту.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример оформления реферата приведен ниже.

Пример оформления титульного листа отчета по практике

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
"Уральский государственный горный университет"

Кафедра маркшейдерского дела

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой,
профессор, д-р техн. наук
_____ Гордеев В. А.
« __ » _____20__ г.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРАКТИКА НА ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

Отчет

Исполнитель
Петров И. Л.
МД – 14 – 1

Руководитель
ФИО преподавателя

Екатеринбург – 2018

Пример оформления реферата отчета по практике

РЕФЕРАТ

Отчет по производственной маркшейдерской практике: 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ, КАРЬЕР, ГОРНЫЕ РАБОТЫ, МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ.

Целью работы являлось закрепление теоретических знаний по геологии месторождений, технологии горных работ, методике выполнения маркшейдерских работ.

Работы включали полевые маркшейдерско-геодезические измерения и камеральную обработку полученных результатов, сбор, обработку и анализ материалов горного предприятия.

В результате работы приобретены практические навыки выполнения различных видов маркшейдерских работ.

3.2.5. Требования к оформлению содержания отчета

Содержание отчета включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и страницы.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записываются строчными буквами.

Пример содержания приведен ниже.

Пример оформления содержания

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ 6

1.1. Общие сведения о районе месторождения 6

1.2. Геологическая характеристика месторождения 10

1.3. Гидрогеологические условия 14

2. ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 17
2.1. Фактическое состояние горных работ 18
2.2. Проект доработки горизонта 260 м 24
3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ... 32
4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ 32
5. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА 46
6. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 69
7. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОПОРНЫХ И СЪЕМОЧНЫХ СЕТЕЙ В ШАХТЕ 75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема опорной сети 107

3.2.6. Требования к оформлению введения

Слово «ВВЕДЕНИЕ» записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» не нумеруется.

3.2.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки

Текст пояснительной записки подразделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста, обозначенные арабскими цифрами.

Например: 1. Общие сведения

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. После номера подраздела ставится точка.

Например: 2.1. Фактическое состояние горных работ

Подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.2.1.3 и т. д.

Каждый пункт и подпункт записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы с точкой в конце, не подчеркивать. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам, при выполнении рукописным способом – 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервал, при выполнении рукописным способом – 8 мм.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

3.2.8. Изложение текста

Текст отчета должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова «должен», «следует», «необходимо», «требуется, чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «в случае» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста, например: «применяют», «указывают» и т. п.

В тексте должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

Если необходимо применение специфической терминологии, то перед списком литературы должен быть глоссарий – перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Глоссарий включают в содержание документа.

В тексте не допускается:

– применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

– применять произвольные словообразования;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами;

– 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.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения. Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры

1. Провести измерение пяти линий, каждая длиной около 5 м.
2. Измерить 15 горизонтальных углов полигона.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например, 10,50; 15,75; 20,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не ,).

3.2.9. Требования к оформлению формул

Формулы набираются в редакторе формул, гарнитуры шрифтов: Times New Roman, Symbol. При наборе формул рекомендуется использовать следую-

щие размеры шрифтов (для формата А4): основной – кегль 16 (или 14), крупный индекс – кегль 12 (или 11); мелкий индекс – кегль 10 (или 8).

Латинские обозначения, кроме устойчивых сочетаний типа max, min, cos, sin, tg, log, exp, det и т. д., набираются курсивом; русские, греческие обозначения и цифры – прямым шрифтом.

Математические символы в формулах набирают курсивом, греческие и готические – прямым, химические символы (Cu, Mn и т. д.) – прямым, сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (м, кВт, МПа и т. д.) – прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Перенос в формулах допускается делать на знаках соотношений (±, ≤, ≥, ..., ≈), на отточии (...), на знаках (+) и (–), (×) с дублированием знака на другой строке.

Например: $f(x_1, x_2, \ldots x_n) =$

$= b_0 + b_y + \ldots + b_n.$

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в тексте. В зависимости от объема используется сквозная и индексационная нумерация формул, таблиц, рисунков. Индексационная нумерация используется, как правило, при делении текста на главы и параграфы.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывают номер раздела, затем (после точки) ставят порядковый номер формулы в данном разделе. Номер формулы заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю печатного листа.

Например:

$$\lambda \approx \frac{2\pi}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{\pi}{f\mu\gamma}}; \qquad (3.1)$$

$$\delta = \frac{1}{b}. \qquad (3.2)$$

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликация) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример

Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг; V – объём образца, м^3.

Расшифровка дроби: сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе.

В формулах допускается использовать все виды скобок: (), [], {}. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Основным знаком умножения является точка на средней линии.

Она ставится:

а) между числовыми сомножителями: $20 \cdot 75$;

б) для выделения какого-либо сомножителя: $2 \cdot 2xy \cdot z$;

в) для записи скалярного произведения векторов: $a \cdot b$;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: $a \cos x \cdot b \cos y$;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенным символом: $5ab$;

б) перед скобками и после них: $(b+c)(a-d)$;

в) перед дробными выражениями и после них: $\alpha \dfrac{\cos \alpha}{b} \dfrac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: $\arccos \omega t$.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: $4{,}5 \times 3$ м;

б) при записи векторного произведения $a \times b$;

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$y = (x + 2) \times$$
$$\times (x + 4)^2.$$

Расположение формул в тексте

Наиболее важные и все нумерованные, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, интегрирования, располагают на отдельных строках. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой. Небольшие и несложные формулы, не имеющие самостоятельного значения, размещают внутри строк текста.

На все нумерованные формулы обязательно должны быть ссылки. Они оформляются в той же графической форме, что и после формулы, т. е. арабскими цифрами в круглых скобках.

Например: в формуле (3.7); из уравнения (5.4) вытекает... и т. д.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент, поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулами ставят:

а) после обобщающего слова;

б) если этого требует построение текста, предшествующего формуле.

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием и после него:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_1 + b_2 + \ldots + b_n.$$

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (П. 1).

3.2.10. Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова “Примечание” ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

3.2.11. Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце текста. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1» или «Рисунок 1 – Схема полигона».

Подписи к иллюстрациям рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основного текста.

Экспликацию и легенду рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основной подписи. Экспликация обычно пишется с новой строки. Перед экспликацией ставится двоеточие, между элементами экспликации – точка с запятой.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например – Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать: «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» – при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования – в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например, «Рисунок 1 – Схема полигона».

3.2.12. Требования к оформлению таблиц

Название таблицы, при его наличии, печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на один - два интервала.

***Например*:**

«Таблица 1 – Сводные данные».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Текст таблицы и выводы печатаются более мелким шрифтом, чем основной текст. Так, если:

Основной текст – кг 16 (14)
Текст таблицы – кг 14 (12)
Текст головки таблицы – кг 13 (11)
Примечания к таблице – кг 13 (11).

В одноярусной головке таблицы все заголовки пишутся с прописной буквы, в двух- и многоярусной головке заголовки верхнего яруса пишутся с прописной буквы, а заголовки последующих ярусов – с прописной, если они грамматически не подчинены стоящему над ними заголовку верхнего яруса, и со строчной, если грамматически подчинены стоящему над ними заголовку.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, – в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

***Например*:**

Химический состав стали должен соответствовать нормам табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав, %

Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Медь	Никель	Сера	Фосфор
			не более				
0,12 – 0,18	0,5 – 1,7	0,4 – 0,7	0,05 – 0,1	0,3	0,3	0,04	0,035

3.2.13. Требования к оформлению списка литературы

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т. д., материал которых использован при составлении пояснительной записки. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка состоит из следующих элементов:

– заголовка описания - фамилия, инициалы автора (авторов);

– основного заглавия - название издания (книги, статьи и т. п.);

– места издания – название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М., Ленинград – Л., Санкт-Петербург – СПб.;

– издательства – наименование издательства приводят, как правило, в сокращенной форме – Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

– года издания - обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографического описания

Издание одного автора

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Издание с количеством авторов более трех

Сидоров, А. В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / А. В. Сидоров [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 80 с.

Методические указания

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 «Маркшейдерское дело» / сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Издание под заглавием

Глубинное строение и геодинамика литосферы / под ред. А. А. Смыслова. – Л.: Недра, 1983. – 276 с.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него) проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке и в необходимых случаях – страницы, например:

[18, т. I, с.75]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[Николаев И. Н., 1965]

3.2.14. Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст отчета, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы

большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке появления ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. Серия 07. Нормативные документы по вопросам охраны недр геолого-маркшейдерского контроля. Выпуск 15. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. – М.: ГУП «НТЦ БП», 2003. – 117 с.

2. *Оглоблин, Д. Н.* Маркшейдерское дело: учебник для вузов / Д. Н. Оглоблин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 704 с.

3. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Часть 1. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: учеб. пос. / Б. П. Голубко, В. А. Гордеев, В. И. Яковлев; УГГУ. – Екатеринбург, 2010. – 212 с.

4. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом: учеб. пос. / Б. П. Голубко; УГГУ. – Екатеринбург, 2015. – 73 с.

5. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений подземным способом: учеб. пос. / Б. П. Голубко, Г. В. Земских, О. С. Раева; УГГУ. – Екатеринбург, 2017. – 98 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Назаров И.В., Шипилова Е.В.

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 5
1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИХ РАБОЧИЕ ПОВЕРКИ 6
1.1. Рабочие поверки теодолита Т-30 (2Т-30) 6
1.2. Рабочие поверки нивелира Н-3 10
2. ПЛАНОВО-ВЫСОТНОЕ СЪЁМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ 12
2.1. Рекогносцировка местности и закрепление пунктов съёмочного обоснования 12
2.2. Измерение горизонтальных и вертикальных углов в тахеометрическом ходе 13
2.3. Измерение длин сторон тахеометрического хода 15
2.4. Привязка хода к пунктам опорной геодезической сети 16
3. ПЛАНОВО-ВЫСОТНОЕ СЪЁМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ 17
3.1. Вычисление привязки 17
3.2. Вычисление горизонтальных проложений длин линий 19
3.3. Вычисление отметок пунктов съемочного обоснования методом тригонометрического нивелирования 20
3.4. Вычисление координат пунктов съемочного обоснования 22
3.4.1. Вычисление угловой невязки хода 22
3.4.2. Вычисление дирекционных углов сторон хода 24
3.4.3. Вычисление приращений координат, их невязок и координат пунктов съемочного обоснования 25
4. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА 27
4.1. Работа на станции 27
4.2. Ведение журнала тахеометрической съемки 28
4.3. Составление абриса 30
5. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА 32
5.1. Вычерчивание координатной сетки 32
5.1.1. Построение пунктов съемочного обоснования по координатам 32
5.2. Нанесение ситуации и рельефа местности на план 33

5.3. Оформление топографического плана ... 33
6. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПО ОСИ ТРАССЫ ... 34
6.1. Рекогносцировка трассы ... 34
6.2. Разбивка пикетажа по трассе и поперечных профилей ... 34
6.3. Нивелирование по оси трассы и по поперечным профилям ... 35
6.4. Работа на станции при нивелировании ... 36
6.5. Камеральная обработка результатов нивелирования ... 39
6.5.1. Обработка нивелирного журнала ... 39
6.5.2. Построение профиля трассы ... 41
6.5.3. Проектирование по профилю ... 43
7. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ... 45
7.1. Элементы геодезических разбивочных работ ... 45
7.1.1. Вынос в натуру проектного горизонтального угла ... 45
7.1.2. Вынос в натуру проектного расстояния ... 46
7.2. Вынос в натуру точки с заданными координатами (полярным способом) ... 46
7.3. Вынос в натуру точки с заданной отметкой ... 49
7.4. Вынос в натуру линии с проектным уклоном ... 50
8. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ ... 52
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ... 53
ПРИЛОЖЕНИЯ ... 54
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Стандартный шрифт ... 54
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Вычислительный шрифт ... 55

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Задачей учебной геодезической практики является закрепление теоретических знаний студентов и приобретение ими практических навыков при решении различных инженерно-геодезических задач.

Все виды работ, предусмотренные программой, выполняются студентами самостоятельно бригадами в составе 6 человек, Продолжительность учебной геодезической практики – 2 недели.

Студенты допускаются к производству геодезических работ на практике лишь после изучения правил по охране труда и технике безопасности.

В период прохождения геодезической практики студенты обязаны выполнять установленный распорядок дня, бережно относиться к полученным приборам и инструментам и поддерживать дисциплину и порядок на полигоне и территории базы.

Руководитель практики систематически контролирует в течение всего периода практики се виды полевых и камеральных работ и принимает законченные работы.

Зачет по практики преподаватель принимает по пятибалльной системе от каждого студента в присутствии всех членов бригады.

Студенты, пропускающие дни практики, опаздывающие или уходящие с работы раньше срока по неуважительной причине, к зачету по практике не допускаются.

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИХ РАБОЧИЕ ПОВЕРКИ

Для измерения углов на учебно-геодезической практике используются теодолиты Т-30, 2Т-30.

Основные части теодолита (2Т-30) показаны на рис. 1.1, отсчетные устройства приборов – на рис. 1.2, сетка нитей – на рис. 1.3.

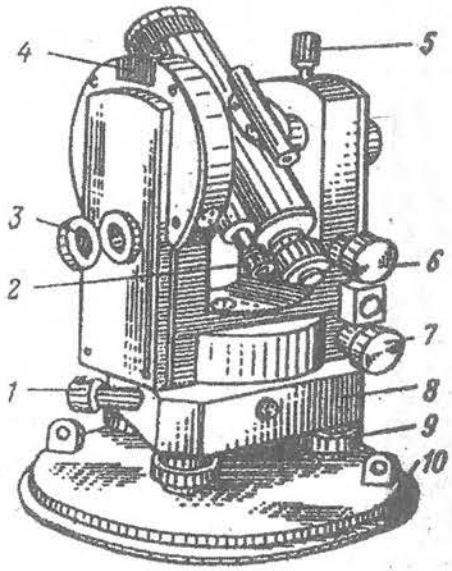


Рис. 1.1. Устройство теодолита 2Т30:
1 – наводящий винт лимба; 2 – микроскоп; 3 – зеркало для освещения шкал микроскопа;
4 – гнездо для крепления буссоли; 5 – закрепительный винт трубы;
6 – наводящий винт трубы; 7 – наводящий винт алидады;
8 – подставка; 9 – подъемные винты; 10 – основание

1.1. Рабочие поверки теодолита Т-30 (2Т-30)

Поверка 1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора.

Уровень горизонтального круга устанавливают по направлению двух подъемных винтов, приводят или пузырек на середину, Затем поворачивают, алидаду на 180°. При отклонении пузырька от средины более чем на 2 деления производят юстировку – на половину дуги отклонения пузырька уровня перемещают юстировочными винтами уровня. Затем поверку повторяют.

Поверка 2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы.

Выбирают на местности удаленную точку. Наводят теодолит на удаленную точку и берут отсчёты по горизонтальному кругу при двух положениях вертикального круга $КЛ_1$ и $КП_1$. Открепив становым винтом штатива подставку теодолита, поворачивают прибор примерно на 180° и повторяют то же самое, получая отчеты при $КЛ_2$ и $КП_2$. Получают значение коллимационной ошибки C по формуле:

$$C = \frac{(КЛ1 - КП1 \pm 180°) + (КЛ2 - КП2 \pm 180°)}{4}.$$

Если величина C превышает 2′, то вычисляют исправленный отсчет КП – С и устанавливают его на горизонтальном круге микрометренным винтом алидады. При этом центр сетки нитей сместится с точки наведения. Для исправления данного положения вращают горизонтальные исправленные винты сетки нитей до совмещения ее центра с точкой наведения.

Пример: отсчеты по горизонтальному кругу

	КЛ	КП
Наведение 1	40°22′	220°20′
Наведение 2	200°10′	20°10′

$$C = \frac{(40\,°22\,' - 220°\,20\,' + 180°00\,') + (200°\,10\,' - 20°10\,' - 180°00\,')}{4};$$

$$C = \frac{4'}{4} = 1'.$$

В штриховом микроскопе теодолита Т30 в середине поля зрения виден штрих, относительно которого осуществляется отсчет по лимбу (рис. 1.2, *а*). Перед отсчетом по лимбу необходимо определить цену деления лимба. В теодолите Т30 цена деления лимба составляет 10 угловых минут, т. к. градус разделен на шесть частей. Число минут оценивается на глаз в десятых долях цены деления лимба. Точность отсчета составляет 1′.

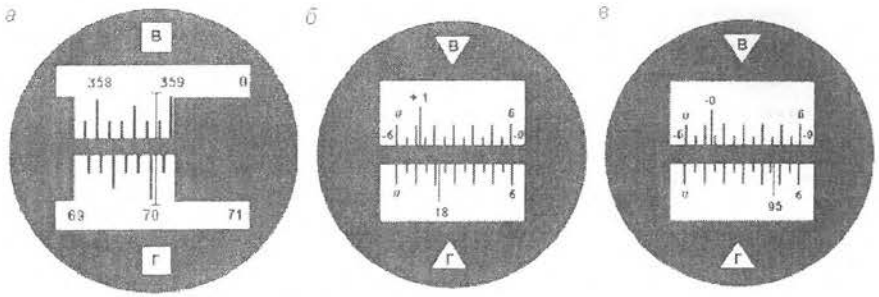


Рис. 1.2. Поле зрения отсчетных устройств: штрихового микроскопа с отсчетами по вертикальному кругу – 358° 48′, по горизонтальному – 70° 03′ (*а*); шкалового микроскопа с отсчетами: по вертикальному кругу – 1° 11′, по горизонтальному – 18°22′ (*б*); по вертикальному кругу – -0°47′, по горизонтальному – 95° 47′ (*в*)

В шкаловом микроскопе теодолита 2Т30 в поле зрения видна шкала, размер которой соответствует цене деления лимба (рис. 1.2, *б*, *в*). Для теодолита технической точности размер шкалы и цена деления лимба равны 60′. Шкала разделена на двенадцать частей, и цена ее деления составляет 5 угловых минут. Если перед числом градусов знака минус нет, отсчет производится по шкале от 0 до 6 в направлении слева направо (рис. 1.2, *б*). Если перед числом градусов стоит знак минус, в этом случае минуты отсчитываются по шкале вертикального круга, где перед цифрами от 0 до 6 стоит знак минус в направлении справа налево (рис. 1.2, *в*). Десятые доли цены деления шкалы берутся на глаз с точностью до 30″.

Поверка 3. Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

Устанавливают теодолит недалеко от стены здания. Центр сетки нитей зрительной трубы наводят на высоко расположенную точку и, закрепив алидаду, наклоняют трубу примерно до горизонтального положения. Отмечают карандашом на стене проекцию центра сетки нитей. Переводят трубу через зенит, снова повторяют все действия. Если наблюдаемое в зрительной трубе горизонтальное расстояние между двумя проекциями центра сетки нитей не превышает тройную ширину биссектора сетки, то условие поверки считается выполненным (рис. 1.3). В противном случае прибор подлежит исправлению на заводе.



Рис. 1.3. Сетка нитей

Поверка 4. Определение и исправление места нуля (МО) вертикального круга.

При двух положениях круга наводят центр сетки нитей на хорошо видимый предмет и берут отсчёты по вертикальному кругу КЛ и КП. Значение МО вычисляют по формуле:

Для 2Т-30

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}.$$

Для Т-30

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} - 180^\circ}{2}.$$

Пример:

Отсчёты КЛ $7^\circ 20'$ $\text{МО} = \dfrac{7^\circ 20' + 172^\circ 44' - 180^\circ}{2} = 2'$,

для Т-30 КП $172^\circ 44'$.

Отсчёты КЛ $7^\circ 20'$ $\text{МО} = \dfrac{7^\circ 20' - 7^\circ 24'}{2} = -2'$,

для 2Т-30 КП $-7^\circ 24'$.

Место нуля определяют дважды. Среднее значение недолжно превышать 1-3′.

В противном случае микрометренным винтом вертикального круга устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный КП-МО. При этом центр сетки нитей сместится с наблюдаемой точки. Для исправления МО его совмещают с точкой наведения, вращая вертикальные исправительные винты сетки нитей.

Для контроля поверку повторяют. При выполнении этой поверки следят, чтобы пузырёк уровня горизонтального круга находился в нуль-пункте.

1.2. Рабочие поверки нивелира Н-3

Нивелир Н-3 предназначен для определения превышения между смежными точками местности. Основные части нивелира приведены на рис. 1.4.

Поверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельно оси вращения нивелира.

Вращением подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня на середину. Поворачивают нивелир на 180°. Если пузырек не сместится с средины то условие выполнено. В противном случае юстировочными винтами уровня перемещают его к нуль-пункту на половину дуги отклонения. Затем поверку повторяют.

Поверка 2. Визирная ось зрительной трубы, должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.

Поверку выполняют двойным нивелированием одной и той же линии длиной 50-75 м (рис. 1.5).

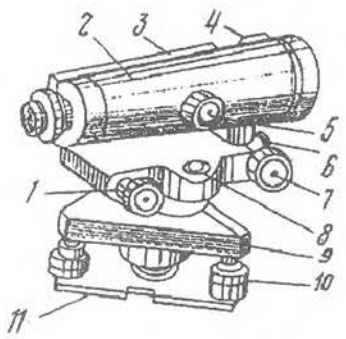
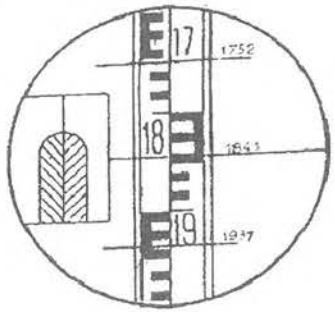


Рис. 1.4. Устройство нивелира:
1 – элевационный винт;
2 – зрительная труба;
3 – цилиндрический уровень;
4 – визир;
5 – винт фокусировки;
6 – закрепительный винт;
7 – наводящий винт;
8 – круглый уровень;
9 – подставка;
10 – подъемные винты;
11 – основание.



Отсчёты по рейке:
1752 мм - верхняя нить
1841 мм - средняя нить
1937 мм - нижняя нить

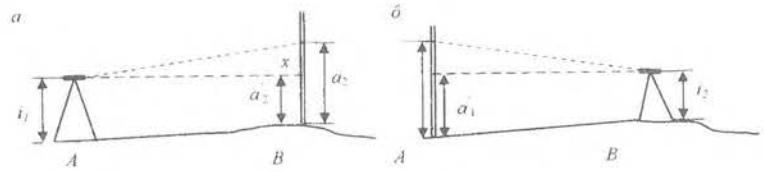


Рис. 1.5. Схема поверки главного геометрического условия

Устанавливают нивелир в точке. А, а рейку в точке В. Измеряют высоту инструмента i_1, в точке А и берут отсчёт по рейке a_1 в точке В. Затем нивелир и рейку меняют местами и снова измеряют высоту инструмента i_2 и берут отсчёт по рейке a_2. Если визирная ось не параллельна оси уровня и составляет с ним некоторый угол v, то отсчёты по рейке будут содержать некоторую погрешность X. Величину этой погрешности определяют по формуле:

$$X = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}, \text{мм}.$$

Пример: $i_1 = 1420$ мм $\quad i_2 = 1540$ мм

$a_1 = 1180$ мм $\quad a_2 = 1786$ мм

$$X = \frac{1180 + 1786}{2} - \frac{1420 + 1540}{2} = 3\text{мм}.$$

Если величина $X > 4$ мм, то не параллельность осей исправляют. Для этого вычисляют исправленный отсчет $a_2 = a_2 - X$ (рис. 1.5) и, действуя элевационным винтом, устанавливают его на рейке по средине нити сетки. Затем, действуя вертикальными юстировочными винтами цилиндрического уровня, совмещают изображение концов пузырька уровня. Для контроля поверку повторяют.

Поверка 3. Сетка нитей должна быть расположена правильно, т. е. вертикальная нить должна быть вертикальна, а горизонтальная – горизонтальна.

На расстояние 15-20 м вывешивают отвес, наводят трубу нивелира на нить отвеса. Если вертикальная нить сетки нитей параллельна нити отвеса, то условие выполнено. В противном случае исправление делают поворотом всей оправы сетки нитей до правильного положения, предварительно ослабив винты оправы.

2. ПЛАНОВО-ВЫСОТНОЕ СЪЁМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

Для производства топографо-геодезических работ на местности необходимо иметь сеть пунктов съемочного обоснования.

На практике каждая бригада студентов на своем участке создает планово-высотную съемочную сеть в виде замкнутого тахеометрического хода с общим числом вершин 6-7, в котором измеряют горизонтальные и вертикальные углы и длины сторон, а также осуществляют привязку тахеометрического хода к пунктам опорной геодезической сети.

2.1. Рекогносцировка местности и закрепление пунктов съёмочного обоснования

Инструменты и принадлежности для выполнения работы: штыри, две вешки, молоток, тетрадь, две ручки.

Бригада студентов вместе с преподавателем обходит участок, выбирает места для точек съемочного обоснования и закрепляет их. При этом необходимо соблюдать ряд условий:

- Удобство установки теодолита для работы на станции;
- Взаимная видимость на соседние пункты;
- Максимальный обзор местности и полнота съемки;
- Расстояния между пунктами от 40 до 100 м.

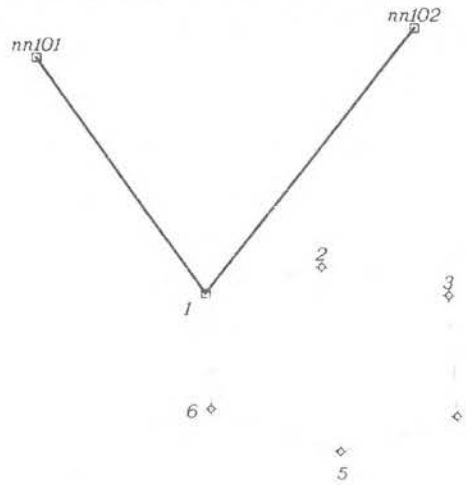


Рис. 2.1. Схема расположения пунктов съемочного обоснования

Закрепление пунктов съемочного обоснования производят металлическими штырями, которые забивают до уровня земной поверхности, вокруг штыря делают окопку, каждому из них присваивается порядковый номер. При рекогносцировке составляют общую схему расположения точек съемочного обоснования (рис. 2.1).

2.2. Измерение горизонтальных и вертикальных углов в тахеометрическом ходе

Инструменты и принадлежности для выполнения работы: теодолит, две вешки, одна рейка, полевой журнал для измерения углов, карандаш, тетрадь.

На каждом пункте планово-высотного хода измеряют горизонтальный угол, вертикальные углы и наклонные длины линий. Углы измеряют теодолитами Т-30 или 2Т-30 одним полным приемом, длины сторон хода – нитяным дальномером. Результаты измерений записывают в журнал измерения углов и длин линий простым карандашом (таблица 1).

Порядок работы:

1) Теодолит центрируют над пунктом по отвесу с точностью 5 мм и горизонтируют с помощью цилиндрического уровня при горизонтальном круге.

2) На две смежные точки выставляют визирные вехи, на которых отмечают ярким шнурком высоты инструмента на данной точке стояния.

3) Измерение горизонтального угла начинают при положении зрительной трубы КЛ. Открепив закрепительный винт алидады, наводят на низ вехи (во избежание ошибок из-за наклона вехи). Берут отсчет по горизонтальному кругу, записывают его в полевой журнал (1) (таблица 1, действие (1). В скобках показана последовательность действий при измерениях и записи в журнале). Затем открепляют закрепительный винт алидады, пересечение основных штрихов сетки наводят на низ правой вехи, берут отсчет по горизонтальному кругу, записывают в журнал (2). Вычитая из отсчёта (2) отсчёт (1), получают значение угла (3), измеренное одним полуприёмом.

4) Переводят трубу через зенит. Повторяя действия, описанные в пункте 3, измеряют горизонтальный угол вторым полуприемом при положении зрительной трубы КП. По отсчетам (4) и (5) вычисляют значение угла (6), полученного из второго полуприема.

5) Сравнивают значения углов (3) и (6), полученные из двух полуприемов. Их разность не должна быть больше $2t$, т. е. 1', где t = 30" – точность теодолита. Вычисляют среднее значение горизонтального угла (7) по формуле:

$$\frac{(3)-(6)}{2}=(7).$$

Таблица 1

ЖУРНАЛ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВ И ДЛИН ЛИНИЙ

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2} \qquad \nu = КЛ - МО$$

Дата Исполнитель

Точка стояния	Круг	Точки визирован.	Горизонтальный круг			Точки		Круг	Вертикальный круг			Длины линий измеренные
			Отсчёт ° '	Измеренный угол ° '	Средний угол ° '	Стояния	Визиров.		Отсчёт	Место нуля	Угол наклона	Горизонт. проложение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	КЛ	2	196°15' (1)	244°24' (3)	244°24,5' (7)	1	2	КЛ	-2°01' (8)	-0°0'30" (12)	-2° 00' 30" (13)	57,1 (14)
		6	80°39' (2)					КП	2°00' (10)			
	КП	2	16°17' (4)	244°25' (6)		1	6	КЛ	8°35' (9)	0°	8°35'	116,5 (15)
		6	260°42' (5)					КП	-8°35' (11)			
2	КЛ	3	146°55'	59°46'	59°46'	2	1	КЛ	-8°36'	0°	-8°36'	116,5 (16)
		1	206°41'					КП	8°36'			
	КП	3	326°59'	59°46'		2	3	КЛ	-2°20'	-0°2'	-2°18'	82,5
		1	26°45'					КП	2°18'			

6) Измерение вертикального угла начинают при положении зрительной трубы КЛ. Зрительную трубу наводят на веху, установленную на смежной точке. Основной (средний) горизонтальный штрих сетки совмещают с отметкой высоты инструмента на вехе (шнурок). После чего берут отсчет по вертикальному кругу (8). Затем наводятся на веху, установленную второй точке, и записывают значения по вертикальному кругу (9).

7) Переводят зрительную трубу через зенит, повторяют действия, описанные в пункте 6, при положении зрительной трубы КП. Берут отсчет по вертикальному кругу и записывают в журнал (10), (11).

8) Вычисляют МО вертикального круга (12).

9) Вычисляют угол наклона (13) по формуле:

$$\nu = КЛ - МО.$$

Контроль:

- При измерении вертикальных углов на станции колебание МО для разных вертикальных углов не должно превышать ± 2′.
- Значения углов наклона, измеренных в прямом и обратном направлениях, не должны отличаться более, чем на ± 3′.

Запрещается! В полевом журнале стирать резинкой результаты измерений, писать цифру на цифре, переписывать полевой журнал. Ошибочные измерения зачеркиваются одной чертой, затем записи продолжаются дальше. Все записи должны вестись четко и аккуратно с использованием шрифтов (см. прил. 1, 2).

2.3. Измерение длин сторон тахеометрического хода

В процессе проложения тахеометрического хода в поле измеряют длины сторон хода. Для этого на смежные точки ставят нивелирную рейку (нулем вниз), наводят зрительную трубу на рейку, совмещая верхний дальномерный штрих сетки нитей с каким-нибудь целым делением рейки (обычно с отсчетом 1000). Подсчитывают длину отрезка "*l*" в см между верхним и нижним дальномерными штрихами. Доли сантиметровых делений оценивают на глаз.

Длина измеренной стороны определяется по формуле

$$S_{изм} = K \times l_{см},$$

где K – коэффициент нитяного дальномера (K = 100), l – длина отрезка в см между верхней и нижней дальномерными нитями.

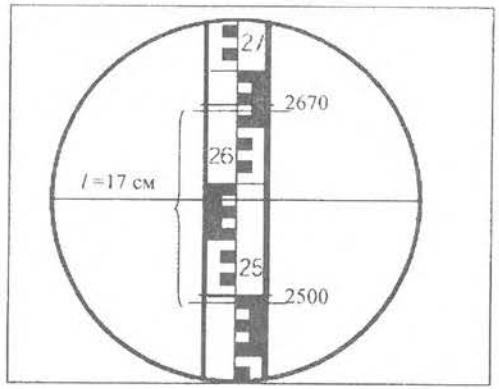


Рис. 2.2. Определение расстояний нитяным дальномером

Пример: на рис. 2.2 отчет по верхней нити 2670, отчет по нижней нити 2500, l = 2670 – 2500 = 170 мм = 17 см, $S_{изм}$ =17 см × 100 = 1700 см = 17,0 м.

На станции длину каждой стороны хода измеряют дважды по черной и по красной сторонам рейки, или по одной стороне, но по разным делениям рейки. Разность результатов измерений должна быть не более 0,3 м на 100 метров длины. Среднее значение длины стороны хода записывают в полевой журнал (14) с округлением до 0,1 м.

Длины сторон хода обязательно измеряют в обратном направлении. Разность между результатами измерений "прямо" (15) и "обратно" (16) не должна превышать 1:200-1:400 (0,3-0,5 м на 100 м длины).

2.4. Привязка хода к пунктам опорной геодезической сети

Привязку тахеометрического хода выполняют для определения дирекционного угла начальной стороны хода. Одна из вершин тахеометрического хода является пунктом опорной геодезической сети (рис. 3.1). С него есть видимость на два других геодезических пункта (пп101, пп102). Для привязки хода к опорной геодезической сети производят измерение примычных углов φ_1 и φ_2. Это угол между твердой стороной и первой стороной тахеометрического хода (рис. 3.1). В полевом журнале вычерчивают схему привязки, показывают примычные углы.

Каждый примычный угол φ_1 и φ_2 измеряют двумя приемами с перестановкой лимба между приемами примерно на 90°. Для контроля измеряют угол между исходными сторонами (δ). Контроль производят по формуле:

$$\delta = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Допустимое расхождение ±3′.

3. ПЛАНОВО-ВЫСОТНОЕ СЪЁМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

После последних измерений производят проверку полевых журналов, правильность записей и вычислений измеренных и средних значений. По значениям измеренных горизонтальных углов и длин линий составляют схему съемочного обоснования и ее привязки (рис. 3.1). На схему выписывают измеренные значения углов и длин. Затем приступают к вычислениям. Вычисления линейных величин ведут с точностью до 0,1 м, а углов – до 30". Из полевого журнала выписывают измеренные примычные углы φ_1 и φ_2.

3.1. Вычисление привязки

Дирекционный угол начальной стороны хода ($\alpha_{1\text{-}2}$) (рис. 3.1) вычисляют дважды, исходя из значений дирекционных углов исходных сторон опорной геодезической сети ($\alpha_{1\text{-}A}$, $\alpha_{1\text{-}B}$) и измеренных углов (φ_1, φ_2) по формулам:

$$\alpha_{1\text{-}2} = \alpha_{1\text{-}пп101} + \varphi_1;$$
$$\alpha_{1\text{-}2} = \alpha_{1\text{-}пп102} + \varphi_2.$$

Дирекционные углы исходных сторон вычисляют решая обратные геодезические задачи , по формулам:

$$r_{1\text{-}пп101} = \operatorname{arctg}\frac{Y_{пп101} - Y_1}{X_{пп101} - X_1},\quad r_{1\text{-}пп102} = \operatorname{arctg}\frac{Y_{пп102} - Y_1}{X_{пп102} - X_1}.$$

Расхождение полученных значений $\alpha_{1\text{-}2}$ не должно превышать 2-3′.

После нахождения значения румба необходимо определить координатную четверть, содержащую направление. Координатную четверть определяют по знакам приращений координат (рис. 3.2).

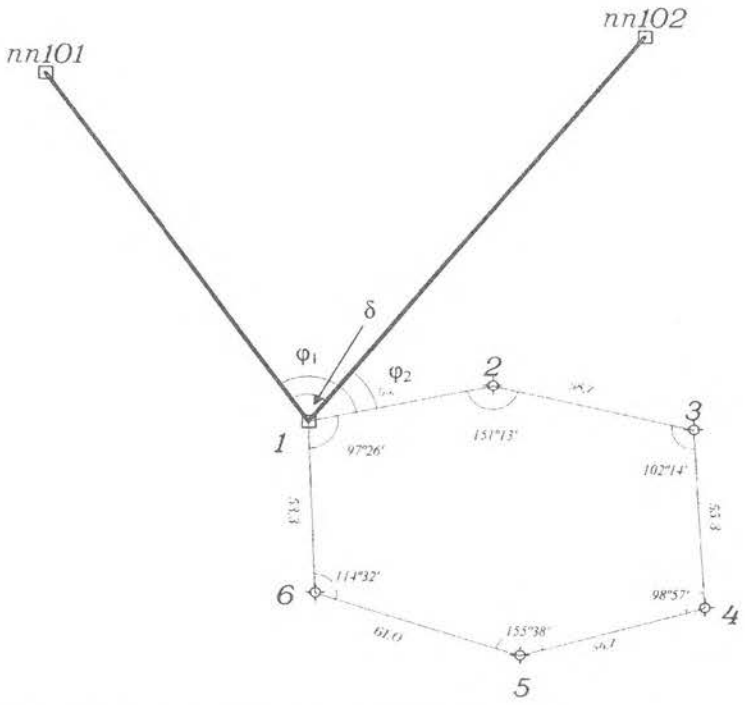


Рис. 3.1. Схема тахеометрического хода и геодезической привязки

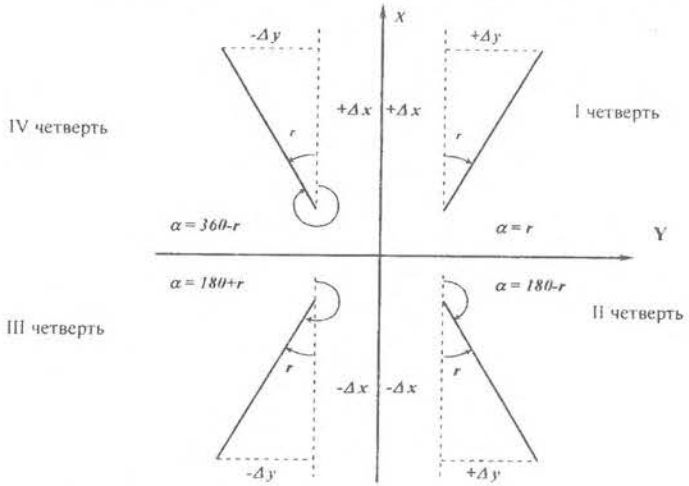


Рис. 3.2. Зависимости между дирекционными углами и румбами

Пример записи и вычислений дирекционных углов приведен ниже.

Таблица 2

Исходные данные

Название пункта	*X*, м	*Y*, м	*H*, м
1	3348,05	2238,25	271,36
пп101	4099,71	1639,28	282,40
пп102	4001,87	2581,51	290,24

$$r_{1\text{-пп101}} = \operatorname{arctg}\frac{Y_{\text{пп101}} - Y_1}{X_{\text{пп101}} - X_1} = \operatorname{arctg}\frac{1639{,}28 - 2238{,}25}{4099{,}71 - 3348{,}05} = \operatorname{arctg}\frac{-598{,}97}{751{,}66} =$$

$$= 38{,}54993965^\circ = 38^\circ 33' 00''\text{(IV ч.)};$$

$$\alpha_{1\text{-пп101}} = 360^\circ - 38^\circ 33' 00'' = 321^\circ 27'.$$

$$r_{1\text{-пп102}} = \operatorname{arctg}\frac{Y_{\text{пп102}} - Y_1}{X_{\text{пп102}} - X_1} = \operatorname{arctg}\frac{2581{,}51 - 2238{,}25}{4001{,}87 - 3348{,}05} = \operatorname{arctg}\frac{343{,}26}{653{,}82} =$$

$$= 27{,}69992196^\circ = 27^\circ 42' 00''\text{ (I ч.)};$$

$$\alpha_{1\text{-пп102}} = 27^\circ 42' 00''.$$

$$\varphi_1 = 333^\circ 18' 00'';$$

$$\alpha_{1\text{-}2} = 321^\circ 27' 00'' + 333^\circ 18' 00'' = 294^\circ 45' 00''.$$

$$\varphi_2 = 267^\circ 05' 00'';$$

$$\alpha_{1\text{-}2} = 27^\circ 42' 00'' + 267^\circ 05' 00'' = 294^\circ 47' 00''.$$

Средний $\alpha_{1\text{-}2} = 294^\circ 46' 00''$.

3.2. Вычисление горизонтальных проложений длин линий

Горизонтальные проложения необходимо знать для вычисления координат точек тахеометрического хода.

Вычисление горизонтальных проложений выполняют в ведомости вычисления отметок съемочного обоснования (таблица 3).

Из журнала измерения улов и длин линий выписывают среднее значения длин линий (S), полученные по результатам измерений в прямом и обратном направлениях, в графу 4 табл. 3 и углы наклона (v), измеренные в прямом и обратном направлениях, в графы 2 и 3 табл. 3. По этим данным вычисляют горизонтальные проложения с точностью до 0,01 м по формуле:

$$D = S \times \cos^2 v,$$

где S – среднее значение измеренной длины линии (графа 4), v – угол наклона линии в прямом направлении (графа 2), D – горизонтальное проложение (графа 5).

3.3. Вычисление отметок пунктов съемочного обоснования методом тригонометрического нивелирования

Вычисление отметок производится с точностью до 0,01 м в ведомости вычисления отметок (таблица 3).

