При анализе производственных процессов всякий раз возникает задача проверки его стационарности или нестационарности, поскольку математическая обработка информации, отражающей протекание этого процесса во времени или эквивалентном ему показателе, производится на различной методической основе.

Математическая теория проверки статистических гипотез разработана достаточно полно и освещается в учебниках и руководствах по теории вероятностей и математической статистике. Существуют два вида критериев такой оценки: строгие и упрощенные. Строгие оценки основаны на теории Неймана-Пирсона. Вычислительные операции здесь довольно громоздки. В последние 30 лет получили развитие упрощенные и доступные для широкого инженерного использования так называемые непараметрические критерии проверки статистических гипотез. Эти критерии обычно не столь мощные, как критерии, основанные на теории Неймана-Пирсона, но независимость этих критериев от типа распределения переменных дает настолько значительное преимущество, что обеспечивает им широкое применение. К этому классу относятся критерии серий, знаков и др.

Ниже приводится одна разновидность критерия знаков – критерий инверсий *i*. Под инверсией понимается нарушение установленного порядка последовательности.

Любая последовательность однородных показателей может быть охарактеризована вариацией абсолютных значений и вариацией атрибутивных (качественных) признаков. Если противоположные признаки маркировать знаками плюс и минус, то исходная последовательность примет качественно иной вид – последовательность знаков.

Учет вероятностной закономерности появления инверсии знаков *i* положен в основу рассматриваемого критерия. Условимся последовательность знаков типа + + + + или – – – – считать упорядоченной. Нарушение этого порядка (каждая смена знаков) будет характеризоваться наличием инверсий и количественно оцениваться числом инверсий *i.* Например, последовательность, состоящая из двенадцати членов, + + + – + – + + – – – –, содержит пять инверсий (*i* =5).

Последовательность знаков можно рассматривать как последовательность дискретных случайных событий. Эти события имеют два исхода: первый – появление знака плюс, второй – появление знака минус. Рассматриваемые события удовлетворяют условию независимости, равновозможности, попарной несовместности и образуют вероятностную схему случайного события (схему Бернулли). Наглядным примером такой схемы является бросание монеты и определение вероятности появления герба ровно *k* раз в *n* испытаниях.

Для выявления вероятностного закона распределения инверсий знака рассмотрим последовательность, состоящую из четырех членов случайного расположения знаков (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Пример расчета инверсий знаков

	Варианты последовательности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-
	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-
	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
i	0	1	2	2	1	1	2	1	3	3	2	1	2	2	1	0

Нетрудно подсчитать, что такая последовательность образует 16 вариантов сочетания знаков. Вероятность любого сочетания составляет $P = 1/16$. Отсутствие инверсий отмечается в двух крайних случаях, одна и две инверсии имеют место 6 раз, три инверсии – 2 раза. Максимальное количество инверсий последовательности составляет $i_{\max} = n - 1$. Можно записать

$$P_4(i=0) = 2/16, \qquad P_4(i=1) = 6/16,$$
$$P_4(i=2) = 6/16, \qquad P_4(i=3) = 2/16.$$

Вероятность того, что в последовательности не будет инверсий, составляет 1/8. В последовательности из $n = 10$ эта вероятность уже составит 0,002. Вообще, в любой последовательности, состоящей из n членов, отсутствие инверсий знака оценивается вероятностью

$$P_n(i=0) = 2^{-(n-1)}. \tag{4.21}$$

Закон распределения вероятностей появления инверсий имеет вид:

$$P_n(i) = \frac{(n-1)!}{i!(n-1-i)!}0{,}5^{n-1} = \binom{n-1}{i}0{,}5^{n-1}, \tag{4.22}$$

где n – количество членов в последовательности; i – количество инверсий.

Заметим, что распределение (4.22) является биномиальным распределением (при $p = q = 0{,}5$, $n = n - 1$, $m = i$) и характеризуется следующими параметрами:

среднее значение числа инверсий

$$\bar{i} = 0{,}5(n-1), \tag{4.23}$$

дисперсия количества инверсий

$$\sigma_i^2 = 0{,}25(n-1), \tag{4.24}$$

асимметрия распределения $A = 0$.

При $n \to \infty$ распределение (4.22) асимптотически приближается к нормальному $N\left(\frac{n-1}{2}, \sqrt{\frac{n-1}{4}}\right)$. Сходимость обнаруживается довольно быстро и при $n > 30$ можно пользоваться нормальным распределением.

Использование инверсий знаков в качестве критерия проверки статистических гипотез основано на сравнении фактически наблюденного количества инверсий с теоретически допустимым их количеством для конкретно рассматриваемой последовательности. При этом знание закона распределения самой величины необязательно.