По измеренным расстояниям и углам наклона вычисляют превышения между точками хода в прямом и обратном направлениях по формуле:

$$h = D \times \tan v.$$

Значения превышений с соответствующим знаком записывают в графы 6 и 7.

Расхождения в превышениях, полученных в прямом и обратном направлениях, допускаются не более 4 см на 100 м. Если это условие выполнено, то в графе 8 вычисляют средние превышения, сохраняя перед ними знак превышения из прямого хода. Сумму положительных и отрицательных значений превышений записывают в графе 8 внизу. Далее подсчитывают невязку по превышениям. Она равна сумме превышений замкнутого хода:

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}}.$$

Допустимую высотную невязку вычисляют по формуле:

$$\text{доп.}\, f_h = \pm 0{,}2 \text{ м} \sqrt{\sum D(\text{км})},$$

где – $\sum D$ сумма горизонтальных проложений хода (периметр в км).

Полученную невязку f_h распределяют между превышениями с обратным знаком пропорционально длинам линий по формуле:

$$\delta_{hi} = -\frac{f_h}{\sum D} \times D_i.$$

Таблица 3

Вычисления отметок точек съемочного обоснования

№№ точек	Вертикальные углы: Прямо ° '	Вертикальные углы: Обратно ° '	Длины сторон, м: Измеренные, S	Длины сторон, м: Горизонтальное проложение, D	Превышение, м: Прямо	Превышение, м: Обратно	Превышение, м: Среднее	Превышение, м: Исправленное	Отметки точек, м	№№ точек
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1									230,00	1
	-2°01'	+2°02'	83,0	82,90	-2,92	+2,95	-0,02 -2,94	-2,96		
2									227,04	2
	-5°24'	+5°25'	122,0	120,92	-11,43	11,46	-0,03 -11,45	-11,48		
3									215,56	3
	+2°15'	-2°16'	98,0	97,85	+3,85	-3,88	-0,02 +3,87	+3,85		
4									219,41	4
	+1°56'	-1°57'	120,0	119,86	+4,05	-4,09	-0,03 +4,07	+4,04		
5									223,45	5
	+4°30'	-4°29'	100,5	99,88	+7,86	-7,83	-0,02 +7,85	+7,83		
6									231,28	6
	-0°56'	+0°58'	76,5	76,48	-1,25	+1,29	-0,01 -1,27	-1,28		
1						$\sum h_{\text{ср}}(+) = +15{,}79$ $\sum h_{\text{ср}}(-) = -15{,}66$		$\Sigma = 0$	230,00	1
				$\Sigma D = 597{,}89$ м			$f_h = +0{,}13$	Доп. $f_h = \pm 0{,}2\text{м} \sqrt{\sum D(\text{км})}$		
								Доп. $f_h = \pm 0{,}2\text{м} \sqrt{0{,}6} = \pm 0{,}15$		

Вычислил Орлов Проверил Петров

Контроль: $\Sigma\delta = -f_h$

Величины поправок записывают в графе 8 над превышениями. В графу 9 записывают исправленные превышения.

Контроль: если исправленные превышения вычислены правильно, их алгебраическая сумма должна быть равна нулю.

По исправленным превышениям последовательно вычисляют отметки пунктов съемочного обоснования по формуле:

$$H_{n+1} = H_n + h_n,$$

где H_{n+1} – высота последующего пункта (м), H_n – отметка предыдущего пункта (м), h_n – превышение между смежными пунктами (м).

Контролем вычисления отметок является получение отметки исходной точки в конце вычислений.

3.4. Вычисление координат пунктов съемочного обоснования

Вычисление координат производится в ведомости вычисления координат (таблица 4). В графу 1 ведомости выписывают номера вершин хода, в графу 2 – номера точек визирования. В графу 3 выписывают против соответствующих вершин средние значения измеренных горизонтальных углов. Значения горизонтальных проложений линий выписывают в графу 6 из таблицы 3.

3.4.1. Вычисление угловой невязки хода

Угловой невязкой f_β замкнутого тахеометрического хода называется разность между суммой измеренных горизонтальных углов $\Sigma\beta_{изм}$ и теоретической суммой внутренних углов плоского многоугольника $\Sigma\beta_{теор}$ т. е.

$$f_\beta = \Sigma\beta_{изм} - \Sigma\beta_{теор},$$

где $\Sigma\beta_{теор} = 180°\times(n-2)$, n – число углов многоугольника.

Вычисленные значения $\Sigma\beta_{изм}$ и $\Sigma\beta_{теор}$ подписывают внизу графы 3.

Здесь же вычисляют величину допустимой угловой невязки по формуле:

$$f_{\beta доп} = 2 \times t \; (t = 0°0'30'' - \text{точность инструмента}),$$
$$f_{\beta доп} = \pm 1' \sqrt{n}.$$

Таблица 4

Вычисление координат точек съемочного обоснования

Номера точек		Горизонтальные углы		Дирекционные углы	Горизонтальные проложения, м	Приращения координат, м				Координаты, м	
						Вычисленные		Исправленные			
Стояния	Визиров	Измеренные ° '	Исправленные ° '	° '		ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	X	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3					+0,05	+0,08			**3348,05**	**2238,25**
				294°46'	82,90	+34,73	-75,27	+34,78	-75,19		
2	1	110°59'00"	110°59'			+0,07	+0,12			3382,83	2162,06
	4			3°47'	120,92	+120,64	+7,98	+120,71	+8,10		
3	2	123°09'00"	123°09'			+0,06	+0,10			3503,54	2171,16
	5			60°38'	97,85	+48,01	+85,32	+48,07	+85,42		
4	3	105°15'00"	105°15'			+0,07	+0,12			3551,61	2256,58
	6			135°23'	119,86	-85,35	+84,21	-85,28	+84,33		
5	4	117°58'00"	117°58'			+0,06	+0,10			3466,33	2340,91
	1			197°25'	99,88	-95,32	-29,90	-95,26	-29,8		
6	5	-0°0'30"				+0,05	+0,08			3371,07	2311,11
	2	124°58'30"	124°58'	252°27'	76,48	-23,07	-72,94	-23,02	-72,86		
1	6	-0°0'30"								**3348,05**	**2238,25**
		137°41'30"	137°41'	(294°46')	$\Sigma D = 597,89$						
			$\Sigma\beta_{исп} = 720°$			$f_x = -0,36$	$f_y = -0,6$				
						$f_S = 0,85$		0	0		

$\Sigma\beta_{изм} = 720°01'00''$

$\Sigma\beta_{теор} = 720°00'00''$

$f_\beta = +1'$

$f_{\beta доп} = \pm 1'\sqrt{n} = \pm 1'\sqrt{6} = \pm 2,4'$

$$\frac{1}{\sum D \div f_s} = \frac{1}{703} < \frac{1}{300}$$

Вычислил Орлов

Проверил Петров

Если значение угловой невязки не превосходит допустимой величины, то ее распределяют поровну с обратным знаком между измеренными углами, с точностью до 30″, т. е. вычисляют поправки к измеренным горизонтальным углам по формулам:

$$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n}.$$

Если полученное значение поправки меньше 30″, то угловую невязку вводят в наиболее слабое место тахеометрического хода (короткие стороны хода, горизонтальные углы $\leq 20°$ или $\geq 150°$, точки съемочного обоснования, наиболее удаленные от исходных пунктов сети).

Контроль: $\Sigma\delta_\beta = -f_\beta$.

Поправки в измеренные углы подписывают над их значениями. Вычисляют исправленные горизонтальные углы

$$\beta_{исп} = \beta_{изм} + \delta_\beta.$$

Контроль: $\Sigma\beta_{исп} = 180°\times(n-2)$.

3.4.2. Вычисление дирекционных углов сторон хода

Вычисление дирекционных углов сторон хода производят по дирекционному углу начальной стороны и исправленным горизонтальным углам. Начальный дирекционный угол стороны 1-2 выписывают из решения привязки (см. раздел 3.1). В нашем примере $\alpha_{1\text{-}2} = 294°46'$. Его записывают в графу 5 между точками 1 и 2. Дирекционные углы остальных сторон хода вычисляют по формулам:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_{лев} - 180° \text{ - для левых углов;}$$
$$\alpha_{n-1} = \alpha_n - \beta_{прав} + 180° \text{ - для правых углов,}$$

где α_{n+1} – дирекционный угол последующей стороны хода, α_n – дирекционный угол предыдущей стороны хода.

Контроль: полученный дирекционный угол первой стороны хода в конце вычислений должен быть равен исходному. С этой целью по дирекционному углу последней стороны и горизонтальному углу при вершине 1, которые ранее в вычислениях не участвовал, получают дирекционный угол начальной стороны ($\alpha_{1\text{-}2} = 294°\ 46'$).

Вычисленные значения дирекционных углов сторон хода записывают в графу 5.

3.4.3. Вычисление приращений координат, их невязок и координат пунктов съемочного обоснования

Приращение координат хода вычисляют по следующим формулам:

$$\Delta X_i = D_i \times \cos\alpha_i,\ \Delta Y_i = D_i \times \sin\alpha_i,$$

где D_i – горизонтальное проложения линий; α_i – дирекционные углы этих линий.

Вычисления производят с точностью до 0,01 м.

Вычисленные приращения координат записывают в графах 7 и 8.

Для замкнутого хода алгебраическая сумма приращений по каждой оси координат должна быть равна нулю:

$$\sum\Delta X = 0,\ \sum\Delta Y = 0.$$

Внизу графы 7 и 8 находят значения невязок f_x и f_y (по осям абсцисс и ординат), по формулам:

$$f_x = \sum\Delta X,\ f_y = \sum\Delta Y.$$

Невязки в приращениях координат обусловлены действием погрешностей измерения углов и сторон хода. Совместное влияние невязок приращений по осям координат характеризуется линейной невязкой в периметре:

$$f_s = \sqrt{fx^2 + fy^2}.$$

Допустимую линейную невязку вычисляют по формуле относительной ошибки:

$$\frac{1}{\sum D \div f_s} \leq \frac{1}{500},$$

где $\sum D$ – сумма горизонтальных проложений длин сторон хода (периметр).

Периметр ($\sum D$) подсчитывают в графе 6 и выписывают внизу. После проверки допустимости относительной линейной невязки $\frac{1}{\sum D \div f_s}$ распределяют невязки приращений координат f_x и f_y.

Невязки f_x и f_y распределяют с обратным знаком в каждое приращение координат пропорционально длинам сторон, т. е. вычисляют поправки к приращениям координат по формулам:

$$\delta X_i = -\frac{f_x}{\sum D} \times D_i, \qquad \delta Y_i = -\frac{f_y}{\sum D} \times D_i,$$

и подписывают их над приращениями в графах 7 и 8.

В графах 9 и 10 записывают исправленные значения приращений координат:

$$\Delta X_{\text{ИСПР}} = \Delta X_i + \delta X_i, \qquad \Delta Y_{\text{ИСПР}} = \Delta Y_i + \delta Y_i$$

Контроль: $\sum \Delta X_{\text{ИСПР}} = 0$, $\sum \Delta Y_{\text{ИСПР}} = 0$.

Далее, в графах 11 и 12 последовательно вычисляют координаты точек тахеометрического хода от координат начальной точки 1, используя исправленные приращения координат, по формулам:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta X_{\text{ИСПР}}, \qquad Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y_{\text{ИСПР}},$$

где X_n, Y_n – координаты предыдущего пункта, X_{n+1} ,Y_{n+1} – координаты последующего пункта.

Контроль: вычисленные координаты начальной точки хода должны быть равны исходным (таблица 4).

4. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Инструменты и принадлежности для выполнения работ: теодолит, одна вешка, одна рейка, полевой журнал для тахеометрической съемки, абрисы, два карандаша, тахеометрические таблицы.

Тахеометрическую съемку ситуации и рельефа местности выполняют с пунктов съемочного обоснования в масштабе 1:500. На каждой станции измеряют расстояние, горизонтальный и вертикальные углы до съемочных пикетов, т.е. определяют полярные координаты каждой снимаемой точки (съемочных пикетов).

Все записи результатов измерений ведут в журнале тахеометрической съемки (таблица 5). В процессе съемки составляют абрис (рис. 4.1).

Особо важное значение при съемке имеет правильный выбор съемочных пикетов. При съемке ситуации рейку устанавливают на характерных точках контуров (углы зданий, изгибы дорог, рек, границы угодий, столбы электролиний и т. д.). При съемке рельефа рейку устанавливают на характерных точках и линиях рельефа местности (вершина холма, дно котловины, водораздел, тальвег, перегибы скатов, урезы воды).

Съемочные пикеты должны равномерно покрывать всю территорию съемки. Расстояние от точек съемочного обоснования до съемочных пикетов должно быть не более 80 м.

4.1. Работа на станции

Работу на станции выполняют в следующем порядке:

- теодолит центрируют над точкой с точностью до 1 см с помощью отвеса и горизонтируют с помощью цилиндрического уровня горизонтального круга;
- определяют МО вертикального круга на каждой станции, значение МО записывают в журнал тахеометрической съемки (таблица 5) для данной станции. Устанавливают визирную веху на следующую по ходу точку съемочного обоснования. Направление на эту точку принимают за начальное (например: станция 1, направление на точку 2), ориентируют лимб по начальному направлению. Для этого, вращая алидадой, устанавливают отсчет на горизонтальном круге 0°00'. Затем алидаду закрепляют, открепляют лимб, наводят теодолит на выставленную веху (на пункте 2). Далее лимб закрепляют до конца съемки на этой станции, а алидаду открепляют. Съемка ведется только при положении зрительной трубы круг «лево» (КЛ);
- рейкой измеряют высоту инструмента до 0,01 м, записывают ее значение в журнал и отмечают на рейке ярким шнурком (i = 1,30 м);

- рейку устанавливают на съемочный пикет;

- наводят теодолит на рейку, измеряют нитяным дальномером расстояние до рейки и записывают в журнал (1);

- наводят центр сетки нитей на высоту инструмента (шнурок), берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита и записывают в журнал (2), (3). Если на рейке отметки высоты инструмента не видно, то наводят центр сетки нитей на верх рейки и записывают на этом пикете высоту визирования (v = 3 м) в графу 8 таблицы 5.

4.2. Ведение журнала тахеометрической съемки

В журнале указывают номер станции, начальное направление, МО, высоту инструмента i в метрах, отметку точки H_0 съемочного обоснования в метрах. В соответствующие графы журнала записывают результаты полевых измерений (расстояний, отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам). Затем вычисляют углы наклона на съемочные пикеты по формуле:

$$v = КЛ - МО.$$

Находят горизонтальное проложение D и превышение h' между точкой съемочного обоснования и съемочным пикетом по углу наклона и расстоянию из тахеометрических таблиц или по формулам, которые приведены в тахеометрических таблицах:

$$D = S \times \cos^2 v;$$
$$h' = D \times tan\ v;$$
$$h = h' + i - v,$$

где D – горизонтальное проложение, S – измеренное нитяным дальномером расстояние, v – угол наклона, i – высота инструмента, v – высота визирования.

Знак превышения соответствует знаку угла наклона.

Отметку съемочного пикета вычисляют по формуле:

$$H = H_0 + h,$$

и записывают в графу 11 (таблица 5).

Таблица 5

ЖУРНАЛ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Точка стояния *1* $H_0 = 230{,}0$ $i = 1.30$

Начальное направление *2* $МО = \frac{КЛ + КП - 180°}{2}$ (Т-30) $v = КЛ - МО$

КЛ = 354°35'

КП = 185°23'

МО = - 0°1'

Дата 13.07.17.

Исполнитель Петров

№№ пикетов	Расстояния по дальномеру, м	Отсчеты по кругам /КЛ/ Горизонтальн. ° '	Отсчеты по кругам /КЛ/ Вертикальн. ° '	Углы наклона ° '	Горизонтальн. проложения, м	h', м	Высота визиров v, м	i-v	Превышение $h = h' + i$-v	Отметки пикетов $H = H_0 + h$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		0°00									
1	38,0	23°00'	352°59'	-7°00'	37,44	-4,60	1,30	0	-4,60	225,40	рельеф, дорога
2	35,0	53°30'	355°06'	-4°53'	34,75	-2,97	1,30	0	-2,97	227,03	рельеф, дорога
3	56,0	81°00'	356°06'	-3°53'	55,74	-3,78	1,30	0	-3,78	226,22	дорога
4	86,1	100°00'	356°36'	-3°23'	85,80	-5,07	1,30	0	-5,07	224,93	дорога
5	52,3	112°41'	358°47'	-1°12'	52,28	-1,10	1,30	0	-1,10	228,90	рельеф, луг
6	72,0	116°02'	354°23'	-5°36'	71,31	-6,99	3,00	-1,70	-8,69	221,31	рельеф, луг
7	25,0	137°30'	352°34'	-7°25'	24,58	-3,20	1,30	0	-3,20	226,80	обрыв, 2м
8	46,5	141°00'	355°17'	-4°42'	46,19	-3,80	1,30	0	-3,80	226,20	обрыв, 2м
9	25,8	180°10'	349°39'	-10°20'	24,97	-4,55	1,30	0	-4,55	225,45	обрыв, 2м

Вычислил

Проверил

4.3. Составление абриса

Абрис – это схематический чертеж участка местности, снимаемого с данной станции. Абрис составляют на каждой станции одновременно с заполнением журнала тахеометрической съемки (рис. 4.1).

При заполнении абриса центр окружности принимают за станцию, с которой выполняют съемку, один из радиусов за начальное направление (0°), расстояния между окружностями принимают равными 10 м. Каждый съемочный пикет намечают на абрисе точкой, рядом надписывают его порядковый номер.

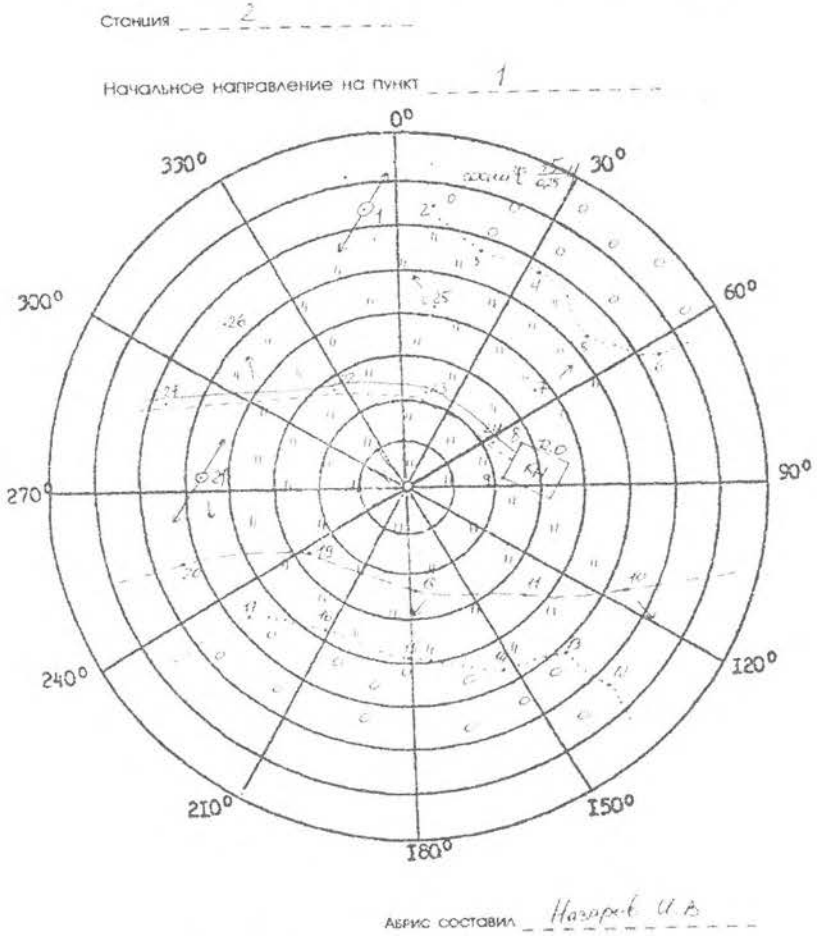


Рис. 4.1. Абрис тахеометрической съемки на п. 1

При съемке следят за тем, чтобы нумерация съемочных пикетов на абрисе соответствовала нумерации этих же пикетов в журнале тахеометрической съемки. На абрис наносят все снятые контуры ситуации, сопровождая их пояснительными надписями и условными знаками. На абрисе стрелками показывают направление скатов.

Составление абрисов является ответственной частью тахеометрической съемки, т.к. он в дальнейшем используется для создания топографического плана. Его надо вести аккуратно, все записи делают четко, отточенным карандашом, прямолинейные контуры вычерчивать по линейке. Четкое ведение абриса способствует качественному составлению топографического плана. Абрис сдается вместе с журналом тахеометрической съемки.

Закончив съемку на станции, по абрису проверяют, все ли элементы ситуации и рельефы засняты, нет ли пропусков, достаточно взято ли съемочных пикетов. Съемочные пикеты должны быть расположены не реже, чем через 3 см в масштабе плана, т. е. через 15 м на местности (в масштабе 1:500), их количество зависит от сложности ситуации и сложности рельефа. Кроме того, проверяют, не сбилась ли во время съемки ориентировка теодолита. Для этого в конце съемки снова визируют зрительную трубу по начальному направлению и проверяют неизменность отсчета по лимбу. Допустимое отклонение должно быть не более 3′. Сделав такой контроль, переходят на следующую станцию.

5. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА

При тахеометрической съемке топографический план создается камеральным путем. Размер рамки для планов масштаба 1:500 принят 50×50 см. План составляют в масштабе 1:500 и оформляют в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500».

Составление плана выполняют в следующем порядке:

- вычерчивание координатной сетки;
-построение точек по координатам;
-нанесение ситуации и местности на план;
-оформление топографического плана.

5.1. Вычерчивание координатной сетки

Координатную сетку строят на листе чертежной бумаги А1, стороны сетки принимают равными 10×10 см. Координатную сетку получают путем ее переноса со стандартных сеток, изготовленных на картографической пленке, через световой стол.

Правильность построения координатной сетки контролируют путем измерения циркулем-измерителем диагоналей всех квадратов сетки. Ошибки в длинах диагоналей не должно превышать 0,2 – 0,3 мм.

5.1.1. Построение пунктов съемочного обоснования по координатам

Для построения пунктов съемочного обоснования по координатам в масштабе 1:500 сетку координат оцифровывают через 50 м. За начало координат принимают юго-западный угол рамки. От него к северу надписывают абсциссы X, к востоку – ординаты Y. Координаты юго-западного угла плана выбирают так, чтобы тахеометрический ход разместился примерно в середине листа. Построение каждой точки съемочного обоснования производят с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Вначале определяют, в каком квадрате сетки располагается данная точка. Затем значение абсциссы откладывают по обеим сторонам квадрата и соединяют тонкой прямой линией. На этой линии откладывают значение ординаты Y. Полученную точку обводят условным знаком (кружочком), рядом надписывают номер пункта планово-высотного хода и его отметку до 0,01 м (справа от пункта).

Построение пунктов съемочного обоснования обязательно контролируют. Для этого значение горизонтального проложения между двумя точками циркулем-измерителем откладывают на масштабной линейке и сравнивают с расстоянием между соответствующими точками на плане. Допустимое расхождение этих величин не должно быть более ±0,5 мм.

5.2. Нанесение ситуации и рельефа местности на план

Ситуацию наносят на план по данным журнала тахеометрической съемки и абрисов. Съемочные пикеты наносят на план по горизонтальному углу и горизонтальному проложению. Горизонтальные углы откладывают при помощи кругового транспортира от начального направления, а горизонтальные проложения – циркулем-измерителем по линейке. Справа от полученной точки подписывают отметку съемочного пикета до 0,1 м, слева – ее номер. Руководствуясь абрисом и подписями, сделанными в примечаниях тахеометрического журнала, рисуют условными знаками элементы ситуации. Виды угодий пока обозначают надписями. По отметкам точек проводят горизонтали с сечением рельефа через 1 м. Интерполирование горизонталей выполняют по тем направлениям, которые указаны в абрисе.

Окончив составление ситуации и рельефа на станции, приступают к нанесению съемочных пикетов следующей станции.

Составленный план представляют на просмотр преподавателю. После просмотра и проверки по указанию преподавателя план оформляют.

5.3. Оформление топографического плана

Порядок оформления следующий:

1) Пункты опорной геодезической сети, пункты съемочной сети, характерные высотные точки, ориентиры и местные предметы.

2) Гидрографическая сеть, урезы воды, подписи, относящиеся к гидрографии.

3) Населенные пункты.

4) Элементы линейной протяженности (границы контуров, дорожная сеть, электролинии, телефонные линии и др.).

5) Рельеф. При этом выделяют утолщенные горизонтали, расставляют бергштрихи, размещают надписи горизонталей, кратные 5 м, вычерчивают формы рельефа, не выражающиеся горизонталями (обрывы, ямы, скалы и др.).

6) Почвенно-растительный покров (виды угодий, которые ранее подписывались, теперь вычерчивают условными знаками).

7) Рамка и зарамочное оформление.

Во избежание пропусков после оформления план тщательно корректируют. Без разрешения преподавателя не следует стирать с плана съемочные пикеты. Все оформление выполняется в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500».

Перечень сдаваемых материалов: журнал тахеометрической съемки, абрисы для каждой станции, топографический план.

6. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПО ОСИ ТРАССЫ

Назначение нивелирования по оси трассы – определение отметок точек местности и построение профиля оси будущего инженерного сооружения.

Работы по нивелированию трассы состоят из следующих этапов:

- рекогносцировка трассы;
- разбивка пикетажа и поперечных профилей;
- нивелирование по оси трассы и по поперечным профилям;
- камеральная обработка результатов нивелирования;
- построение профиля;
- проектирование по профилю.

Инструменты и принадлежности для выполнения работы: нивелир Н-3 со штативом, две рейки, мерная лента, шпильки, колья или штыри для закрепления пикетов, молоток, нивелирный журнал, пикетажный журнал, карандаши.

6.1. Рекогносцировка трассы

Трассу выбирают с учетом следующих условий: число поворотов трассы должно быть минимальным, стороны трассы должны проходить на местности по возможности с малыми углами наклона.

В процессе рекогносцировки закрепляют вершины углов поворота (ВУ).

6.2. Разбивка пикетажа по трассе и поперечных профилей

Стороны трассы измеряют стальной лентой (шпагатом), отмечая на трассе штырями или колышками пикеты – точки, отстоящие одна от другой на 100 м. Для трасс, проходящих по участкам со сложным рельефом, пикеты могут разбиваться через 50 м.

Количество пикетов на бригаду – 12, количество поперечников – 2.

Если угол наклона местности больше 2°, то расстояние между пикетами увеличивают на величину поправки за наклон. Около каждого пикета забивают сторожок – кол или штырь с табличкой, на котором пишут номер пикета и номер бригады.

Расстояние до плюсовых точек, намечаемых на перегибах местности и пересечении трассы с дорогами и ЛЭП, измеряют от младшего пикета и отмечают сторожками, например ПК 5 + 65.0 (рис. 6.1).

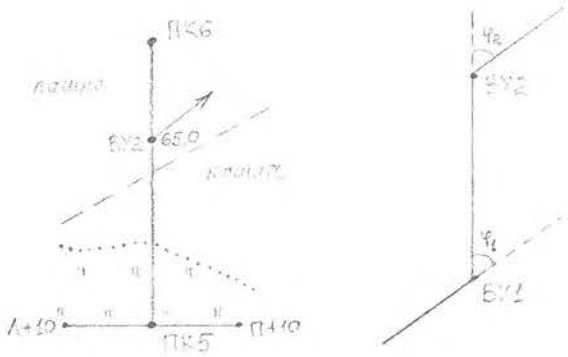


Рис. 6.1. Пикетажный журнал

Разбивают поперечные профили. Для этого перпендикулярно к оси трассы измеряют расстояние от оси трассы влево и вправо до точек перегиба местности. Концы поперечного профиля и точки перегиба отмечают сторожками, на которых надписывают расстояния от оси трассы с добавлением буквы Л (влево) или П (вправо) от оси трассы, например, Л + 10,0 или П + 5,0. Началом поперечного профиля может быть пикет или плюсовая точка. Его длину принимают по указанию преподавателя (10-20 м).

В процессе разбивки пикетажа ведут пикетажный журнал (рис. 6.1), в котором в масштабе 1:1000 показывают ось трассы, пикеты, плюсовые точки, поперечные профили, углы поворота, направление поворота трассы (стрелкой), на глаз зарисовывают контуры местности в полосе шириной по 20 м в обе стороны от оси трассы.

6.3. Нивелирование по оси трассы и по поперечным профилям

После выполнения поверок нивелира, результаты которых записывают на первой странице журнала, приступают к нивелированию по пикетажу. Нивелирование выполняют способом «из середины». Нивелирный ход привязывают к ближайшему реперу. На каждой станции хода две нивелирные точки являются связующими, с их помощью передают высоты по ходу. Остальные точки называются промежуточными. Как правило, связующими точками являются пикеты. Если превышение между пикетами больше длины рейки, то для передачи высот используют дополнительные связующие точки, называемые *Х* точками. *Х* точки закрепляют колышками или штырями. Между смежными пикетами может быть несколько точек *Х*, в зависимости от рельефа. В качестве *Х* точек можно использовать плюсовые точки. Примеры выбора станции и связующих точек показаны на рис. 6.2.

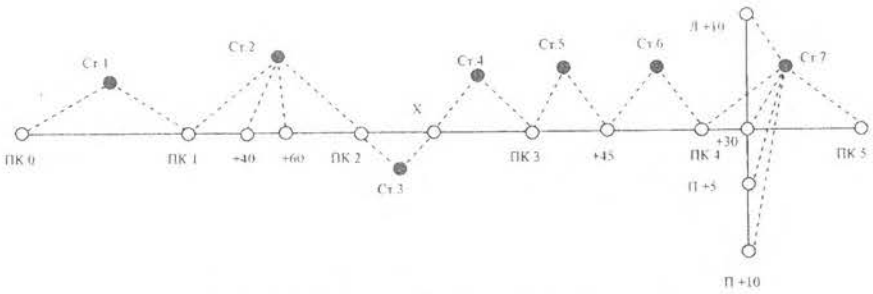


Рис. 6.2. Выбор станций при нивелировании трассы

6.4. Работа на станции при нивелировании

Все записи при нивелировании ведут в полевом журнале карандашом. Работу на станции производят в следующем порядке. Нивелир устанавливают примерно на равном расстоянии от связующих точек. Равенство расстояний определяют на глаз. На связующих точках на колышках устанавливают рейки.

Нивелир горизонтируют с помощью круглого уровня. Наводят трубу нивелира на заднюю рейку, совмещают элевационным винтом концы пузырька цилиндрического уровня и берут отсчет по черной стороне рейки (1). Порядок записей и вычислений показан в таблице 6. Поворачивают рейку, проверяют точность совмещения концов пузырька цилиндрического уровня и берут отсчет по красной стороне (2). Затем нивелир наводят на переднюю рейку, обязательно совмещают элевационным винтом концы пузырька цилиндрического уровня и снова берут отсчеты по черной и по красной сторонам рейки (3), (4).

При нивелировании все отсчеты и превышения записывают в миллиметрах.

Если отсчет по рейке больше 1 м, то рейку необходимо слегка покачивать вперед и назад. При этом в нивелир наблюдают и берут наименьший отсчет. Тут же на станции вычисляют превышения h по черной (5) и красной (6) сторонам реек по формуле:

$$h = З - П,$$

где З – отчет по задней рейке; П – отсчет по передней рейке.

Эти превышения не должны отличаться более чем на 5мм. При большем расхождении нивелирование связующих точек повторяют, несколько изменив высоту инструмента.

Если разность превышений, вычисленных на станции, не превосходит допуск, то вычисляют среднее превышение (7) до целых мм и записывают в графе 8 или 9.

Таблица 6

Исполнитель *Орлов*

Дата 27.07.02

ЖУРНАЛ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Прямой ход

№№ станции	Номер пикетов и промежут. точек	Отсчет по рейке			Превышения		Среднее превышение		Горизонт инструмента	Отметки точек	Номера пикетов и пром. точек	Примечания
		задний	передний	промежут.	+	-	+	-				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0-1	1861(1)	1363(3)		498(5)							
		6646(2)	6146(4)		500(6)		+2 499(7)			127,115	0	
2	1-2	0430(1)	0656(3)			226(5)			128,046	127,616	1	
		5218(2)	5440(4)			222(6)		+2 224(7)				
	1+40,0			2530(8)						125,516	1+40,0	
	1+60,0			2340(9)						125,706	1+60,0	
3	2-x	2830	420		2410					127,394	2	
		7615	5202		2413		+2 2412					
4	x-3	2131	720		1411							
		6915	5509		1406		+2 1408					
5	3-3+45,0	2752	151		2601					131,218	3	
		7535	4942		2593		+1 2597			133,816	3+45,0	
Σ		43933	30549		13832	448	6916	224				
		+13384			+13384		+6692					
					+6692							

Вычислил *Петров*

Проверил *Иванов*

Одновременно с нивелированием связующих точек нивелируют плюсовые точки и точки поперечного профиля. Для этого после вычисления среднего превышения на станции рейку с задней связующей точками и точки поперечного профиля, устанавливают ее на землю у сторожков нулем вниз, берут по одному отсчету только по черной стороне рейки и записывают отсчет в графу 5 (8), (9).

После этого задний реечник переходит на следующую связующую точку, а передний остается на предыдущей связующей точке, наблюдатель переходит и выбирает следующую станцию. Если в районе трассы есть только один репер, к которому будет привязываться трасса, то для контроля нивелирования студенты на практике прокладывают обратный нивелирный ход, начиная нивелирование с последнего пикета. В обратном ходе нивелируют только связующие точки. Если есть возможность привязать последний пикет к реперу, то обратный ход не прокладывают.

Все записи в журнале должны быть выполнены аккуратно, без подчисток и исправлений. Неправильные записи зачеркивают, а в примечаниях пишут причину зачеркивания.

В полевом журнале дают схему привязки (рис. 6.3) и делают полевую привязку. Для этого выполняют нивелирование от репера до ПКО в прямом и обратном направлениях, вычисляют среднее превышение $h_{ср}$.

Решают привязку, т. е. вычисляют отметку ПКО ($H_{пко}$) по формуле:

$$H_{ПКО} = H_{Rp} + h_{ср}$$

$$h_{ср} = \frac{h_{пр} + h_{обр}}{2},$$

если привязка сделана по схеме (*а*).

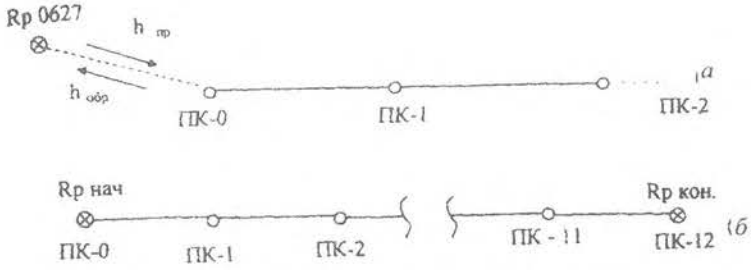


Рис. 6.3. Схемы привязки нивелирного хода:
а – висячий ход, *б* – разомкнутый ход

6.5. Камеральная обработка результатов нивелирования

Камеральную обработку производят в таком порядке:
- обработка нивелирного журнала;
- построение профиля;
- проектирование по профилю.

6.5 1. Обработка нивелирного журнала

Для проверки правильности записей и вычислений в журнале производят постраничный контроль по формуле:

$$\sum З - \sum П = \sum h.$$

Для этого на каждой странице журнала находят: суммы отсчетов $\sum 3$, $\sum 4$ по графам 3, 4; суммы превышений $\sum 6$, $\sum 7$, $\sum 8$, $\sum 9$ по графам 6, 7, 8, 9 (таблица 6). Вычисляют величины:

$$\sum 3 - \sum 4; \quad \sum 6 + \sum 7; \quad \sum 8 + \sum 9.$$

Соблюдение равенств:

$$\sum 3 - \sum 4 = \sum 6 + \sum 7; \quad \frac{\sum 6 + \sum 7}{2} = \sum 8 + \sum 9,$$

показывает, что вычисления на данной странице сделаны верно. Аналогично производят контроль и на следующих страницах журнала. Суммируя величины ($\sum 8 + \sum 9$) отдельно по прямому и обратным ходам, получают суммарное превышения $\sum h_{прям}$ – прямого и $\sum h_{обр}$ обратного ходов. Сумма величин $\sum h$ прямого и обратных ходов дает невязку f_h:

$$f_h = \sum h_{прям} + \sum h_{обр}.$$

Если ход пройден точками с известными отметками $H_{НАЧ}$ и $H_{КОН}$ (рис. 6.3, *б*), невязку вычисляют по формуле:

$$f_h = \sum h_{ср} - (H_{КОН} - H_{НАЧ}).$$

Допустимое значение невязки вычисляют по формуле:

$$f_{h доп} = \pm\sqrt{L(км)}, \text{ мм},$$

где L – длина хода (в километрах) от начального до конечного пикета. Вычисляют невязку в полевом журнале, на чистой странице.

Если полученная невязка больше допустимой, то нивелирный ход переделывают. Если полученная невязка допустима, то в случае (*а*) половину ее распределяют с обратным знаком поровну в превышения прямого хода, округляя при этом поправки до целых километров. Во втором случае (*б*), вся невязка распределяется поровну с обратным знаком на превышения между связующими точками. Поправки в превышениях δ_h вычисляют по формуле:

$$\delta_h = -\frac{f_h}{n},$$

где n – число превышений.

Записывают поправки над средними превышениями в полевом журнале. Исправленные превышения определяют по формуле:

$$h_1 = h_{ср} + \delta_{h1}.$$

Из привязки хода к реперу вычисляют отметку нулевого пикета $H_{ПКО}$ (в нашем примере $H_{ПКО}$ = 127,115 м). Записывают ее в графе (II) напротив нулевого пикета (0).

Зная эту отметку и исправленные превышения, последовательно вычисляют отметки связующих точек по всему ходу:

$$H_1 = H_0 + h_1, \quad H_2 = H_1 + h_2 \ldots$$

Получив отметку последнего пикета $H_К$, проверяют правильность вычислений по формуле:

$$H_{КОН} - H_{НАЧ} = \sum h - \frac{f_h}{2} \ (а) \text{ или } H_{КОН} - H_{НАЧ} = \sum h - f_h (б).$$

Вычисления в журнале заканчивают нахождением отметок промежуточных точек. Их вычисляют через горизонт инструмента ГИ. Горизонтом инструмента называют отметку визирного луча нивелира на данной станции. ГИ вычисляют по формуле:

$$ГИ = Н + а,$$

где Н – отметка связующей точки на данной станции; $а$ – отсчет по черной стороне рейки на этой точке.

Пример: Для станции 2 в таблице 6:

$$ГИ = H_1 + a_1,$$

$H_{ПК1}$ = 127,616 м, a_1 = 0430 мм – отсчет на ПК1,

ГИ = 128,046 м (записывают в графу 10 напротив станции 2).

Отметки промежуточных точек $Н_{ПРОМ}$ находят вычитанием промежуточных отсчетов по рейке «*с*» из горизонта инструмента:

$$H_{ПРОМ} = ГИ - с.$$

На этой же станции находим:

$H_{ПК1+40\,0}$ = 128,046 – 2,530 = 125,516 м,

$H_{ПК1+60\,0}$ = 128,046 – 2,340 = 125,706 м.

6.5.2. Построение профиля трассы

По вычисленным отметкам пикетов, плюсовых точек и точек поперечного профиля на координатной бумаге строят продольный и поперечный профили местности по трассе. Масштабы построения:

- для продольного профиля: горизонтальный 1: 2000, вертикальный 1:200;
- для поперечного профиля: горизонтальный 1: 200, вертикальный 1:200.

Последовательность построения профиля приведена ниже.

Первоначально вычерчивают сетку профиля. Название граф и размеры в миллиметрах показаны на рис. 6.4.

В графе «Расстояния» отмечают положения пикетов и плюсовых точек, выписывают расстояния между плюсовыми точками и пикетами. *Х* точки не строят. Ниже этой графы выписывают номера пикетов.

Пользуясь пикетажным журналом, заполняют графу «План трассы», в которой показывают:

а) ось в виде прямой линии красного цвета;

б) ситуацию (по результатам съемки полосы местности) соответствующими условными знаками.

В графу «Фактические отметки» выписывают из журнала нивелирования отметки всех пикетов и плюсовых точек с округлением до 0,01 м.

Выбирают и надписывают отметку условного горизонта, которая должна быт на 5-8 метров меньше самой низкой отметки по трассе.

В системе прямоугольных координат, где линия условного горизонта – ось расстояний, а вертикальная линия, проходящая через нулевой пикет – ось отметок, строят положение всех пикетов и плюсовых точек.

Полученные точки соединяют прямыми линиями и получают продольный профиль местности по оси трассы. Все построения выполняют карандашом.

Над точками продольного профиля, которые служили началом поперечных профилей, строят сетки поперечных профилей (рис. 6.4).

Заполняют графы «Расстояния» и «Фактические отметки» так же, как это делалось при построении продольного профили. Под сеткой надписывают пикетажные обозначения точек поперечного профиля.

Выбрав условный горизонт, строят положение точек поперечного профиля. Соединив полученные точки, получают поперечный профиль местности.

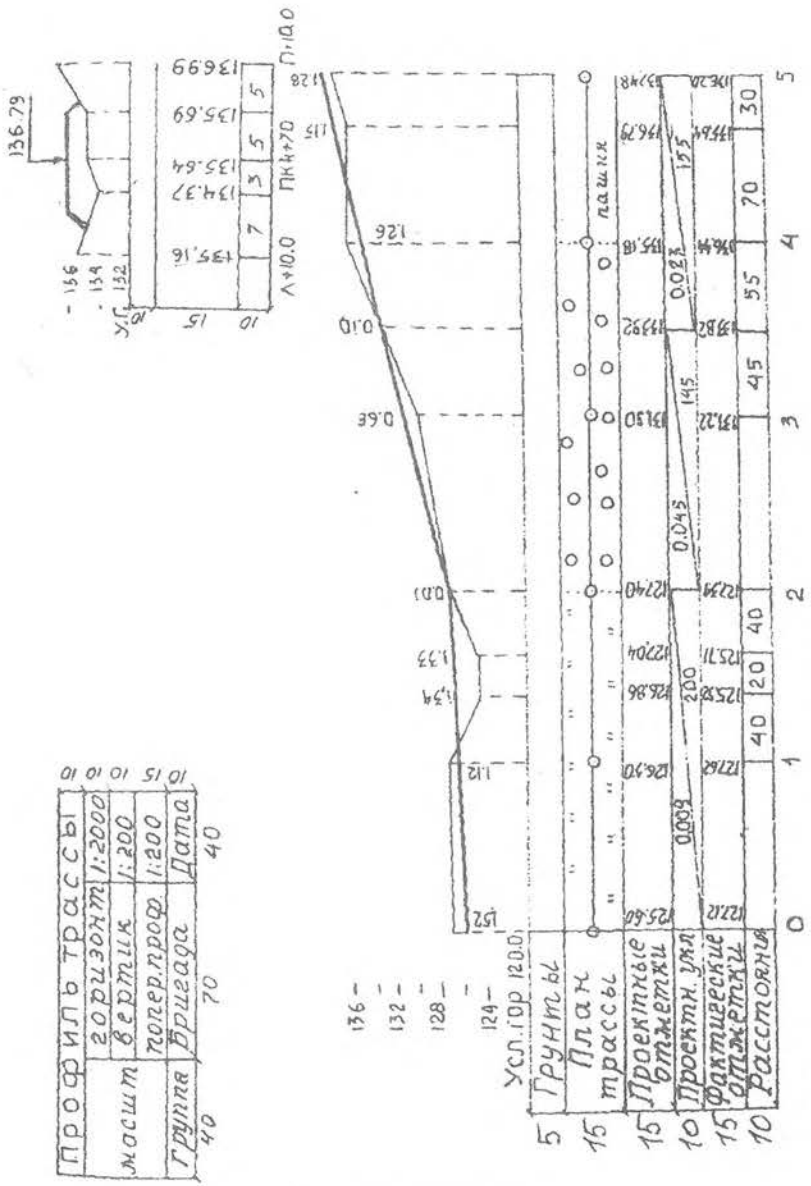


Рис. 6.4. Профиль трассы

Профиль местности – графический документ, позволяющий решать ряд инженерных задач.

6.5.3. Проектирование по профилю

На практике по продольному профилю студенты проводят проектную линию, которая будет являться профилем оси будущего инженерного сооружения (дороги, канала и т. д.). Проектную линию намечают графически с учетом следующих требований:

- уклоны участков проектной линии не должны превышать допустимых значений (предельный уклон задается преподавателем);
- объем земляных работ должны быть минимальным;
- объемы насыпей и выемок должны быть примерно одинаковы, т. е. на профиле должно соблюдаться примерное равенство площадей насыпей и выемок;
- шаг проектирования принимают от 100 до 600 м;
- измерение уклона проектной линии можно производить на пикетах или плюсовых точках.

Проектная отметка ПКО задается преподавателям или принимается равной фактической отметке этого пикета.

На рис. 6.4 проектная отметка ПКО $H_0 = 125{,}60$ м участков проектной линии с разными уклонами намечено три: длиной 200, 145 и 155 м; измерение уклона проектной линии предусмотрено в двух точках: на ПК2 и на плюсовой точке ПК3+45,0 расчет и вычерчивание проектной линии производится в следующем порядке:

По профилю определяют приближенно (с точностью 0,1 мм в вертикальном масштабе профиля) проектные отметки точек перелома и конца проектной линии:

$$H_2 = 127{,}4\text{м}; \quad H_{3+45.0} = 133{,}8\text{ м}; \quad H_5 = 137{,}4\text{ м}.$$

Вычисляют превышения по участкам проектной линии:

$$h_1 = H_2 - H_0 = +1{,}8\text{ м};$$
$$h_2 = H_{3\text{-}45.0} - H_2 = +6{,}4\text{ м};$$
$$h_3 = H_5 - H_{3+45.0} = +3{,}6\text{ м}.$$

вычисляют уклоны i – отношения превышений h к горизонтальным проложениям участков проектной линии d:

$$i = \frac{h}{d}.$$

$$i_1 = \frac{1.8}{200} = +0{,}009;$$

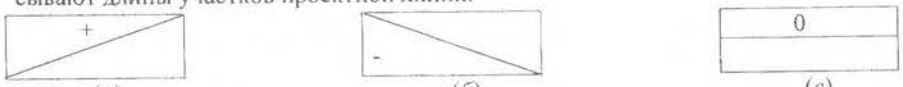
$$i_2 = \frac{6.4}{145} = +0{,}045;$$

$$i_3 = \frac{3.6}{155} = +0{,}023.$$

Полученные уклоны округляют до 0,001 и выписывают в графу «Проектные уклоны» продольного профиля.

Все данные проектирования наносят на профиль красным цветом.

Под выписанными уклонами проводят линии (с подъемом (*а*), спуском (*б*) или горизонтальные (*с*) – в зависимости от знака уклона). Под линиями выписывают длины участков проектной линии.



(*а*) (*б*) (*с*)

По значениям округленных уклонов вычисляют и выписывают в соответствующую графу продольного профиля проектные отметки концов участков проектной линии по формуле:

$$H_{n-1} = H_n + i \times d.$$

Для нашего примера:

$$H_2 = 125{,}60 + 0{,}009 \times 200 = 125{,}60 + 1{,}80 = 127.40 \text{ м};$$

$$H_{3\text{-}45} = 127{,}40 + 0{,}45 \times 145 = 127{,}40 + 6{,}52 = 133{,}92 \text{ м};$$

$$H_5 = 133{,}92 + 0{,}023 \times 155 = 133{,}92 + 3{,}56 = 137{,}46 \text{ м}.$$

На профиле уточняют по вычисленным отметкам положение точек перелома и конца проектной линии, соединяют полученные отрезки линиями и получают проектный профиль оси будущего инженерного сооружения.

Вычисляют и выписывают проектные отметки всех остальных пикетов и плюсовых точек трассы по той же формуле (здесь «*d*» – это расстояние между пикетами, или расстояние от пикета до плюсовой точки). $H_1 = H_0 + i \times 100 = 126{,}50$ м, $H_{1\text{-}40} = H_1 + i \times 40 = 126{,}86$ м. Контролем вычислений служат выписанные проектные отметки конца участков проектной линии.

Вычисляют рабочие отметки как разности проектных и фактических отметок соответствующих точек профиля. Рабочие отметки выписывают около проектной линии: положительные (высота насыпи) – выше, а отрицательные (глубина выемки) – ниже проектной линии.

В заключении по вычисленной отметке точки оси поперечного профиля наносят положение проектной линии на поперечном профиле. Над проектной линией выписывают ее отметку. Проектную линию наносят горизонтально, по 10м влево и вправо от оси трассы. Показывают кюветы (если линия идет в выемке) и откосы (если линия идет по насыпи). Уклон откосов и бортов канав 45°, ширина дна кювета – 0,6 м. Над продольным профилем вычерчивают штамп.

Перечень сдаваемых материалов: отчет по нивелированию (раздел в общем отчете по практике), пикетажный журнал, журнал нивелирования, профиль местности по оси трассы.

7. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

На геодезической практике студенты выполняют следующие инженерно-геодезические задачи:

- вынос в натуру точки с заданными координатами;
- вынос на местность точки с заданной отметкой;
- вынос в натуру линии с заданным уклоном.

Проектные данные для выполнения этих задач (отметки, длины линий, уклон, координаты) задает преподаватель.

Подготовительные работы для решения инженерно-геодезических задач выполняются по топографическому плану масштаба 1:500, составленному студентами по результатам тахеометрической съемки.

Вынос проекта в натуру (геодезические разбивочные работы) осуществляются от имеющихся на участке пунктов геодезической сети с использованием следующих геодезических приборов: теодолита Т-30, нивелира Н-3 или Н-10, мерной ленты, рулетки.

7.1. Элементы геодезических разбивочных работ

Разбивочные работы можно представить как совокупность отдельных простых операций. Рассмотрим основные из них.

7.1.1. Вынос в натуру проектного горизонтального угла

Над вершиной угла *О* устанавливают теодолит и ориентируют его лимб вдоль заданного направления *ОА*. Вращением алидады откладывают проектный угол β и по направлению визирной оси трубы забивают колышек C_1. Для исключения влияния коллимационной ошибки проводят трубу через зенит и откладывают величину угла β при другом положении вертикального круга, забивают колышек в точке C_2. Расстояние C_1-C_2 делят пополам, полученный угол *АОС* и будет проектным углом. После построения проектного угла производят контрольные измерения этого угла (см. рис. 7.1).

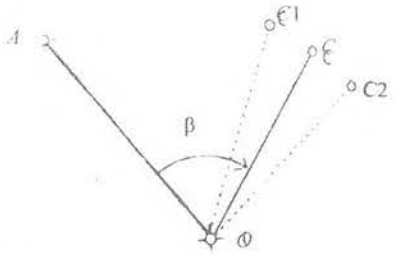


Рис. 7.1. Построение на местности проектного горизонтального угла

7.1.2. Вынос в натуру проектного расстояния

Для выноса проектного расстояния по заданному направлению мерной лентой откладывают наклонную длину, конец линии закрепляют колышком. Для контроля длину линии измеряют второй раз – обратно. Наклонное проектное расстояние находят по формуле:

$$L = \sqrt{D^2 + h^2},$$

где D – горизонтальное проложение линии, м; h – превышение между точками концами линии, м.

D и h определяют по топографическому плану.

7.2. Вынос в натуру точки с заданными координатами (полярным способом)

На топографическом плане запроектирована буровая скважина (C), которую необходимо вынести в натуру от ближайших пунктов геодезической сети (в примере пункты 1 и 2 на рис. 7.2).

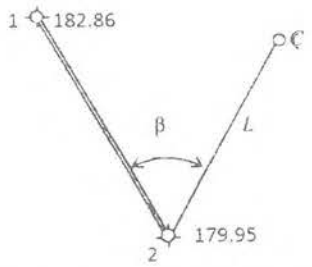


Рис. 7.2. Схема выноса в натуру запроектированной точки

Прямоугольные координаты и отметки пунктов геодезической сети 1 и 2 выписывают из ведомостей вычисления координат и высот точек съемочного обоснования, а координаты и отметку точки C студенты определяют графически с топографического плана (таблица 7).

Таблица 7

Исходные данные

	X	Y	H
1	3833,62	2950,42	182,86
2	3771,20	2838,80	179,95
C	3764,42	2858,20	184,50

Для переноса запроектированной точки в натуру применим способ полярных координат.

Вначале выполняют геодезическую подготовку проекта. Для этого необходимо вычислить разбивочные элементы, т. е. полярный угол β и полярное расстояние L по формулам:

$$\beta = \alpha_{2\text{-}C} - \alpha_{2\text{-}1},$$

$$r(\alpha_{2-C}) = \operatorname{arctg}\frac{Y_C - Y_2}{X_C - X_2},$$

$$r(\alpha_{2-1}) = \operatorname{arctg}\frac{Y_1 - Y_2}{X1 - X_2},$$

$$L = \sqrt{D^2 + h^2}, \quad D_{2-C} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \; h = H_C - H_2,$$

где X_1, X_2, Y_1, Y_2 – прямоугольные координаты исходных пунктов; X_C, Y_C – прямоугольные координаты запроектированной точки C; H_2, H_C – отметки точек 2 и C; $D_{2\text{-}C}$ – горизонтальное проложение линии 2 – C; L – наклонное проектное расстояние от пункта 2 до точки C; $\alpha_{2\text{-}C}$, $\alpha_{2\text{-}1}$ – дирекционные углы линий 2-C и 2-1.

В нашем примере:

$$r(\alpha_{2-1}) = \operatorname{arctg}\frac{2950{,}42 - 2838{,}80}{3833{,}62 - 3771{,}20} = \operatorname{arctg}\frac{+111{,}62}{+62{,}42} = 1{,}78821 \text{ (I – ячетверть)},$$

$$r(\alpha_{2-1}) = \alpha_{2-1} = 60°47'07''.$$

$$r(\alpha_{2-C}) = \operatorname{arctg}\frac{2858{,}20 - 2838{,}80}{3764{,}42 - 3771{,}20} = \operatorname{arctg}\frac{+19{,}40}{-6{,}78} = 2{,}86136 \text{ (2 – ячетверть)},$$

$$r_{2-C} = 70°44'10''.$$

$$\alpha_{2-C} = 180° - 70°44'10'' = 109°15'50'',$$

$$\beta = 109°15'50'' - 60°47'07'' = 48°28'43'',$$

$$D_{2-C} = \sqrt{19{,}40^2 + 6{,}78^2} = 20{,}55, \text{ м},$$

h = 184,50 м – 179,95 м = 4,55 м,

$$L = \sqrt{20{,}55^2 + 4{,}55^2} = 21{,}05, \text{ м}.$$

Затем составляют разбивочный чертеж в масштабе топографического плана, на котором запроектирован объект (рис. 7.3).

На разбивочный чертеж наносят: пункты геодезической сети (1, 2); величины углов и линий, которые необходимо отложить на местности от исходных пунктов до проектированной точки.

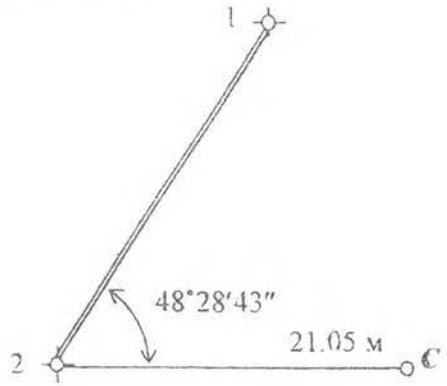


Рис. 7.3. Разбивочный чертеж

На местности в точке 2 устанавливают теодолит и способами изложенными выше (7.1.1, 7.1.2), отмеряют величины, указанные на разбивочном чертеже. Для контроля можно вычислить полярные координаты точки C от пункта 1.

7.3. Вынос в натуру точки с заданной отметкой

От пункта геодезической сети А с отметкой H_0 = 49,347 м необходимо вынести на местность точку В с проектной отметкой $H_{пр}$ = 48,000 м. Сначала точку В выносят и закрепляют на местности в соответствии с ее плановым положением.

Для выноса проектной отметки в точке В между исходной точкой А и проектной точкой В устанавливают нивелир (рис. 7.4).

Установив рейку на т. А, берут по ней отсчет a (пусть a = 0,572 м).



Рис. 7.4. Вынос в натуру точки с проектной отметкой

Определяют горизонт инструмента (ГИ) по формуле:

$$ГИ = H_0 + a = 49{,}347 + 0{,}572 = 49{,}946 \text{ м}.$$

Вычисляют проектный отсчет по рейке $в_{пр}$, соответствующий проектной отметке точки В.

$$в_{пр} = ГИ - H_{пр} = 49{,}946 \text{ м} - 48{,}000 \text{ м} = 1946 \text{ мм}.$$

Затем, наблюдая в трубу нивелира по рейке установленной в точке В, забивают колышек на такую глубину, чтобы отсчет по рейке, установленной пятой на колышке, был равен вычисленному значению $в_{пр}$ = 1946 мм.

Допустим, отсчет по рейке в т. В равен 2100 мм, тогда 2100 – 1946 = 154 мм, это величина, на которую надо приподнять колышек, чтобы получить проектную отметку, соответствующую верху колышка.

7.4. Вынос в натуру линии с проектным уклоном

От пункта геодезической сети А с отметкой H_0 = 50,20 м (рис. 7.5, *а*) требуется разбить линию длинной D = 30 м с уклоном i = 0,040.

Проектное направление линии выносят на местность, закрепляют точками, расположенными через 10 м (1, 2, В).

Вычисляют проектные отметки точек 1, 2, В по формуле:

$$H_{пр} = H_0 + i \times d,$$

где $H_{пр}$ – проектная отметка точки, закрепленной на линии АВ; i – проектный уклон; d – расстояние от исходной точки А до определенной точки.

$$H_{пр1} = 50{,}20 + 0{,}040 \times 10 = 50{,}20 + 0{,}04 = 50{,}24 \text{ м};$$

$$H_{пр2} = 50{,}20 + 0{,}040 \times 20 = 50{,}20 + 0{,}08 = 50{,}28 \text{ м};$$

$$H_{прВ} = 50{,}20 + 0{,}040 \times 30 = 50{,}20 + 0{,}12 = 50{,}32 \text{ м}.$$

Вычисленные проектные отметки точек 1, 2, В выносят в натуру изложенным выше способом. На рис. 7.5, *а* $в_{пр}1$, $в_{пр}2$, $в_{пр}$ В – проектные отсчеты по рейке в точках 1, 2, В.

При другом способе разбивки проектного уклона подъемными винтами нивелира наклоняют трубу нивелира до тех пор, пока отсчет по рейке на вынесенной проектной точке В не станет равен высоте инструмента. В результате линия визирования будет параллельна линии заданного уклона. Промежуточные точки линии определяют установкой рейки в точках 1 и 2 и получением на них того же отсчета, что и на точке В (рис. 7.5, *б*).

Материалы, прилагаемые к отчету в главе «Инженерно-геодезические задачи».

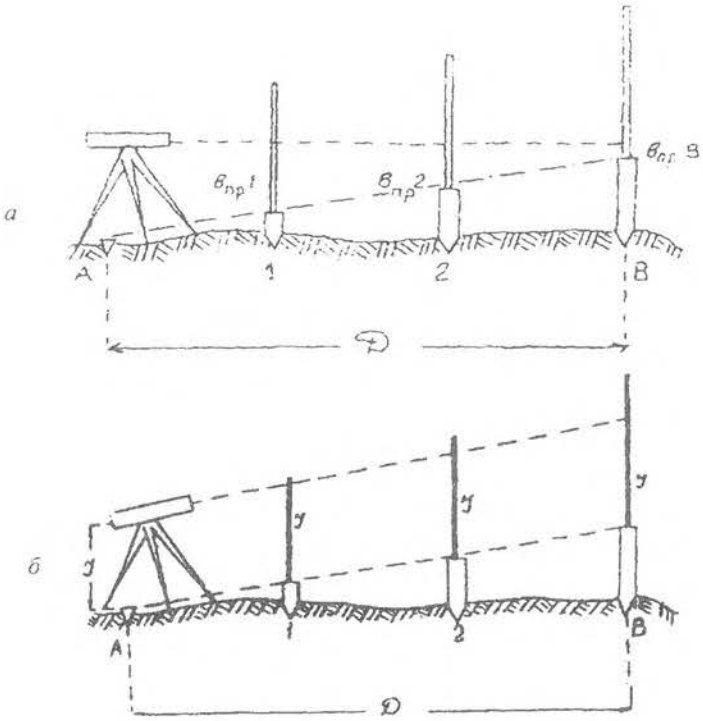


Рис. 7.5. Построение заданного уклона

В отчете по геодезической практике в главе «Инженерно-геодезические задачи» дается описание решения задачи, все вычисления по определению разбивочных элементов и разбивочные чертежи с указанием углов и длин, которые необходимо отложить на местности от исходных пунктов до проектных точек; на топографическом плане бригады указывают проектные точки.

8. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ

По итогам геодезической практики студенты пишут бригадный отчет. Отчет оформляется на листах А-4. В отчете отражаются следующие вопросы:

- описание участка работ: местоположения, рельеф, растительность, гидрография, дорожная сеть, наличие населенных пунктов, промышленных предприятий и т. п.;
- виды геодезических работ, поверки приборов, камеральная обработка результатов полевых измерений, результаты и допуски;
- виды работ, выполненные отдельными студентами.

Содержание отчета:

1. Общие сведения.
2. Физико-географическая характеристика района работ.
3. Рекогносцировка местности и закладка центров.
4. Поверки теодолита.
5. Измерение горизонтальных и вертикальных углов и измерение расстояний.
6. Вычисление координат и отметок съемочного обоснования.
7. Тахеометрическая съемка.
8. Поверки нивелира.
9. Геометрическое нивелирование.
10. Инженерно-техническое нивелирование по оси трассы.
11. Решение инженерно-геодезических задач.
12. Вычерчивание топографического плана.

К отчету прилагаются:

1. Схема съемочного обоснования и привязки в произвольном масштабе (на схему выписывают средние значения измеренных углов и длин).
2. Журналы измерения углов и длин сторон.
3. Ведомости вычисления отметок точек съемочного обоснования.
4. Ведомость вычисления координат точек съемочного обоснования.
5. Журнал тахеометрической съемки.
6. Абрисы.
7. Топографический план масштаба 1:500.
8. Пикетажный журнал.
9. Журнал нивелирования.
10. Профиль местности по оси трассы.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ГОСТ 22268-76. Геодезия. Термины и определения.

ГКИНП-02-033-79. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.

Клепко В. Л., Назаров И. В. Геодезия: курс лекций. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – 148 с.

СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.

Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Стандартный шрифт

Стандартный шрифт (по ГОСТу 2.304-81 – чертежный шрифт) пишется от руки с наклоном 1:3. Применяется для ведения записей в журнале и оформления документации.

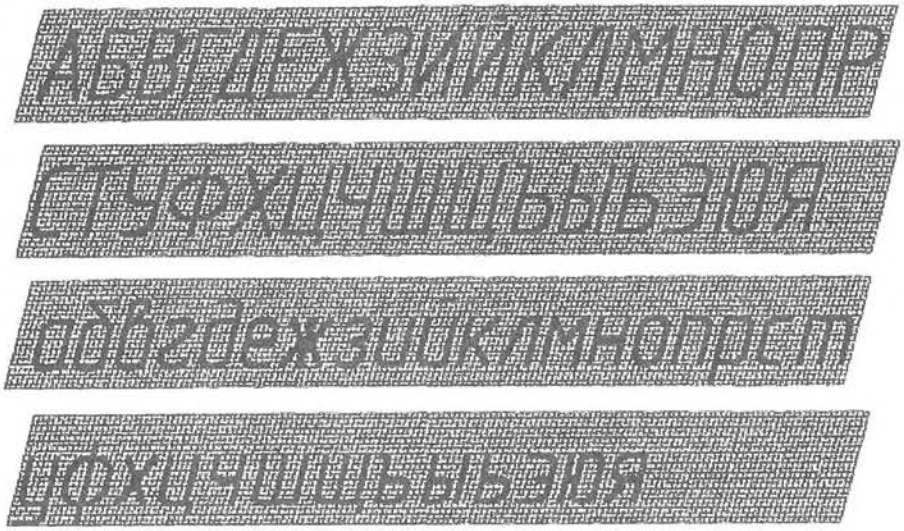


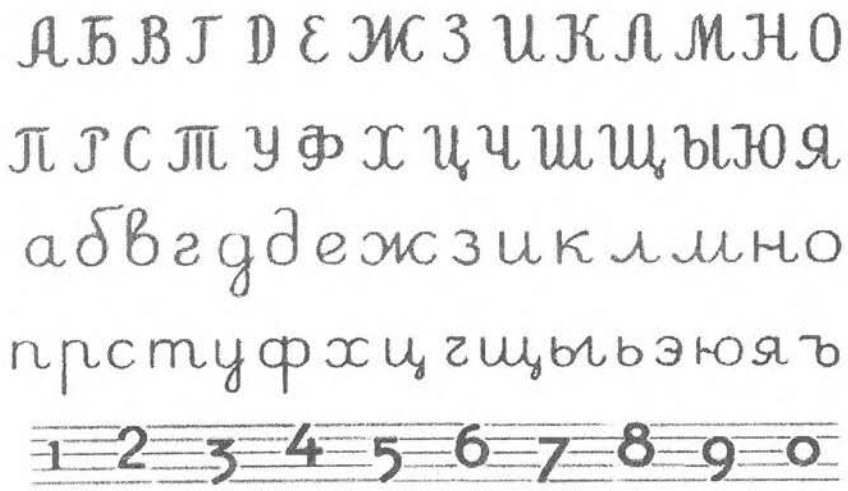
СХЕМА Профиль План

147°25' 638,9 70,241 139°57'

Студент Преподаватель

Вычислительный шрифт

Вычислительный шрифт имеет прямое начертание. Он применяется при полевых и вычислительных работах. Шрифт легко запоминается и читается, прост в исполнении.



Пирамида Сигнал Азимутный пункт. Широта и долгота. Наблюдение горизонтальных углов. Исправленные углы.

4 152 43 175 9.175 371 3.323 715 4 252.62 3 189.14
2 245 11 657 7 963 57 152 343.5 1.569 145 2 356.16
250° 41' 24° 32' 293° 38' 45" 225° 49' 31° 53' 47" 15° 24'

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Шмонин А.Б.

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	
1	Методические указания к организации самостоятельной работы студента	5
2	Содержание разделов учебной практики. Контрольные вопросы и упражнения.	6
3	Методические указания к составлению отчета по практике	13
	Рекомендуемая литература	25

Введение

Самостоятельная работа студента является важнейшей составной частью образовательной программы подготовки дипломированного специалиста. В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объем учебной нагрузки студента по дисциплине «Учебная практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, ч.1 (геодезическая)» составляет 108 часа или 3 зачетных единиц. Из них 36 часов отводится на самостоятельную работу обучающихся.

По курсу «Учебная практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, ч.1 (геодезическая)» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным разделам учебной практики, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление и защита отчёта о практических работах; подготовка к тестированию; подготовка к зачёту.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Учебная практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, ч.1 (геодезическая)». Она содержит названия разделов учебной практики с указанием основных вопросов по каждому разделу. Каждый раздел является основой вопросов на зачёт. При проведении учебной практики преподаватель указывает те вопросы, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Основной объем информации по каждому разделу учебной геодезической практики содержится в Методических указаниях [1]. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков решения задач по отдельным разделам учебной геодезической практики в данном учебно-методическом пособии. приведены контрольные вопросы образцы тестовых заданий.

При освоении, указанных ниже разделов, рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой раздела.

2. По методическим указаниям [1] освойте каждый структурный элемент раздела. Во всех разделах указаны страницы методических указаний содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы и выполните рекомендованные упражнения и тестовые задания. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

6. Решите указанные задачи. Условия задач приведены в последнем разделе данного учебного пособия. При затруднении обратитесь за консультацией к преподавателю.

7. Для самоконтроля используйте тестовые задания.

При самостоятельной работе над указанными разделами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых по результатам выполнения практических полевых работ, и в том порядке, в котором следуют разделы по учебной практике.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

Раздел 1. Подготовительный (организационный) этап практики

Подготовительные работы, инструктаж по технике безопасности, организационные вопросы, формирования бригад, поверки приборов

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные поверки теодолита 2Т30П.
2. Назовите основные поверки нивелира Н-3.
3. Назовите участников процесса измерений?
4. Какие обязанности выполняет бригадир в бригаде?
5. Какие правила безопасности должны выполнять практиканты в период учебной практики на полевых и камеральных работах?

Раздел 2. Создание планово-высотного съемочного обоснования

Рекогносцировка местности, закрепление пунктов геодезического съемочного обоснования. Измерение горизонтальных и вертикальных углов на пунктах теодолитного хода, измерение длин сторон хода . Привязка теодолитного хода к опорным пунктам геодезической сети. Камеральные работы: вычисление координат и высот пунктов теодолитного хода.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Сущность создания съёмочного обоснования?
2. Виды теодолитных ходов.
3. Что такое «привязка» теодолитного хода к пунктам опорной сети?
4. Как закрепляются пункты съемочной геодезической сети?
5. Что такое теодолитный ход?
6 Перечислите виды геодезических засечек.
7.Чем отличаются полевые и камеральные работы.
8.Опишите технологию проложения теодолитного хода.
9.Опишите технологию выполнения прямой угловой засечки.
10. Последовательность вычисления горизонтальных проложений сторон теодолитного хода, превышений и высотных отметок точек теодолитного хода
12. Последовательность вычисления коодинат точек теодолитного хода.
13 Какова методика измерения превышения нивелиром Н-3 на станции

Задания для тестирования:

1. Найти коллимационную ошибку теодолита, если отсчеты по его горизонтальному кругу, при визировании на одну точку, равны КЛ=$0^0$06' и КП=$180^0$08'

1. 0^0 02'
2. 0^0 07'
3. -0^0 01'
4. 0° 01'

2. Чтобы исключить грубые ошибки при измерении стороны теодолитного хода мерной лентой необходимо:использовать:

A. измерить сторону шагами
B. измерить лентой дважды и сравнить результаты
C. измерить светодальномером
D. более точный мерный прибор

3. Для графического интерполирования высотных отметок при построении горизонталей на топографических планах применяется:

A. курвиметр
B. планиметр
C. транспортир
D. линейная палетка

4. Вычислить горизонтальное проложение d между точками А и В, если приращения координат между ними равны: ΔУ=30 м и ΔХ=40 м

A. 50 м
B. 10 м
C. 70 м
D. 60 м

5. Найти гол наклона, если отсчёт по вертикальному кругу теодолита равен КЛ= 3°06′ и место нуля МО= -0°02′.

A. 3 °04'
B. 3 °08'
C. 1 °06'
D. 5 °06'

6. В системе прямоугольных плоских геодезических координат ось У совпадает с:

A. географическим меридианом точки
B. осевым меридианом 6° или 3° зоны
C. линией перемены дат
D. линией экватора

7. В системе прямоугольных плоских геодезических координат ось X совпадает с:

A. географическим меридианом точки
B. осевым меридианом 6° или 3° зоны
C. магнитным меридианом точки
D. линией экватора

8. Сумма исправленных приращений координат в замкнутом теодолитном ходе равна:

A. линейной невязке
B. нулю
C. разности координат исходных пунктов
D. разности превышений

9. Теодолитный ход состоит из 9 точек на которых измерены 9 горизонтальных углов. Найти предельную допустимую угловую невязку.

A. 9'
B. 1'
C. 4.5
D. 3'

Раздел 3. Тахеометрическая съемка

Угловые измерения. Теодолит, его устройство. Поверки теодолита. Измерение горизонтальных и вертикальных углов. Линейные измерения. Измерение линий нитяным дальномером, мерной лентой. Принцип измерения расстояний светодальномерами. Классификация ошибок. Средние квадратические ошибки. Относительные ошибки. Невязки. Математическая обработка ряда равноточных независимых измерений одной и той же величины. Математическая обработка ряда неравноточных независимых измерений одной и той же величины. Поправки, вводимые в измеренные расстояния. Измерения неприступных расстояний. Измерение превышений. Методы определения превышений: геометрическое, тригонометрическое и др. нивелирования. Нивелир, его устройство и поверки. Нивелирные рейки.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите технологию тахеометрической съёмки.
2. Какие допуски на точность измерения углов теодолитом 2Т30 устанавливает Инструкция при тахеометрической съёмке?
3. С какой точностью измеряется высота прибора при тахеометрической съёмке?
4. Перечислите поверки теодолита 2Т30?
5. Какова точность центрирования прибора при при тахеометрической съёмке?
6. Как учитывается место нуля теодолита при тахеометрической съёмке?

7. Что такое «место нуля» у теодолита и как оно вычисляется?
8. Какая последовательность операций при приведении теодолита в рабочее положение перед измерениями?

Задания для тестирования:

1. Геодезический прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов называется:

A. нивелир
B. теодолит
C. кипрегель
D. буссоль

2. Чтобы исключить грубые ошибки при измерении стороны теодолитного хода мерной лентой необходимо:

A. измерить сторону шагами
B. измерить лентой дважды и сравнить результаты
C. измерить светодальномером
D. измерить радиодальномером

3. Расстояния при тахерометрической съёмке измеряются с помощью:

A. шагов
B. рулетки
C. нитяного дальномера и рейки
D. радиодальномера
D. землемерной ленты

4. Высота прибора i это высота горизонтального визирного луча над:

A. точкой стояния прибора

B. плоскостью горизонта
C. рейкой

D. уровнем моря

5. Каким видом нивелированияопределяется высотная отметка реечной точки при тахерометрической съёмке.

A. геометрическим
B. тригонометрическим
C. гидростатическим
D. барометрическим

4. Найти место нуля вертикального круга теодолита 2Т30, если отсчёты по его вертикальному кругу равны КЛ= 3°06′ и КП= -3° 04'

A. 0 °02'

B. -0 °02'
C. 0 °01'
D. -0 °01'

Раздел 4. Инженерно-техническое нивелирование

Рекогносцировка трассы. Разбивка пикетажа на трассе. Нивелирование связующих и промежуточных точек. Работа на станции. Полевой контроль. Ведение полевого журнала. Привязка трассы к пунктам ГГС. Обработка журнала нивелирования. Постраничный контроль. Вычисление невязки нивелирного хода. Вычисление отметок точек хода. Построение профиля трассы. Проектирование по трассе, расчет уклонов. Вычисление проектных и рабочих отметок. Построение поперечных профилей. Вынос в натуру точек с проектными отметками и линии с проектным уклоном

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое трассирование линейных сооружений?
2. Как разбивают пикетаж на трассе линейного сооружения?.
3Как выполняется геометрическое нивелирование связующих и промежуточных точек?
4. Что такое горизонт прибора и для чего он применяется?
5. Как осуществляется полевой контроль при нивелировании?.
6. Как вычисляется невязка в нивелирном ходе?
7. Опишите последовательность обработки журнала нивелирования.
8. Опишите технологию построения продольного профиля трассы.
9. Опишите технологию проектирования автодороги по продольному профилю трассы и расчёта проектных уклонов.
10. Как вычисляются проектные и рабочие отметки на продольном профиле трассы?
11. Опишите технологию построения поперечных профилей.
12. Какие допуски на точность измерения превышений при геометрическом нивелировании технической точности устанавливает Инструкция?
13. Какая методика нивелирования даёт более точный результат: «из середины линии» или «с конца линии».

Задания для тестирования:

1. Длина нивелирного хода технической точности 9 км. Найти предельную допустимую невязку.

A. 150 мм

B. 60 мм

C. 15 мм

D. 90 мм

2. Горизонт прибора это высота горизонтального визирного луча над:

A. земной поверхностью

B. плоскостью горизонта

C. уровнем моря

D. колышком пикета

4. Найти высотную отметку конца проектной линии с уклоном i = 1%, если длина участка d=500 м, а начальная отметка Нн=52,35 м.

A. 52,85 м
B. 57, 35 м
C. 50,35 м
D. 50, 35 м

5. Высотная отметка земли (чёрная) Нч = 85,56 м, проектная (красная) отметка в этой точке Нк = 84,34 м. Вычислить рабочую отметку м.

E. - 1,22 м
F. 1,22 м
G. 84,95 м
H. 84, 45 м

Раздел 5. Инженерно-геодезические задачи и рабивочные работы

Вынос в натуру точки с проектными координатами (полярным способом). Вынос в натуру точек с проектными отметками и линии с проектным уклоном. Определение положения точек земной поверхности с помощью геодезических спутниковых систем (CPS ГЛОНАСС). Работа с навигатором

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как настроить навигационный спутниковый приемник на определение плоских прямоугольных координат точек земной поверхности?

2.Чем отличаются космические группировки спутников ГЛОНАСС и GPS

3. Какова точность измерения координат навигационным спутниковым приёмником?

4. Опишите технологию выноса в натуру точек с проектными высотными отметками.

5. Технология выноса в натуру линий с проектными уклонами.

6. Технология выноса в натуру линий с проектными углами наклона.

7. Как измерить высоту сооружения косвенным способом?

8. Как вычислить рвзбивочные элементы круговой кривой?

Задания для тестирования:

1. Вычислить дирекционный угол линии АВ, если приращения координат между точками А и В равны ΔУ=120 м и ΔХ=120 м.

A. 135°
B. 225°
C. 315°
D. 45°

2. Вычислить уклон i проектной линии в %на участке продольного профиля длиной D=500 м, если высотная отметка начала линии Нн= 60,56 м, а конца Нк=64,56 м

A. 0,8 %
B. 8,0 % м
C. 2,5 %
D. 0,008 %

3. Дирекционный угол линии равен 210°, определить ее румб.

A. 10°СВ
B. 120°ЮЗ
C. 30°ЮЗ
D. 30° ЮВ

4. Румб линии может изменяться в пределах:

A. 0°-360°
B. 0°-180°
C. 0°-90°
D. 90°-180°

3. Методические указания к составлению отчёта по практике

Оформление отчета осуществляется в соответствии с требованиями государственных стандартов и университета.

Отчет выполняется печатным способом с использованием компьютера.

Каждая страница текста, включая иллюстрации и приложения, нумеруется арабскими цифрами, кроме титульного листа и содержания, по порядку без пропусков и повторений. Номера страниц проставляются, начиная с введения (третья страница), в центре нижней части листа без точки.

Текст работы следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 20 мм, левое – 30 мм.

Рекомендуемым типом шрифта является Times New Roman, размер которого 14 pt (пунктов) (на рисунках и в таблицах допускается применение более мелкого размера шрифта, но не менее 10 pt).

Текст печатается через 1,5-ый интервал, красная строка – 1,25 см.

Цвет шрифта должен быть черным, необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображения по всей работе. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах и формулах, применяя курсив, полужирный шрифт не применяется.

3.1 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ НАИМЕНОВАНИЙ И НУМЕРАЦИИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ГЛАВ И ПАРАГРАФОВ

Отчет должен включать следующие структурные элементы: титульный лист, содержание, введение, основной текст, заключение, приложения (является дополнительным элементом). Основной текст может быть разделен на разделы и параграфы.

Каждый структурный элемент отчета (титульный лист, содержание, введение, заключение, приложение) и разделы необходимо начинать с новой страницы. Следующий параграф внутри одного раздела начинается через 2 межстрочных интервала на том же листе, где закончился предыдущий.

Расстояние между заголовком структурного элемента и текстом, заголовками главы и параграфа, заголовком параграфа и текстом составляет 2 межстрочных интервала.

Наименования структурных элементов письменной работы («СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «ПРИЛОЖЕНИЕ») служат заголовками структурных элементов. Данные наименования пишутся по центру страницы без точки в конце прописными (заглавными) буквами, не подчеркивая.

Разделы, параграфы должны иметь заголовки. Их следует нумеровать арабскими цифрами и записывать по центру страницы прописными (заглавными) буквами без точки в конце, не подчеркивая. Номер раздела указывается цифрой (например, 1, 2, 3), номер параграфа включает номер раздела и порядковый номер параграфа, разделенные точкой (например, 1.1, 2.1, 3.3). После номера раздела и параграфа в тексте точку не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Переносы слов в заголовках не допускаются. Не допускается писать заголовок параграфа на одном листе, а его текст – на другом.

В содержании работы наименования структурных элементов указываются с левого края страницы, при этом первая буква наименования является прописной (заглавной), остальные буквы являются строчными, например:

Введение
1 Общие сведения
2 Выполненные работы
Заключение
Приложения

3.2 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

Сокращение русских слов и словосочетаний допускается при условии соблюдения требований ГОСТ 7.12–93 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила».

В тексте письменной работы допускаются общепринятые сокращения и аббревиатуры, установленные правилами орфографии и соответствующими нормативными документами, например: год – г., годы – гг., и так далее – и т. д., метр – м, тысяч – тыс., миллион – млн, миллиард – млрд, триллион – трлн, страница – с., Российская Федерация – РФ, общество с ограниченной ответственностью – ООО.

При использовании авторской аббревиатуры необходимо при первом ее упоминании дать полную расшифровку, например: «… Уральский государственный горный университет (далее – УГГУ)…».

Не допускается использование сокращений и аббревиатур в заголовках письменной работы, глав и параграфов.

3.3 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРЕЧИСЛЕНИЙ

При необходимости в тексте работы могут быть приведены перечисления. Перед каждым элементом перечисления следует ставить дефис (иные маркеры не допустимы). Например:

«….заключение содержит:
- краткие выводы;
- оценку решений;
- разработку рекомендаций.»

При необходимости ссылки в тексте работы на один из элементов перечисления вместо дефиса ставятся строчные буквы в порядке русского алфавита, начиная с буквы а (за исключением букв ё, з, й, о, ч, ъ, ы, ь). Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа. Например:

а) …;
б) …;
1) …;

3.4 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РИСУНКОВ

В письменной работе для наглядности, уменьшения физического объема сплошного текста следует использовать иллюстрации – графики, схемы, диаграммы, чертежи, рисунки и фотографии. Все иллюстрации именуются рисунками. Их количество зависит от содержания работы и должно быть достаточно для того, чтобы придать ей ясность и конкретность.