Пусть имеется последовательность, включающая n событий и представленная, как указывалось ранее, последовательностью знаков, в которой отмечается $i = k$ инверсий. Необходимо оценить гипотезу: наблюденное количество инверсий носит случайный характер, и, следовательно, в рассматриваемой последовательности отсутствует геометрическая закономерность.

Нормальное распределение позволяет оценить разность $\left|i - \bar{i}\right|$ и классифицировать ее как случайную, если $t_{\text{ф}} < t_0$. В случае, когда $t_{\text{ф}} > t_0$, делается вывод о неслучайном характере расхождения $\left|i - \bar{i}\right|$. Здесь t_0 – теоретически рассчитанное значение с учетом уровня значимости утверждения $P(t)$; $t_{\text{ф}}$ – фактическое значение, рассчитанное по формуле

$$t_{\text{ф}} = \frac{\left|i - \bar{i}\right|}{\sigma_i}. \qquad (4.25)$$

Чем меньше $P(t)$, тем большую значимость приобретает величина $t_ф$, тем меньше вероятность того, что его значение случайно превосходит $t_ф$.

Пример. По результатам исследований (табл. 4.9, рис. 4.1) имеем $n = 60$, $i = 23$. Оценки теоретических параметров будут равны:

$$\bar{i} = \frac{n-1}{2} = 59/2 = 29{,}5; \qquad \sigma_i^2 = \frac{n-1}{4} = 59/4 = 14{,}75;$$

$$\sigma_i = 3{,}84.$$

Таблица 4.9

Данные к примеру

№ п/п	Δ	*i*	№ п/п	Δ	*i*	№ п/п	Δ	*i*
1	1		21	2		41	2	1
2	-1	1	22	2		42	-4	1
3	2	1	23	-1	1	43	1	1
4	6		24	-6		44	2	
5	10		25	0		45	7	
6	6		26	-2		46	2	
7	8		27	-4		47	-2	1
8	10		28	-9		48	4	1
9	6		29	-10		49	-6	1
10	2		30	-10		50	10	1
11	9		31	-6		51	4	
12	8		32	0		52	-6	1
13	7		33	4	1	53	-3	
14	8		34	-2	1	54	-2	
15	7		35	-8		55	7	
16	5		36	-4		56	2	
17	-2	1	37	2	1	57	-2	1
18	2	1	38	-5	1	58	4	1
19	-2	1	39	-3		59	2	
20	0	1	40	0		60	0	
								23

При уровне значимости $P(t) = 0{,}05 \quad t_0 = 1{,}96$.

$$t_{\text{ф}} = \frac{|i - \bar{i}|}{\sigma_i} = |21{,}0 - 29{,}5| / 3{,}84 = 2{,}21 .$$

Так как $t_{\text{ф}} > t_0$, то расхождение следует принять неслучайным, и в таком ряду геометрические закономерности вполне устойчивы.

Такую закономерность, в первую очередь, характеризует величина полупериода колебания τ. Эта величина связана с количеством инверсий соотношением

$$\tau = \frac{n}{n - i} = \frac{60}{60 - 21} = 1{,}54 . \qquad (4.26)$$

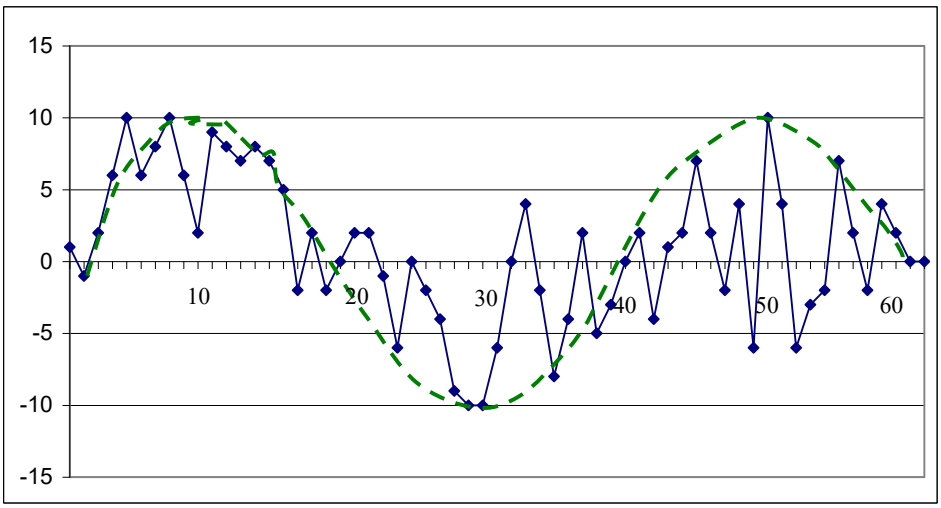


Рис. 4.1. График последовательности изменения показателя Δ

Рассмотрим величину, характеризующую плотность μ инверсий на интервале исследования *n*, где *n* достаточно большая величина:

$$\mu = i / n . \qquad (4.27)$$

Если *n* являет собой вполне представительную выборку из генеральной совокупности *N*, то наблюденное *i* будет обладать опреде-