На все рисунки должны быть даны ссылки в тексте работы, например: «... в соответствии с рисунком 2 …» или «… тенденцию к снижению (рисунок 2)».

Рисунки следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые (при наличии достаточного пространства для помещения рисунка со

всеми поясняющими данными), или на следующей странице. Если рисунок достаточно велик, его можно размещать на отдельном листе. Допускается поворот рисунка по часовой стрелке (если он выполнен на отдельном листе). Рисунки, размеры которых больше формата А4, учитывают как одну страницу и помещают в приложении.

Рисунки, за исключением рисунков в приложениях, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией по всей работе. Каждый рисунок (схема, график, диаграмма) обозначается словом «Рисунок», должен иметь заголовок и подписываться следующим образом – посередине строки без абзацного отступа, например:



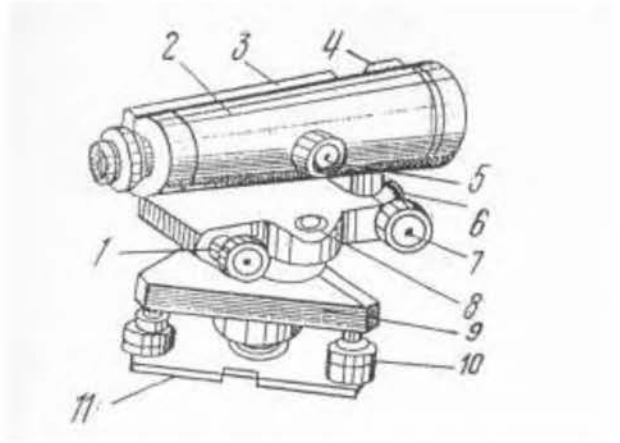
Рисунок 1 – Этапы выполнения работ

Если на рисунке отражены показатели, то после заголовка рисунка через запятую указывается единица измерения, например:

Рисунок 1 – Протяженность трассы, км

Рисунки каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения (например, рисунок А.3).

Если рисунок взят из первичного источника без авторской переработки, следует сделать ссылку, например:



11 – основание;

10 – подъемные винты;

9 – подставка;

8 – круглый уровень;

7 – наводящий винт;

6 – закрепительный винт;

5 – винт фокусировки;

Рисунок 1 –Устройство нивелира Н-3 [8, с. 46]

Если рисунок является авторской разработкой, необходимо после заголовка рисунка поставить знак сноски и указать в форме подстрочной сноски внизу страницы, на основании каких источников он составлен, например:

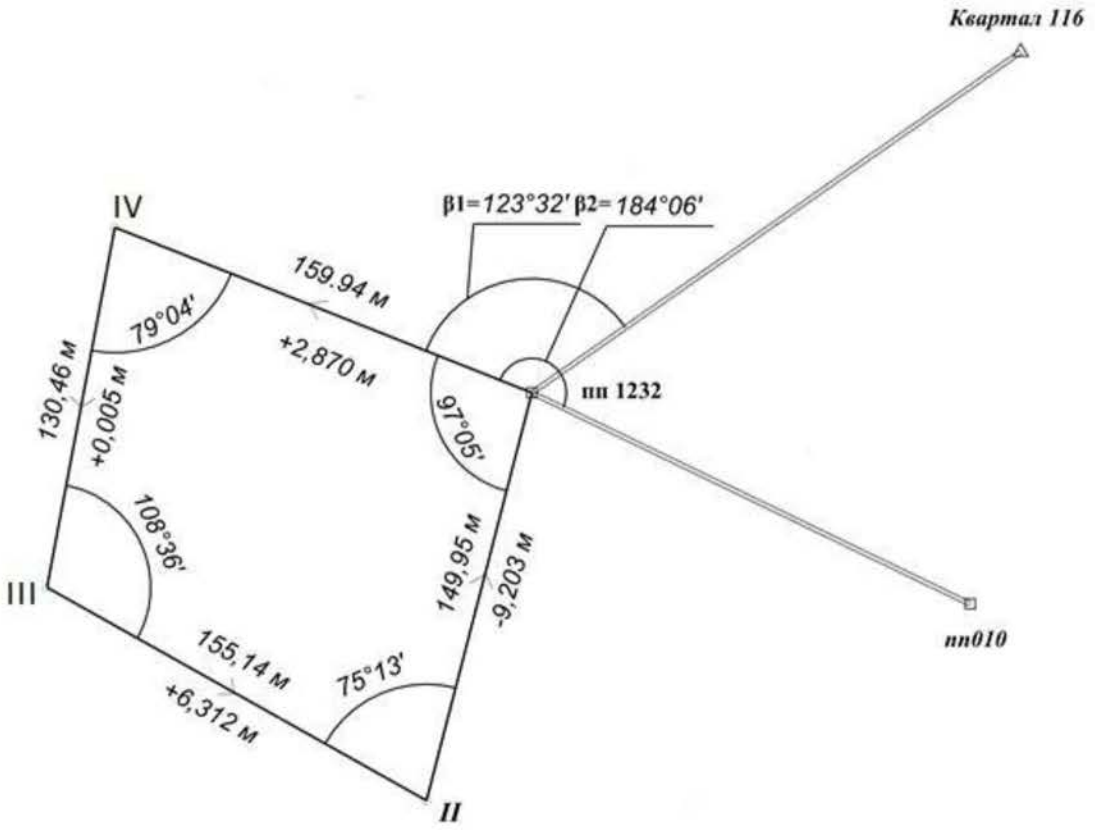


Рисунок 2 – Схема планово-высотного обоснования,……[1]

При необходимости между рисунком и его заголовком помещаются поясняющие данные (подрисуночный текст), например, легенда.

3.5 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦ

В письменной работе фактический материал в обобщенном и систематизированном виде может быть представлен в виде таблицы для наглядности и удобства сравнения показателей.

На все таблицы должны быть ссылки в работе. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера, например: «…в таблице 2 представлены …» или «… характеризуется показателями (таблица 2)».

---

[1] Составлено автором по: [15, 23, 42].

Таблицу следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

Таблицы, за исключением таблиц в приложениях, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией по всей работе. Каждая таблица должна иметь заголовок, который должен отражать ее содержание, быть точным, кратким. Заголовок таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире, например:

Таблица 3 – Перечень используемого оборудования

Наименование	Количество, штук
Нивелир Н-3	1
Рейка нивелирная 3 м	2

Если таблица взята из первичного источника без авторской переработки, следует сделать ссылку, например:

Таблица 2 – Динамика использования GPS оборудования при проведении изысканий

	2015	2016	2017	2018
Количество организаций использующих GPS оборудования при проведении изысканий	150	210	280	370
……				

Если таблица является авторской разработкой, необходимо после заголовка таблицы поставить знак сноски и указать в форме подстрочной сноски внизу страницы, на основании каких источников она составлена, например:

Таблица 3 – Трудозатраты[1]

Трудозатраты	2016	2017
Количество человек в бригаде	6	7

Располагают таблицы на странице обычно вертикально. Помещенные на отдельной странице таблицы могут быть расположены горизонтально, причем графа с наименованиями показателей должна размещаться в левой части страницы. Слева, справа и снизу таблицы ограничивают линиями.

Таблицу с большим числом строк допускается переносить на другую страницу. При переносе части таблицы на другую страницу слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы. На странице, на которую перенесена часть таблицы, слева пишут «Продолжение таблицы» или «Окончание таблицы» с указанием номера таблицы и повторением шапки таблицы.

---

[1] Составлено автором по: [2, 7, 10]

Если таблица переносится, то на странице, где помещена первая часть таблицы, нижняя ограничительная линия таблицы не проводится. Это же относится к странице (страницам), где помещено продолжение (продолжения) таблицы. Нижняя ограничительная линия таблицы проводится только на странице, где помещено окончание таблицы.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Примечания к таблице (подтабличные примечания) размещают непосредственно под таблицей в виде: а) общего примечания; б) сноски; в) отдельной графы или табличной строки с заголовком. Выделять примечание в отдельную графу или строку целесообразно лишь тогда, когда примечание относится к большинству строк или граф. Примечания к отдельным заголовкам граф или строк следует связывать с ними знаком сноски. Общее примечание ко всей таблице не связывают с ней знаком сноски, а помещают после заголовка «Примечание» или «Примечания», оформляют как внутритекстовое примечание.

Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте работы, но не менее 10 pt.

Если все показатели, приведенные в графах таблицы, выражены в одной и той же единице измерения, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа. Если показатели таблицы выражены в разных единицах измерения, то обозначение единицы измерения указывается после наименования показателя через запятую. Допускается при необходимости выносить в отдельную графу обозначения единиц измерения.

Текст, повторяющийся в строках одной и той же графы и состоящий из одиночных слов, чередующихся с цифрами, заменяют кавычками. Если повторяющийся текст состоит из двух или более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее – кавычками. Если предыдущая фраза является частью последующей, то допускается заменить ее словами «То же» и добавить дополнительные сведения. При наличии горизонтальных линий текст необходимо повторять. Если в ячейке таблицы приведен текст из нескольких предложений, то в последнем предложении точка не ставится.

Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента и номера, обозначения нормативных материалов, марок материалов не допускается.

При отсутствии отдельных данных в таблице следует ставить прочерк (тире). Цифры в графах таблиц должны проставляться так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим, если они относятся к одному показателю. В одной графе должно быть соблюдено, как правило, одинаковое количество десятичных знаков для всех значений величин.

Если таблицы размещены в приложении, их нумерация имеет определенные особенности. Таблицы каждого приложения нумеруют отдельной нумерацией арабскими цифрами. При этом перед цифрой, обозначающей номер таблицы в приложении, ставится буква соответствующего приложения, например:

Таблица В.1.– Динамика показателей за 2016–2017 гг.

Если в документе одна таблица, то она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении (допустим, В).

3.6 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПРИМЕЧАНИЙ И ССЫЛОК

При необходимости пояснить содержание текста, таблицы или иллюстрации в работе следует помещать примечания. Их размещают непосредственно в конце страницы, таблицы, иллюстрации, к которым они относятся, и печатают с прописной буквы с абзацного отступа после слова «Примечание» или «Примечания». Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Если их несколько, то после слова «Примечания» ставят двоеточие и каждое примечание печатают с прописной буквы с новой строки с абзацного отступа, нумеруя их по порядку арабскими цифрами.

Цитаты, а также все заимствования из печати данные (нормативы, цифры и др.) должны иметь библиографическую ссылку на первичный источник. Ссылка ставится непосредственно после того слова, числа, предложения, по которому дается пояснение, в квадратных скобках. В квадратных скобках указывается порядковый номер источника в соответствии со списком использованных источников и номер страницы, с которой взята информация, например: [4, с. 32]. Это значит, использован четвертый источник из списка литературы со страницы 32. Если дается свободный пересказ принципиальных положений тех или иных авторов, то достаточно указать в скобках после изложения заимствованных положений номер источника по списку использованной литературы без указания номера страницы.

3.7 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Оформлению списка использованных источников, прилагаемого к отчету, следует уделять самое серьезное внимание.

Сведения об источниках приводятся в следующем порядке:

1) **нормативные правовые акты**: Нормативные правовые акты включаются в список в порядке убывания юридической силы в следующей очередности: международные нормативные правовые акты, Конституция Российской Федерации, федеральные конституционные законы, федеральные законы, акты Конституционного Суда Российской Федерации, решения других высших судебных органов, указы Президента Российской Федерации, постановления Правительства Российской Федерации, нормативные правовые акты федеральных органов исполнительной власти, законы субъектов Российской Федерации, подзаконные акты субъектов Российской Федерации, муниципальные правовые акты, акты организаций.

Нормативные правовые акты одного уровня располагаются в хронологическом порядке, от принятых в более ранние периоды к принятым в более поздние периоды.

Примеры оформления нормативных правовых актов и судебной практики:

1. Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов власти субъектов Российской Федерации [Текст]: Федеральный закон от 06.10.1999 г. № 184-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1999. - № 43.

2. О порядке разработки и утверждения административных регламентов исполнения государственных функций (предоставления государственных услуг) [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 11.11.2005 г. № 679. - Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

3. О практике применения судами Закона Российской Федерации «О средствах массовой информации» [Электронный ресурс]: Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 15.06.2010 № 16. - Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

4. Определение судебной коллегии по гражданским делам Верховного Суда Российской Федерации по иску Цирихова // Бюллетень Верховного Суда Российской Федерации. - 1994. -№9. - С. 1-3.

2) **книги, статьи, материалы конференций и семинаров.** Располагаются по алфавиту фамилии автора или названию, если книга печатается под редакцией. Например:

5. Абрамова, А.А. Трудовое законодательство и права женщин [Текст] / А.А.Абрамова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 11, Право. - 2001. - № 5. - С. 23–25.

6. Витрянский, В.В. Договор банковского счета [Текст] / В.В. Витрянский // Хозяйство и право.- 2006.- № 4.- С. 19 – 25.

7. Двинянинова, Г.С. Комплимент: Коммуникативный статус или стратегия в дискурсе [Текст] / Г.С. Двинянинова // Социальная власть языка: сб. науч. тр. / Воронеж. межрегион. ин-т обществ. наук, Воронеж. гос. ун-т, Фак. романо-герман. истории. - Воронеж, 2001. - С. 101–106.

8. История России [Текст]: учеб. пособие для студентов всех специальностей / В.Н. Быков [и др.]; отв. ред. В.Н. Сухов; М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. - 2-е изд., перераб. и доп. / при участии Т.А. Суховой. - СПб.: СПбЛТА, 2001. - 231 с.

3) **статистические сборники, инструктивные материалы, методические рекомендации, реферативная информация, нормативно-справочные материалы.** Располагаются по алфавиту. Например:

13. Временные методические рекомендации по вопросам реструктуризации бюджетной сферы и повышения эффективности расходов региональных и местных бюджетов (Краткая концепция реструктуризации государственного и муниципального сектора и повышения эффективности бюджетных расходов на региональном и местном уровнях) [Текст]. - М.: ИЭПП, 2006. - 67 с.

14. Свердловская область в 1992-1996 годах [Текст]: Стат. сб. / Свердл. обл. комитет гос. статистики Госкомстата РФ. - Екатеринбург, 1997. - 115 с.

15. Социальное положение и уровень жизни населения России в 2010 г. [Текст]: Стат. сб. / Росстат. - М., 2002. - 320 с.

16. Социально-экономическое положение федеральных округов в 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru

4) **книги и статьи на иностранных языках** в алфавитном порядке. Например:

17. An Interview with Douglass C. North [Text] // The Newsletter of The Cliometric Society. - 1993. - Vol. 8. - N 3. - P. 23–28.

18. Burkhead, J. The Budget and Democratic Government [Text] / Lyden F.J., Miller E.G. (Eds.) / Planning, Programming, Budgeting. Markham : Chicago, 1972. 218 p.

19. Miller, D. Strategy Making and Structure: Analysis and Implications for Performance [Text] // Academy of Management Journal. - 1987. - Vol. 30. - N 1. - P. 45–51;

20. Marry S.E. Legal Pluralism. – Law and Society Review. Vol 22.- 1998.- №5.- p. 22-27

интернет-сайты. Например:

21. Министерство финансов Российской Федерации: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minfin.ru

22. Российская книжная палата: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.bookchamber.ru

В списке использованных источников применяется сквозная нумерация с применением арабского алфавита. Все объекты печатаются единым списком, группы объектов не выделяются, источники печатаются с абзацного отступа.

Объекты описания списка должны быть обозначены терминами в квадратных скобках[2]: - [Видеозапись]; [Мультимедиа]; [Текст]; [Электронный ресурс].

При занесении источников в список литературы следует придерживаться установленных правил их библиографического описания.

3.8 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ

В приложения рекомендовано включать материалы, которые по каким-либо причинам не могут быть включены в основную часть: материалы, дополняющие работу; таблицы вспомогательных цифровых данных; инструкции, методики, описания алгоритмов и программ задач, иллюстрации вспомогательного характера; нормативные правовые акты, например, должностные инструкции. В приложения также включают иллюстрации, таблицы и распечатки, выполненные на листах формата А3.

Приложения оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах после списка использованных источников.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ (ПРИЛОЖЕНИЕ А, ПРИЛОЖЕНИЕ Б, ПРИЛОЖЕНИЕ В и т.д.). Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Само слово «ПРИЛОЖЕНИЕ» пишется прописными (заглавными) буквами.

Если в работе одно приложение, оно обозначается «ПРИЛОЖЕНИЕ А».

Каждое приложение следует начинать с новой страницы. При этом слово «ПРИЛОЖЕНИЕ» и его буквенное обозначение пишутся с абзацного отступа.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают на следующей строке после слова «ПРИЛОЖЕНИЕ» с абзацного отступа. Заголовок пишется с прописной буквы.

В тексте работы на все приложения должны быть даны ссылки, например: «… в приложении Б…». Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте работы.

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

---

[2] Полный перечень см. в: Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления [Текст]: ГОСТ 7.1-2003.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Образец оформления титульного листа отчета по практике

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

ОТЧЕТ

о прохождении учебной практики

по получению первичных профессиональных

умений и навыков, ч.1 (ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ)

_____

(наименование организации прохождения практики)

Направление / Специальность: 21.05.04

ГОРНОЕ ДЕЛО

Профиль /Специализация:

№ 4 «Маркшейдерское дело»

Бригада № 4

Группа: МД-18-1

Студенты : Борисов А. В.

Иванов С. И.

Петров И. В.

Сидоров А. В.

Кучин С. Р.

Руководитель практики от университета:

Колесатова О.С.

Руководитель практики от УГГУ:

Шмонин А.Б, доцент каф.МД

Оценка _____

Подпись _____

Екатеринбург 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Образец оформления содержания отчета по учебной практике

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Общие сведения	5
1.1	Физико-географическая характеристика района работ	…
1.2	Рекогносцировка местности и закладка центров	…
2	Выполненные работы	…
2.1	Поверки теодолита	…
2.2	Измерение горизонтальных и вертикальных углов и измерение расстояний	…
2.3	Вычисление координат и отметок точек съемочного обоснования	…
2.4	Тахеометрическая съемка	…
2.5	Поверки нивелира	…
2.6	Геометрическое нивелирование	…
2.7	Инженерно-техническое нивелирование по оси трассы	…
2.8	Решение инженерно-геодезических задач	…
2.9	Вычерчивание топографического плана	…
	Заключение	
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Образец оформления титульного листа отчёта о практике.	
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Образец оформления содержания отчёта.	

Рекомендуемая литература

1. Методические указания к геодезической практике для студентов всех специальностей и направлений / И.В.Назаров, Е.В. Шипилова. – Екатеринбёрг: Изд-во УГГУ, 2018.- 55 с

2. Геодезия : курс лекций / В. Л. Клепко, И. В. Назаров ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург : УГГУ, 2017. - 149 с.

3. В. Е. Коновалов, В. Л. Клепко Геодезия : методические указания к выполнению лабораторных и самостоятельных работ : для студентов заочного обучения всех специальностей ; Уральский государственный горный университет. - 4-е изд., стер. - Екатеринбург : УГГУ, 2010. - 59 с.

4. Геодезия : учебник / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. - Москва : Академический Проект, 2007. - 592 с

5. Практикум по геодезии : учебное пособие / Ю. К. Неумывакин. - Москва :КолосС, 2008. - 318 с. : ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). - Библиогр.: с. 311.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П.

ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ 5
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК 6
2.1. Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения 6
2.1.1. Общие сведения о районе нахождения месторождения (предприятия) 6
2.1.2. Геологическая характеристика месторождения 7
2.2. Горнотехнологическая характеристика предприятия 8
2.2.1. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом 8
2.2.2. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом 9
2.2.3. Горные работы при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых 11
2.2.4. Горные работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 12
2.3. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых 13
2.3.1. Общие положения 13
2.3.2. Маркшейдерские работы на земной поверхности 13
2.3.3. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений 14
2.3.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и россыпных месторождений 15
2.3.5. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 15
2.3.6. Маркшейдерские работы при строительстве горных производств 17
2.3.7. Документация, инструменты, оборудование и штаты маркшейдерских отделов 17
2.4. Выводы 18
2.5. Производственные экскурсии 18

3 УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ
И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ 18
3.1. Основные положения..... 18
3.2. Требования к оформлению отчета 20
3.2.1. Общие требования 20
3.2.2. Порядок брошюровки работы 21
3.2.3. Требования к оформлению титульного листа..... 21
3.2.4. Требования к оформлению реферата..... 21
3.2.5. Требования к оформлению содержания..... 23
3.2.6. Требования к оформлению введения..... 24
3.2.7. Требования к оформлению основных разделов
пояснительной записки 24
3.2.8. Изложение текста..... 25
3.2.9. Требования к оформлению формул 26
3.2.10. Требования к оформлению примечаний 29
3.2.11. Требования к оформлению иллюстраций 29
3.2.12. Требования к оформлению таблиц 30
3.2.13. Требования к оформлению списка литература..... 31
3.2.14. Требования к оформлению приложений..... 32
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 34

ВВЕДЕНИЕ

Производственная практика является обязательной частью профессионального обучения студентов специальности «Маркшейдерское дело». В учебном плане подготовки маркшейдеров УГГУ предусматривается три производственные практики: производственная маркшейдерская – после четвертого курса обучения, производственная инженерная – после пятого и преддипломная – после шестого. Главная задача производственных практик – закрепить теоретические знания и научить студента применять эти знания при решении практических задач на производстве.

Изученный материал в период практики и выполненные студентом самостоятельно или при его участии работы излагаются в отчете по практике.

Материалы, изученные в период производственных практик, могут быть использованы студентом при выполнении курсового проектирования и подготовки ВКР специалиста.

С учетом специфики специальности студенту-маркшейдеру в течение двух производственных практик необходимо стремиться познакомиться с различными горными предприятиями, ведущими разработку месторождений полезных ископаемых как подземным, так и открытым способами.

За время прохождения практики студент знакомится и изучает: общие сведения о районе, где находится предприятие; геологическую характеристику месторождения; горнотехнические условия разработки; технико-экономические показатели предприятия; безопасность горного производства и его воздействие на окружающую среду; маркшейдерские работы; маркшейдерскую структуру предприятия и производство маркшейдерских работ.

Основные обязанности студента и последовательность решения организационных вопросов в период практики изложены в разделе 2.1 данных методических указаний.

1. ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ

Во время прохождения производственной практики студент специальности «Маркшейдерское дело» знакомится с горнотехнологическим процессом предприятия, принимает участие в его производстве и изучает следующие разделы:

1. Общие сведения о районе, где находится месторождение полезного ископаемого и горное предприятие.

2. Геологическая характеристика месторождения.

3. Горнотехнологическая характеристика горного предприятия, технология разработки и добычи полезного ископаемого.

4. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождения полезных ископаемых.

По окончании производственной практики студент пишет отчет. Содержание отчета и порядок изложения материала в отчете по практике должны соответствовать требованиям «Программы и методических указаний по прохождению производственных практик».

Программа производственной практики составлена в соответствии с учебным планом подготовки студентов специальности «Горное дело», специализация «Маркшейдерское дело».

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК

Перечень вопросов, подлежащих изучению, порядок изложения изученного материала в отчете по практике, указания по организации практики и требования к оформлению отчета по практике.

2.1. Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения

2.1.1. Общие сведения о районе нахождения месторождения (предприятия)

Географическое положение месторождения (республика, область, административный район), расстояние от железной дороги, водных путей, ближайших населенных пунктов и пути сообщения с ними. Климатические условия района (среднемесячные изменения температуры, осадки, господствующие направления ветров, глубина промерзания грунта).

Экономические сведения, транспортные связи, топливно-энергетическая база, условия водоснабжения, местные строительные материалы.

Объем раздела 2.1.1 – 1-2 стр.

Графический материал к разделу 2.1.1:

– обзорная карта района в мелком масштабе, формат А4.

– фотографии.

2.1.2. Геологическая характеристика месторождения

Краткие сведения по стратиграфии, литологии и тектонике

Описание горных пород, слагающих месторождение, условия залегания, характеристика основных элементов тектоники, форма и размеры тел полезного ископаемого (мощность, длина по простиранию и падению), разделение рудных тел по петрографическому, минералогическому и химическому составу, структуре и текстуре, первичные и вторичные изменения вмещающих пород, содержание полезных и вредных компонентов, изменчивость содержания по простиранию и падению с глубиной.

Геологические условия образования (генезис) месторождения.

Объем раздела – до 10 стр.

Гидрогеологическая характеристика месторождения

Описание водоносных горизонтов, гидростатические напоры вод, коэффициенты фильтрации, площади возможной инфильтрации поверхностных вод, взаимосвязь вод различных горизонтов, состав и качество подземных вод различных горизонтов и в целом по месторождению, приток воды (данные по водоотливу шахты, карьера). Использование подземных вод.

Объем раздела – до 2 стр.

Геологоразведочные работы и подсчет запасов

Методика и схема разведки месторождения, объем произведенных работ и степень разведанности месторождения, категория разведанности, принятые расстояния между разведочными выработками.

Опробование полезного ископаемого, методика отбора проб в горных выработках и скважинах, размеры проб, расстояния между ними, обработка проб, химический анализ. Кондиции. Коэффициент рудоносности. Эксплуатационная разведка.

Принятая методика подсчета запасов на месторождении. Обеспеченность предприятия запасами по категориям.

Объем раздела – до 8 стр.

Инженерно-геологические условия эксплуатации месторождения

Физико-механические свойства вмещающих пород и тел полезного ископаемого (устойчивость пород кровли и почвы, кливаж, крепость, твердость, кусковатость, влажность, газоносность, пыленосность).

Объем радела – до 2 стр.

Графический материал к разделу 2.1.2:

– геологический план в М 1:1000 – 1:5000, на формате предприятия;

– продольный и поперечный геологические разрезы месторождения в М 1:1000 – 1:5000, на формате предприятия;

– иллюстрации, зарисовки наиболее характерных участков месторождения, схемы, диаграммы, таблицы и структурные колонки – формат А4.

Объем раздела 2.1.2 – до 25 стр.

2.2. Горнотехнологическая характеристика предприятия

2.2.1. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом

Основные параметры шахты

Размеры шахтного поля по простиранию и падению, глубина разработки, способ вскрытия, число стволов и места их заложения, годовая производительность. Элементы расчета основных параметров шахты. Технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – 1-2 стр.

Подготовка шахтного поля к эксплуатации

Способ и порядок подготовки шахтного поля. Характеристика существующих горных работ. Система разработки. Сравнительный анализ схемы вскрытия и системы разработки, критерии их выбора. Механизация работ, перечень применяемого оборудования.

Объем раздела – до 10 стр.

Горнокапитальные, горно-подготовительные и очистные работы

Капитальные, подготовительные, нарезные и очистные горные выработки. Механизация работ. Крепление очистного забоя. Управление горным давлением и сдвижением горного массива для условий данной шахты. Паспорта крепления горных выработок.

Вентиляция. Водоотлив. Электроснабжение. Пневмохозяйство. Водоснабжение.

Объем раздела – до 10 стр.

Техника безопасности производства горных работ и мероприятия по охране окружающей среды

Техника безопасности. Мероприятия по производственной санитарии (борьба с пылью и шумом, освещение подземных выработок, питьевое водоснабжение, санитарно-бытовое и медицинское обслуживание). Горно- спасательное дело. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель.

Объем раздела – до 5 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров горнокапитальных, горно-подготовительных, нарезных и очистных горных работ, системы вскрытия и системы разработки;

– расчет себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого шахты или рудника.

Графический материал к разделу 2.2.1:

– план и схема вскрытия шахтного поля;

– система разработки и технология проходки горных выработок;

– графики и схемы решения горно-эксплуатационных задач;

– фотографии.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

Объем раздела 2.2.1 – до 30 стр.

2.2.2. Горные работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом

Основные параметры карьера (*разреза*)

Производительность карьера; распределение объемов добычи горной массы по технологическим направлениям; режим работы карьера и срок его существования. Элементы расчета основных параметров карьера (разреза). Технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – 1-5 стр.

Подготовительные и эксплуатационные работы

Существующая схема вскрытия карьера. Система разработки: элементы системы разработки при горно-подготовительных и очистных работах; высота борта, средний угол откоса; длина блока; параметры рабочей площадки и т. д.

Технология ведения горных работ: буровзрывные работы; экскавация горной массы; транспортировка полезного ископаемого и вмещающих горных пород; отвалообразование; водоотлив; энергоснабжение. Перспективы дальнейшего развития карьера. Сравнительный анализ схемы вскрытия и систем разработки, отвалообразования.

Оползневые явления откосов, уступов и бортов карьера, противодеформационные методы борьбы с ними.

Объем раздела до 15 стр.

Техника безопасности производства горных работ. Мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Борьба с пылью и вредными газами. Санитарно-бытовое медицинское обеспечение. Водоснабжение. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация нарушенных земель.

Объем раздела – до 5 стр.

Объем раздела 2.2.2 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров вскрытия въездной и разрезной траншей, буровзрывных работ, системы разработки, отвалообразования;

– расчет себестоимости добычи 1 т полезного ископаемого карьера (разреза).

Графический материал к разделу 2.2.2:

– план горных работ карьера (разреза) на данный период отработки;

– план поверхности с указанием: фактического и проектного контуров отработки карьера (разреза); положения отвалов; железнодорожных и автомобильных дорог, линий связи и ЛЭП промплощадки и др. объектов;

– технологические схемы системы разработки, вскрытия, отвалообразования;

– графики и схемы решения горнотехнологических задач;

– фотографии.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.2.3. Горные работы при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых

Основные параметры дражного (гидро) полигона

Производительность драги (гидромониторов); схема, режим работы и срок эксплуатации полигона. Элементы расчета основных параметров технологии добычи. Перспективы дальнейшего развития и технико-экономические показатели предприятия.

Объем раздела – до 5 стр.

Подготовительные и эксплуатационные работы

Схема подготовки полигона. Технология ведения горных работ. Параметры полигона, транспортировка горной массы, отвалообразование, водооборот, энергоснабжение. Учет добычи полезного ископаемого и горной массы.

Объем раздела – до 15 стр.

Техника безопасности производства горных работ. Мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Санитарно-бытовое и медицинское обеспечение. Противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация наружных земель.

Объем раздела 2.2.3 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров технологического процесса горных работ, системы разработки;

– расчет себестоимости добычи полезного ископаемого, драги (гидромонитора).

Графический материал к разделу 2.2.3:

– план земной поверхности с нанесением фактического и проектного контуров горных работ, транспортных путей, ЛЭП и других объектов;

– технологические схемы системы разработки, график работ.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.2.4. Горные работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Основные параметры горных работ

Технология разведки или доразведки месторождения. Основные параметры разведочных площадок, подземных хранилищ, отдельных участков месторождения. Их соответствие техническому проекту и программа работ. Технология разработки нового месторождения. Технология доработки месторождения действующего предприятия. Технология консервации или ликвидации месторождения.

Во всех случаях приводятся примеры решения:

- подсчета балансовых и промышленных запасов;
- расчета производительности и срока службы месторождения;
- вскрытия и подготовки к добыче месторождения;
- системы разработки и механизации добычи полезного ископаемого;
- организации работ при строительстве буровой вышки и ее ликвидации.

Техника безопасности производства работ и мероприятия по охране окружающей среды

Общие требования к технике безопасности и промышленной санитарии. Санитарно-бытовое и медицинское обеспечение. Водоснабжение, противопожарные мероприятия. Охрана окружающей среды, рекультивация наружных земель.

Объем раздела 2.2.4 – до 20 стр.

Сбор и подготовка материалов для курсового проектирования по технологии и экономике предприятия:

– расчет параметров технологического процесса горных работ, системы разработки;

– расчет себестоимости добычи полезного ископаемого.

Графический материал к разделу 2.2.4:

– проект технологии горных работ;

– план земной поверхности с нанесением объектов горного производства, транспортных путей, линий связи, ЛЭП и других объектов;

– технологические схемы ведения горных работ.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3. Производство маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых

2.3.1. Общие положения

За время прохождения производственной практики студент знакомится с общей организацией и структурой маркшейдерской службы, ее ролью в производственном процессе на горном предприятии. Изучает методику полевых и камеральных маркшейдерских работ, проводимых маркшейдерской службой предприятия, знакомится с инструментарием, оборудованием и маркшейдерской документацией.

Для закрепления знаний, полученных при изучении теоретических курсов маркшейдерии и др. дисциплин, а также для получения практических навыков студенту необходимо принять непосредственное участие во всех видах маркшейдерских работ, выполняемых маркшейдерской службой предприятия. Особое внимание следует уделить производству работ, выполненных лично студентом. В случае невозможности личного участия в том или ином виде маркшейдерских работ студент должен подробно их изучить по материалам предприятия и сделать самостоятельный анализ изученных работ с учетом требований Инструкции [1].

Самостоятельная работа студента включает теоретическое обоснование методики, проводимых на предприятии маркшейдерских съемок, оценку их точности, выводы и предложения по их совершенствованию с учетом современных инструментов, методик и вычислительной техники.

2.3.2. Маркшейдерские работы на земной поверхности

Маркшейдерские опорные сети на территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Исходные данные для построения и реконструкции опорных сетей и сетей сгущения. Методы создания плановых и высотных сетей, плотность, класс точности, схема заложения пунктов, конструкция знаков, реперов (центров).

Выполнение съемок и обновление планов земной поверхности на территории предприятия, масштабы съемки, сечение рельефа. Съемка складов, отвалов хвостохранилищ, методы определения объемов.

Графический материал по разделу 2.3.2:

– ситуационный план земной поверхности территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия, границы земельных и горного отвода;

– план-схема маркшейдерской опорной геодезической сети.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.3. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений

Маркшейдерские работы на промплощадке. Ориентирование подземных съемок, передача высотных отметок в подземные выработки. Опорные и съемочные маркшейдерские подземные сети. Подземная съемка горизонтальных и наклонных выработок, подземное нивелирование горизонтальных и наклонных выработок. Оценка точности маркшейдерско-геодезического обоснования и ориентирно-соединительных съемок. Предрасчет точности сбоек горных выработок. Задание направления горным выработкам. Проверка геометрических элементов шахтного подъема. Профилировка шахтных стволов. Съемка нарезных и очистных выработок. Декадные и месячные маркшейдерские замеры горных работ. Определение остатков полезного ископаемого и составление отчетности.

Маркшейдерские работы при проведении буровзрывных работ.

Маркшейдерское планирование горных работ. Виды и этапы планирования. Исходные данные для составления годового плана развития горных работ. Элементы текущего проектирования горных работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи при выполнении курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 1.3.2:

– схема маркшейдерско-геодезического обоснования на поверхности и в шахте;

– схема ориентирно-соединительной съемки и передачи высотной отметки;

– схема задания направления горным выработкам;

– результаты маркшейдерской съемки подготовительных, нарезных и очистных горных выработок (выкопировки с планов с указанием пунктов съемочного обоснования).

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и россыпных месторождений

Съемочные (плановые и высотные) маркшейдерские сети на земной поверхности и в карьере. Виды съемочных сетей и точность их выполнения.

Маркшейдерская съемка, вынос в натуру и контроль технических параметров ведения горных работ. Виды маркшейдерских съемок, оценка точности и периодичность их выполнения, приборы и оборудование.

Маркшейдерские работы при ведении буровзрывных работ, съемка транспортных путей.

Контроль за погрузкой и распределением горной массы, нормирование и учет потерь и разубоживания полезного ископаемого. Учет движения вскрытых, подготовленных к выемке запасов.

Маркшейдерские работы при проведении экскавации горной массы, отвалообразования.

Маркшейдерские съемки дражных и гидромониторных полигонов.

Проектирование и съемка внешних и внутренних отвалов вскрыши. Учет объемов складируемых руд.

Маркшейдерское планирование горных работ. Виды и этапы планирования. Исходные данные для составления годового плана развития горных работ. Элементы текущего проектирования горных работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи при выполнении курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.4:

– схема съемочного обоснования на земной поверхности и в карьере;

– схемы, рисунки (по тексту отчета) создания и развития съемочных сетей, задания направлений горных выработок, выноса в натуру элементов проекта, решения различных маркшейдерских задач.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.5. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Описание и анализ маркшейдерских работ при разработке нефти и газа включает комплекс маркшейдерских работ на месторождениях, подземных хранилищах сырья, разведочных площадях и отдельных участках.

Критериями оценки фактического производства работ является их сравнение с требованиями технического проекта или программой маркшейдерских работ, утвержденными руководством организации и согласованными в установленном порядке.

Согласно указанным документам необходимо представить:

– маркшейдерскую картографическую документацию, отображающую рельеф, гидрографию, населенные пункты, схему государственной геодезической и маркшейдерской сети, инженерные коммуникации, инженерные сооружения объектов по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;

– схему и методику создания опорных и съемочных сетей;

– маркшейдерско-геодезическую съемку с указанием погрешности определения положения на плане контуров снимаемых объектов относительно пунктов съемочного обоснования;

– подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру, решение задач переноса в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин и других сооружений;

– плановую и высотную привязку устьев скважин после монтажа буровой установки;

– анализ и оценку точности определения планового и высотного положения устьев скважин относительно пунктов съемочной сети;

– геомеханический мониторинг за осадками и деформациями земной поверхности и построенными на ней объектами. Количественную оценку геодинамических полигонов. Гидрогеологические и геокриологические исследования;

– приборы и оборудование и методику выполнения маркшейдерских работ, выполняемых на предприятии.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи для выполнения курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.5:

– топографический план месторождения или участка с нанесением гидрографии, населенных пунктов, государственной геодезической и маркшейдерской сети;

– маркшейдерско-геодезическая съемка объектов;

– подготовка исходных данных для выноса элементов проекта в натуру;

– схема и количественная оценка геомеханического мониторинга.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.6. Маркшейдерские работы при строительстве горных производств

При строительстве горных производств маркшейдерские работы выполняются в строгом соответствии с проектной документацией и включают:

– проверку числовых значений и графической части проектных чертежей. Перенесение геометрических элементов проекта в натуру с пунктов маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса на шахтной поверхности;

– работы при возведении зданий, сооружений и копров. Проверка правильности установки подъемных машин;

– работы при проходке вертикальных шахтных стволов, монтаж армировки;

– работы при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок, при проходке встречными забоями.

Согласно указанным документам, необходимо изучение всех видов маркшейдерских работ, обеспечивающих производство строительства горного производства в соответствии с проектной документацией.

Необходимо представить приборы, оборудование и методику маркшейдерской съемки. Анализ и оценку точности выполнения маркшейдерских работ в соответствии с требованиями ГОСТов и Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Сбор материалов для решения конкретной маркшейдерской задачи для выполнения курсового проектирования по маркшейдерскому делу или специальной части дипломного проекта.

Графический материал по разделу 2.3.6:

– схема маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– примеры детальных разбивочных работ при строительстве технологических комплексов.

Графический материал выполняется на форматах предприятия.

2.3.7. Документация, инструменты, оборудование и штаты маркшейдерских отделов

Основные требования, предъявляемые к документации. Обязательный комплект документации и ее содержание. Пополнение и размножение документации. Задачи, решаемые по маркшейдерским планам и графикам. Хранение

маркшейдерской документации. Структура маркшейдерской службы. Оборудование, инструменты, вычислительная техника и программное обеспечение.

Объем маркшейдерской части 20 – 25 стр.

2.4. Выводы

В заключение студент делает свои выводы по всем разделам отчета по практике, оценивая изученный и представленный им материал с известными ему лучшими достижениями в данной отрасли горного производства с учетом новых технологий, инструментов, методик.

2.5. Производственные экскурсии

Экскурсии проводятся с целью расширения технических знаний студентов и общего кругозора в области истории развития предприятия и его роли в общей технологии производства. Экскурсии могут быть организованы в отдельные цеха предприятия, а также на соседние родственные предприятия.

3. УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ

3.1. Основные положения

Перед выездом на практику студенты проходят инструктаж, получают направление–путевку с указанием места назначения на практику, сроков практики. Руководитель практики от кафедры выдает каждому студенту индивидуальное задание по вопросам маркшейдерского дела с учетом специфики предприятия, научно-исследовательской работы студента.

По прибытии на место прохождения практики студент обязан решить следующие организационные вопросы:

а) зарегистрироваться в отделе кадров предприятия, отметить свое прибытие;

б) представиться главному маркшейдеру предприятия и определиться с руководителем производственной практики от предприятия;

в) решить бытовые вопросы;

г) составить план прохождения практики.

С целью лучшего ознакомления с горным предприятием и получения необходимых производственных навыков студент должен стремиться устроиться на должность участкового маркшейдера, горного съемщика или рабочего

маркшейдерского отдела. Это значительно организует практиканта и вносит элемент ответственности. В крайнем случае, если нет возможности получить рабочее место, студент проходит практику в качестве дублера. Это не освобождает его от выполнения производственных обязанностей, которые он должен выполнять под руководством маркшейдера по режиму работы предприятия.

Рабочее время в период практики студент должен планировать по согласованию с руководителем практики от предприятия таким образом, чтобы была возможность практического выполнения основных маркшейдерских работ, проводимых на данном предприятии, знакомства с маркшейдерскими работами, проводившимися ранее, и индивидуальной работы по обработке собранного материала и написания отчета по практике.

При прохождении практики студент обязан вести записи о проделанной работе на предприятии. Записи должны служить основой для составления отчета. Имея в виду, что текстовый материал по геологической части является компилятивным, его следует во время практики систематизировать и изложить уже в таком виде, как это требуется по программе практики. То же самое относится к характеристике современного состояния горных работ и характеристике маркшейдерских работ горного предприятия. При анализе выполняемых работ студент должен пользоваться учебной, нормативной и справочной литературой [1, 2, 3, 4, 5]. Планы и графики, цифровой и справочный материал следует систематизировать и приложить к отчету по практике в виде таблиц, рисунков, приложений.

Для успешного проведения производственной практики большое значение имеет наличие хороших деловых взаимоотношений студента с местными организациями и отдельными работниками предприятия. Студент должен быть исполнительным, вежливым, соблюдать трудовую дисциплину и выполнять требования руководства предприятия.

В случае возникновения вопросов, требующих срочной консультации преподавателей кафедры, студент может ее получить по электронной почте на сайте кафедры.

В конце практики студент представляет отчет руководителю практики от предприятия, получает его отзыв с оценкой. К отчету прилагается заверенное администрацией предприятия направление-путевка студента.

Отчет по практике в готовом виде сдается на кафедру для проверки в течение двух недель после начала занятий.

При выставлении оценки по производственной практике обращается особое внимание на наличие полевых и камеральных работ, выполненных лично студентом.

Отсутствие отчета, несвоевременное его представление на кафедру или неудовлетворительная оценка отчета – все это лишает студента права быть аттестованным и обязывает его пройти производственную практику повторно.

Студентам, сократившим срок пребывания на практике без уважительных причин, практика не засчитывается.

3.2. Требования к оформлению отчета

3.2.1. Общие требования

Отчет оформляются согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 (2001) «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.850 (851-857)–75 «Горная графическая документация».

Отчет выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода с компьютера.

Текст отчета оформляется на листах белой писчей бумаги формата А4. Для данного формата следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При наборе текста рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифтов Times New Roman Cyr. Размер основного шрифта – кегль 14 (или 16), межстрочный интервал – 1,5 (или 1,0). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

– все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом;

– перед знаками препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел;

– между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять один пробел (352 МПа, 30 °С, 10 % и т. д.). Нельзя отделять размерность от числа, в этом случае ставится непрерывный пробел Ctrl + Shift + + пробел;

– при наборе должны различаться тире (–) и дефисы (-);

– между инициалами, после инициалов (перед фамилией), перед сокращениями и между ними ставится неразрывный пробел: Ctrl + + Shift + пробел (1999 год, т. д., т. е., н. э., А. С. Пушкин и т. д.);

– выделения курсивом, полужирным, прописным обеспечиваются средствами Word.

Подчеркивания в качестве выделений не допускаются.

Нумерация страниц и приложений должна быть сквозная. Номера страниц проставляются внизу под линией правого поля с отступом на 15 мм от нижнего края листа.

3.2.2. Порядок брошюровки работы

Отчет брошюруется в следующей последовательности:
– титульный лист;
– направление–путевка;
– реферат;
– содержание;
– введение;
– основные разделы;
– заключение;
– список литературы;
– приложения.

3.2.3. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом отчета. Номер страницы на титульном листе не проставляется. Пример титульного листа приведен ниже.

3.2.4. Требования к оформлению реферата

Слово «РЕФЕРАТ» записывают прописными буквами симметрично тексту.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример оформления реферата приведен ниже.

Пример оформления титульного листа отчета по практике

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
"Уральский государственный горный университет"

Кафедра маркшейдерского дела

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой,
профессор, д-р техн. наук
_____ Гордеев В. А.
« __ » _____20__ г.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ПРАКТИКА НА ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

Отчет

Исполнитель
Петров И. Л.
МД – 14 – 1

Руководитель
ФИО преподавателя

Екатеринбург – 2018

Пример оформления реферата отчета по практике

РЕФЕРАТ

Отчет по производственной маркшейдерской практике: 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ГЕОЛОГИЯ, КАРЬЕР, ГОРНЫЕ РАБОТЫ, МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ.

Целью работы являлось закрепление теоретических знаний по геологии месторождений, технологии горных работ, методике выполнения маркшейдерских работ.

Работы включали полевые маркшейдерско-геодезические измерения и камеральную обработку полученных результатов, сбор, обработку и анализ материалов горного предприятия.

В результате работы приобретены практические навыки выполнения различных видов маркшейдерских работ.

3.2.5. Требования к оформлению содержания отчета

Содержание отчета включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и страницы.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записываются строчными буквами.

Пример содержания приведен ниже.

Пример оформления содержания

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ 6

1.1. Общие сведения о районе месторождения 6

1.2. Геологическая характеристика месторождения 10

1.3. Гидрогеологические условия 14

2. ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ 17
2.1. Фактическое состояние горных работ 18
2.2. Проект доработки горизонта 260 м 24
3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ... 32
4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ 32
5. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА 46
6. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 69
7. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОПОРНЫХ И СЪЕМОЧНЫХ СЕТЕЙ В ШАХТЕ 75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема опорной сети 107

3.2.6. Требования к оформлению введения

Слово «ВВЕДЕНИЕ» записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» не нумеруется.

3.2.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки

Текст пояснительной записки подразделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста, обозначенные арабскими цифрами.

Например: 1. Общие сведения

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. После номера подраздела ставится точка.

Например: 2.1. Фактическое состояние горных работ

Подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.2.1.3 и т. д.

Каждый пункт и подпункт записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы с точкой в конце, не подчеркивать. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам, при выполнении рукописным способом – 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервал, при выполнении рукописным способом – 8 мм.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

3.2.8. Изложение текста

Текст отчета должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова «должен», «следует», «необходимо», «требуется, чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «в случае» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста, например: «применяют», «указывают» и т. п.

В тексте должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

Если необходимо применение специфической терминологии, то перед списком литературы должен быть глоссарий – перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Глоссарий включают в содержание документа.

В тексте не допускается:

– применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

– применять произвольные словообразования;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами;

– 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.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения. Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры

1. Провести измерение пяти линий, каждая длиной около 5 м.
2. Измерить 15 горизонтальных углов полигона.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например, 10,50; 15,75; 20,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не ,).

3.2.9. Требования к оформлению формул

Формулы набираются в редакторе формул, гарнитуры шрифтов: Times New Roman, Symbol. При наборе формул рекомендуется использовать следую-

щие размеры шрифтов (для формата А4): основной – кегль 16 (или 14), крупный индекс – кегль 12 (или 11); мелкий индекс – кегль 10 (или 8).

Латинские обозначения, кроме устойчивых сочетаний типа max, min, cos, sin, tg, log, exp, det и т. д., набираются курсивом; русские, греческие обозначения и цифры – прямым шрифтом.

Математические символы в формулах набирают курсивом, греческие и готические – прямым, химические символы (Cu, Mn и т. д.) – прямым, сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (м, кВт, МПа и т. д.) – прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Перенос в формулах допускается делать на знаках соотношений (±, ≤, ≥, ..., ≈), на отточии (...), на знаках (+) и (–), (×) с дублированием знака на другой строке.

Например: $f(x_1, x_2, \ldots x_n) =$

$= b_0 + b_y + \ldots + b_n.$

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в тексте. В зависимости от объема используется сквозная и индексационная нумерация формул, таблиц, рисунков. Индексационная нумерация используется, как правило, при делении текста на главы и параграфы.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывают номер раздела, затем (после точки) ставят порядковый номер формулы в данном разделе. Номер формулы заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю печатного листа.

Например:

$$\lambda \approx \frac{2\pi}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{\pi}{f\mu\gamma}}; \qquad (3.1)$$

$$\delta = \frac{1}{b}. \qquad (3.2)$$

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликация) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример

Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг; V – объём образца, м^3.

Расшифровка дроби: сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе.

В формулах допускается использовать все виды скобок: (), [], {}. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Основным знаком умножения является точка на средней линии.

Она ставится:

а) между числовыми сомножителями: $20 \cdot 75$;

б) для выделения какого-либо сомножителя: $2 \cdot 2xy \cdot z$;

в) для записи скалярного произведения векторов: $a \cdot b$;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: $a \cos x \cdot b \cos y$;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенным символом: $5ab$;

б) перед скобками и после них: $(b+c)(a-d)$;

в) перед дробными выражениями и после них: $\alpha \dfrac{\cos \alpha}{b} \dfrac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: $\arccos \omega t$.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: $4{,}5 \times 3$ м;

б) при записи векторного произведения $a \times b$;

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$y = (x + 2) \times$$
$$\times (x + 4)^2.$$

Расположение формул в тексте

Наиболее важные и все нумерованные, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, интегрирования, располагают на отдельных строках. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой. Небольшие и несложные формулы, не имеющие самостоятельного значения, размещают внутри строк текста.

На все нумерованные формулы обязательно должны быть ссылки. Они оформляются в той же графической форме, что и после формулы, т. е. арабскими цифрами в круглых скобках.

Например: в формуле (3.7); из уравнения (5.4) вытекает... и т. д.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент, поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулами ставят:

а) после обобщающего слова;

б) если этого требует построение текста, предшествующего формуле.

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием и после него:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_1 + b_2 + \ldots + b_n.$$

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (П. 1).

3.2.10. Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова “Примечание” ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

3.2.11. Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце текста. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1» или «Рисунок 1 – Схема полигона».

Подписи к иллюстрациям рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основного текста.

Экспликацию и легенду рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основной подписи. Экспликация обычно пишется с новой строки. Перед экспликацией ставится двоеточие, между элементами экспликации – точка с запятой.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например – Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать: «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» – при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования – в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например, «Рисунок 1 – Схема полигона».

3.2.12. Требования к оформлению таблиц

Название таблицы, при его наличии, печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на один - два интервала.

***Например*:**

«Таблица 1 – Сводные данные».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Текст таблицы и выводы печатаются более мелким шрифтом, чем основной текст. Так, если:

Основной текст – кг 16 (14)
Текст таблицы – кг 14 (12)
Текст головки таблицы – кг 13 (11)
Примечания к таблице – кг 13 (11).

В одноярусной головке таблицы все заголовки пишутся с прописной буквы, в двух- и многоярусной головке заголовки верхнего яруса пишутся с прописной буквы, а заголовки последующих ярусов – с прописной, если они грамматически не подчинены стоящему над ними заголовку верхнего яруса, и со строчной, если грамматически подчинены стоящему над ними заголовку.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, – в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

***Например*:**

Химический состав стали должен соответствовать нормам табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав, %

Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Медь	Никель	Сера	Фосфор
			не более				
0,12 – 0,18	0,5 – 1,7	0,4 – 0,7	0,05 – 0,1	0,3	0,3	0,04	0,035

3.2.13. Требования к оформлению списка литературы

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т. д., материал которых использован при составлении пояснительной записки. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка состоит из следующих элементов:

– заголовка описания - фамилия, инициалы автора (авторов);

– основного заглавия - название издания (книги, статьи и т. п.);

– места издания – название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М., Ленинград – Л., Санкт-Петербург – СПб.;

– издательства – наименование издательства приводят, как правило, в сокращенной форме – Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

– года издания - обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографического описания

Издание одного автора

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Издание с количеством авторов более трех

Сидоров, А. В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / А. В. Сидоров [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 80 с.

Методические указания

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 «Маркшейдерское дело» / сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Издание под заглавием

Глубинное строение и геодинамика литосферы / под ред. А. А. Смыслова. – Л.: Недра, 1983. – 276 с.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него) проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке и в необходимых случаях – страницы, например:

[18, т. I, с.75]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[Николаев И. Н., 1965]

3.2.14. Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст отчета, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы

большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке появления ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. Серия 07. Нормативные документы по вопросам охраны недр геолого-маркшейдерского контроля. Выпуск 15. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. – М.: ГУП «НТЦ БП», 2003. – 117 с.

2. *Оглоблин, Д. Н.* Маркшейдерское дело: учебник для вузов / Д. Н. Оглоблин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 704 с.

3. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Часть 1. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: учеб. пос. / Б. П. Голубко, В. А. Гордеев, В. И. Яковлев; УГГУ. – Екатеринбург, 2010. – 212 с.

4. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений открытым способом: учеб. пос. / Б. П. Голубко; УГГУ. – Екатеринбург, 2015. – 73 с.

5. *Голубко, Б. П.* Маркшейдерия. Решение типовых маркшейдерских задач при разработке месторождений подземным способом: учеб. пос. / Б. П. Голубко, Г. В. Земских, О. С. Раева; УГГУ. – Екатеринбург, 2017. – 98 с.

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Гордеев В.А.

ВЫПОЛНЕНИЕ ВКР

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА 9
1.1. ВВЕДЕНИЕ 9
1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 9
1.2.1. Общие сведения о районе месторождения (предприятия) 9
1.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ 10
1.2.2.1. Разведанность месторождения 10
1.2.2.2. Стратиграфия 10
1.2.2.3. Генезис месторождения 10
1.2.2.4. Гидрогеологическая характеристика месторождения 10
1.2.2.5. Геологоразведка и запасы месторождения 10
1.2.2.6. Инженерно-геологические условия 11
1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ 11
1.3.1. Фактическое состояние горных работ 11
1.3.2. Проектирование горных работ 11
1.3.2.1. Подземная разработка пластовых месторождений 12
1.3.2.2. Подземная разработка рудных месторождений 14
1.3.2.3. Разработка месторождения открытым способом 16
1.3.2.4. Разработка россыпных месторождений 18
1.3.2.5. Разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 19
1.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА 19
1.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ 20
1.6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 22
1.7. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ 22
1.7.1. Маркшейдерские работы на земной поверхности 23
1.7.2. Маркшейдерские работы при подземной разработке пластовых и рудных месторождений 23
1.7.3. Маркшейдерские работы при открытой разработке пластовых, рудных и россыпных месторождений 24
1.7.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 24
1.7.5. Маркшейдерские работы при строительстве горного предприятия 25
1.7.6. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений (тоннелей, станций метрополитенов, камер большого сечения 26
СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 28

2. ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ 29
2.1. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ 29
2.1.1. Общие требования 29
2.1.2. Порядок брошюровки работы 30
2.1.3. Требования к оформлению титульного листа 30
2.1.4. Требования к оформлению реферата 30
2.1.5. Требования к оформлению содержания 32
2.1.6. Требования к оформлению введения 32
2.1.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки 33
2.1.8. Изложение текста 33
2.1.9. Требования к оформлению формул 35
2.1.10. Требования к оформлению примечаний 38
2.1.11. Требования к оформлению иллюстраций 38
2.1.12. Требования к оформлению таблиц 39
2.1.13. Требования к оформлению списка литературы 41
2.1.14. Требования к оформлению приложений 42
2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 43
2.2.1. Общие требования 43
2.2.2. Требования к оформлению демонстрационных материалов в электронном виде 43
2.2.2.1. Требования к файлу презентации 43
2.2.2.2. Требования к носителю информации 44
2.2.3. Требования к оформлению демонстрационных чертежей 44

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проектирования является комплексная оценка соответствия уровня подготовки студента требованиям Государственного образовательного стандарта по программам профессионального образования квалификация горный инженер (специалист). Дипломное проектирование является завершающим этапом учебного процесса. Студент должен показать уровень знаний, соответствующий требованиям в области специальных и инженерно-экономических дисциплин, и готовность к самостоятельному решению инженерно-технических задач по разработке месторождений полезных ископаемых и производству маркшейдерских работ.

При дипломном проектировании студент руководствуется законодательством, инструкциями и нормативными документами об охране недр и окружающей природной среды. Дипломный проект должен отвечать современным требованиям и отражать новейшие достижения науки и техники.

Каждому студенту назначается руководитель дипломного проекта из числа преподавателей кафедры маркшейдерского дела. Содержание и объем дипломного проекта устанавливаются руководителем в соответствии с заданием. Задание к выпускной квалификационной работе (ВКР) специалиста оформляется на специальном бланке в течение первой недели 11-го семестра. Пример заполнения задания приведен на с. 6.

По решению кафедры отдельные студенты могут выполнять **дипломную работу**, которая носит исследовательский характер, и результаты ее используются в дальнейшем на предприятии или в научно-исследовательской работе.

Дипломный проект (работа) подготавливается к защите в течение 11-го семестра.

Дипломный проект (работа) состоит из пояснительной записки и демонстрационных материалов, которые могут быть представлены в виде демонстрационных листов или мультимедийной презентации.

Состав и ориентировочный объем разделов дипломного проекта (работы) приведены в табл. 1 и 2.

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Горнотехнологический, Заочного обучения **«УТВЕРЖДАЮ»**
(ненужное зачеркнуть)

Кафедра **маркшейдерского дела** **Заведующий кафедрой**
Специализация **«Маркшейдерское дело»** **проф., д-р техн. наук**
_____В. А. Гордеев
«___»_____20 ___ г.

ЗАДАНИЕ
ПО ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ (ВКР) СПЕЦИАЛИСТА

Студент гр. МД

_____

_____
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема дипломного проекта (работы)

_____

_____

_____

2. Содержание пояснительной записки:
2.1. Общие сведения о предприятии и геологическая характеристика месторождения.
2.2. Технология горных работ.
2.3. Мероприятия по обеспечению безопасности производства.
2.4. Технико-экономические показатели предприятия (участка).
2.5. Мероприятия по сохранности окружающей среды.
2.6. Маркшейдерские работы на предприятии (фактическое состояние и анализ).
2.7. Специальная часть ВКР.

3. Демонстрационный материал (графическая документация, рисунки, фотографии и др.) – мультимидийная презентация в программном продукте Power Point 2003 (MS Office 2003).

4. Консультанты по разделам (ФИО, кафедра, раздел**)**

_____

_____

Руководитель ВКР _____ _____
(кафедра, ФИО) **(подпись)**

Задание по ВКР получил студент _____ _____
(ФИО) **(подпись)**

Дата выдачи задания «_____»_____ 20___ г.

Дата сдачи студентом ВКР «___»_____ 20___ г.

Таблица 1

Состав и ориентировочный объем дипломного проекта

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Демонстрационный материал, кол-во слайдов
	Введение	1 – 2	–
1	Общие сведения о районе месторождения (предприятия) и его геологическая характеристика		
1.1	Общие сведения о районе месторождения	3 – 4	1 – 2
1.2	Геологическая характеристика месторождения	9 – 10	1 – 2
2	Горнотехнологическая характеристика горного предприятия		
2.1	Фактическое состояние горных работ	10 – 12	1 – 2
2.2	Проектирование горных работ	8 – 10	1 - 2
3	Экономические показатели деятельности предприятия	2 – 3	1
4	Безопасность производства	7 – 10	–
5	Воздействие горного производства на окружающую среду	8 – 10	1
6	Маркшейдерские работы на предприятии	10 – 15	2 – 5
7	Специальная часть дипломного проекта	25 – 30	3 – 4
	Заключение	1 – 2	1
	Список литературы	1 – 2	–
	Всего	85 – 100	5 – 11

Таблица 2

Ориентировочный состав и объем дипломной работы

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Кол-во слайдов
	Введение	1 – 2	–
1	Цель, задачи и актуальность исследований	2 – 5	1
2	Анализ методов и способов решения поставленных задач (обзор источников литературы)	15 – 20	3 – 5
3	Методика решения поставленных задач и последовательность их выполнения	20 – 30	3 – 5
4	Оценка эффективности полученных решений	3 - 5	1

Окончание таблицы 2

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Кол-во слайдов
	Заключение	3 – 7	–
	Список литературы	1	–
	Всего	45 – 70	7 – 12

Публичная защита дипломного проекта (работы) проводится на заседании Государственной аттестационной комиссии при наличии внутривузовских и внешней рецензий, отзыва руководителя дипломного проекта (работы).

Внутривузовские рецензии студент получает у назначенных консультантов, список которых вывешивается на доске объявлений кафедры.

Внешнюю рецензию на дипломный проект (работу) студент получает по направлению заведующего кафедрой у специалиста, который утверждается рецензентом приказом ректора университета.

Руководитель дипломного проекта (работы) в своем отзыве отмечает:

– соответствие содержания дипломного проекта (работы) дипломному заданию и наличие необходимых разделов;

– правильность принятых инженерных решений и соответствие их современному уровню развития науки и техники;

– выполнение требований, предъявляемых к оформлению пояснительной записки и графического материала дипломного проекта (работы);

– степень самостоятельности студента при решении поставленных задач, творческий характер работы.

В заключении руководитель дает общую оценку дипломного проекта (работы) в баллах.

Темой дипломного проекта (его специальной частью) может быть выбрана инженерно-техническая задача по решению актуальных вопросов маркшейдерских работ при различных стадиях производства: разведке месторождений, строительстве, эксплуатации, консервации, ликвидации горных предприятий и различных способах добычи: подземном, открытом, дражном, гидравлическом, разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа).

Темой дипломной работы может быть та же задача, но имеющая научно-исследовательское направление и в которой студент принимал непосредственное участие.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

1.1. ВВЕДЕНИЕ

Во введении излагаются задачи горнодобывающей отрасли или отдельных ее направлений на примере региона, где находится предприятие, рассматриваемое в дипломном проекте. Дается степень освоения и перспективы развития предприятия и региона. Обосновывается актуальность и специфические особенности решения задач, поставленных в специальной части дипломного проекта.

Указывается на основании каких материалов выполняется дипломный проект (по материалам, полученным на предприятии в период производственных практик или по результатам исследовательской работы, включая курсовые работы и проекты, выполненные студентом ранее).

1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.2.1. Общие сведения о районе месторождения (предприятия)

В разделе приводятся: сведения о географическом и административном положении месторождения (предприятия); промышленная освоенность района, пути сообщения, ближайшие железнодорожные станции, пристани, порты и топливно-энергетическая база; наличие местных строительных материалов, бытовое и техническое водоснабжение; климатические условия района (продолжительность зимнего периода, минимальные и максимальные температуры, среднегодовые, сезонные и месячные температуры воздуха, господствующие ветры и их направление, количество осадков по сезонам и месяцам; мощность и температура сезонной мерзлоты, продолжительность стояния снежного покрова и сезонной мерзлоты); характер рельефа и гидрографическая сеть района, влияние природных факторов на условия отработки месторождения, технико-экономические показателя региона.

1.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1.2.2.1. Разведанность месторождения

История открытия и разведки месторождения. Состав, форма и размеры по простиранию и падению, количество залежей, их форма, мощность и углы падения полезного ископаемого.

1.2.2.2. Стратиграфия

Состав и стратиграфия полезного ископаемого и вмещающих пород. Тектоника месторождения, наличие складчатых и разрывных нарушений и их элементы залегания.

1.2.2.3. Генезис месторождения

Гипотеза образования залежи, минералогический состав полезного ископаемого и его качественная характеристика.

1.2.2.4. Гидрогеологическая характеристика месторождения

Общие сведения об открытых водостоках на поверхности. Характеристика водоносных горизонтов, их количество и распределение, коэффициенты фильтрации пород. Возможные притоки подземных вод в горные выработки. Состав и количество подземных вод различных горизонтов и в целом по месторождению.

1.2.2.5. Геологоразведка и запасы месторождения

Методика разведки, объем произведенных работ и степень разведанности месторождения, сетка разведочных скважин. Методика подсчета запасов и их количество по категориям. Методы опробования, кондиции, предъявляемые к качеству полезного ископаемого со стороны потребителей. Эксплуатационная разведка.

1.2.2.6. Инженерно-геологические условия

Физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород. Устойчивость пород кровли и почвы, кливаж, крепость, кусковатость, влажность, газоносность.

Графика к разделу 1.2

1. Обзорная карта района.
2. Геологический план или план поверхности с выходом пластов под наносы с разведочными линиями и скважинами М 1:10000, 1:5000, 1:2000.
3. Продольные и поперечные геологические разрезы в масштабе плана.
4. Стратиграфическая и структурные колонки в удобном для восприятия масштабе, иллюстрации, зарисовки, схемы, диаграммы, выполненные на листах формата А4 по тексту пояснительной записки.

1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

1.3.1. Фактическое состояние горных работ

В описательной части даются краткие сведения о состоянии горных работ на предприятии: производительность (шахты, рудника, карьера), способ вскрытия месторождения, проходка капитальных подготовительных, нарезных и очистных горных выработок, применяемые системы отработки и их характеристика, транспортировка горной массы, вентиляция и водоотлив, энергоснабжение, фактические и проектные технико-экономические показатели и др.

Графика к разделу 1.3.1

План и разрезы фактического состояния горных работ на 1 января текущего года М 1:5000, 1:2000, 1:1000.

1.3.2. Проектирование горных работ

При подготовке выпускной квалификационной работы (дипломного проекта или дипломной работы) могут быть включены вопросы проектирования горных работ. Данное решение принимается

по согласованию с руководителем ВКР при оформлении задания по ВКР специалиста.

Задание на проектирование горных работ студент получает от руководителя ВКР или преподавателя-консультанта по горной части.

При этом необходимо учесть способ разработки и стадию разработки на предприятии: строительство, эксплуатация, доработка.

Тематика и объем горной части в целом должны обеспечить необходимый и достаточный материал для выполнения разделов по специальной и экономической части проекта.

1.3.2.1. Подземная разработка пластовых месторождений

Проектирование горных работ при подземной разработке пластовых месторождений *может вестись в двух вариантах*:

1. Разработка нового шахтного поля.
2. Доработка шахтного поля действующей шахты.

В обоих случаях должны быть решены следующие вопросы:

– подсчет балансовых и промышленных запасов (если этот вопрос не рассматривается в других частях проекта);

– производительность (обоснование и расчет) и срок службы шахты;

– вскрытие и подготовка шахтного поля;

– системы разработки, механизация очистных работ;

– технология и механизация проведения подготовительных и нарезных выработок.

Подсчет балансовых запасов должен быть произведен в соответствии с требованиями действующих инструкций. При этом *рассматриваются следующие вопросы*:

– выбор метода подсчета (обоснование);

– подсчет балансовых запасов в шахтном поле (на нижних горизонтах или на участке);

– построение предохранительных целиков под промплощадку, здания, сооружения, около геологических нарушений и т. д.;

– подсчет промышленных запасов шахтного поля (нижних горизонтов или участка).

При определении производительности шахты рассматривают два вопроса:

1. Обоснование и расчет производительности шахты.

2. Расчет срока службы шахты в целом и (или) отдельных горизонтов.

Вскрытие и подготовка шахтного поля включает:

– выбор способа подготовки шахтного поля (этажный, панельный, погоризонтный, комбинированный) и установление его параметров;

– обоснование способа подготовки пластов (индивидуальный или групповой);

– выбор способа вскрытия шахтного поля.

При определении системы разработки и механизации очистных работ должны быть рассмотрены следующие вопросы:

– выбор и обоснование системы разработки для всех пластов свиты;

– установление параметров системы разработки для пласта, указанного в задании;

– установление поперечного сечения всех подготовительных выработок выемочного поля по условию размещения транспортного оборудования;

– выбор механизации для выемки и транспортировки горной массы и материалов в пределах выемочного поля;

– выбор типа механизированной или индивидуальной призабойной и посадочной крепи и способа управления кровлей;

– расчет суточной добычи, объемов отдельных видов работ, штата рабочих в очистном забое и производительности труда забойного рабочего;

– составление планограммы работ и графика выхода рабочих в очистном забое;

– подсчет плановых потерь по системе разработки;

– расчет себестоимости 1 т угля по очистному забою по элементам затрат: заработная плата, материалы, электроэнергия и амортизация оборудования (это может быть произведено в разделе «Экономические расчеты»).

В конце раздела приводится сводная таблица технико-экономических показателей: мощность и угол падения пласта, подвигание очистного забоя (суточная и годовая), добыча угля (суточная и годовая), потери угля по системе разработки; расход материалов на 1000 т добычи, производительность труда рабочего очистного забоя на выход, себестоимость 1 т угля по очистному забою.

Технология и механизация проведения подготовительных выработок включает:

– определение объема подготовительных выработок в пределах выемочного поля (панели) и их характеристика;

– выбор способа проведения подготовительных выработок, расположенных в пределах выемочного поля (панели);

– выбор механизации проведения подготовительных выработок;

– выбор типа ВВ и СВ для буровзрывных работ;

– проект проведения выработки (по заданию консультанта).

Графика к разделу 1.3.2.1

Проект вскрытия и подготовки шахтного поля. Проект системы разработки и ее основные элементы. Проект проведения выработки. М 1:1000; 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.2. Подземная разработка рудных месторождений

Производительность проектируемого предприятия должна определяться с учетом горно-геологических условий по годовому понижению горных работ или по скорости подвигания очистных забоев (при горизонтальном или пологом залегании рудного тела).

Срок службы рудника устанавливается с учетом развития и затухания горных работ. Полученные значения проверяются по нормативным документам. При обосновании режима работы предприятия устанавливается: количество рабочих дней в году, количество смен в сутки, продолжительность рабочей недели, смены, общая организация подземных работ и работ на поверхности.

Система разработки выбирается путем технико-экономических расчетов с учетом постоянных и переменных факторов, влияющих на способ отработки. При этом определяются основные параметры: высота блока (этажа), его длина и ширина, показатели извлечения и др.

При проектировании вскрытия вновь разрабатываемого месторождения определяется: тип подъемных сосудов и размеры рудоподъемного ствола; разрабатывается схема размещения оборудования в стволе; определяется количество, параметры и расположение вентиляционно-вспомогательных шахтных стволов; разрабатывается схема околоствольного двора; организация подземного дробильного комплекса; разрабатывается схема подготовки горизонтов; рассчиты-

вается и обосновывается высота этажа; определяется число этажей в шахтном поле; обосновывается целесообразность строительства концентрационных горизонтов и число этажей, объединяемых основным концентрационным горизонтом.

На основе проведенных расчетов конструируется несколько конкурентоспособных вариантов вскрытия, из которых путем технико-экономического сравнения выбирается лучший.

При проектировании вскрытия глубоких горизонтов действующего предприятия учитываются существующие вскрывающие выработки. При этом проводится проверка главных выработок вскрытия при отработке глубоких горизонтов по производительности подъема, вентиляции и рассматривается их сохранность при сдвижении горных пород. Если хотя бы одному из указанных условий вскрывающие выработки не удовлетворяют, то рассматривается вопрос об их реконструкции или строительстве новых.

Схема подготовки одного из горизонтов разрабатывается на основе горно-геологических условий, годовой производительности, принятой системы разработки и вида транспорта. Поперечные размеры горизонтальных подготовительных выработок определяются в зависимости от типа (параметров) транспортных средств и возможного вида крепления, а размеры восстающих выработок – в зависимости от их назначения и способа проходки.

Проект проведения подготовительной выработки включает в себя: определение сечения выработки в проходке, расчет параметров буровзрывных работ, уборку горной массы, крепление и вентиляцию, устройство путей, расход материалов и энергии, продолжительность цикла и скорость продвигания выработки.

Параметры выемочного блока определяются по горно-техническим условиям месторождения и параметрам систем разработки. При этом определяются: параметры и запасы элементов блока (камера, междукамерный целик, потолочина, днище); схема подготовки и нарезки блока; параметры подготовительных и нарезных выработок; объем подготовительно-нарезных работ по руде и породе; запасы блока (с разбивкой по элементам); основные производственные процессы по каждому элементу блока и схема их механизации; схема вентиляции блока; основные вопросы безопасности труда при отработке блока.

Графика к разделу 1.3.2.2

Схема вскрытия месторождения. План основного откаточного горизонта. Сечения основных вскрывающих выработок. План очистной выемки с разрезами вкрест простирания. План (планы) рабочего горизонта М 1:1000; 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.3. Разработка месторождения открытым способом

Проектирование горных работ может вестись по двум направлениям:

1. Технология и комплексная механизация разработки нового месторождения.
2. Технология и комплексная механизация разработки при доработке месторождения.

При определении границ карьерного поля, запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши, производственной мощности карьера должны быть рассчитаны:

– углы погашения бортов карьера;
– глубина и проектный контур карьера;
– запасы полезного ископаемого и объемы вскрыши;
– производственная мощность и срок отработки карьера;
– режим работы карьера и организация работ.

Вскрытие месторождения проектируется на три этапа: год сдачи в эксплуатацию, год наибольшего развития работ (по указанию консультанта) и на конец отработки месторождения (или очереди). Способ вскрытия устанавливается в зависимости от рельефа местности, принятого вида транспорта, производственной мощности и системы разработки.

Выполняются расчеты капитальных и разрезных траншей, устанавливается место размещения капитальных траншей, выбирается способ подготовки новых горизонтов.

Выбор и обоснование системы разработки производятся во взаимосвязи с принятым способом вскрытия, выбранной схемой комплексной механизации и принятыми моделями и типоразмерами основного горно-транспортного оборудования. При этом рассчитываются элементы системы разработки: высота породных и добычных уступов, ширина экскаваторной заходки, длина и количество экскаваторных блоков на уступах, параметры рабочей зоны карьера.

Механизация горных работ включает расчеты схем комплексной механизации (классификация В. В. Ржевского) и выбор способа подготовки пород к выемке и выемочно-погрузочного оборудования, обоснование вида карьерного транспорта и способа отвалообразования вскрышных пород. Одновременно выбирают: технологию производства вспомогательных станций, зарядку и забойку скважин, разделку негабарита, перекладку железнодорожных путей в забоях, планировку площадок, устройство временных автодорог, профилактику подвижного состава против примерзания и прилипания транспортируемых грузов. Здесь же рассчитывают производительность и парк оборудования по основным технологическим процессам, определяют техническую и эксплуатационную производительность (сменная и годовая) буровых станков, выемочно-погрузочного оборудования, транспортных и отвальных машин, определяют парк горно-транспортного оборудования (рабочий и списочный), приводятся сведения о схеме управления карьером, охране природы и рекультивации площадей, нарушенных горными работами.

В заключении раздела приводят результаты принятых проектных решений, анализ основных технико-экономических показателей по сравнению с фактическими (достигнутыми на действующем карьере) и лучшими в данной отрасли промышленности. Делают вывод о технической и экономической (с привлечением результатов экономической части) целесообразности разработки (доработки) месторождения открытым способом.

Графика к разделу 1.3.2.3

План карьера на момент сдачи в эксплуатацию (на момент наибольшего развития горных работ или на конец отработки) М 1:5000, 1:2000, 1: 1000. Характерный разрез по плану карьера (обычно в масштабе плана), конструкция зарядов скважин М 1:50, 1:25, взрывные блоки на уступах и при проходке траншей со схемой коммутации зарядов М 1:500, 1:1000. План и поперечный разрез капитальной или разрезной траншеи с оборудованием М 1:500, 1:200. План и поперечный разрез отвального забоя с размещением оборудования М 1:500, 1:200.

При выполнении темы по доработке месторождения вместо планов на момент сдачи (наибольшего развития работ) выполняется план фактического состояния горных работ на карьере М 1:5000,

1:2000, 1:1000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.4. Разработка россыпных месторождений

В проектной части рассматриваются следующие вопросы:

– вскрытие россыпи при дражном способе, основание и размеры котлована;

– вскрытие россыпи при гидравлическом способе разработки, горнокапитальные работы, расположение канав по осушению и обводнению долины россыпи;

– расчет конструкции плотин, способ их сооружения, объем и стоимость земляных плотин;

– способы проходки канав и котлованов при гидравлическом способе разработки, их размеры и стоимость проходок;

– подготовительные работы, методы очистки полигона от леса и вскрыши торфов;

– система дренажных разработок, ширина котлована и угол маневрирования, способ отработки уступа, углы откосов галечных и эфельных отвалов;

– рабочие размеры драги, списочный состав на драге, расход электроэнергии, топлива, материалов и т. д., число рабочих дней в году, начало и конец сезона, ремонтные дни;

– система разработки гидравлическим способом, расположение гидромониторов в забое, ширина забоя, приходящаяся на один гидромонитор, расположение песковых колодцев и почвенных канав, частота передвижки гидромониторов и песковых колодцев, размеры и уклоны почвенных канав, способы их проходки;

– схема обогащения, тип и размеры применяемой обогатительной аппаратуры, обслуживающий штат, организация промывки и сполоска, график сполоска, контроль процесса промывки, коэффициент извлечения, расход рабочей силы и материалов;

– транспортирование песков на гидравлических разработках, расстояние транспортировки песков и высота подъема, тип землесоса, мощность и тип элеватора, способ отвалообразования и его организация;

– охрана речной системы от загрязнения и рекультивация отработанных площадей;

– общая организация работ (штат предприятия, структура себестоимости добычи 1 м^3 горной массы и др.).

Графика к разделу 1.3.2.4

План месторождения с нанесением элементов системы разработки и основных гидротехнических сооружений, два-три поперечных разреза (по разведочным линиям). Чертеж по проверке соответствия конструктивных параметров драги размерам россыпи. Иллюстрации, рисунки, схемы, фотографии по тексту пояснительной записки.

1.3.2.5. Разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Задание на проектирование технологии добычи углеводородного сырья студент получает от руководителя дипломного проекта. Исходным материалом для выполнения данного раздела является материал, полученный в период производственной практики студента.

Проектирование технологических работ может вестись в следующих направлениях:

1. Технология разведки или доразведки месторождения.
2. Технология разработки нового месторождения.
3. Технология доработки месторождения действующего предприятия.
4. Технология консервации или ликвидации месторождения.

Во всех случаях должны быть решены следующие вопросы:

– подсчет балансовых и промышленных запасов;

– расчет производительности и срока службы предприятия;

– вскрытие и подготовка к добыче месторождения;

– система разработки и механизация добычи полезного ископаемого;

– организация работ при строительстве буровой вышки.

Графика к разделу 1.3.2.5

Проект разведки (доразведки) месторождения. Проект разработки месторождения. М 1:25000 – 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Задание по данному разделу дипломного проекта выдается руководителем ВКР или консультантом-преподавателем кафедры без-

опасности горного производства. Обязательным условием допуска студента к защите дипломного проекта является детальная проработка вопросов техники безопасности, промсанитарии и противопожарной безопасности на всех этапах проектирования. Все технические и технологические решения, принимаемые в дипломном проекте, должны решаться в строгом соответствии с требованиями ГОСТ, ППБ, ПБ и другой нормативной и директивной документации. Решения по охране труда, принятые применительно к частным техническим и технологическим задачам дипломного проекта, излагаются в соответствующих главах его пояснительной записки: «Вскрытие месторождения», «Система разработки», «Маркшейдерские работы» и т. п. Раздел «Безопасность производства» является синтезирующим, который включает сводку (перечень) конкретных обобщенных материалов по охране труда, принятых в отдельных разделах проекта, а также основные общешахтные или карьерные мероприятия по охране труда, решаемые применительно к условиям проектируемой шахты, карьера, нефтегазодобывающего предприятия.

В целом раздел должен содержать разработанные или принятые дипломантом *мероприятия по охране труда в следующей последовательности*: общая характеристика условий и охраны труда и общие требования безопасности, мероприятия по технике безопасности, мероприятия по производственной санитарии, мероприятия по противопожарной защите, профилактике и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Руководством для выполнения каждой части данного раздела являются методические разработки кафедры безопасности горного производства.

Демонстрационных чертежей по разделу обычно не выполняется. Необходимые иллюстрации приводятся на чертежах других разделов или в пояснительной записке.

1.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Целью данного раздела является определение производственной себестоимости и затрат маркшейдерской службы на одну тонну добычи. Основой для составления являются горно-геологические условия шахты, рудника или карьера (годовая производительность предприятия или участка, выбранные в проекте способ вскрытия

и системы разработки, режим работы, структура управления, применяемая техника, приборы и оборудование). Экономические расчеты выполняются после горной части дипломного проекта, так как составляемый при этом техпромфинплан основывается на годовой производительности, определенной в разделе 1.3.

Задание по данному разделу студент получает у преподавателя-консультанта кафедры экономики и менеджмента.

В техпромфинплан входят: сметы на приобретение и монтаж оборудования, таблицы по расчету штата и фонда зарплаты трудящихся, расход материалов, энергии и амортизации оборудования, содержание цехового персонала. По данным таблиц составляется калькуляция себестоимости добычи и определяются основные технико-экономические показатели.

В разделе рассматриваются следующие вопросы:

– смета на приобретение и монтаж оборудования;

– расчет штата и фонда заработной платы рабочих;

– расчет расхода материалов, электроэнергии и сжатого воздуха;

– расчет амортизации оборудования;

– расчет штата и фонда заработной платы участкового персонала;

– основные технико-экономические показатели (годовая производительность, списочный штат рабочих, производительность труда рабочего, годовой и удельный расходы электроэнергии, среднемесячная заработная плата, себестоимость 1 т полезного ископаемого);

– расчет стоимости маркшейдерского обслуживания на 1 т добычи полезного ископаемого.

Затраты на маркшейдерское обслуживание складываются из следующих элементов: основная заработная плата инженерно-технических работников и рабочих маркшейдерского отдела с учетом районного коэффициента; начисления на заработную плату; расход материалов; погашения износа малоценного быстроизнашивающегося инвентаря, приборов и инструментов; амортизация основных средств и прочие расходы. По перечисленным элементам составляется калькуляция себестоимости.