ленной репрезентативностью. Предположим, что применение критерия показало, что i несущественно отличается от теоретического значения i_0, и, следовательно, в рассматриваемой последовательности нет явно выраженной закономерности, т. е. последовательность n может рассматриваться как случайная. Разобьем последовательность n на k элементарных участков длиной Δn так, что их общая длина будет равна n. При этом условимся, что на участок Δn может приходиться не более одной инверсии, т. е. он может быть либо пустым, либо занят одной и только одной инверсией.

Вероятность того, что этот участок будет занят инверсией, составит $P_1 = \mu\,\Delta x$, а вероятность, что он будет пустым, соответственно, составит $P_2 = 1 - \mu\,\Delta x$. Вероятность того, что из n единичных участков K будут пустыми, составит $P_2^K = (1 - \mu\,\Delta x)^K$. Следовательно, вероятность того, что на участке Δx появится хотя бы одна инверсия, составит

$$F = 1 - (1 - \mu\,\Delta x)^K, \tag{4.28}$$

но $(1 - \mu\,\Delta x)^K = (1 - \mu\, n/K) = e^{-\mu n}$.

Тогда

$$F = 1 - e^{-\mu n} \tag{4.29}$$

определяет собой функцию распределения интервалов с отсутствием инверсий. Но отсутствие инверсий означает последовательность одного знака + или –, т. е. длительность полупериода τ .

Дифференцируя (4.29) по τ, найдем закон распределения полупериодов в последовательности, в которой отсутствуют закономерности

$$f(\tau) = \mu\, e^{-\mu n} . \tag{4.30}$$

Таким образом, получено экспоненциальное распределение полупериодов, в котором μ соответствует величине, обратной среднему значению ($\mu = 1/\bar{\tau}$). Учитывая, что предельное значение μ при увеличении последовательности $n \to \infty$ стремится к 1/2, для идеальной стохастической последовательности можно записать

$$f(\tau) == 0{,}5\, e^{-0{,}5\tau}\,. \qquad (4.31)$$

Следовательно, теоретическое значение τ =2. В рассмотренном примере $\bar{\tau}_{\phi} = 1{,}62$ и, следовательно, явной периодичности в ряду не наблюдается.

Таким образом, нормальное распределение инверсий создает условия для экспоненциального распределения полупериодов последовательностей одного знака.

4.9. Методический подход к обоснованию представительности массы пробоотбора при оценке качественных характеристик рудной массы

Методы химического анализа относятся к метрологически обеспеченным стандартным методам определения содержаний компонентов в рудной массе, и поэтому принимаются за основу (как эталон) при сопоставлении различных методик, основанных на использовании физических принципов оценки вещественного состава рудной массы.

Применение физических методов для оценки качества дробленого материала имеет ряд особенностей. Во-первых, эти методы по отношению к вещественному составу горных пород являются кос-

венными и поэтому требуют сопоставления физических сигналов с эталоном или стандартным методом. В результате такого сопоставления устанавливается градуированная характеристика, устанавливающая корреляционную зависимость между сигналом и содержанием химического элемента в рудной массе.

Вторая особенность состоит в том, что физические свойства дробленого рудного материала зависят от крупности, гранулометрического состава, влажности, плотности, формы кускового материала.

Третья особенность состоит в том, что эффективность применения физических методов оценки вещественного состава пород зависит от конструктивных решений, средств и системы измерений, технологии отбора и подготовки проб для производства градуировочных испытаний.

В силу этого отбор и подготовка представительных проб относятся к самому ответственному этапу градуировочных испытаний.

Из теории статистических коллективов следует, что выборка (проба) объемом n из генеральной совокупности N считается репрезентативной (представительной), если статистические характеристики этой выборки с заданной вероятностью находятся в пределах установленных доверительных интервалов.

Основной характеристикой дробленого материала является гранулометрический состав (весовое содержание γ различных классов крупности материала). Поскольку каждый класс крупности характеризуется своим вещественным составом, представительная проба должна удовлетворять условию: распределение грансостава в пробе

$\gamma_n(d)$ должно соответствовать распределению грансостава в генеральной совокупности $\gamma_N(d)$ с заданным уровнем вероятности *P*.

$$\gamma_n(d) = \gamma_N(d),$$

Тогда среднее содержание компонента (α) в пробе равно

$$\overline{\alpha} = \sum \gamma_i(d)\alpha_i(d),$$

а его погрешность зависит от точности определения грансостава и содержаний компонента

$$\Delta(\overline{\alpha}) = \sqrt{\Delta^2(\alpha)\sum_1^m \gamma_i^2(d) + \Delta_\gamma^2 \sum_1^m \alpha_i^2(d)}\ , \qquad (4.32)$$

где *m* – количество классов крупности, на которые разделена рудная масса.