Порядок выполнения указанных расчетов изложен в методической разработке по выполнению экономической части дипломного проекта, составленной кафедрой экономики и организации производства.

1.6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Раздел состоит из пояснительной записки с расчетами, рисунков и демонстрационных чертежей. В пояснительной записке приводятся: исходные данные; определение основных направлений воздействия горного предприятия на окружающую природную среду; выбор и обоснование природоохранных мер; расчет технико-экономических показателей природоохранных работ и ущерба от нарушения окружающей природной среды. В разделе рассматриваются законодательные и нормативные требования к состоянию водной и воздушной среды, к рекультивации нарушенных промышленными предприятиями земель применительно к условиям данного предприятия.

Конкретное задание на выполнение раздела дается руководителем дипломного проектирования. Наличие и количество демонстрационных чертежей по разделу определяется в процессе выполнения заданий.

Руководством для выполнения каждой части раздела являются методические разработки кафедры инженерной экологии.

1.7. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

В разделе дается описание и анализ фактического состояния маркшейдерско-геодезических работ на предприятии в зависимости от вида добычи (подземной, открытой, нефти и газа) и стадии развития горных работ (разведка, доразведка, строительство, эксплуатация, консервация, ликвидация).

Основным критерием оценки фактического состояния маркшейдерских работ на предприятии является сравнительный анализ их соответствия требованиям Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Описание и анализ маркшейдерских работ выполняется в следующей последовательности:

– маркшейдерские работы на земной поверхности;
– маркшейдерские съемочные сети;
– маркшейдерские съемочные работы;

– ведение горно-графической документации;

– организация маркшейдерских работ.

Ниже приводится краткое содержание подразделов при различных видах добычи.

1.7.1. Маркшейдерские работы на земной поверхности

На земной поверхности горного предприятия независимо от вида добычи и стадии его развития выполняется определенный комплекс маркшейдерско-геодезических работ, обеспечивающий эффективную и безопасную работу предприятия. *Перечень основных видов работ*:

– создание и реконструкция маркшейдерских опорных сетей на поверхности (схема сети, кем и когда создана, соответствие современным требованиям по точности и надежности), необходимость дополнительного развития для обеспечения работы шахты (карьера) в настоящее время и в будущем;

– топографическая съемка земной поверхности и предъявляемые к ней требования. Способы съемки, точность и полнота содержания топографических планов земной поверхности;

– съемка складов полезных ископаемых, отвалов пород, хвосто- и шламохранилищ. Методы определения объемов складов и отвалов;

– маркшейдерские работы при рекультивации земель, нарушенных горными работами.

1.7.2. Маркшейдерские работы при подземной разработке пластовых и рудных месторождений

Описание и анализ маркшейдерских работ в шахте:

– подземные маркшейдерские опорные сети как главная полигонометрическая основа для выполнения всех видов съемки в шахте. Ориентирование и центрирование опорных сетей, угловые и линейные измерения, обработка подземных опорных сетей. Определение высот пунктов опорной сети;

– подземные маркшейдерские съемочные сети – основа для съемки горных выработок. Теодолитные, угломерные и буссольные ходы. Угловые и линейные измерения. Вычисление координат пунктов съемочных сетей. Определение высот пунктов съемочных сетей;

– маркшейдерские подземные съемочные работы, их основные виды и методика выполнения. Съемка подготовительных, нарезных выработок, взрывных скважин. Вертикальная съемка откаточных (рельсовых) и других транспортных путей. Съемка очистных забоев, камер и пустот;

– задание направления горным выработкам и контроль их проходки.

1.7.3. Маркшейдерские работы при открытой разработке пластовых, рудных и россыпных месторождений

Описание и анализ маркшейдерских работ в карьере (разрезе, дражном или гидравлическом полигоне):

– съемочные сети: способы, схемы, методика измерений и вычисление плановых координат пунктов съемочных сетей. Определение высот пунктов съемочных сетей;

– способы маркшейдерской съемки, периодичность ее выполнения, применяемые приборы и оборудование, комплекс полевых и камеральных работ, проводимых для определения положения горных выработок в плане и по высоте;

– маркшейдерские работы при проходке траншей, разбивке и съемке транспортных путей, при проведении буровзрывных работ;

– съемка отвалов вскрышных пород и складов полезного ископаемого.

1.7.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Описание и анализ маркшейдерских работ при разработке нефти и газа включает комплекс маркшейдерских работ на месторождениях, подземных хранилищах сырья, разведочных площадях и отдельных участках.

Критериями оценки фактического производства работ является их сравнение с требованиями технического проекта или программой маркшейдерских работ, утвержденными руководством организации и согласованными в установленном порядке.

Согласно указанным документам, в *дипломном проекте необходимо представить*:

– маркшейдерскую картографическую документацию, отображающую рельеф, гидрографию, населенные пункты, схему государственной геодезической и маркшейдерской сети, инженерные коммуникации, инженерные сооружения объектов по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;

– схему и методику создания опорных и съемочных сетей;

– маркшейдерско-геодезическую съемку с указанием погрешности определения положения на плане контуров снимаемых объектов относительно пунктов съемочного обоснования;

– подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру, решение задач переноса в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин и других сооружений;

– плановую и высотную привязку устьев скважин после монтажа буровой установки;

– анализ и оценку точности определения планового и высотного положения устьев скважин относительно пунктов съемочной сети;

– геомеханический мониторинг за осадками и деформациями земной поверхности и построенными на ней объектами. Количественную оценку геодинамических полигонов. Гидрогеологические и геокриологические исследования.

1.7.5. Маркшейдерские работы при строительстве горного предприятия

При строительстве горных предприятий маркшейдерские работы выполняются в строгом соответствии с проектной документацией и *включают*:

– проверку числовых значений и графической части проектных чертежей. Перенесение геометрических элементов проекта в натуру с пунктов маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса на шахтной поверхности;

– работы при возведении зданий, сооружений и копров. Проверка правильности установки подъемных машин;

– работы при проходке вертикальных шахтных стволов, монтаж армировки;

– работы при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок, при проходке встречными забоями.

1.7.6. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений (тоннелей, станций метрополитенов, камер большого сечения)

При строительстве тоннелей, станций метрополитенов и других *подземных сооружений маркшейдерско-геодезические работы* проводят в соответствии с проектной документацией с соблюдением требований инструктивных документов и *включают*:

– развитие маркшейдерско-геодезического обоснования (триангуляция, трилатерация или заменяющая их полигонометрия) без последующего сгущения ходами основной полигонометрии или при последующем сгущении для тоннелей, сооружаемых через порталы и штольни, а также для тоннелей, сооруженных через шахтные стволы. Оценку точности планового и высотного положения пунктов;

– схемы и методику проложения подходной полигонометрии от пунктов основной полигонометрии или от пунктов сети высшего порядка к шахтным стволам или порталам и штольням для производства ориентировок и различных разбивочных работ на промышленной площадке;

– способы ориентирования подземных маркшейдерских съемок с разработкой специализированных методик;

– схемы и методику создания подземной полигонометрии, состоящей из подходной – от шахтного ствола до основной трассы тоннеля, и рабочей – по перегонному тоннелю для производства разбивочных работ и задания направления проходки тоннеля, основной оси для контроля отклонения проходки тоннеля;

– маркшейдерские работы при сооружении тоннеля горным, щитовым способами или с помощью проходческих комплексов;

– наблюдения за деформациями дневной поверхности и подземных сооружений в процессе их строительства и эксплуатации;

– производство исполнительной съемки сооружений и составление исполнительной документации.

Графика к разделу 1.7

Демонстрационный материал по данному разделу может быть выполнен отдельно или совмещен с демонстрационным материалом разделов 1.2 и 1.3, т. е. необходимая информация и иллюстрации указываются или на геологическом плане, или на плане фактического со-

стояния горных работ, или на том и другом. Основная часть иллюстраций приводится в пояснительной записке (формат А4).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основным материалом для выбора темы специальной части дипломного проекта являются задачи производства, решением которых дипломник занимался в период производственных и преддипломной практик. Частичное решение этих задач могло быть выполнено студентом в курсовых работах и проектах. Тема специальной части проекта выбирается студентом самостоятельно по согласованию с руководителем и указывается в задании на дипломное проектирование. Объем и порядок ее выполнения определяется руководителем проекта. Специальная часть составляет около 30 % объема пояснительной записки.

В специальной части проекта рассматриваются наиболее актуальные вопросы, требующие подробных проектных разработок.

Основными направлениями дипломных проектов могут быть:

– развитие и совершенствование методики маркшейдерских работ в свете научно-технического прогресса;

– проект маркшейдерского обеспечения сбойки горных выработок;

– геометризация месторождения и горно-геометрический анализ горного производства;

– разработка и исследование новых приборов и инструментов;

– учет движения запасов, добычи, потерь и разубоживания;

– сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок;

– устойчивость бортов карьеров и отвалов;

– горное давление, горные удары и меры борьбы с ними;

– планирование развития горных работ;

– мероприятия по охране природы и недр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе «Заключение» дипломного проекта (дипломной работы) приводятся основные результаты принятых проектных решений, технико-экономические показатели и оценка полученных результатов.

Дается оценка уровня полученных в проекте основных результатов по сравнению с фактическими, средним уровнем и лучшими достижениями данной отрасли горной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приводится полный перечень фактически использованных литературных источников по общепринятой в технической и специальной литературе форме: автор, наименование источника, издательство и год издания.

В тексте пояснительной записки на каждый литературный источник в обязательном порядке делается ссылка.

2. ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

2.1. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2.1.1. Общие требования

Дипломные проекты (работы) оформляются согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 (2001) «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.850 (851 - 857) –75 «Горная графическая документация».

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода компьютера.

Пояснительная записка оформляется на листах белой писчей бумаги формата А4. Для данного формата следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При наборе текста рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифта Times New Roman Cyr. Размер основного шрифта – кегль 14 (или 16), межстрочный интервал – 1,5 (или 1,0). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

– все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом;

– перед знаками препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел;

– между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять один пробел (352 МПа, 40 м, 10 % и т. д.);

– при наборе должны различаться тире (–) и дефисы (-);

– между инициалами, после инициалов (перед фамилией), перед сокращениями и между ними ставится пробел (1999 г., т. д., т. е., Д. Н. Оглоблин и т. д.);

– выделения курсивом, полужирным, прописные, надстрочные и подстрочные буквы и цифры обеспечиваются средствами Word.

Нумерация страниц и приложений должна быть сквозная. Номера страниц проставляются внизу справа.

2.1.2. Порядок брошюровки работы

Пояснительная записка брошюруется в следующей последовательности: титульный лист, задание по дипломному проектированию выпускной квалификационной работы, реферат, содержание, введение, основные разделы, заключение, список литературы, приложения.

2.1.3. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом дипломного проекта (работы). Титульный лист выполняют на листах формата А4.

Пример оформления титульного листа приведен ниже (с. 30).

2.1.4. Требования к оформлению реферата

Слово "РЕФЕРАТ" записывают прописными буквами по центру строки.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример оформления реферата.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа специалиста – 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

ОПОРНОЕ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, КАРЬЕР, ПОЛИГОНОМЕТРИЯ, ТРИАНГУЛЯЦИЯ, ТРИЛАТЕРАЦИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, ТОЧНОСТЬ.

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа методов создания опорного маркшейдерско-геодезического обоснования на карьерах.

Работы включали изучение технической литературы, предрасчет точности создания опорного обоснования различными методами.

В результате работы проанализированы эргономические и точностные характеристики современных методов создания опорного маркшейдерско-геодезического обоснования на карьерах.

Пример оформления титульного листа.

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

Кафедра маркшейдерского дела

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
профессор, д-р техн. наук
_____ Гордеев В. А.
« 14 » мая 2018 г.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

Выпускная квалификационная работа специалиста

Руководитель,
ФИО (подпись)

Исполнитель, студент,
группы МД-13-1,
ФИО (подпись)

Екатеринбург – 2018

2.1.5. Требования к оформлению содержания

Содержание включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и страницы.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записываются строчными буквами.

Пример содержания приведен ниже.

Пример оформления содержания.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения 6
1.1 Общие сведения о районе месторождении 6
1.2 Геологическая характеристика месторождения 10
1.3 Гидрогеологические условия 14
2 Горнотехническая характеристика разработки месторождения 17
2.1 Фактическое состояние горных работ 18
2.2 Проект доработки горизонта 260 м 24
3 Безопасность производства 32
4 Экономические расчеты 32
5 Оценка воздействия горного производства на окружающую среду 46
6 Маркшейдерские работы при разработке месторождения 69
7 Специальная часть. Реконструкция опорных и съемочных сетей в шахте 75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема опорной сети 107

2.1.6. Требования к оформлению введения

Слово «ВВЕДЕНИЕ» записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» не нумеруется.

2.1.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки

Текст пояснительной записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста, обозначенные арабскими цифрами.

Например: 1. Общие сведения

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Например: 2.1. Фактическое состояние горных работ

Подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 2.2.1.1., 2.2.1.2., 2.2.1.3. и т. д.

Каждый пункт и подпункт записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слова в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервал.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

2.1.8. Изложение текста

Текст пояснительной записки должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных

требований в тексте должны применяться слова: «должен», «следует», «необходимо», «требуется, чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «в случае» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста, например «применяют», «указывают» и т. п.

В тексте должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если необходимо применение специфической терминологии, то перед списком литературы должен быть глоссарий – перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Глоссарий включают в содержание документа.

В тексте не допускается:

– применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

– применять произвольные словообразования;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии и соответствующими государственными стандартами;

– 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.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения. Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры.

1. Провести измерение пяти линий, каждая длиной около 5 м.
2. Измерить 15 горизонтальных углов полигона.

Недопустимо переносить на разные строки или страницы единицу физической величины от числового значения.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например 10,50; 15,75; 20,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$).

2.1.9. Требования к оформлению формул

Формулы набираются в редакторе формул, гарнитуры шрифтов: Times New Roman. При наборе формул рекомендуется использовать следующие размеры шрифтов (для формата А4): основной – кегль 16 (или 14), крупный индекс – кегль 12 (или 11); мелкий индекс – кегль 10 (или 8).

Латинские обозначения, кроме устойчивых форм, наименований типа max, min, cos, sin, tg, log, exp, det и т. д. набирают курсивом, русские, греческие обозначения и цифры – прямым шрифтом.

Математические символы в формулах набирают светлым курсивом, греческие и готические – светлым прямым. Матрицы и векторы набирают полужирным прямым. Химические символы (Cu, Mn и т. д.) – светлым прямым, сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (м, кВт, МПа и т. д.) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах всегда должны быть набраны прямым шрифтом. Перенос в формулах допускается делать на знаках соотношений (±, ≤, ≥, ... ≈), на отточии (...), на знаках (+) и (–), (×) с дублированием знака на другой строке.

Например: $f(x_1, x_2, \ldots x_n) =$

$= b_0+b_y+ \ldots +b_n.$

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в тексте. В зависимости от объема используется сквозная и индексационная нумерация формул, таблиц, рисунков. Индексационная нумерация используется, как правило, при делении текста на главы и параграфы.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывают номер раздела, затем (после точки) ставится порядковый номер формулы в данном разделе. Номер формулы заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю печатного листа.

Например:

$$\lambda \approx \frac{2\pi}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{\pi}{f\mu\gamma}}; \qquad (3.1)$$

$$\delta = \frac{1}{b}. \qquad (3.2)$$

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликация) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, пояснения каждого символа следует давать с новой строки. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример.

Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг;

V – объём образца, м^3.

Расшифровка дроби: сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе.

В формулах допускается использовать все виды скобок: (), [], {}. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Основным знаком умножения является точка на средней линии. *Она ставится*:

а) между числовыми сомножителями: $20 \cdot 75$;

б) для выделения какого-либо сомножителя: $2 \cdot 2xy \cdot z$;

в) для записи скалярного произведения векторов: $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}$;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: $a \cos x \cdot b \cos y$;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенным символом $5ab$;

б) перед скобками и после них $(b+c)(a-d)$;

в) перед дробными выражениями и после них $\alpha \dfrac{\cos \alpha}{b} \dfrac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: $\arccos \omega t$.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: $4{,}5 \times 3$ м;

б) при записи векторного произведения $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$;

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$y = (x + 2) \times$$
$$\times (x + 4)^2.$$

Расположение формул в тексте

Наиболее важные, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, интегрирования, располагают на отдельных строках, так же и все нумерованные формулы. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой. Небольшие и несложные формулы, не имеющие самостоятельного значения, размещают внутри строк текста.

На все нумерованные формулы обязательно должны быть ссылки. Они оформляются в той же графической форме, что и после формулы, т. е. арабскими цифрами в круглых скобках.

Например: в формуле (3.7); из уравнения (5.4) вытекает... и т. д.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент, поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулами ставят:

а) после обобщающего слова;

б) если этого требует построение текста, предшествующего формуле.

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием и после него:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_1 + b_2 + \ldots + b_n.$$

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (П.1).

2.1.10. Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового или графического материала или в таблице, к которой относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

2.1.11. Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1» или «Рисунок 1 – Схема полигона».

Подписи к иллюстрациям рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основного текста.

Экспликацию и легенду рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основной подписи. Экспликация обычно пишется с новой строки. Перед экспликацией ставится двоеточие, между элементами экспликации – точка с запятой.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например: Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например: Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» – при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования – в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например – «Рисунок 1 - Схема полигона».

2.1.12. Требования к оформлению таблиц

Название таблицы печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на один – два интервала.

Например:

Таблица 1 – Сводные данные.

При переносе части таблицы на другие страницы название не повторяют.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обо-

значена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Текст таблицы и выводы печатаются более мелким шрифтом, чем основной текст:

Основной текст – кегль 16 (14)
Текст таблицы – кегль 14 (12)
Текст головки таблицы – кегль 13 (11)
Примечания к таблице – кегль 13 (11).

В одноярусной головке таблицы все заголовки пишут с прописной буквы, в двух- и многоярусной головке заголовки верхнего яруса пишут с прописной буквы, а заголовки последующих ярусов – с прописной, если они грамматически не подчинены стоящему над ними заголовку верхнего яруса, и со строчной, если грамматически подчинены стоящему над ними заголовку.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, – в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

Например:
Химический состав стали должен соответствовать нормам табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав, %

Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Медь	Никель	Сера	Фосфор
			не более				
0,12 – 0,18	0,5 – 1,7	0,4 – 0,7	0,05 – 0,1	0,3	0,3	0,04	0,035

2.1.13. Требования к оформлению списка литературы

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т. д., материал которых использован при составлении пояснительной записки. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка включает следующие элементы:

– заголовок описания – фамилия, инициалы автора (авторов);

– основное заглавие – название издания (книги, статьи и т. п.);

– место издания – название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М., Ленинград – Л., Санкт-Петербург – СПб.;

– издательство – наименование издательства приводят, как правило, в сокращенной форме – Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

– год издания – обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографического описания

Издание одного автора

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Издание с количеством авторов более трех

Сидоров, А. В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / А. В. Сидоров [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 80 с.

Методические указания

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 «Маркшейдерское дело» / сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Издание под заглавием

Глубинное строение и геодинамика литосферы / под ред. А. А. Смыслова. – Л.: Недра, 1983. – 276 с.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него)

проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке, и, в необходимых случаях, – страницы, например:

[18, т. I, с.75]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[Николаев И. Н., 1965]

2.1.14. Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст пояснительной записки, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах форматов А3, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.2.1. Общие требования

Демонстрационные материалы выпускных квалификационных работ могут выполняться при необходимости в виде демонстрационных чертежей или в электронном виде (мультимедийная презентация) для демонстрации на экран с использованием мультимедийного проектора.

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения результатов выполненной работы.

2.2.2. Требования к оформлению демонстрационных материалов в электронном виде

2.2.2.1. Требования к файлу презентации

Файл должен быть создан в формате Microsoft PowerPoint. Допускается внедрение объектов в формате Microsoft Office.

Файл может быть представлен в упакованном виде, позволяющем раскрывать его стандартными приложениями операционной системы Windows.

Видеосюжеты, внедренные в презентацию, должны воспроизводиться стандартным проигрывателем Windows Media, установленным в операционной системе Windows.

При создании файла презентации необходимо использовать стандартные шрифты Windows.

2.2.2.2. Требования к носителю информации

Презентация должна быть представлена на компакт-диске (CD-R, CD-RW, DVD-R, DVD-RW в формате ISO 9660, стандарт ISO CD-ROM) или на Flash Drive (USB), распознаваемом операционной системой Windows, без установки дополнительных драйверов.

Рекомендуется при защите дипломного проекта (работы) иметь резервную копию презентации на альтернативном носителе.

2.2.3. Требования к оформлению демонстрационных чертежей

Демонстрационные чертежи выполняются на листах формата А1 белой плотной бумаги (ватмана). Рамки на листах не проводятся.

Заголовок (название чертежа) располагают в верхней части листа по центру. Размер букв заголовка 30 – 40 мм. Толщина линий при написании букв 3 – 6 мм.

На одном листе при необходимости можно размещать несколько чертежей с отдельными заголовками. При размещении на демонстрационных материалах карт, планов, разрезов и других графических документов их следует выполнять с соблюдением требований стандарта «Горная графическая документация».

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Гордеев В.А.

ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ ВКР

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА 9
1.1. ВВЕДЕНИЕ 9
1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 9
1.2.1. Общие сведения о районе месторождения (предприятия) 9
1.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ 10
1.2.2.1. Разведанность месторождения 10
1.2.2.2. Стратиграфия 10
1.2.2.3. Генезис месторождения 10
1.2.2.4. Гидрогеологическая характеристика месторождения 10
1.2.2.5. Геологоразведка и запасы месторождения 10
1.2.2.6. Инженерно-геологические условия 11
1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ 11
1.3.1. Фактическое состояние горных работ 11
1.3.2. Проектирование горных работ 11
1.3.2.1. Подземная разработка пластовых месторождений 12
1.3.2.2. Подземная разработка рудных месторождений 14
1.3.2.3. Разработка месторождения открытым способом 16
1.3.2.4. Разработка россыпных месторождений 18
1.3.2.5. Разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 19
1.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА 19
1.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ 20
1.6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 22
1.7. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ 22
1.7.1. Маркшейдерские работы на земной поверхности 23
1.7.2. Маркшейдерские работы при подземной разработке пластовых и рудных месторождений 23
1.7.3. Маркшейдерские работы при открытой разработке пластовых, рудных и россыпных месторождений 24
1.7.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 24
1.7.5. Маркшейдерские работы при строительстве горного предприятия 25
1.7.6. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений (тоннелей, станций метрополитенов, камер большого сечения 26
СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 28

2. ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ 29
2.1. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ 29
2.1.1. Общие требования 29
2.1.2. Порядок брошюровки работы 30
2.1.3. Требования к оформлению титульного листа 30
2.1.4. Требования к оформлению реферата 30
2.1.5. Требования к оформлению содержания 32
2.1.6. Требования к оформлению введения 32
2.1.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки 33
2.1.8. Изложение текста 33
2.1.9. Требования к оформлению формул 35
2.1.10. Требования к оформлению примечаний 38
2.1.11. Требования к оформлению иллюстраций 38
2.1.12. Требования к оформлению таблиц 39
2.1.13. Требования к оформлению списка литературы 41
2.1.14. Требования к оформлению приложений 42
2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 43
2.2.1. Общие требования 43
2.2.2. Требования к оформлению демонстрационных материалов в электронном виде 43
2.2.2.1. Требования к файлу презентации 43
2.2.2.2. Требования к носителю информации 44
2.2.3. Требования к оформлению демонстрационных чертежей 44

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проектирования является комплексная оценка соответствия уровня подготовки студента требованиям Государственного образовательного стандарта по программам профессионального образования квалификация горный инженер (специалист). Дипломное проектирование является завершающим этапом учебного процесса. Студент должен показать уровень знаний, соответствующий требованиям в области специальных и инженерно-экономических дисциплин, и готовность к самостоятельному решению инженерно-технических задач по разработке месторождений полезных ископаемых и производству маркшейдерских работ.

При дипломном проектировании студент руководствуется законодательством, инструкциями и нормативными документами об охране недр и окружающей природной среды. Дипломный проект должен отвечать современным требованиям и отражать новейшие достижения науки и техники.

Каждому студенту назначается руководитель дипломного проекта из числа преподавателей кафедры маркшейдерского дела. Содержание и объем дипломного проекта устанавливаются руководителем в соответствии с заданием. Задание к выпускной квалификационной работе (ВКР) специалиста оформляется на специальном бланке в течение первой недели 11-го семестра. Пример заполнения задания приведен на с. 6.

По решению кафедры отдельные студенты могут выполнять **дипломную работу**, которая носит исследовательский характер, и результаты ее используются в дальнейшем на предприятии или в научно-исследовательской работе.

Дипломный проект (работа) подготавливается к защите в течение 11-го семестра.

Дипломный проект (работа) состоит из пояснительной записки и демонстрационных материалов, которые могут быть представлены в виде демонстрационных листов или мультимедийной презентации.

Состав и ориентировочный объем разделов дипломного проекта (работы) приведены в табл. 1 и 2.

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Горнотехнологический, Заочного обучения **«УТВЕРЖДАЮ»**
(ненужное зачеркнуть)

Кафедра **маркшейдерского дела** **Заведующий кафедрой**
Специализация **«Маркшейдерское дело»** **проф., д-р техн. наук**
_____В. А. Гордеев
«___»_____20 ___ г.

ЗАДАНИЕ
ПО ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ (ВКР) СПЕЦИАЛИСТА

Студент гр. МД

_____

_____
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема дипломного проекта (работы)

_____

_____

_____

2. Содержание пояснительной записки:
2.1. Общие сведения о предприятии и геологическая характеристика месторождения.
2.2. Технология горных работ.
2.3. Мероприятия по обеспечению безопасности производства.
2.4. Технико-экономические показатели предприятия (участка).
2.5. Мероприятия по сохранности окружающей среды.
2.6. Маркшейдерские работы на предприятии (фактическое состояние и анализ).
2.7. Специальная часть ВКР.

3. Демонстрационный материал (графическая документация, рисунки, фотографии и др.) – мультимидийная презентация в программном продукте Power Point 2003 (MS Office 2003).

4. Консультанты по разделам (ФИО, кафедра, раздел**)**

_____

_____

Руководитель ВКР _____ _____
(кафедра, ФИО) **(подпись)**

Задание по ВКР получил студент _____ _____
(ФИО) **(подпись)**

Дата выдачи задания «_____»_____ 20___ г.

Дата сдачи студентом ВКР «___»_____ 20___ г.

Таблица 1

Состав и ориентировочный объем дипломного проекта

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Демонстрационный материал, кол-во слайдов
	Введение	1 – 2	–
1	Общие сведения о районе месторождения (предприятия) и его геологическая характеристика		
1.1	Общие сведения о районе месторождения	3 – 4	1 – 2
1.2	Геологическая характеристика месторождения	9 – 10	1 – 2
2	Горнотехнологическая характеристика горного предприятия		
2.1	Фактическое состояние горных работ	10 – 12	1 – 2
2.2	Проектирование горных работ	8 – 10	1 - 2
3	Экономические показатели деятельности предприятия	2 – 3	1
4	Безопасность производства	7 – 10	–
5	Воздействие горного производства на окружающую среду	8 – 10	1
6	Маркшейдерские работы на предприятии	10 – 15	2 – 5
7	Специальная часть дипломного проекта	25 – 30	3 – 4
	Заключение	1 – 2	1
	Список литературы	1 – 2	–
	Всего	85 – 100	5 – 11

Таблица 2

Ориентировочный состав и объем дипломной работы

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Кол-во слайдов
	Введение	1 – 2	–
1	Цель, задачи и актуальность исследований	2 – 5	1
2	Анализ методов и способов решения поставленных задач (обзор источников литературы)	15 – 20	3 – 5
3	Методика решения поставленных задач и последовательность их выполнения	20 – 30	3 – 5
4	Оценка эффективности полученных решений	3 - 5	1

Окончание таблицы 2

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Кол-во слайдов
	Заключение	3 – 7	–
	Список литературы	1	–
	Всего	45 – 70	7 – 12

Публичная защита дипломного проекта (работы) проводится на заседании Государственной аттестационной комиссии при наличии внутривузовских и внешней рецензий, отзыва руководителя дипломного проекта (работы).

Внутривузовские рецензии студент получает у назначенных консультантов, список которых вывешивается на доске объявлений кафедры.

Внешнюю рецензию на дипломный проект (работу) студент получает по направлению заведующего кафедрой у специалиста, который утверждается рецензентом приказом ректора университета.

Руководитель дипломного проекта (работы) в своем отзыве отмечает:

– соответствие содержания дипломного проекта (работы) дипломному заданию и наличие необходимых разделов;

– правильность принятых инженерных решений и соответствие их современному уровню развития науки и техники;

– выполнение требований, предъявляемых к оформлению пояснительной записки и графического материала дипломного проекта (работы);

– степень самостоятельности студента при решении поставленных задач, творческий характер работы.

В заключении руководитель дает общую оценку дипломного проекта (работы) в баллах.

Темой дипломного проекта (его специальной частью) может быть выбрана инженерно-техническая задача по решению актуальных вопросов маркшейдерских работ при различных стадиях производства: разведке месторождений, строительстве, эксплуатации, консервации, ликвидации горных предприятий и различных способах добычи: подземном, открытом, дражном, гидравлическом, разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа).

Темой дипломной работы может быть та же задача, но имеющая научно-исследовательское направление и в которой студент принимал непосредственное участие.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

1.1. ВВЕДЕНИЕ

Во введении излагаются задачи горнодобывающей отрасли или отдельных ее направлений на примере региона, где находится предприятие, рассматриваемое в дипломном проекте. Дается степень освоения и перспективы развития предприятия и региона. Обосновывается актуальность и специфические особенности решения задач, поставленных в специальной части дипломного проекта.

Указывается на основании каких материалов выполняется дипломный проект (по материалам, полученным на предприятии в период производственных практик или по результатам исследовательской работы, включая курсовые работы и проекты, выполненные студентом ранее).

1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.2.1. Общие сведения о районе месторождения (предприятия)

В разделе приводятся: сведения о географическом и административном положении месторождения (предприятия); промышленная освоенность района, пути сообщения, ближайшие железнодорожные станции, пристани, порты и топливно-энергетическая база; наличие местных строительных материалов, бытовое и техническое водоснабжение; климатические условия района (продолжительность зимнего периода, минимальные и максимальные температуры, среднегодовые, сезонные и месячные температуры воздуха, господствующие ветры и их направление, количество осадков по сезонам и месяцам; мощность и температура сезонной мерзлоты, продолжительность стояния снежного покрова и сезонной мерзлоты); характер рельефа и гидрографическая сеть района, влияние природных факторов на условия отработки месторождения, технико-экономические показателя региона.

1.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1.2.2.1. Разведанность месторождения

История открытия и разведки месторождения. Состав, форма и размеры по простиранию и падению, количество залежей, их форма, мощность и углы падения полезного ископаемого.

1.2.2.2. Стратиграфия

Состав и стратиграфия полезного ископаемого и вмещающих пород. Тектоника месторождения, наличие складчатых и разрывных нарушений и их элементы залегания.

1.2.2.3. Генезис месторождения

Гипотеза образования залежи, минералогический состав полезного ископаемого и его качественная характеристика.

1.2.2.4. Гидрогеологическая характеристика месторождения

Общие сведения об открытых водостоках на поверхности. Характеристика водоносных горизонтов, их количество и распределение, коэффициенты фильтрации пород. Возможные притоки подземных вод в горные выработки. Состав и количество подземных вод различных горизонтов и в целом по месторождению.

1.2.2.5. Геологоразведка и запасы месторождения

Методика разведки, объем произведенных работ и степень разведанности месторождения, сетка разведочных скважин. Методика подсчета запасов и их количество по категориям. Методы опробования, кондиции, предъявляемые к качеству полезного ископаемого со стороны потребителей. Эксплуатационная разведка.

1.2.2.6. Инженерно-геологические условия

Физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород. Устойчивость пород кровли и почвы, кливаж, крепость, кусковатость, влажность, газоносность.

Графика к разделу 1.2

1. Обзорная карта района.
2. Геологический план или план поверхности с выходом пластов под наносы с разведочными линиями и скважинами М 1:10000, 1:5000, 1:2000.
3. Продольные и поперечные геологические разрезы в масштабе плана.
4. Стратиграфическая и структурные колонки в удобном для восприятия масштабе, иллюстрации, зарисовки, схемы, диаграммы, выполненные на листах формата А4 по тексту пояснительной записки.

1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

1.3.1. Фактическое состояние горных работ

В описательной части даются краткие сведения о состоянии горных работ на предприятии: производительность (шахты, рудника, карьера), способ вскрытия месторождения, проходка капитальных подготовительных, нарезных и очистных горных выработок, применяемые системы отработки и их характеристика, транспортировка горной массы, вентиляция и водоотлив, энергоснабжение, фактические и проектные технико-экономические показатели и др.

Графика к разделу 1.3.1

План и разрезы фактического состояния горных работ на 1 января текущего года М 1:5000, 1:2000, 1:1000.

1.3.2. Проектирование горных работ

При подготовке выпускной квалификационной работы (дипломного проекта или дипломной работы) могут быть включены вопросы проектирования горных работ. Данное решение принимается

по согласованию с руководителем ВКР при оформлении задания по ВКР специалиста.

Задание на проектирование горных работ студент получает от руководителя ВКР или преподавателя-консультанта по горной части.

При этом необходимо учесть способ разработки и стадию разработки на предприятии: строительство, эксплуатация, доработка.

Тематика и объем горной части в целом должны обеспечить необходимый и достаточный материал для выполнения разделов по специальной и экономической части проекта.

1.3.2.1. Подземная разработка пластовых месторождений

Проектирование горных работ при подземной разработке пластовых месторождений *может вестись в двух вариантах*:

1. Разработка нового шахтного поля.
2. Доработка шахтного поля действующей шахты.

В обоих случаях должны быть решены следующие вопросы:

– подсчет балансовых и промышленных запасов (если этот вопрос не рассматривается в других частях проекта);

– производительность (обоснование и расчет) и срок службы шахты;

– вскрытие и подготовка шахтного поля;

– системы разработки, механизация очистных работ;

– технология и механизация проведения подготовительных и нарезных выработок.

Подсчет балансовых запасов должен быть произведен в соответствии с требованиями действующих инструкций. При этом *рассматриваются следующие вопросы*:

– выбор метода подсчета (обоснование);

– подсчет балансовых запасов в шахтном поле (на нижних горизонтах или на участке);

– построение предохранительных целиков под промплощадку, здания, сооружения, около геологических нарушений и т. д.;

– подсчет промышленных запасов шахтного поля (нижних горизонтов или участка).

При определении производительности шахты рассматривают два вопроса:

1. Обоснование и расчет производительности шахты.

2. Расчет срока службы шахты в целом и (или) отдельных горизонтов.

Вскрытие и подготовка шахтного поля включает:

– выбор способа подготовки шахтного поля (этажный, панельный, погоризонтный, комбинированный) и установление его параметров;

– обоснование способа подготовки пластов (индивидуальный или групповой);

– выбор способа вскрытия шахтного поля.

При определении системы разработки и механизации очистных работ должны быть рассмотрены следующие вопросы:

– выбор и обоснование системы разработки для всех пластов свиты;

– установление параметров системы разработки для пласта, указанного в задании;

– установление поперечного сечения всех подготовительных выработок выемочного поля по условию размещения транспортного оборудования;

– выбор механизации для выемки и транспортировки горной массы и материалов в пределах выемочного поля;

– выбор типа механизированной или индивидуальной призабойной и посадочной крепи и способа управления кровлей;

– расчет суточной добычи, объемов отдельных видов работ, штата рабочих в очистном забое и производительности труда забойного рабочего;

– составление планограммы работ и графика выхода рабочих в очистном забое;

– подсчет плановых потерь по системе разработки;

– расчет себестоимости 1 т угля по очистному забою по элементам затрат: заработная плата, материалы, электроэнергия и амортизация оборудования (это может быть произведено в разделе «Экономические расчеты»).

В конце раздела приводится сводная таблица технико-экономических показателей: мощность и угол падения пласта, подвигание очистного забоя (суточная и годовая), добыча угля (суточная и годовая), потери угля по системе разработки; расход материалов на 1000 т добычи, производительность труда рабочего очистного забоя на выход, себестоимость 1 т угля по очистному забою.

Технология и механизация проведения подготовительных выработок включает:

– определение объема подготовительных выработок в пределах выемочного поля (панели) и их характеристика;

– выбор способа проведения подготовительных выработок, расположенных в пределах выемочного поля (панели);

– выбор механизации проведения подготовительных выработок;

– выбор типа ВВ и СВ для буровзрывных работ;

– проект проведения выработки (по заданию консультанта).

Графика к разделу 1.3.2.1

Проект вскрытия и подготовки шахтного поля. Проект системы разработки и ее основные элементы. Проект проведения выработки. М 1:1000; 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.2. Подземная разработка рудных месторождений

Производительность проектируемого предприятия должна определяться с учетом горно-геологических условий по годовому понижению горных работ или по скорости подвигания очистных забоев (при горизонтальном или пологом залегании рудного тела).

Срок службы рудника устанавливается с учетом развития и затухания горных работ. Полученные значения проверяются по нормативным документам. При обосновании режима работы предприятия устанавливается: количество рабочих дней в году, количество смен в сутки, продолжительность рабочей недели, смены, общая организация подземных работ и работ на поверхности.

Система разработки выбирается путем технико-экономических расчетов с учетом постоянных и переменных факторов, влияющих на способ отработки. При этом определяются основные параметры: высота блока (этажа), его длина и ширина, показатели извлечения и др.

При проектировании вскрытия вновь разрабатываемого месторождения определяется: тип подъемных сосудов и размеры рудоподъемного ствола; разрабатывается схема размещения оборудования в стволе; определяется количество, параметры и расположение вентиляционно-вспомогательных шахтных стволов; разрабатывается схема околоствольного двора; организация подземного дробильного комплекса; разрабатывается схема подготовки горизонтов; рассчиты-

вается и обосновывается высота этажа; определяется число этажей в шахтном поле; обосновывается целесообразность строительства концентрационных горизонтов и число этажей, объединяемых основным концентрационным горизонтом.

На основе проведенных расчетов конструируется несколько конкурентоспособных вариантов вскрытия, из которых путем технико-экономического сравнения выбирается лучший.

При проектировании вскрытия глубоких горизонтов действующего предприятия учитываются существующие вскрывающие выработки. При этом проводится проверка главных выработок вскрытия при отработке глубоких горизонтов по производительности подъема, вентиляции и рассматривается их сохранность при сдвижении горных пород. Если хотя бы одному из указанных условий вскрывающие выработки не удовлетворяют, то рассматривается вопрос об их реконструкции или строительстве новых.

Схема подготовки одного из горизонтов разрабатывается на основе горно-геологических условий, годовой производительности, принятой системы разработки и вида транспорта. Поперечные размеры горизонтальных подготовительных выработок определяются в зависимости от типа (параметров) транспортных средств и возможного вида крепления, а размеры восстающих выработок – в зависимости от их назначения и способа проходки.

Проект проведения подготовительной выработки включает в себя: определение сечения выработки в проходке, расчет параметров буровзрывных работ, уборку горной массы, крепление и вентиляцию, устройство путей, расход материалов и энергии, продолжительность цикла и скорость продвигания выработки.

Параметры выемочного блока определяются по горно-техническим условиям месторождения и параметрам систем разработки. При этом определяются: параметры и запасы элементов блока (камера, междукамерный целик, потолочина, днище); схема подготовки и нарезки блока; параметры подготовительных и нарезных выработок; объем подготовительно-нарезных работ по руде и породе; запасы блока (с разбивкой по элементам); основные производственные процессы по каждому элементу блока и схема их механизации; схема вентиляции блока; основные вопросы безопасности труда при отработке блока.

Графика к разделу 1.3.2.2

Схема вскрытия месторождения. План основного откаточного горизонта. Сечения основных вскрывающих выработок. План очистной выемки с разрезами вкрест простирания. План (планы) рабочего горизонта М 1:1000; 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.3. Разработка месторождения открытым способом

Проектирование горных работ может вестись по двум направлениям:

1. Технология и комплексная механизация разработки нового месторождения.
2. Технология и комплексная механизация разработки при доработке месторождения.

При определении границ карьерного поля, запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши, производственной мощности карьера должны быть рассчитаны:

– углы погашения бортов карьера;
– глубина и проектный контур карьера;
– запасы полезного ископаемого и объемы вскрыши;
– производственная мощность и срок отработки карьера;
– режим работы карьера и организация работ.

Вскрытие месторождения проектируется на три этапа: год сдачи в эксплуатацию, год наибольшего развития работ (по указанию консультанта) и на конец отработки месторождения (или очереди). Способ вскрытия устанавливается в зависимости от рельефа местности, принятого вида транспорта, производственной мощности и системы разработки.

Выполняются расчеты капитальных и разрезных траншей, устанавливается место размещения капитальных траншей, выбирается способ подготовки новых горизонтов.