Объем представительной пробы определяется схемой разделки материала и подготовки навески для химического анализа. В разделку входит дробление, истирание, в подготовку – измельчение. Следовательно, минимальная масса исходной или первичной пробы (*g*) зависит от количества подготовительных операций *k*. Если за основу принять массу навески для производства химанализа g_o, то *g* будет равна

$$g = 2^k g_0. \qquad (4.33)$$

Это условие сохраняется для всех фракций, на которые разделена рудная масса, в т.ч. и для наименьшей по ее содержанию. Тогда окончательно минимальная масса представительной пробы должна удовлетворять условию:

$$g \geq 2^k g_0 \gamma_{\min}^{-1}(d). \qquad (4.34)$$

Пример. Масса навески (масса измельченного продукта в химлаборатории) равна $g_0 = 0{,}050$ кг. От первоначальной крупности материала 40 мм до крупности 0,074 мм (материал навески) проведено 5 операций дробления и измельчение (всего 6 операций). Исходный материал представлен следующим грансоставом: 0-10 мм – 55 %; 10-20 мм – 30 %; 20-30 мм – 10 %; более 30 мм – 5 %. Следовательно, выход наименее представительной фракции $\gamma_{\min} > 0{,}05$. Согласно (4.34) масса представительной пробы должна быть не менее

$$g \geq 2^6 \cdot 0{,}05 \cdot \frac{1}{0{,}05} = 32 \text{ кг.}$$

4.10. Полная обработка статистических распределений случайных величин

Ранее были показаны приемы обработки рядов случайных величин при их совместном рассмотрении. Метод моментов как способ обработки сгруппированных сведений, обладает значительными преимуществами перед методом сумм и прочно вошел в практику статистических исследований. Методы математической обработки статистических сведений, получаемых при разведке месторождений, играют важную роль при подсчете запасов и решении двух сопутствующих этому задач: обоснованию позиций для оконтуривания балансовых запасов и учет "ураганных" проб.

Горные породы характеризуются тремя классами показателей: геологические оценки и признаки; физико-технические характеристики; вещественный состав или полный химический баланс.

Анализ вещественного состава горных пород занимает значительное место при подсчете запасов, оценке комплексности полезного ископаемого, геохимических исследованиях. При этом возникает несколько специфических задач, которые целесообразно выделить в самостоятельное рассмотрение.

Обоснование кондиций при подсчете запасов полезных ископаемых

В составе материалов геологоразведочных работ опробование стволов разведочных скважин и специальных горных выработок (шурфы, канавы, стенки проходческих выработок) относится к основным информационным сведениям при подсчете запасов месторождения. Количественная оценка запасов полезного ископаемого сводится к определению объема рудного тела (V), его массе (Q) и количеству полезного компонента в этой рудной массе (M). При подсчете запасов методов вертикальных поперечных сечений (разрезов) принципиальная схема расчетов сводится к следующему:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} s_i l_i \rho_i , \qquad M = \sum_{i=1}^{n} s_i l_i \rho_i \alpha_i ,$$

где s_i – площадь рудного тела в плоскости вертикального сечения, l_i – расстояние между сечениями, ρ_i – плотность горных пород в рассматриваемом сечении; α_i – содержание полезного компонента в рассматриваемом сечении рудного тела; параметры s, l и ρ являются независимыми по отношению друг к другу случайными величинами. Из них показатель плотности горных пород (ρ) относится к доста-

точно устойчивым статистическим характеристикам и, в силу этого, во многих случаях принимается как средняя статистическая величина. В табл. 4.10 приведено распределение показателя плотности горных пород по одному из уральских месторождений.