Выбор и обоснование системы разработки производятся во взаимосвязи с принятым способом вскрытия, выбранной схемой комплексной механизации и принятыми моделями и типоразмерами основного горно-транспортного оборудования. При этом рассчитываются элементы системы разработки: высота породных и добычных уступов, ширина экскаваторной заходки, длина и количество экскаваторных блоков на уступах, параметры рабочей зоны карьера.

Механизация горных работ включает расчеты схем комплексной механизации (классификация В. В. Ржевского) и выбор способа подготовки пород к выемке и выемочно-погрузочного оборудования, обоснование вида карьерного транспорта и способа отвалообразования вскрышных пород. Одновременно выбирают: технологию производства вспомогательных станций, зарядку и забойку скважин, разделку негабарита, перекладку железнодорожных путей в забоях, планировку площадок, устройство временных автодорог, профилактику подвижного состава против примерзания и прилипания транспортируемых грузов. Здесь же рассчитывают производительность и парк оборудования по основным технологическим процессам, определяют техническую и эксплуатационную производительность (сменная и годовая) буровых станков, выемочно-погрузочного оборудования, транспортных и отвальных машин, определяют парк горно-транспортного оборудования (рабочий и списочный), приводятся сведения о схеме управления карьером, охране природы и рекультивации площадей, нарушенных горными работами.

В заключении раздела приводят результаты принятых проектных решений, анализ основных технико-экономических показателей по сравнению с фактическими (достигнутыми на действующем карьере) и лучшими в данной отрасли промышленности. Делают вывод о технической и экономической (с привлечением результатов экономической части) целесообразности разработки (доработки) месторождения открытым способом.

Графика к разделу 1.3.2.3

План карьера на момент сдачи в эксплуатацию (на момент наибольшего развития горных работ или на конец отработки) М 1:5000, 1:2000, 1: 1000. Характерный разрез по плану карьера (обычно в масштабе плана), конструкция зарядов скважин М 1:50, 1:25, взрывные блоки на уступах и при проходке траншей со схемой коммутации зарядов М 1:500, 1:1000. План и поперечный разрез капитальной или разрезной траншеи с оборудованием М 1:500, 1:200. План и поперечный разрез отвального забоя с размещением оборудования М 1:500, 1:200.

При выполнении темы по доработке месторождения вместо планов на момент сдачи (наибольшего развития работ) выполняется план фактического состояния горных работ на карьере М 1:5000,

1:2000, 1:1000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.4. Разработка россыпных месторождений

В проектной части рассматриваются следующие вопросы:

– вскрытие россыпи при дражном способе, основание и размеры котлована;

– вскрытие россыпи при гидравлическом способе разработки, горнокапитальные работы, расположение канав по осушению и обводнению долины россыпи;

– расчет конструкции плотин, способ их сооружения, объем и стоимость земляных плотин;

– способы проходки канав и котлованов при гидравлическом способе разработки, их размеры и стоимость проходок;

– подготовительные работы, методы очистки полигона от леса и вскрыши торфов;

– система дренажных разработок, ширина котлована и угол маневрирования, способ отработки уступа, углы откосов галечных и эфельных отвалов;

– рабочие размеры драги, списочный состав на драге, расход электроэнергии, топлива, материалов и т. д., число рабочих дней в году, начало и конец сезона, ремонтные дни;

– система разработки гидравлическим способом, расположение гидромониторов в забое, ширина забоя, приходящаяся на один гидромонитор, расположение песковых колодцев и почвенных канав, частота передвижки гидромониторов и песковых колодцев, размеры и уклоны почвенных канав, способы их проходки;

– схема обогащения, тип и размеры применяемой обогатительной аппаратуры, обслуживающий штат, организация промывки и сполоска, график сполоска, контроль процесса промывки, коэффициент извлечения, расход рабочей силы и материалов;

– транспортирование песков на гидравлических разработках, расстояние транспортировки песков и высота подъема, тип землесоса, мощность и тип элеватора, способ отвалообразования и его организация;

– охрана речной системы от загрязнения и рекультивация отработанных площадей;

– общая организация работ (штат предприятия, структура себестоимости добычи 1 м^3 горной массы и др.).

Графика к разделу 1.3.2.4

План месторождения с нанесением элементов системы разработки и основных гидротехнических сооружений, два-три поперечных разреза (по разведочным линиям). Чертеж по проверке соответствия конструктивных параметров драги размерам россыпи. Иллюстрации, рисунки, схемы, фотографии по тексту пояснительной записки.

1.3.2.5. Разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Задание на проектирование технологии добычи углеводородного сырья студент получает от руководителя дипломного проекта. Исходным материалом для выполнения данного раздела является материал, полученный в период производственной практики студента.

Проектирование технологических работ может вестись в следующих направлениях:

1. Технология разведки или доразведки месторождения.
2. Технология разработки нового месторождения.
3. Технология доработки месторождения действующего предприятия.
4. Технология консервации или ликвидации месторождения.

Во всех случаях должны быть решены следующие вопросы:

– подсчет балансовых и промышленных запасов;

– расчет производительности и срока службы предприятия;

– вскрытие и подготовка к добыче месторождения;

– система разработки и механизация добычи полезного ископаемого;

– организация работ при строительстве буровой вышки.

Графика к разделу 1.3.2.5

Проект разведки (доразведки) месторождения. Проект разработки месторождения. М 1:25000 – 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Задание по данному разделу дипломного проекта выдается руководителем ВКР или консультантом-преподавателем кафедры без-

опасности горного производства. Обязательным условием допуска студента к защите дипломного проекта является детальная проработка вопросов техники безопасности, промсанитарии и противопожарной безопасности на всех этапах проектирования. Все технические и технологические решения, принимаемые в дипломном проекте, должны решаться в строгом соответствии с требованиями ГОСТ, ППБ, ПБ и другой нормативной и директивной документации. Решения по охране труда, принятые применительно к частным техническим и технологическим задачам дипломного проекта, излагаются в соответствующих главах его пояснительной записки: «Вскрытие месторождения», «Система разработки», «Маркшейдерские работы» и т. п. Раздел «Безопасность производства» является синтезирующим, который включает сводку (перечень) конкретных обобщенных материалов по охране труда, принятых в отдельных разделах проекта, а также основные общешахтные или карьерные мероприятия по охране труда, решаемые применительно к условиям проектируемой шахты, карьера, нефтегазодобывающего предприятия.

В целом раздел должен содержать разработанные или принятые дипломантом *мероприятия по охране труда в следующей последовательности*: общая характеристика условий и охраны труда и общие требования безопасности, мероприятия по технике безопасности, мероприятия по производственной санитарии, мероприятия по противопожарной защите, профилактике и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Руководством для выполнения каждой части данного раздела являются методические разработки кафедры безопасности горного производства.

Демонстрационных чертежей по разделу обычно не выполняется. Необходимые иллюстрации приводятся на чертежах других разделов или в пояснительной записке.

1.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Целью данного раздела является определение производственной себестоимости и затрат маркшейдерской службы на одну тонну добычи. Основой для составления являются горно-геологические условия шахты, рудника или карьера (годовая производительность предприятия или участка, выбранные в проекте способ вскрытия

и системы разработки, режим работы, структура управления, применяемая техника, приборы и оборудование). Экономические расчеты выполняются после горной части дипломного проекта, так как составляемый при этом техпромфинплан основывается на годовой производительности, определенной в разделе 1.3.

Задание по данному разделу студент получает у преподавателя-консультанта кафедры экономики и менеджмента.

В техпромфинплан входят: сметы на приобретение и монтаж оборудования, таблицы по расчету штата и фонда зарплаты трудящихся, расход материалов, энергии и амортизации оборудования, содержание цехового персонала. По данным таблиц составляется калькуляция себестоимости добычи и определяются основные технико-экономические показатели.

В разделе рассматриваются следующие вопросы:

– смета на приобретение и монтаж оборудования;

– расчет штата и фонда заработной платы рабочих;

– расчет расхода материалов, электроэнергии и сжатого воздуха;

– расчет амортизации оборудования;

– расчет штата и фонда заработной платы участкового персонала;

– основные технико-экономические показатели (годовая производительность, списочный штат рабочих, производительность труда рабочего, годовой и удельный расходы электроэнергии, среднемесячная заработная плата, себестоимость 1 т полезного ископаемого);

– расчет стоимости маркшейдерского обслуживания на 1 т добычи полезного ископаемого.

Затраты на маркшейдерское обслуживание складываются из следующих элементов: основная заработная плата инженерно-технических работников и рабочих маркшейдерского отдела с учетом районного коэффициента; начисления на заработную плату; расход материалов; погашения износа малоценного быстроизнашивающегося инвентаря, приборов и инструментов; амортизация основных средств и прочие расходы. По перечисленным элементам составляется калькуляция себестоимости.

Порядок выполнения указанных расчетов изложен в методической разработке по выполнению экономической части дипломного проекта, составленной кафедрой экономики и организации производства.

1.6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Раздел состоит из пояснительной записки с расчетами, рисунков и демонстрационных чертежей. В пояснительной записке приводятся: исходные данные; определение основных направлений воздействия горного предприятия на окружающую природную среду; выбор и обоснование природоохранных мер; расчет технико-экономических показателей природоохранных работ и ущерба от нарушения окружающей природной среды. В разделе рассматриваются законодательные и нормативные требования к состоянию водной и воздушной среды, к рекультивации нарушенных промышленными предприятиями земель применительно к условиям данного предприятия.

Конкретное задание на выполнение раздела дается руководителем дипломного проектирования. Наличие и количество демонстрационных чертежей по разделу определяется в процессе выполнения заданий.

Руководством для выполнения каждой части раздела являются методические разработки кафедры инженерной экологии.

1.7. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

В разделе дается описание и анализ фактического состояния маркшейдерско-геодезических работ на предприятии в зависимости от вида добычи (подземной, открытой, нефти и газа) и стадии развития горных работ (разведка, доразведка, строительство, эксплуатация, консервация, ликвидация).

Основным критерием оценки фактического состояния маркшейдерских работ на предприятии является сравнительный анализ их соответствия требованиям Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Описание и анализ маркшейдерских работ выполняется в следующей последовательности:

– маркшейдерские работы на земной поверхности;
– маркшейдерские съемочные сети;
– маркшейдерские съемочные работы;

– ведение горно-графической документации;

– организация маркшейдерских работ.

Ниже приводится краткое содержание подразделов при различных видах добычи.

1.7.1. Маркшейдерские работы на земной поверхности

На земной поверхности горного предприятия независимо от вида добычи и стадии его развития выполняется определенный комплекс маркшейдерско-геодезических работ, обеспечивающий эффективную и безопасную работу предприятия. *Перечень основных видов работ*:

– создание и реконструкция маркшейдерских опорных сетей на поверхности (схема сети, кем и когда создана, соответствие современным требованиям по точности и надежности), необходимость дополнительного развития для обеспечения работы шахты (карьера) в настоящее время и в будущем;

– топографическая съемка земной поверхности и предъявляемые к ней требования. Способы съемки, точность и полнота содержания топографических планов земной поверхности;

– съемка складов полезных ископаемых, отвалов пород, хвосто- и шламохранилищ. Методы определения объемов складов и отвалов;

– маркшейдерские работы при рекультивации земель, нарушенных горными работами.

1.7.2. Маркшейдерские работы при подземной разработке пластовых и рудных месторождений

Описание и анализ маркшейдерских работ в шахте:

– подземные маркшейдерские опорные сети как главная полигонометрическая основа для выполнения всех видов съемки в шахте. Ориентирование и центрирование опорных сетей, угловые и линейные измерения, обработка подземных опорных сетей. Определение высот пунктов опорной сети;

– подземные маркшейдерские съемочные сети – основа для съемки горных выработок. Теодолитные, угломерные и буссольные ходы. Угловые и линейные измерения. Вычисление координат пунктов съемочных сетей. Определение высот пунктов съемочных сетей;

– маркшейдерские подземные съемочные работы, их основные виды и методика выполнения. Съемка подготовительных, нарезных выработок, взрывных скважин. Вертикальная съемка откаточных (рельсовых) и других транспортных путей. Съемка очистных забоев, камер и пустот;

– задание направления горным выработкам и контроль их проходки.

1.7.3. Маркшейдерские работы при открытой разработке пластовых, рудных и россыпных месторождений

Описание и анализ маркшейдерских работ в карьере (разрезе, дражном или гидравлическом полигоне):

– съемочные сети: способы, схемы, методика измерений и вычисление плановых координат пунктов съемочных сетей. Определение высот пунктов съемочных сетей;

– способы маркшейдерской съемки, периодичность ее выполнения, применяемые приборы и оборудование, комплекс полевых и камеральных работ, проводимых для определения положения горных выработок в плане и по высоте;

– маркшейдерские работы при проходке траншей, разбивке и съемке транспортных путей, при проведении буровзрывных работ;

– съемка отвалов вскрышных пород и складов полезного ископаемого.

1.7.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Описание и анализ маркшейдерских работ при разработке нефти и газа включает комплекс маркшейдерских работ на месторождениях, подземных хранилищах сырья, разведочных площадях и отдельных участках.

Критериями оценки фактического производства работ является их сравнение с требованиями технического проекта или программой маркшейдерских работ, утвержденными руководством организации и согласованными в установленном порядке.

Согласно указанным документам, в *дипломном проекте необходимо представить*:

– маркшейдерскую картографическую документацию, отображающую рельеф, гидрографию, населенные пункты, схему государственной геодезической и маркшейдерской сети, инженерные коммуникации, инженерные сооружения объектов по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;

– схему и методику создания опорных и съемочных сетей;

– маркшейдерско-геодезическую съемку с указанием погрешности определения положения на плане контуров снимаемых объектов относительно пунктов съемочного обоснования;

– подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру, решение задач переноса в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин и других сооружений;

– плановую и высотную привязку устьев скважин после монтажа буровой установки;

– анализ и оценку точности определения планового и высотного положения устьев скважин относительно пунктов съемочной сети;

– геомеханический мониторинг за осадками и деформациями земной поверхности и построенными на ней объектами. Количественную оценку геодинамических полигонов. Гидрогеологические и геокриологические исследования.

1.7.5. Маркшейдерские работы при строительстве горного предприятия

При строительстве горных предприятий маркшейдерские работы выполняются в строгом соответствии с проектной документацией и *включают*:

– проверку числовых значений и графической части проектных чертежей. Перенесение геометрических элементов проекта в натуру с пунктов маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса на шахтной поверхности;

– работы при возведении зданий, сооружений и копров. Проверка правильности установки подъемных машин;

– работы при проходке вертикальных шахтных стволов, монтаж армировки;

– работы при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок, при проходке встречными забоями.

1.7.6. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений (тоннелей, станций метрополитенов, камер большого сечения)

При строительстве тоннелей, станций метрополитенов и других *подземных сооружений маркшейдерско-геодезические работы* проводят в соответствии с проектной документацией с соблюдением требований инструктивных документов и *включают*:

– развитие маркшейдерско-геодезического обоснования (триангуляция, трилатерация или заменяющая их полигонометрия) без последующего сгущения ходами основной полигонометрии или при последующем сгущении для тоннелей, сооружаемых через порталы и штольни, а также для тоннелей, сооруженных через шахтные стволы. Оценку точности планового и высотного положения пунктов;

– схемы и методику проложения подходной полигонометрии от пунктов основной полигонометрии или от пунктов сети высшего порядка к шахтным стволам или порталам и штольням для производства ориентировок и различных разбивочных работ на промышленной площадке;

– способы ориентирования подземных маркшейдерских съемок с разработкой специализированных методик;

– схемы и методику создания подземной полигонометрии, состоящей из подходной – от шахтного ствола до основной трассы тоннеля, и рабочей – по перегонному тоннелю для производства разбивочных работ и задания направления проходки тоннеля, основной оси для контроля отклонения проходки тоннеля;

– маркшейдерские работы при сооружении тоннеля горным, щитовым способами или с помощью проходческих комплексов;

– наблюдения за деформациями дневной поверхности и подземных сооружений в процессе их строительства и эксплуатации;

– производство исполнительной съемки сооружений и составление исполнительной документации.

Графика к разделу 1.7

Демонстрационный материал по данному разделу может быть выполнен отдельно или совмещен с демонстрационным материалом разделов 1.2 и 1.3, т. е. необходимая информация и иллюстрации указываются или на геологическом плане, или на плане фактического со-

стояния горных работ, или на том и другом. Основная часть иллюстраций приводится в пояснительной записке (формат А4).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основным материалом для выбора темы специальной части дипломного проекта являются задачи производства, решением которых дипломник занимался в период производственных и преддипломной практик. Частичное решение этих задач могло быть выполнено студентом в курсовых работах и проектах. Тема специальной части проекта выбирается студентом самостоятельно по согласованию с руководителем и указывается в задании на дипломное проектирование. Объем и порядок ее выполнения определяется руководителем проекта. Специальная часть составляет около 30 % объема пояснительной записки.

В специальной части проекта рассматриваются наиболее актуальные вопросы, требующие подробных проектных разработок.

Основными направлениями дипломных проектов могут быть:

– развитие и совершенствование методики маркшейдерских работ в свете научно-технического прогресса;

– проект маркшейдерского обеспечения сбойки горных выработок;

– геометризация месторождения и горно-геометрический анализ горного производства;

– разработка и исследование новых приборов и инструментов;

– учет движения запасов, добычи, потерь и разубоживания;

– сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок;

– устойчивость бортов карьеров и отвалов;

– горное давление, горные удары и меры борьбы с ними;

– планирование развития горных работ;

– мероприятия по охране природы и недр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе «Заключение» дипломного проекта (дипломной работы) приводятся основные результаты принятых проектных решений, технико-экономические показатели и оценка полученных результатов.

Дается оценка уровня полученных в проекте основных результатов по сравнению с фактическими, средним уровнем и лучшими достижениями данной отрасли горной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приводится полный перечень фактически использованных литературных источников по общепринятой в технической и специальной литературе форме: автор, наименование источника, издательство и год издания.

В тексте пояснительной записки на каждый литературный источник в обязательном порядке делается ссылка.

2. ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

2.1. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2.1.1. Общие требования

Дипломные проекты (работы) оформляются согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 (2001) «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.850 (851 - 857) –75 «Горная графическая документация».

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода компьютера.

Пояснительная записка оформляется на листах белой писчей бумаги формата А4. Для данного формата следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При наборе текста рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифта Times New Roman Cyr. Размер основного шрифта – кегль 14 (или 16), межстрочный интервал – 1,5 (или 1,0). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

– все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом;

– перед знаками препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел;

– между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять один пробел (352 МПа, 40 м, 10 % и т. д.);

– при наборе должны различаться тире (–) и дефисы (-);

– между инициалами, после инициалов (перед фамилией), перед сокращениями и между ними ставится пробел (1999 г., т. д., т. е., Д. Н. Оглоблин и т. д.);

– выделения курсивом, полужирным, прописные, надстрочные и подстрочные буквы и цифры обеспечиваются средствами Word.

Нумерация страниц и приложений должна быть сквозная. Номера страниц проставляются внизу справа.

2.1.2. Порядок брошюровки работы

Пояснительная записка брошюруется в следующей последовательности: титульный лист, задание по дипломному проектированию выпускной квалификационной работы, реферат, содержание, введение, основные разделы, заключение, список литературы, приложения.

2.1.3. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом дипломного проекта (работы). Титульный лист выполняют на листах формата А4.

Пример оформления титульного листа приведен ниже (с. 30).

2.1.4. Требования к оформлению реферата

Слово "РЕФЕРАТ" записывают прописными буквами по центру строки.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример оформления реферата.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа специалиста – 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

ОПОРНОЕ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, КАРЬЕР, ПОЛИГОНОМЕТРИЯ, ТРИАНГУЛЯЦИЯ, ТРИЛАТЕРАЦИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, ТОЧНОСТЬ.

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа методов создания опорного маркшейдерско-геодезического обоснования на карьерах.

Работы включали изучение технической литературы, предрасчет точности создания опорного обоснования различными методами.

В результате работы проанализированы эргономические и точностные характеристики современных методов создания опорного маркшейдерско-геодезического обоснования на карьерах.

Пример оформления титульного листа.

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

Кафедра маркшейдерского дела

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
профессор, д-р техн. наук
_____ Гордеев В. А.
« 14 » мая 2018 г.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

Выпускная квалификационная работа специалиста

Руководитель,
ФИО (подпись)

Исполнитель, студент,
группы МД-13-1,
ФИО (подпись)

Екатеринбург – 2018

2.1.5. Требования к оформлению содержания

Содержание включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и страницы.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записываются строчными буквами.

Пример содержания приведен ниже.

Пример оформления содержания.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения 6
1.1 Общие сведения о районе месторождении 6
1.2 Геологическая характеристика месторождения 10
1.3 Гидрогеологические условия 14
2 Горнотехническая характеристика разработки месторождения 17
2.1 Фактическое состояние горных работ 18
2.2 Проект доработки горизонта 260 м 24
3 Безопасность производства 32
4 Экономические расчеты 32
5 Оценка воздействия горного производства на окружающую среду 46
6 Маркшейдерские работы при разработке месторождения 69
7 Специальная часть. Реконструкция опорных и съемочных сетей в шахте 75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема опорной сети 107

2.1.6. Требования к оформлению введения

Слово «ВВЕДЕНИЕ» записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» не нумеруется.

2.1.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки

Текст пояснительной записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста, обозначенные арабскими цифрами.

Например: 1. Общие сведения

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Например: 2.1. Фактическое состояние горных работ

Подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 2.2.1.1., 2.2.1.2., 2.2.1.3. и т. д.

Каждый пункт и подпункт записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слова в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервал.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

2.1.8. Изложение текста

Текст пояснительной записки должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных

требований в тексте должны применяться слова: «должен», «следует», «необходимо», «требуется, чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «в случае» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста, например «применяют», «указывают» и т. п.

В тексте должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если необходимо применение специфической терминологии, то перед списком литературы должен быть глоссарий – перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Глоссарий включают в содержание документа.

В тексте не допускается:

– применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

– применять произвольные словообразования;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии и соответствующими государственными стандартами;

– 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.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения. Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры.

1. Провести измерение пяти линий, каждая длиной около 5 м.
2. Измерить 15 горизонтальных углов полигона.

Недопустимо переносить на разные строки или страницы единицу физической величины от числового значения.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например 10,50; 15,75; 20,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$).

2.1.9. Требования к оформлению формул

Формулы набираются в редакторе формул, гарнитуры шрифтов: Times New Roman. При наборе формул рекомендуется использовать следующие размеры шрифтов (для формата А4): основной – кегль 16 (или 14), крупный индекс – кегль 12 (или 11); мелкий индекс – кегль 10 (или 8).

Латинские обозначения, кроме устойчивых форм, наименований типа max, min, cos, sin, tg, log, exp, det и т. д. набирают курсивом, русские, греческие обозначения и цифры – прямым шрифтом.

Математические символы в формулах набирают светлым курсивом, греческие и готические – светлым прямым. Матрицы и векторы набирают полужирным прямым. Химические символы (Cu, Mn и т. д.) – светлым прямым, сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (м, кВт, МПа и т. д.) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах всегда должны быть набраны прямым шрифтом. Перенос в формулах допускается делать на знаках соотношений (±, ≤, ≥, ... ≈), на отточии (...), на знаках (+) и (–), (×) с дублированием знака на другой строке.

Например: $f(x_1, x_2, \ldots x_n) =$

$= b_0+b_y+ \ldots +b_n.$

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в тексте. В зависимости от объема используется сквозная и индексационная нумерация формул, таблиц, рисунков. Индексационная нумерация используется, как правило, при делении текста на главы и параграфы.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывают номер раздела, затем (после точки) ставится порядковый номер формулы в данном разделе. Номер формулы заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю печатного листа.

Например:

$$\lambda \approx \frac{2\pi}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{\pi}{f\mu\gamma}}; \qquad (3.1)$$

$$\delta = \frac{1}{b}. \qquad (3.2)$$

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликация) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, пояснения каждого символа следует давать с новой строки. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример.

Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг;

V – объём образца, м^3.

Расшифровка дроби: сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе.

В формулах допускается использовать все виды скобок: (), [], {}. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Основным знаком умножения является точка на средней линии. *Она ставится*:

а) между числовыми сомножителями: $20 \cdot 75$;

б) для выделения какого-либо сомножителя: $2 \cdot 2xy \cdot z$;

в) для записи скалярного произведения векторов: $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}$;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: $a \cos x \cdot b \cos y$;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенным символом $5ab$;

б) перед скобками и после них $(b+c)(a-d)$;

в) перед дробными выражениями и после них $\alpha \dfrac{\cos \alpha}{b} \dfrac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: $\arccos \omega t$.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: $4{,}5 \times 3$ м;

б) при записи векторного произведения $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$;

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$y = (x + 2) \times$$
$$\times (x + 4)^2.$$

Расположение формул в тексте

Наиболее важные, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, интегрирования, располагают на отдельных строках, так же и все нумерованные формулы. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой. Небольшие и несложные формулы, не имеющие самостоятельного значения, размещают внутри строк текста.

На все нумерованные формулы обязательно должны быть ссылки. Они оформляются в той же графической форме, что и после формулы, т. е. арабскими цифрами в круглых скобках.

Например: в формуле (3.7); из уравнения (5.4) вытекает... и т. д.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент, поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулами ставят:

а) после обобщающего слова;

б) если этого требует построение текста, предшествующего формуле.

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием и после него:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_1 + b_2 + \ldots + b_n.$$

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (П.1).

2.1.10. Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового или графического материала или в таблице, к которой относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

2.1.11. Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1» или «Рисунок 1 – Схема полигона».

Подписи к иллюстрациям рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основного текста.

Экспликацию и легенду рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основной подписи. Экспликация обычно пишется с новой строки. Перед экспликацией ставится двоеточие, между элементами экспликации – точка с запятой.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например: Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например: Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» – при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования – в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например – «Рисунок 1 - Схема полигона».

2.1.12. Требования к оформлению таблиц

Название таблицы печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на один – два интервала.

Например:

Таблица 1 – Сводные данные.

При переносе части таблицы на другие страницы название не повторяют.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обо-

значена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Текст таблицы и выводы печатаются более мелким шрифтом, чем основной текст:

Основной текст – кегль 16 (14)
Текст таблицы – кегль 14 (12)
Текст головки таблицы – кегль 13 (11)
Примечания к таблице – кегль 13 (11).

В одноярусной головке таблицы все заголовки пишут с прописной буквы, в двух- и многоярусной головке заголовки верхнего яруса пишут с прописной буквы, а заголовки последующих ярусов – с прописной, если они грамматически не подчинены стоящему над ними заголовку верхнего яруса, и со строчной, если грамматически подчинены стоящему над ними заголовку.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, – в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

Например:
Химический состав стали должен соответствовать нормам табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав, %

Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Медь	Никель	Сера	Фосфор
			не более				
0,12 – 0,18	0,5 – 1,7	0,4 – 0,7	0,05 – 0,1	0,3	0,3	0,04	0,035

2.1.13. Требования к оформлению списка литературы

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т. д., материал которых использован при составлении пояснительной записки. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка включает следующие элементы:

– заголовок описания – фамилия, инициалы автора (авторов);

– основное заглавие – название издания (книги, статьи и т. п.);

– место издания – название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М., Ленинград – Л., Санкт-Петербург – СПб.;

– издательство – наименование издательства приводят, как правило, в сокращенной форме – Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

– год издания – обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографического описания

Издание одного автора

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Издание с количеством авторов более трех

Сидоров, А. В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / А. В. Сидоров [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 80 с.

Методические указания

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 «Маркшейдерское дело» / сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Издание под заглавием

Глубинное строение и геодинамика литосферы / под ред. А. А. Смыслова. – Л.: Недра, 1983. – 276 с.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него)

проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке, и, в необходимых случаях, – страницы, например:

[18, т. I, с.75]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[Николаев И. Н., 1965]

2.1.14. Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст пояснительной записки, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах форматов А3, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.2.1. Общие требования

Демонстрационные материалы выпускных квалификационных работ могут выполняться при необходимости в виде демонстрационных чертежей или в электронном виде (мультимедийная презентация) для демонстрации на экран с использованием мультимедийного проектора.

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения результатов выполненной работы.

2.2.2. Требования к оформлению демонстрационных материалов в электронном виде

2.2.2.1. Требования к файлу презентации

Файл должен быть создан в формате Microsoft PowerPoint. Допускается внедрение объектов в формате Microsoft Office.

Файл может быть представлен в упакованном виде, позволяющем раскрывать его стандартными приложениями операционной системы Windows.

Видеосюжеты, внедренные в презентацию, должны воспроизводиться стандартным проигрывателем Windows Media, установленным в операционной системе Windows.

При создании файла презентации необходимо использовать стандартные шрифты Windows.

2.2.2.2. Требования к носителю информации

Презентация должна быть представлена на компакт-диске (CD-R, CD-RW, DVD-R, DVD-RW в формате ISO 9660, стандарт ISO CD-ROM) или на Flash Drive (USB), распознаваемом операционной системой Windows, без установки дополнительных драйверов.

Рекомендуется при защите дипломного проекта (работы) иметь резервную копию презентации на альтернативном носителе.

2.2.3. Требования к оформлению демонстрационных чертежей

Демонстрационные чертежи выполняются на листах формата А1 белой плотной бумаги (ватмана). Рамки на листах не проводятся.

Заголовок (название чертежа) располагают в верхней части листа по центру. Размер букв заголовка 30 – 40 мм. Толщина линий при написании букв 3 – 6 мм.

На одном листе при необходимости можно размещать несколько чертежей с отдельными заголовками. При размещении на демонстрационных материалах карт, планов, разрезов и других графических документов их следует выполнять с соблюдением требований стандарта «Горная графическая документация».

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б.П., Гордеев В.А.

ЗАЩИТА ВКР

Методические указания

для обучающихся специальности 21.05.04 «Горное дело»

направленность «Маркшейдерское дело»

очного и заочного обучения

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА 9
1.1. ВВЕДЕНИЕ 9
1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 9
1.2.1. Общие сведения о районе месторождения (предприятия) 9
1.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ 10
1.2.2.1. Разведанность месторождения 10
1.2.2.2. Стратиграфия 10
1.2.2.3. Генезис месторождения 10
1.2.2.4. Гидрогеологическая характеристика месторождения 10
1.2.2.5. Геологоразведка и запасы месторождения 10
1.2.2.6. Инженерно-геологические условия 11
1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ 11
1.3.1. Фактическое состояние горных работ 11
1.3.2. Проектирование горных работ 11
1.3.2.1. Подземная разработка пластовых месторождений 12
1.3.2.2. Подземная разработка рудных месторождений 14
1.3.2.3. Разработка месторождения открытым способом 16
1.3.2.4. Разработка россыпных месторождений 18
1.3.2.5. Разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 19
1.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА 19
1.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ 20
1.6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 22
1.7. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ 22
1.7.1. Маркшейдерские работы на земной поверхности 23
1.7.2. Маркшейдерские работы при подземной разработке пластовых и рудных месторождений 23
1.7.3. Маркшейдерские работы при открытой разработке пластовых, рудных и россыпных месторождений 24
1.7.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа) 24
1.7.5. Маркшейдерские работы при строительстве горного предприятия 25
1.7.6. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений (тоннелей, станций метрополитенов, камер большого сечения 26
СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 28

2. ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ 29
2.1. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ 29
2.1.1. Общие требования 29
2.1.2. Порядок брошюровки работы 30
2.1.3. Требования к оформлению титульного листа 30
2.1.4. Требования к оформлению реферата 30
2.1.5. Требования к оформлению содержания 32
2.1.6. Требования к оформлению введения 32
2.1.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки 33
2.1.8. Изложение текста 33
2.1.9. Требования к оформлению формул 35
2.1.10. Требования к оформлению примечаний 38
2.1.11. Требования к оформлению иллюстраций 38
2.1.12. Требования к оформлению таблиц 39
2.1.13. Требования к оформлению списка литературы 41
2.1.14. Требования к оформлению приложений 42
2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 43
2.2.1. Общие требования 43
2.2.2. Требования к оформлению демонстрационных материалов в электронном виде 43
2.2.2.1. Требования к файлу презентации 43
2.2.2.2. Требования к носителю информации 44
2.2.3. Требования к оформлению демонстрационных чертежей 44

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проектирования является комплексная оценка соответствия уровня подготовки студента требованиям Государственного образовательного стандарта по программам профессионального образования квалификация горный инженер (специалист). Дипломное проектирование является завершающим этапом учебного процесса. Студент должен показать уровень знаний, соответствующий требованиям в области специальных и инженерно-экономических дисциплин, и готовность к самостоятельному решению инженерно-технических задач по разработке месторождений полезных ископаемых и производству маркшейдерских работ.

При дипломном проектировании студент руководствуется законодательством, инструкциями и нормативными документами об охране недр и окружающей природной среды. Дипломный проект должен отвечать современным требованиям и отражать новейшие достижения науки и техники.

Каждому студенту назначается руководитель дипломного проекта из числа преподавателей кафедры маркшейдерского дела. Содержание и объем дипломного проекта устанавливаются руководителем в соответствии с заданием. Задание к выпускной квалификационной работе (ВКР) специалиста оформляется на специальном бланке в течение первой недели 11-го семестра. Пример заполнения задания приведен на с. 6.

По решению кафедры отдельные студенты могут выполнять **дипломную работу**, которая носит исследовательский характер, и результаты ее используются в дальнейшем на предприятии или в научно-исследовательской работе.

Дипломный проект (работа) подготавливается к защите в течение 11-го семестра.

Дипломный проект (работа) состоит из пояснительной записки и демонстрационных материалов, которые могут быть представлены в виде демонстрационных листов или мультимедийной презентации.

Состав и ориентировочный объем разделов дипломного проекта (работы) приведены в табл. 1 и 2.

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Горнотехнологический, Заочного обучения **«УТВЕРЖДАЮ»**
(ненужное зачеркнуть)

Кафедра **маркшейдерского дела** **Заведующий кафедрой**
Специализация **«Маркшейдерское дело»** **проф., д-р техн. наук**
_____В. А. Гордеев
«___»_____20 ___ г.

ЗАДАНИЕ
ПО ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ (ВКР) СПЕЦИАЛИСТА

Студент гр. МД

_____

_____
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема дипломного проекта (работы)

_____

_____

_____

2. Содержание пояснительной записки:
2.1. Общие сведения о предприятии и геологическая характеристика месторождения.
2.2. Технология горных работ.
2.3. Мероприятия по обеспечению безопасности производства.
2.4. Технико-экономические показатели предприятия (участка).
2.5. Мероприятия по сохранности окружающей среды.
2.6. Маркшейдерские работы на предприятии (фактическое состояние и анализ).
2.7. Специальная часть ВКР.

3. Демонстрационный материал (графическая документация, рисунки, фотографии и др.) – мультимидийная презентация в программном продукте Power Point 2003 (MS Office 2003).

4. Консультанты по разделам (ФИО, кафедра, раздел**)**

_____

_____

Руководитель ВКР _____ _____
(кафедра, ФИО) **(подпись)**

Задание по ВКР получил студент _____ _____
(ФИО) **(подпись)**

Дата выдачи задания «_____»_____ 20___ г.

Дата сдачи студентом ВКР «___»_____ 20___ г.

Таблица 1

Состав и ориентировочный объем дипломного проекта

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Демонстрационный материал, кол-во слайдов
	Введение	1 – 2	–
1	Общие сведения о районе месторождения (предприятия) и его геологическая характеристика		
1.1	Общие сведения о районе месторождения	3 – 4	1 – 2
1.2	Геологическая характеристика месторождения	9 – 10	1 – 2
2	Горнотехнологическая характеристика горного предприятия		
2.1	Фактическое состояние горных работ	10 – 12	1 – 2
2.2	Проектирование горных работ	8 – 10	1 - 2
3	Экономические показатели деятельности предприятия	2 – 3	1
4	Безопасность производства	7 – 10	–
5	Воздействие горного производства на окружающую среду	8 – 10	1
6	Маркшейдерские работы на предприятии	10 – 15	2 – 5
7	Специальная часть дипломного проекта	25 – 30	3 – 4
	Заключение	1 – 2	1
	Список литературы	1 – 2	–
	Всего	85 – 100	5 – 11

Таблица 2

Ориентировочный состав и объем дипломной работы

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Кол-во слайдов
	Введение	1 – 2	–
1	Цель, задачи и актуальность исследований	2 – 5	1
2	Анализ методов и способов решения поставленных задач (обзор источников литературы)	15 – 20	3 – 5
3	Методика решения поставленных задач и последовательность их выполнения	20 – 30	3 – 5
4	Оценка эффективности полученных решений	3 - 5	1

Окончание таблицы 2

Номер раздела	Наименование раздела	Кол-во страниц	Кол-во слайдов
	Заключение	3 – 7	–
	Список литературы	1	–
	Всего	45 – 70	7 – 12

Публичная защита дипломного проекта (работы) проводится на заседании Государственной аттестационной комиссии при наличии внутривузовских и внешней рецензий, отзыва руководителя дипломного проекта (работы).

Внутривузовские рецензии студент получает у назначенных консультантов, список которых вывешивается на доске объявлений кафедры.

Внешнюю рецензию на дипломный проект (работу) студент получает по направлению заведующего кафедрой у специалиста, который утверждается рецензентом приказом ректора университета.

Руководитель дипломного проекта (работы) в своем отзыве отмечает:

– соответствие содержания дипломного проекта (работы) дипломному заданию и наличие необходимых разделов;

– правильность принятых инженерных решений и соответствие их современному уровню развития науки и техники;

– выполнение требований, предъявляемых к оформлению пояснительной записки и графического материала дипломного проекта (работы);

– степень самостоятельности студента при решении поставленных задач, творческий характер работы.

В заключении руководитель дает общую оценку дипломного проекта (работы) в баллах.

Темой дипломного проекта (его специальной частью) может быть выбрана инженерно-техническая задача по решению актуальных вопросов маркшейдерских работ при различных стадиях производства: разведке месторождений, строительстве, эксплуатации, консервации, ликвидации горных предприятий и различных способах добычи: подземном, открытом, дражном, гидравлическом, разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа).

Темой дипломной работы может быть та же задача, но имеющая научно-исследовательское направление и в которой студент принимал непосредственное участие.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

1.1. ВВЕДЕНИЕ

Во введении излагаются задачи горнодобывающей отрасли или отдельных ее направлений на примере региона, где находится предприятие, рассматриваемое в дипломном проекте. Дается степень освоения и перспективы развития предприятия и региона. Обосновывается актуальность и специфические особенности решения задач, поставленных в специальной части дипломного проекта.

Указывается на основании каких материалов выполняется дипломный проект (по материалам, полученным на предприятии в период производственных практик или по результатам исследовательской работы, включая курсовые работы и проекты, выполненные студентом ранее).

1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.2.1. Общие сведения о районе месторождения (предприятия)

В разделе приводятся: сведения о географическом и административном положении месторождения (предприятия); промышленная освоенность района, пути сообщения, ближайшие железнодорожные станции, пристани, порты и топливно-энергетическая база; наличие местных строительных материалов, бытовое и техническое водоснабжение; климатические условия района (продолжительность зимнего периода, минимальные и максимальные температуры, среднегодовые, сезонные и месячные температуры воздуха, господствующие ветры и их направление, количество осадков по сезонам и месяцам; мощность и температура сезонной мерзлоты, продолжительность стояния снежного покрова и сезонной мерзлоты); характер рельефа и гидрографическая сеть района, влияние природных факторов на условия отработки месторождения, технико-экономические показателя региона.

1.2.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1.2.2.1. Разведанность месторождения

История открытия и разведки месторождения. Состав, форма и размеры по простиранию и падению, количество залежей, их форма, мощность и углы падения полезного ископаемого.

1.2.2.2. Стратиграфия

Состав и стратиграфия полезного ископаемого и вмещающих пород. Тектоника месторождения, наличие складчатых и разрывных нарушений и их элементы залегания.

1.2.2.3. Генезис месторождения

Гипотеза образования залежи, минералогический состав полезного ископаемого и его качественная характеристика.

1.2.2.4. Гидрогеологическая характеристика месторождения

Общие сведения об открытых водостоках на поверхности. Характеристика водоносных горизонтов, их количество и распределение, коэффициенты фильтрации пород. Возможные притоки подземных вод в горные выработки. Состав и количество подземных вод различных горизонтов и в целом по месторождению.

1.2.2.5. Геологоразведка и запасы месторождения

Методика разведки, объем произведенных работ и степень разведанности месторождения, сетка разведочных скважин. Методика подсчета запасов и их количество по категориям. Методы опробования, кондиции, предъявляемые к качеству полезного ископаемого со стороны потребителей. Эксплуатационная разведка.

1.2.2.6. Инженерно-геологические условия

Физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород. Устойчивость пород кровли и почвы, кливаж, крепость, кусковатость, влажность, газоносность.

Графика к разделу 1.2

1. Обзорная карта района.
2. Геологический план или план поверхности с выходом пластов под наносы с разведочными линиями и скважинами М 1:10000, 1:5000, 1:2000.
3. Продольные и поперечные геологические разрезы в масштабе плана.
4. Стратиграфическая и структурные колонки в удобном для восприятия масштабе, иллюстрации, зарисовки, схемы, диаграммы, выполненные на листах формата А4 по тексту пояснительной записки.

1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

1.3.1. Фактическое состояние горных работ

В описательной части даются краткие сведения о состоянии горных работ на предприятии: производительность (шахты, рудника, карьера), способ вскрытия месторождения, проходка капитальных подготовительных, нарезных и очистных горных выработок, применяемые системы отработки и их характеристика, транспортировка горной массы, вентиляция и водоотлив, энергоснабжение, фактические и проектные технико-экономические показатели и др.

Графика к разделу 1.3.1

План и разрезы фактического состояния горных работ на 1 января текущего года М 1:5000, 1:2000, 1:1000.

1.3.2. Проектирование горных работ

При подготовке выпускной квалификационной работы (дипломного проекта или дипломной работы) могут быть включены вопросы проектирования горных работ. Данное решение принимается

по согласованию с руководителем ВКР при оформлении задания по ВКР специалиста.

Задание на проектирование горных работ студент получает от руководителя ВКР или преподавателя-консультанта по горной части.

При этом необходимо учесть способ разработки и стадию разработки на предприятии: строительство, эксплуатация, доработка.

Тематика и объем горной части в целом должны обеспечить необходимый и достаточный материал для выполнения разделов по специальной и экономической части проекта.

1.3.2.1. Подземная разработка пластовых месторождений

Проектирование горных работ при подземной разработке пластовых месторождений *может вестись в двух вариантах*:

1. Разработка нового шахтного поля.
2. Доработка шахтного поля действующей шахты.

В обоих случаях должны быть решены следующие вопросы:

– подсчет балансовых и промышленных запасов (если этот вопрос не рассматривается в других частях проекта);

– производительность (обоснование и расчет) и срок службы шахты;

– вскрытие и подготовка шахтного поля;

– системы разработки, механизация очистных работ;

– технология и механизация проведения подготовительных и нарезных выработок.

Подсчет балансовых запасов должен быть произведен в соответствии с требованиями действующих инструкций. При этом *рассматриваются следующие вопросы*:

– выбор метода подсчета (обоснование);

– подсчет балансовых запасов в шахтном поле (на нижних горизонтах или на участке);

– построение предохранительных целиков под промплощадку, здания, сооружения, около геологических нарушений и т. д.;

– подсчет промышленных запасов шахтного поля (нижних горизонтов или участка).

При определении производительности шахты рассматривают два вопроса:

1. Обоснование и расчет производительности шахты.

2. Расчет срока службы шахты в целом и (или) отдельных горизонтов.

Вскрытие и подготовка шахтного поля включает:

– выбор способа подготовки шахтного поля (этажный, панельный, погоризонтный, комбинированный) и установление его параметров;

– обоснование способа подготовки пластов (индивидуальный или групповой);

– выбор способа вскрытия шахтного поля.

При определении системы разработки и механизации очистных работ должны быть рассмотрены следующие вопросы:

– выбор и обоснование системы разработки для всех пластов свиты;

– установление параметров системы разработки для пласта, указанного в задании;

– установление поперечного сечения всех подготовительных выработок выемочного поля по условию размещения транспортного оборудования;

– выбор механизации для выемки и транспортировки горной массы и материалов в пределах выемочного поля;

– выбор типа механизированной или индивидуальной призабойной и посадочной крепи и способа управления кровлей;

– расчет суточной добычи, объемов отдельных видов работ, штата рабочих в очистном забое и производительности труда забойного рабочего;

– составление планограммы работ и графика выхода рабочих в очистном забое;

– подсчет плановых потерь по системе разработки;

– расчет себестоимости 1 т угля по очистному забою по элементам затрат: заработная плата, материалы, электроэнергия и амортизация оборудования (это может быть произведено в разделе «Экономические расчеты»).

В конце раздела приводится сводная таблица технико-экономических показателей: мощность и угол падения пласта, подвигание очистного забоя (суточная и годовая), добыча угля (суточная и годовая), потери угля по системе разработки; расход материалов на 1000 т добычи, производительность труда рабочего очистного забоя на выход, себестоимость 1 т угля по очистному забою.

Технология и механизация проведения подготовительных выработок включает:

– определение объема подготовительных выработок в пределах выемочного поля (панели) и их характеристика;

– выбор способа проведения подготовительных выработок, расположенных в пределах выемочного поля (панели);

– выбор механизации проведения подготовительных выработок;

– выбор типа ВВ и СВ для буровзрывных работ;

– проект проведения выработки (по заданию консультанта).

Графика к разделу 1.3.2.1

Проект вскрытия и подготовки шахтного поля. Проект системы разработки и ее основные элементы. Проект проведения выработки. М 1:1000; 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.2. Подземная разработка рудных месторождений

Производительность проектируемого предприятия должна определяться с учетом горно-геологических условий по годовому понижению горных работ или по скорости подвигания очистных забоев (при горизонтальном или пологом залегании рудного тела).

Срок службы рудника устанавливается с учетом развития и затухания горных работ. Полученные значения проверяются по нормативным документам. При обосновании режима работы предприятия устанавливается: количество рабочих дней в году, количество смен в сутки, продолжительность рабочей недели, смены, общая организация подземных работ и работ на поверхности.

Система разработки выбирается путем технико-экономических расчетов с учетом постоянных и переменных факторов, влияющих на способ отработки. При этом определяются основные параметры: высота блока (этажа), его длина и ширина, показатели извлечения и др.

При проектировании вскрытия вновь разрабатываемого месторождения определяется: тип подъемных сосудов и размеры рудоподъемного ствола; разрабатывается схема размещения оборудования в стволе; определяется количество, параметры и расположение вентиляционно-вспомогательных шахтных стволов; разрабатывается схема околоствольного двора; организация подземного дробильного комплекса; разрабатывается схема подготовки горизонтов; рассчиты-

вается и обосновывается высота этажа; определяется число этажей в шахтном поле; обосновывается целесообразность строительства концентрационных горизонтов и число этажей, объединяемых основным концентрационным горизонтом.

На основе проведенных расчетов конструируется несколько конкурентоспособных вариантов вскрытия, из которых путем технико-экономического сравнения выбирается лучший.

При проектировании вскрытия глубоких горизонтов действующего предприятия учитываются существующие вскрывающие выработки. При этом проводится проверка главных выработок вскрытия при отработке глубоких горизонтов по производительности подъема, вентиляции и рассматривается их сохранность при сдвижении горных пород. Если хотя бы одному из указанных условий вскрывающие выработки не удовлетворяют, то рассматривается вопрос об их реконструкции или строительстве новых.

Схема подготовки одного из горизонтов разрабатывается на основе горно-геологических условий, годовой производительности, принятой системы разработки и вида транспорта. Поперечные размеры горизонтальных подготовительных выработок определяются в зависимости от типа (параметров) транспортных средств и возможного вида крепления, а размеры восстающих выработок – в зависимости от их назначения и способа проходки.

Проект проведения подготовительной выработки включает в себя: определение сечения выработки в проходке, расчет параметров буровзрывных работ, уборку горной массы, крепление и вентиляцию, устройство путей, расход материалов и энергии, продолжительность цикла и скорость продвигания выработки.

Параметры выемочного блока определяются по горно-техническим условиям месторождения и параметрам систем разработки. При этом определяются: параметры и запасы элементов блока (камера, междукамерный целик, потолочина, днище); схема подготовки и нарезки блока; параметры подготовительных и нарезных выработок; объем подготовительно-нарезных работ по руде и породе; запасы блока (с разбивкой по элементам); основные производственные процессы по каждому элементу блока и схема их механизации; схема вентиляции блока; основные вопросы безопасности труда при отработке блока.

Графика к разделу 1.3.2.2

Схема вскрытия месторождения. План основного откаточного горизонта. Сечения основных вскрывающих выработок. План очистной выемки с разрезами вкрест простирания. План (планы) рабочего горизонта М 1:1000; 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.3. Разработка месторождения открытым способом

Проектирование горных работ может вестись по двум направлениям:

1. Технология и комплексная механизация разработки нового месторождения.
2. Технология и комплексная механизация разработки при доработке месторождения.

При определении границ карьерного поля, запасов полезного ископаемого и объемов вскрыши, производственной мощности карьера должны быть рассчитаны:

– углы погашения бортов карьера;
– глубина и проектный контур карьера;
– запасы полезного ископаемого и объемы вскрыши;
– производственная мощность и срок отработки карьера;
– режим работы карьера и организация работ.

Вскрытие месторождения проектируется на три этапа: год сдачи в эксплуатацию, год наибольшего развития работ (по указанию консультанта) и на конец отработки месторождения (или очереди). Способ вскрытия устанавливается в зависимости от рельефа местности, принятого вида транспорта, производственной мощности и системы разработки.

Выполняются расчеты капитальных и разрезных траншей, устанавливается место размещения капитальных траншей, выбирается способ подготовки новых горизонтов.

Выбор и обоснование системы разработки производятся во взаимосвязи с принятым способом вскрытия, выбранной схемой комплексной механизации и принятыми моделями и типоразмерами основного горно-транспортного оборудования. При этом рассчитываются элементы системы разработки: высота породных и добычных уступов, ширина экскаваторной заходки, длина и количество экскаваторных блоков на уступах, параметры рабочей зоны карьера.

Механизация горных работ включает расчеты схем комплексной механизации (классификация В. В. Ржевского) и выбор способа подготовки пород к выемке и выемочно-погрузочного оборудования, обоснование вида карьерного транспорта и способа отвалообразования вскрышных пород. Одновременно выбирают: технологию производства вспомогательных станций, зарядку и забойку скважин, разделку негабарита, перекладку железнодорожных путей в забоях, планировку площадок, устройство временных автодорог, профилактику подвижного состава против примерзания и прилипания транспортируемых грузов. Здесь же рассчитывают производительность и парк оборудования по основным технологическим процессам, определяют техническую и эксплуатационную производительность (сменная и годовая) буровых станков, выемочно-погрузочного оборудования, транспортных и отвальных машин, определяют парк горно-транспортного оборудования (рабочий и списочный), приводятся сведения о схеме управления карьером, охране природы и рекультивации площадей, нарушенных горными работами.

В заключении раздела приводят результаты принятых проектных решений, анализ основных технико-экономических показателей по сравнению с фактическими (достигнутыми на действующем карьере) и лучшими в данной отрасли промышленности. Делают вывод о технической и экономической (с привлечением результатов экономической части) целесообразности разработки (доработки) месторождения открытым способом.

Графика к разделу 1.3.2.3

План карьера на момент сдачи в эксплуатацию (на момент наибольшего развития горных работ или на конец отработки) М 1:5000, 1:2000, 1: 1000. Характерный разрез по плану карьера (обычно в масштабе плана), конструкция зарядов скважин М 1:50, 1:25, взрывные блоки на уступах и при проходке траншей со схемой коммутации зарядов М 1:500, 1:1000. План и поперечный разрез капитальной или разрезной траншеи с оборудованием М 1:500, 1:200. План и поперечный разрез отвального забоя с размещением оборудования М 1:500, 1:200.

При выполнении темы по доработке месторождения вместо планов на момент сдачи (наибольшего развития работ) выполняется план фактического состояния горных работ на карьере М 1:5000,

1:2000, 1:1000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.3.2.4. Разработка россыпных месторождений

В проектной части рассматриваются следующие вопросы:

– вскрытие россыпи при дражном способе, основание и размеры котлована;

– вскрытие россыпи при гидравлическом способе разработки, горнокапитальные работы, расположение канав по осушению и обводнению долины россыпи;

– расчет конструкции плотин, способ их сооружения, объем и стоимость земляных плотин;

– способы проходки канав и котлованов при гидравлическом способе разработки, их размеры и стоимость проходок;

– подготовительные работы, методы очистки полигона от леса и вскрыши торфов;

– система дренажных разработок, ширина котлована и угол маневрирования, способ отработки уступа, углы откосов галечных и эфельных отвалов;

– рабочие размеры драги, списочный состав на драге, расход электроэнергии, топлива, материалов и т. д., число рабочих дней в году, начало и конец сезона, ремонтные дни;

– система разработки гидравлическим способом, расположение гидромониторов в забое, ширина забоя, приходящаяся на один гидромонитор, расположение песковых колодцев и почвенных канав, частота передвижки гидромониторов и песковых колодцев, размеры и уклоны почвенных канав, способы их проходки;

– схема обогащения, тип и размеры применяемой обогатительной аппаратуры, обслуживающий штат, организация промывки и сполоска, график сполоска, контроль процесса промывки, коэффициент извлечения, расход рабочей силы и материалов;

– транспортирование песков на гидравлических разработках, расстояние транспортировки песков и высота подъема, тип землесоса, мощность и тип элеватора, способ отвалообразования и его организация;

– охрана речной системы от загрязнения и рекультивация отработанных площадей;

– общая организация работ (штат предприятия, структура себестоимости добычи 1 м^3 горной массы и др.).

Графика к разделу 1.3.2.4

План месторождения с нанесением элементов системы разработки и основных гидротехнических сооружений, два-три поперечных разреза (по разведочным линиям). Чертеж по проверке соответствия конструктивных параметров драги размерам россыпи. Иллюстрации, рисунки, схемы, фотографии по тексту пояснительной записки.

1.3.2.5. Разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Задание на проектирование технологии добычи углеводородного сырья студент получает от руководителя дипломного проекта. Исходным материалом для выполнения данного раздела является материал, полученный в период производственной практики студента.

Проектирование технологических работ может вестись в следующих направлениях:

1. Технология разведки или доразведки месторождения.
2. Технология разработки нового месторождения.
3. Технология доработки месторождения действующего предприятия.
4. Технология консервации или ликвидации месторождения.

Во всех случаях должны быть решены следующие вопросы:

– подсчет балансовых и промышленных запасов;

– расчет производительности и срока службы предприятия;

– вскрытие и подготовка к добыче месторождения;

– система разработки и механизация добычи полезного ископаемого;

– организация работ при строительстве буровой вышки.

Графика к разделу 1.3.2.5

Проект разведки (доразведки) месторождения. Проект разработки месторождения. М 1:25000 – 1:2000. Иллюстрации, зарисовки, схемы по тексту пояснительной записки (формат А4).

1.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Задание по данному разделу дипломного проекта выдается руководителем ВКР или консультантом-преподавателем кафедры без-

опасности горного производства. Обязательным условием допуска студента к защите дипломного проекта является детальная проработка вопросов техники безопасности, промсанитарии и противопожарной безопасности на всех этапах проектирования. Все технические и технологические решения, принимаемые в дипломном проекте, должны решаться в строгом соответствии с требованиями ГОСТ, ППБ, ПБ и другой нормативной и директивной документации. Решения по охране труда, принятые применительно к частным техническим и технологическим задачам дипломного проекта, излагаются в соответствующих главах его пояснительной записки: «Вскрытие месторождения», «Система разработки», «Маркшейдерские работы» и т. п. Раздел «Безопасность производства» является синтезирующим, который включает сводку (перечень) конкретных обобщенных материалов по охране труда, принятых в отдельных разделах проекта, а также основные общешахтные или карьерные мероприятия по охране труда, решаемые применительно к условиям проектируемой шахты, карьера, нефтегазодобывающего предприятия.

В целом раздел должен содержать разработанные или принятые дипломантом *мероприятия по охране труда в следующей последовательности*: общая характеристика условий и охраны труда и общие требования безопасности, мероприятия по технике безопасности, мероприятия по производственной санитарии, мероприятия по противопожарной защите, профилактике и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Руководством для выполнения каждой части данного раздела являются методические разработки кафедры безопасности горного производства.

Демонстрационных чертежей по разделу обычно не выполняется. Необходимые иллюстрации приводятся на чертежах других разделов или в пояснительной записке.

1.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Целью данного раздела является определение производственной себестоимости и затрат маркшейдерской службы на одну тонну добычи. Основой для составления являются горно-геологические условия шахты, рудника или карьера (годовая производительность предприятия или участка, выбранные в проекте способ вскрытия

и системы разработки, режим работы, структура управления, применяемая техника, приборы и оборудование). Экономические расчеты выполняются после горной части дипломного проекта, так как составляемый при этом техпромфинплан основывается на годовой производительности, определенной в разделе 1.3.

Задание по данному разделу студент получает у преподавателя-консультанта кафедры экономики и менеджмента.

В техпромфинплан входят: сметы на приобретение и монтаж оборудования, таблицы по расчету штата и фонда зарплаты трудящихся, расход материалов, энергии и амортизации оборудования, содержание цехового персонала. По данным таблиц составляется калькуляция себестоимости добычи и определяются основные технико-экономические показатели.

В разделе рассматриваются следующие вопросы:

– смета на приобретение и монтаж оборудования;

– расчет штата и фонда заработной платы рабочих;

– расчет расхода материалов, электроэнергии и сжатого воздуха;

– расчет амортизации оборудования;

– расчет штата и фонда заработной платы участкового персонала;

– основные технико-экономические показатели (годовая производительность, списочный штат рабочих, производительность труда рабочего, годовой и удельный расходы электроэнергии, среднемесячная заработная плата, себестоимость 1 т полезного ископаемого);

– расчет стоимости маркшейдерского обслуживания на 1 т добычи полезного ископаемого.

Затраты на маркшейдерское обслуживание складываются из следующих элементов: основная заработная плата инженерно-технических работников и рабочих маркшейдерского отдела с учетом районного коэффициента; начисления на заработную плату; расход материалов; погашения износа малоценного быстроизнашивающегося инвентаря, приборов и инструментов; амортизация основных средств и прочие расходы. По перечисленным элементам составляется калькуляция себестоимости.

Порядок выполнения указанных расчетов изложен в методической разработке по выполнению экономической части дипломного проекта, составленной кафедрой экономики и организации производства.

1.6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Раздел состоит из пояснительной записки с расчетами, рисунков и демонстрационных чертежей. В пояснительной записке приводятся: исходные данные; определение основных направлений воздействия горного предприятия на окружающую природную среду; выбор и обоснование природоохранных мер; расчет технико-экономических показателей природоохранных работ и ущерба от нарушения окружающей природной среды. В разделе рассматриваются законодательные и нормативные требования к состоянию водной и воздушной среды, к рекультивации нарушенных промышленными предприятиями земель применительно к условиям данного предприятия.

Конкретное задание на выполнение раздела дается руководителем дипломного проектирования. Наличие и количество демонстрационных чертежей по разделу определяется в процессе выполнения заданий.

Руководством для выполнения каждой части раздела являются методические разработки кафедры инженерной экологии.

1.7. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

В разделе дается описание и анализ фактического состояния маркшейдерско-геодезических работ на предприятии в зависимости от вида добычи (подземной, открытой, нефти и газа) и стадии развития горных работ (разведка, доразведка, строительство, эксплуатация, консервация, ликвидация).

Основным критерием оценки фактического состояния маркшейдерских работ на предприятии является сравнительный анализ их соответствия требованиям Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Описание и анализ маркшейдерских работ выполняется в следующей последовательности:

– маркшейдерские работы на земной поверхности;
– маркшейдерские съемочные сети;
– маркшейдерские съемочные работы;

– ведение горно-графической документации;

– организация маркшейдерских работ.

Ниже приводится краткое содержание подразделов при различных видах добычи.

1.7.1. Маркшейдерские работы на земной поверхности

На земной поверхности горного предприятия независимо от вида добычи и стадии его развития выполняется определенный комплекс маркшейдерско-геодезических работ, обеспечивающий эффективную и безопасную работу предприятия. *Перечень основных видов работ*:

– создание и реконструкция маркшейдерских опорных сетей на поверхности (схема сети, кем и когда создана, соответствие современным требованиям по точности и надежности), необходимость дополнительного развития для обеспечения работы шахты (карьера) в настоящее время и в будущем;

– топографическая съемка земной поверхности и предъявляемые к ней требования. Способы съемки, точность и полнота содержания топографических планов земной поверхности;

– съемка складов полезных ископаемых, отвалов пород, хвосто- и шламохранилищ. Методы определения объемов складов и отвалов;

– маркшейдерские работы при рекультивации земель, нарушенных горными работами.

1.7.2. Маркшейдерские работы при подземной разработке пластовых и рудных месторождений

Описание и анализ маркшейдерских работ в шахте:

– подземные маркшейдерские опорные сети как главная полигонометрическая основа для выполнения всех видов съемки в шахте. Ориентирование и центрирование опорных сетей, угловые и линейные измерения, обработка подземных опорных сетей. Определение высот пунктов опорной сети;

– подземные маркшейдерские съемочные сети – основа для съемки горных выработок. Теодолитные, угломерные и буссольные ходы. Угловые и линейные измерения. Вычисление координат пунктов съемочных сетей. Определение высот пунктов съемочных сетей;

– маркшейдерские подземные съемочные работы, их основные виды и методика выполнения. Съемка подготовительных, нарезных выработок, взрывных скважин. Вертикальная съемка откаточных (рельсовых) и других транспортных путей. Съемка очистных забоев, камер и пустот;

– задание направления горным выработкам и контроль их проходки.

1.7.3. Маркшейдерские работы при открытой разработке пластовых, рудных и россыпных месторождений

Описание и анализ маркшейдерских работ в карьере (разрезе, дражном или гидравлическом полигоне):

– съемочные сети: способы, схемы, методика измерений и вычисление плановых координат пунктов съемочных сетей. Определение высот пунктов съемочных сетей;

– способы маркшейдерской съемки, периодичность ее выполнения, применяемые приборы и оборудование, комплекс полевых и камеральных работ, проводимых для определения положения горных выработок в плане и по высоте;

– маркшейдерские работы при проходке траншей, разбивке и съемке транспортных путей, при проведении буровзрывных работ;

– съемка отвалов вскрышных пород и складов полезного ископаемого.

1.7.4. Маркшейдерские работы при разработке месторождений углеводородного сырья (нефти и газа)

Описание и анализ маркшейдерских работ при разработке нефти и газа включает комплекс маркшейдерских работ на месторождениях, подземных хранилищах сырья, разведочных площадях и отдельных участках.

Критериями оценки фактического производства работ является их сравнение с требованиями технического проекта или программой маркшейдерских работ, утвержденными руководством организации и согласованными в установленном порядке.

Согласно указанным документам, в *дипломном проекте необходимо представить*:

– маркшейдерскую картографическую документацию, отображающую рельеф, гидрографию, населенные пункты, схему государственной геодезической и маркшейдерской сети, инженерные коммуникации, инженерные сооружения объектов по добыче, переработке и транспортированию нефти и газа;

– схему и методику создания опорных и съемочных сетей;

– маркшейдерско-геодезическую съемку с указанием погрешности определения положения на плане контуров снимаемых объектов относительно пунктов съемочного обоснования;

– подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру, решение задач переноса в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин и других сооружений;

– плановую и высотную привязку устьев скважин после монтажа буровой установки;

– анализ и оценку точности определения планового и высотного положения устьев скважин относительно пунктов съемочной сети;

– геомеханический мониторинг за осадками и деформациями земной поверхности и построенными на ней объектами. Количественную оценку геодинамических полигонов. Гидрогеологические и геокриологические исследования.

1.7.5. Маркшейдерские работы при строительстве горного предприятия

При строительстве горных предприятий маркшейдерские работы выполняются в строгом соответствии с проектной документацией и *включают*:

– проверку числовых значений и графической части проектных чертежей. Перенесение геометрических элементов проекта в натуру с пунктов маркшейдерских опорных и разбивочных сетей;

– детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса на шахтной поверхности;

– работы при возведении зданий, сооружений и копров. Проверка правильности установки подъемных машин;

– работы при проходке вертикальных шахтных стволов, монтаж армировки;

– работы при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок, при проходке встречными забоями.

1.7.6. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений (тоннелей, станций метрополитенов, камер большого сечения)

При строительстве тоннелей, станций метрополитенов и других *подземных сооружений маркшейдерско-геодезические работы* проводят в соответствии с проектной документацией с соблюдением требований инструктивных документов и *включают*:

– развитие маркшейдерско-геодезического обоснования (триангуляция, трилатерация или заменяющая их полигонометрия) без последующего сгущения ходами основной полигонометрии или при последующем сгущении для тоннелей, сооружаемых через порталы и штольни, а также для тоннелей, сооруженных через шахтные стволы. Оценку точности планового и высотного положения пунктов;

– схемы и методику проложения подходной полигонометрии от пунктов основной полигонометрии или от пунктов сети высшего порядка к шахтным стволам или порталам и штольням для производства ориентировок и различных разбивочных работ на промышленной площадке;

– способы ориентирования подземных маркшейдерских съемок с разработкой специализированных методик;

– схемы и методику создания подземной полигонометрии, состоящей из подходной – от шахтного ствола до основной трассы тоннеля, и рабочей – по перегонному тоннелю для производства разбивочных работ и задания направления проходки тоннеля, основной оси для контроля отклонения проходки тоннеля;

– маркшейдерские работы при сооружении тоннеля горным, щитовым способами или с помощью проходческих комплексов;

– наблюдения за деформациями дневной поверхности и подземных сооружений в процессе их строительства и эксплуатации;

– производство исполнительной съемки сооружений и составление исполнительной документации.

Графика к разделу 1.7

Демонстрационный материал по данному разделу может быть выполнен отдельно или совмещен с демонстрационным материалом разделов 1.2 и 1.3, т. е. необходимая информация и иллюстрации указываются или на геологическом плане, или на плане фактического со-

стояния горных работ, или на том и другом. Основная часть иллюстраций приводится в пояснительной записке (формат А4).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основным материалом для выбора темы специальной части дипломного проекта являются задачи производства, решением которых дипломник занимался в период производственных и преддипломной практик. Частичное решение этих задач могло быть выполнено студентом в курсовых работах и проектах. Тема специальной части проекта выбирается студентом самостоятельно по согласованию с руководителем и указывается в задании на дипломное проектирование. Объем и порядок ее выполнения определяется руководителем проекта. Специальная часть составляет около 30 % объема пояснительной записки.

В специальной части проекта рассматриваются наиболее актуальные вопросы, требующие подробных проектных разработок.

Основными направлениями дипломных проектов могут быть:

– развитие и совершенствование методики маркшейдерских работ в свете научно-технического прогресса;

– проект маркшейдерского обеспечения сбойки горных выработок;

– геометризация месторождения и горно-геометрический анализ горного производства;

– разработка и исследование новых приборов и инструментов;

– учет движения запасов, добычи, потерь и разубоживания;

– сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок;

– устойчивость бортов карьеров и отвалов;

– горное давление, горные удары и меры борьбы с ними;

– планирование развития горных работ;

– мероприятия по охране природы и недр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе «Заключение» дипломного проекта (дипломной работы) приводятся основные результаты принятых проектных решений, технико-экономические показатели и оценка полученных результатов.

Дается оценка уровня полученных в проекте основных результатов по сравнению с фактическими, средним уровнем и лучшими достижениями данной отрасли горной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приводится полный перечень фактически использованных литературных источников по общепринятой в технической и специальной литературе форме: автор, наименование источника, издательство и год издания.

В тексте пояснительной записки на каждый литературный источник в обязательном порядке делается ссылка.

2. ОФОРМЛЕНИЕ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

2.1. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2.1.1. Общие требования

Дипломные проекты (работы) оформляются согласно требованию межгосударственного стандарта ГОСТ 2.105-95 (2001) «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.850 (851 - 857) –75 «Горная графическая документация».

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода компьютера.

Пояснительная записка оформляется на листах белой писчей бумаги формата А4. Для данного формата следует соблюдать поля: левое – 30 мм, правое –10 мм, верхнее –15 мм, нижнее – не менее 20 мм.

При наборе текста рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифта Times New Roman Cyr. Размер основного шрифта – кегль 14 (или 16), межстрочный интервал – 1,5 (или 1,0). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

– все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом;

– перед знаками препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел;

– между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять один пробел (352 МПа, 40 м, 10 % и т. д.);

– при наборе должны различаться тире (–) и дефисы (-);

– между инициалами, после инициалов (перед фамилией), перед сокращениями и между ними ставится пробел (1999 г., т. д., т. е., Д. Н. Оглоблин и т. д.);

– выделения курсивом, полужирным, прописные, надстрочные и подстрочные буквы и цифры обеспечиваются средствами Word.

Нумерация страниц и приложений должна быть сквозная. Номера страниц проставляются внизу справа.

2.1.2. Порядок брошюровки работы

Пояснительная записка брошюруется в следующей последовательности: титульный лист, задание по дипломному проектированию выпускной квалификационной работы, реферат, содержание, введение, основные разделы, заключение, список литературы, приложения.

2.1.3. Требования к оформлению титульного листа

Титульный лист является первым листом дипломного проекта (работы). Титульный лист выполняют на листах формата А4.

Пример оформления титульного листа приведен ниже (с. 30).

2.1.4. Требования к оформлению реферата

Слово "РЕФЕРАТ" записывают прописными буквами по центру строки.

Реферат начинается с указания вида работы, объема работы, количества иллюстраций, таблиц, приложений.

Приводится перечень ключевых слов, напечатанных в строку, через запятые в именительном падеже, прописными буквами. Перечень включает 5 – 10 слов (словосочетаний), отражающих суть работы.

Текст реферата должен содержать краткие сведения о цели, методах проведения работы и полученных результатах.

Пример оформления реферата.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа специалиста – 85 страниц, 24 рисунка, 12 таблиц, 7 приложений.

ОПОРНОЕ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, КАРЬЕР, ПОЛИГОНОМЕТРИЯ, ТРИАНГУЛЯЦИЯ, ТРИЛАТЕРАЦИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, ТОЧНОСТЬ.

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа методов создания опорного маркшейдерско-геодезического обоснования на карьерах.

Работы включали изучение технической литературы, предрасчет точности создания опорного обоснования различными методами.

В результате работы проанализированы эргономические и точностные характеристики современных методов создания опорного маркшейдерско-геодезического обоснования на карьерах.

Пример оформления титульного листа.

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

Кафедра маркшейдерского дела

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
профессор, д-р техн. наук
_____ Гордеев В. А.
« 14 » мая 2018 г.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

Выпускная квалификационная работа специалиста

Руководитель,
ФИО (подпись)

Исполнитель, студент,
группы МД-13-1,
ФИО (подпись)

Екатеринбург – 2018

2.1.5. Требования к оформлению содержания

Содержание включает в себя разделы и подразделы, их обозначения, заголовки и страницы.

Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записываются строчными буквами.

Пример содержания приведен ниже.

Пример оформления содержания.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Общие сведения о районе и геологическая характеристика месторождения 6
1.1 Общие сведения о районе месторождении 6
1.2 Геологическая характеристика месторождения 10
1.3 Гидрогеологические условия 14
2 Горнотехническая характеристика разработки месторождения 17
2.1 Фактическое состояние горных работ 18
2.2 Проект доработки горизонта 260 м 24
3 Безопасность производства 32
4 Экономические расчеты 32
5 Оценка воздействия горного производства на окружающую среду 46
6 Маркшейдерские работы при разработке месторождения 69
7 Специальная часть. Реконструкция опорных и съемочных сетей в шахте 75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема опорной сети 107

2.1.6. Требования к оформлению введения

Слово «ВВЕДЕНИЕ» записывают в виде заголовка прописными буквами симметрично тексту.

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» не нумеруется.

2.1.7. Требования к оформлению основных разделов пояснительной записки

Текст пояснительной записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста, обозначенные арабскими цифрами.

Например: 1. Общие сведения

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Например: 2.1. Фактическое состояние горных работ

Подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 2.2.1.1., 2.2.1.2., 2.2.1.3. и т. д.

Каждый пункт и подпункт записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты заголовков могут не иметь.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слова в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки подразделов следует начинать с прописной буквы с абзацного отступа.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервал.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

2.1.8. Изложение текста

Текст пояснительной записки должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. При изложении обязательных

требований в тексте должны применяться слова: «должен», «следует», «необходимо», «требуется, чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «в случае» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста, например «применяют», «указывают» и т. п.

В тексте должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если необходимо применение специфической терминологии, то перед списком литературы должен быть глоссарий – перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Глоссарий включают в содержание документа.

В тексте не допускается:

– применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

– применять произвольные словообразования;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии и соответствующими государственными стандартами;

– 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.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения. Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры.

1. Провести измерение пяти линий, каждая длиной около 5 м.
2. Измерить 15 горизонтальных углов полигона.

Недопустимо переносить на разные строки или страницы единицу физической величины от числового значения.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если интервал мерной ленты 100,25 мм, то весь ряд других интервалов ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например 10,50; 15,75; 20,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать 1/4", 1/2" (но не $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$).

2.1.9. Требования к оформлению формул

Формулы набираются в редакторе формул, гарнитуры шрифтов: Times New Roman. При наборе формул рекомендуется использовать следующие размеры шрифтов (для формата А4): основной – кегль 16 (или 14), крупный индекс – кегль 12 (или 11); мелкий индекс – кегль 10 (или 8).

Латинские обозначения, кроме устойчивых форм, наименований типа max, min, cos, sin, tg, log, exp, det и т. д. набирают курсивом, русские, греческие обозначения и цифры – прямым шрифтом.

Математические символы в формулах набирают светлым курсивом, греческие и готические – светлым прямым. Матрицы и векторы набирают полужирным прямым. Химические символы (Cu, Mn и т. д.) – светлым прямым, сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (м, кВт, МПа и т. д.) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах всегда должны быть набраны прямым шрифтом. Перенос в формулах допускается делать на знаках соотношений (±, ≤, ≥, ... ≈), на отточии (...), на знаках (+) и (–), (×) с дублированием знака на другой строке.

Например: $f(x_1, x_2, \ldots x_n) =$

$= b_0+b_y+ \ldots +b_n.$

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в тексте. В зависимости от объема используется сквозная и индексационная нумерация формул, таблиц, рисунков. Индексационная нумерация используется, как правило, при делении текста на главы и параграфы.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывают номер раздела, затем (после точки) ставится порядковый номер формулы в данном разделе. Номер формулы заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю печатного листа.

Например:

$$\lambda \approx \frac{2\pi}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{\pi}{f\mu\gamma}}; \qquad (3.1)$$

$$\delta = \frac{1}{b}. \qquad (3.2)$$

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликация) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, пояснения каждого символа следует давать с новой строки. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример.

Плотность каждого образца, кг/м^3, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1)$$

где m – масса образца, кг;

V – объём образца, м^3.

Расшифровка дроби: сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе.

В формулах допускается использовать все виды скобок: (), [], {}. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Основным знаком умножения является точка на средней линии. *Она ставится*:

а) между числовыми сомножителями: $20 \cdot 75$;

б) для выделения какого-либо сомножителя: $2 \cdot 2xy \cdot z$;

в) для записи скалярного произведения векторов: $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}$;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: $a \cos x \cdot b \cos y$;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенным символом $5ab$;

б) перед скобками и после них $(b+c)(a-d)$;

в) перед дробными выражениями и после них $\alpha \dfrac{\cos \alpha}{b} \dfrac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: $\arccos \omega t$.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: $4{,}5 \times 3$ м;

б) при записи векторного произведения $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$;

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$y = (x + 2) \times$$
$$\times (x + 4)^2.$$

Расположение формул в тексте

Наиболее важные, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, интегрирования, располагают на отдельных строках, так же и все нумерованные формулы. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой. Небольшие и несложные формулы, не имеющие самостоятельного значения, размещают внутри строк текста.

На все нумерованные формулы обязательно должны быть ссылки. Они оформляются в той же графической форме, что и после формулы, т. е. арабскими цифрами в круглых скобках.

Например: в формуле (3.7); из уравнения (5.4) вытекает... и т. д.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент, поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулами ставят:

а) после обобщающего слова;

б) если этого требует построение текста, предшествующего формуле.

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием и после него:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_1 + b_2 + \ldots + b_n.$$

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (П.1).

2.1.10. Требования к оформлению примечаний

Примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового или графического материала или в таблице, к которой относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

2.1.11. Требования к оформлению иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1» или «Рисунок 1 – Схема полигона».

Подписи к иллюстрациям рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основного текста.

Экспликацию и легенду рекомендуется набирать шрифтом меньшего кегля по сравнению со шрифтом основной подписи. Экспликация обычно пишется с новой строки. Перед экспликацией ставится двоеточие, между элементами экспликации – точка с запятой.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например: Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например: Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» – при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» с наименованием помещают внизу в левой части поля рисунка (без наименования – в центре), после пояснительных данных. Наименование рисунка печатается через дефис. Например – «Рисунок 1 - Схема полигона».

2.1.12. Требования к оформлению таблиц

Название таблицы печатается через дефис и должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей в левом верхнем углу над рамкой таблицы с отступом на один – два интервала.

Например:

Таблица 1 – Сводные данные.

При переносе части таблицы на другие страницы название не повторяют.

Таблицы, за исключением таблиц приложения, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обо-

значена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Текст таблицы и выводы печатаются более мелким шрифтом, чем основной текст:

Основной текст – кегль 16 (14)
Текст таблицы – кегль 14 (12)
Текст головки таблицы – кегль 13 (11)
Примечания к таблице – кегль 13 (11).

В одноярусной головке таблицы все заголовки пишут с прописной буквы, в двух- и многоярусной головке заголовки верхнего яруса пишут с прописной буквы, а заголовки последующих ярусов – с прописной, если они грамматически не подчинены стоящему над ними заголовку верхнего яруса, и со строчной, если грамматически подчинены стоящему над ними заголовку.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, – в приложении. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа (заголовком к краю подшивки).

Например:
Химический состав стали должен соответствовать нормам табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав, %

Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Медь	Никель	Сера	Фосфор
			не более				
0,12 – 0,18	0,5 – 1,7	0,4 – 0,7	0,05 – 0,1	0,3	0,3	0,04	0,035

2.1.13. Требования к оформлению списка литературы

В списке использованной литературы приводятся краткие библиографические сведения о книгах, сборниках, статьях и т. д., материал которых использован при составлении пояснительной записки. Библиографические ссылки должны быть краткими, в них приводят, как правило, только обязательные элементы.

Библиографическая ссылка включает следующие элементы:

– заголовок описания – фамилия, инициалы автора (авторов);

– основное заглавие – название издания (книги, статьи и т. п.);

– место издания – название места издания приводят полностью в именительном падеже, за исключением названий городов: Москва – М., Ленинград – Л., Санкт-Петербург – СПб.;

– издательство – наименование издательства приводят, как правило, в сокращенной форме – Гостехиздат, Воениздат, Политиздат;

– год издания – обозначают арабскими цифрами.

Примеры библиографического описания

Издание одного автора

Булычёв, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

Издание с количеством авторов более трех

Сидоров, А. В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / А. В. Сидоров [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 80 с.

Методические указания

Давление и сдвижение горных пород и охрана сооружений: методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Горное давление» для специальности 09.01 «Маркшейдерское дело» / сост. Ю. И. Туринцев, Г. В. Матюгин, В. А. Киселёв; Уральский горный институт. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 46 с.

Издание под заглавием

Глубинное строение и геодинамика литосферы / под ред. А. А. Смыслова. – Л.: Недра, 1983. – 276 с.

Во внутритекстовых ссылках на произведение, включенное в список литературы, после упоминания о нем (после цитаты из него)

проставляют в квадратных скобках номер, под которым оно значится в списке, и, в необходимых случаях, – страницы, например:

[18, т. I, с.75]

Если список не нумерован, то в ссылке проставляют начальные слова библиографического описания (фамилия и инициалы автора или первые слова заглавия) и год издания, например:

[Николаев И. Н., 1965]

2.1.14. Требования к оформлению приложений

Материал, дополняющий текст пояснительной записки, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д.

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах форматов А3, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.2.1. Общие требования

Демонстрационные материалы выпускных квалификационных работ могут выполняться при необходимости в виде демонстрационных чертежей или в электронном виде (мультимедийная презентация) для демонстрации на экран с использованием мультимедийного проектора.

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения результатов выполненной работы.

2.2.2. Требования к оформлению демонстрационных материалов в электронном виде

2.2.2.1. Требования к файлу презентации

Файл должен быть создан в формате Microsoft PowerPoint. Допускается внедрение объектов в формате Microsoft Office.

Файл может быть представлен в упакованном виде, позволяющем раскрывать его стандартными приложениями операционной системы Windows.

Видеосюжеты, внедренные в презентацию, должны воспроизводиться стандартным проигрывателем Windows Media, установленным в операционной системе Windows.

При создании файла презентации необходимо использовать стандартные шрифты Windows.

2.2.2.2. Требования к носителю информации

Презентация должна быть представлена на компакт-диске (CD-R, CD-RW, DVD-R, DVD-RW в формате ISO 9660, стандарт ISO CD-ROM) или на Flash Drive (USB), распознаваемом операционной системой Windows, без установки дополнительных драйверов.

Рекомендуется при защите дипломного проекта (работы) иметь резервную копию презентации на альтернативном носителе.

2.2.3. Требования к оформлению демонстрационных чертежей

Демонстрационные чертежи выполняются на листах формата А1 белой плотной бумаги (ватмана). Рамки на листах не проводятся.

Заголовок (название чертежа) располагают в верхней части листа по центру. Размер букв заголовка 30 – 40 мм. Толщина линий при написании букв 3 – 6 мм.

На одном листе при необходимости можно размещать несколько чертежей с отдельными заголовками. При размещении на демонстрационных материалах карт, планов, разрезов и других графических документов их следует выполнять с соблюдением требований стандарта «Горная графическая документация».