Таблица 4.10

Распределение показателя плотности горных пород (ρ, т/м^3)

Кол-во данных, n	Классовые интервалы плотности, т/м^3												$\sum$
	2,3-2,4	2.4-2,5	2,5-2,6	2,6-2,7	2,7-2,8	2,8-2,9	2,9-3,0	3,0-3,1	3,1-3,2	3,2-3,3	3,3-3,4	3,4-3,5	
	4	9	38	52	60	59	48	33	15	4	6	2	330
a	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	
na	-16	-27	-76	-52	0	59	96	99	60	20	36	14	213
na^2	64	81	152	52	0	59	192	297	240	100	216	98	1551
P_i, %	1,2	2,7	11,5	15,8	18,2	17,9	14,5	10,0	4,5	1,3	1,8	0,6	100,0
$\sum P_i$,%	1,2	3,9	15,4	31,2	49,4	67,3	81,8	91,8	95,3	97,6	98,4	100,0	100,0

По данным таблицы имеем:

$$m_1 = \frac{213}{330} = 0{,}64, \qquad m_2 = \frac{1551}{330} = 4{,}7\,.$$

$$\overline{\rho} = \overline{\rho}_0 + cm_1 = 2{,}75 + 0{,}1 \cdot 0{,}64 = 2{,}814 \text{ т/м}^3;$$

$$\sigma = \sqrt{m_2 - m_1^2} = \sqrt{4{,}7 - 0{,}64^2} = 2{,}071;$$

$$\overline{\sigma}_\rho = c\sigma = 0{,}1 \cdot 2{,}071 = 0{,}207 \text{ т/м}^3;$$

$$V = \frac{\overline{\sigma}_\rho}{\overline{\rho}} \cdot 100\,\% = \frac{0{,}207}{2{,}814} = 7{,}4\,\%.$$

На рис. 4.2 показано сопоставление расчетных, интерпретированных нормальным законом распределения, и экспериментальных данных распределения плотности руды на месторождении.

$$f(\rho) = P = 0{,}19 \exp\left[-11{,}33(\rho - \bar{\rho})^2\right].$$

Сходимость результатов вполне удовлетворительная.

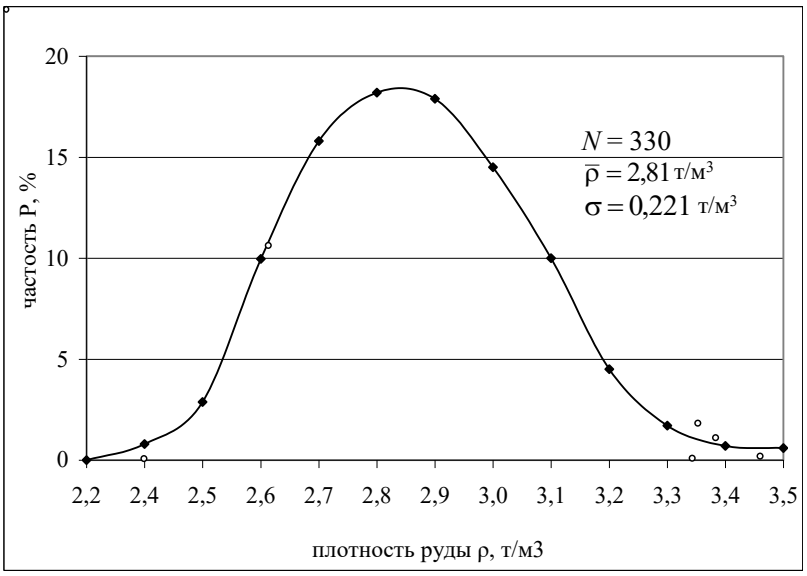


Рис. 4.2. Распределение плотности руды (ρ) по результатам частных определений

Отформатировано: По центру, междустрочный, 1,5 строки

В теории статистических выборок делается акцент на том, что случайные величины должны удовлетворять главному условию (требованию) – иметь одинаковую представительность, быть равноточными. Невыполнение этого условия приводит к значительному снижению степени доверия к результатам вычислительных операций. Неравноточные наблюдения вносят дополнительную составляющую в дисперсию показателя, значимость которой тем больше, чем меньше объем выборки. Опробование, которое выполняют геологи при разведочных работах, есть технология получения достоверных сведений. Эта технология базируется на инженерных расчетах и вероятностных оценках. Отбор проб на анализ осуществляется с равных ин-

тервалов керна скважин и с обязательной оценкой выхода керна. На стадии подсчета запасов в каталоги проб насчитываются десятки, и даже сотни тысяч анализов, обработку которых доверяют методам статистической оценки. Ниже приведен пример такой обработки по одному из известных рудников Урала (табл. 4.11, рис. 4.3):. Среднее содержание ($\bar{\alpha}$) компонента равно:

$$m_1 = \frac{1664}{4750} = 0{,}35, \qquad m_2 = \frac{16336}{4750} = 3{,}44,$$

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_0 + cm_1 = 1{,}75 + 0{,}5 \cdot 0{,}35 = 1{,}925 \ \%,$$

$$\sigma = \sqrt{m_2 - m_1^2} = \sqrt{3{,}44 - 0{,}12^2} = 1{,}822,$$

$$\bar{\sigma} = c\sigma = 0{,}5 \cdot 1{,}822 = 0{,}911 \ \%.$$

Но среднее содержание компонента ($\bar{\alpha}$) есть средневзвешанная величина классов содержаний по их долевому участию в общем распределении

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum P\alpha}{100} = \frac{192{,}23}{100} = 1{,}9222 \ \%.$$

Расхождение в 0,003 %, что составляет по отношению к $\bar{\alpha}$ всего 0,15 %, возникло за счет округлений в вычислительных операциях и не превышает точности химического анализа при определении содержаний компонента. Если известна объемная представительность пробы (g), т. е. объем массива горных пород, на который распространяется выполненный анализ, то общий объем руды

$$V = Ng.$$

~~$V = Ng$~~ Количество руды в весовых единицах ~~будет равно~~

$$Q = Ng\rho,$$

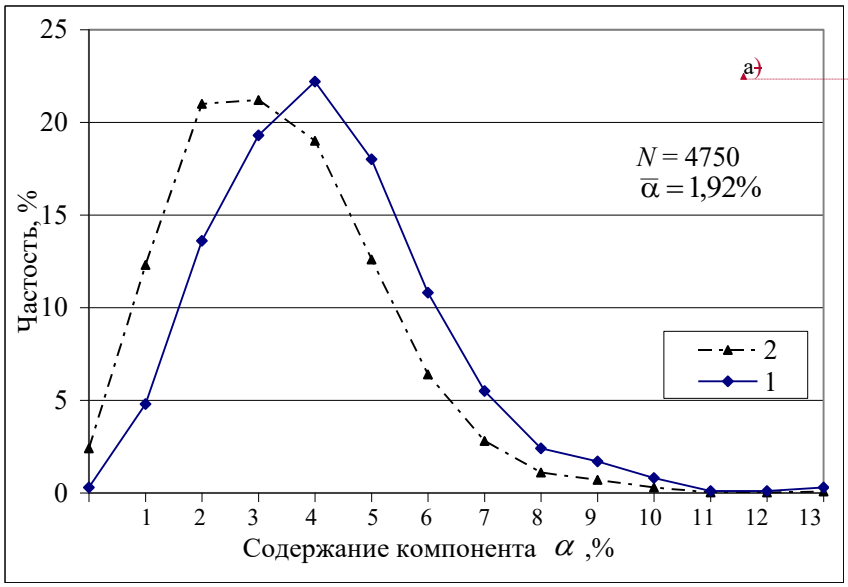
Отформатировано: Шрифт: 16 пт, ниже на 3 пт

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, ниже на 6 пт

Таблица 4.11

Подсчет запасов статистическим методом

Класс α, %	0–0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–3,0	3,0–3,5	3,5–4,0	4,0–4,5	4,5–5,0	5,0–5,5	5,5–6,0	6,0–6,5	6,5–7,0	$\sum$
Кол-во, n	115	584	996	1008	903	598	308	132	50	35	15	1	1	4	4750
a	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
na	-345	-1168	-996	0	903	1196	924	528	250	210	105	8	9	40	1664
na^2	1035	2336	996	0	903	2392	2772	2112	1250	1260	735	64	81	400	16336
P, %	2,4	12,3	21,0	21,2	19,0	12,6	6,4	2,8	1,1	0,7	0,3	0,02	0,02	0,08	100,0
$\sum P_i$,%	2,4	14,7	35,7	56,9	75,9	88,5	94,9	97,7	98,8	99,5	99,8	99,9	99,9	100,0	100,0
$P\alpha$	0,60	9,22	26,25	37,10	42,75	34,65	20,80	10,50	4,68	3,32	1,58	0,12	0,12	0,54	192,23
$\sum P\alpha$	0,60	9,82	36,07	73,17	115,92	150,57	171,37	181,87	186,55	189,97	191,45	191,57	191,69	192,23	192,23
q, %	0,3	4,8	13,6	19,3	22,2	18,0	10,8	5,5	2,4	1,7	0,8	0,1	0,1	0,3	100,0
$\sum q$,%	0,3	5,1	18,7	38,0	60,2	78,2	89,0	94,6	97,0	98,7	99,5	99,6	99,7	100,0	100,0



1 – распределение содержаний компонента;

2 – распределение запасов по классам содержаний компонента.

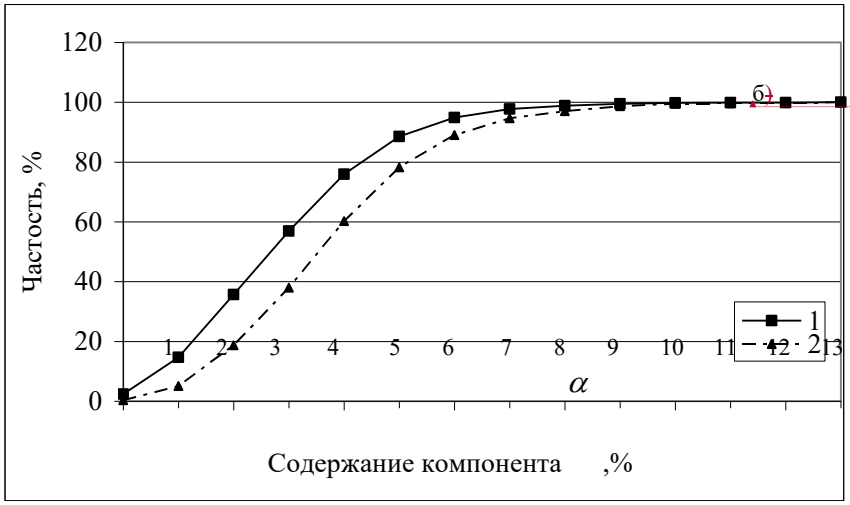


Рис. 4.3. Плотность рРаспределения содержаний (*а1*) и интегральных запасов (*б2*) компонента

на месторождении

1 – распределение содержаний компонента;

Отформатировано: Ширина: 21 см, Высота: 29,7 см

Отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Шрифт: не курсив

2 – распределение запасов по классам содержаний компонента.

а количество металла в подсчитанных границах в весовых единицах $M = Ng\rho\bar{\alpha}$.

~~Расхождение в 0,003 %, что составляет по отношению к $\bar{\alpha}$ всего 0,15 %, возникло за счет округлений в вычислительных операциях и не превышает точности химического анализа при определении содержаний компонента. Если известна объемная представительность пробы, т. е. объем массива горных работ, на который распространяется выполненный анализ, то общий объем руды составит~~

Здесь g означает объемную представительность пробы. Эта величина численно равна

$$g = (a \times b)h,$$

где a и b – параметры сетки опробования, h – мощность интервала опробования.

В строке "q" произведено определение долевого участия каждого классового интервала содержаний компонента в общих запасах (рис. 4.3). Обращает на себя внимание, что кривые запасов сдвинуты в сторону увеличения содержаний по отношению к распределению самих содержаний α. Выполним вычисление среднего содержания α взвешиванием плесовых интервалов на q:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha q}{q}.$$

В результате получим, что $\bar{\alpha} = 2{,}36$ %, что на 0,44 % больше, чем в расчетах при взвешивании просто на частоту появления содержаний.

Часто расчетным путем определяется содержание компонента, при котором процесс обогащения обеспечивает прибыль при реали-

зации концентратов. Эта величина называется минимально промышленным содержанием (α_{min}), которое закладывается в расчет по обоснованию бортового содержания ($\alpha_б$). По значению бортового содержания производится оконтуривание балансовых запасов, которые и являются основой для составления проекта на отработку месторождения. Бортовое содержание обосновывается рассмотрением нескольких вариантов, выполняемых по следующей схеме. Допустим, что в качестве $\alpha_б$ принято значение содержания компонента, равное 2,36 %, т. е. $\alpha_б$ = 2,36 %. Из строки "$\sum P\alpha$" необходимо исключить некоторую долю запасов, имеющих низкое содержание. Например, исключим пробы с содержанием $\alpha \le 0{,}5$ %, тогда будем иметь:

$$\frac{192{,}23 - 0{,}60}{100{,}0 - 2{,}4} = 1{,}96 \text{ \%}.$$

Это ниже, чем требуется, на 0,4 %.

Рассмотрим второй вариант – исключим содержание $\alpha \le 1{,}0$ %. Расчет дает следующий результат:

$$\frac{192{,}23 - 9{,}82}{100{,}0 - 14{,}7} = 2{,}14 \text{ \%}.$$

Здесь разница составляет уже 0,12 %.

Третий вариант будет соответствовать условию $\alpha \le 1{,}5$ %. В результате

$$\frac{192{,}23 - 36{,}07}{100{,}0 - 35{,}7} = 2{,}42 \text{ \%}.$$

Это значение уже на 0,06 % превышает требуемое условие. Путем интерполяции (допустима линейная) получим, что требованию $\alpha_б$ должно соответствовать α_{min}, значение искомой величины

$$\alpha_б = 1 + \frac{2,42 - 2,14}{0,5}(2,36 - 2,14) = 1 + 0,12 = 1,12\ \%.$$

При этом запасы уменьшатся на величину

$$\Delta P\alpha = 9,82 + \frac{36,07 - 9,82}{0,5}(1,12 - 1,00) = 9,82 + 6,30 = 16,12\ \%.$$

Таким образом, 84 % запасов будут удовлетворять установленным требованиям.

Учет "исключительных" проб

При анализе данных разведки и материалов опробования на предприятиях, ведущих отработку руд цветных металлов, а также при отработке россыпных месторождений, наблюдаются ситуации, когда некоторое количество проб выходят за границы основного сосредоточения выборки. Так, в табл. 4.11 обращает на себя внимание класс содержаний α 6,5–7,0 %. В нем оказалось 4 пробы, и, естественно, возникает вопрос о включении их в подсчет или исключении как "инородных" для данного статистического коллектива.

В таких ситуациях следует поступать следующим образом. Во-первых, следует убедиться в правильности (достоверности) определения этих "исключительных" проб – не содержится ли здесь грубая ошибка. Во-вторых, необходимо, просмотрев еще раз все материалы опробования, удостовериться в том, что эти пробы отвечают условию качественной однорядности, т. е. по всем геологическим признакам соответствуют принадлежности статистическому коллективу. Если и этот вопрос имеет положительный ответ, то в силу вступают жесткие требования теории статистических коллективов. Одно из этих требований позволяет утверждать, что границы однородного статистического коллектива независимых случайных величин определяются

стандартом (σ) этой случайной величины. С вероятностью не менее чем $P = 0{,}997$ можно утверждать, что границы выборки укладываются в интервал 6σ

$$\alpha_{max} - \alpha_{min} = 6\sigma.$$

Это положение фактически утверждает, что в выборке из 1000 значений случайной величины допустимо иметь 3 значения, выходящие за пределы 6σ. При этом следует иметь в виду, что выборки, превышающие 1000 единиц, с вероятностью $P = 0{,}9995$ укладываются в интервал 7σ. Это означает, что в выборке из 10000 единиц сведений за границей 7σ может быть зафиксировано 5 случаев. В нашем примере $\sigma_\alpha = 0{,}911$ %; граница $6\sigma = 5{,}466$ %. При объеме выборки $N = 4750$ допускается, что $0{,}003N = 14$ случайных величин могут выйти за границу $\alpha = 5{,}47$ %; граница 7σ равна 6,38 %, и на долю исключительных проб приходится 0,0005 N = 2-3 пробы. В табл. 4.11 таких проб, вышедших даже за границу 6,0%, 5 из допускаемых 2–3. Поэтому непосредственно исследователь сам принимает решение о полном исключении этих четырех проб или частичном, и при этом окончательные результаты сохранят свою достоверность.

5. ОСНОВЫ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

5.1. Термины и понятия

Любая научная дисциплина оперирует собственными понятиями и им соответствующими терминами. Ключевым понятием в теории корреляции является само понятие «корреляция». В буквальном смысле ***корреляция*** означает совпадение, соответствие: гром и молния; споткнулся − упал; рост − размер обуви; рост − вес; успеваемость − посещаемость занятий; усидчивость и целенаправленность − результативность; количество − качество; быстро, но плохо − медленно, зато хорошо и т. д. и т. п. Таким образом, с понятием корреляция связывается сопоставление фактора X с фактором Y, один из которых рассматривается как причина, другой − как следствие. В формализованном виде это представляется как

$$y = f(x), \qquad x = \varphi(y), \tag{5.1}$$

где $x \in X$, $y \in Y$.

Понятие «корреляция» введено английским математиком У. Гамильтоном и закрепилось в математике благодаря теоретическим работам его ученика и последователя К. Пирсона (1857−1936).

Соотношения вида (5.1) называются ***корреляционными уравнениями***: $y = f(x)$ − корреляционное уравнение y по x; $x = \varphi(y)$ − корреляционное уравнение x по y. Корреляционное уравнение отображает форму ***корреляционной связи*** между исследуемыми факторами. Корреляционные уравнения относятся к классу формальных, эмпирических сведений.

Понятие ***корреляционная связь (корреляционная зависимость)*** означает, что между y и x отмечаются некоторого вида соотношения, физическая сущность или физическая основа которых не выяснена, и эти соотношения выступают как наблюдаемый факт. Количественной характеристикой корреляционной связи является ***коэффициент корреляции*** (r).

Различают зависимости ***функциональные, стохастические и статистические.*** Функциональные зависимости отражают суть природных явлений и процессов и представляются в виде строгих детерминированных форм. Закон есть отражение детерминированного характера связи между причиной и следствием. Законы механики являются классическим примером функциональных зависимостей.

Процессы горного производства протекают в условиях одновременного действия многочисленных факторов. В этих случаях связи утрачивают свою строгую функциональность, приобретают некоторую неопределенность, оценки приобретают вероятностный характер. Такие связи носят характер стохастических (вероятностных). К их числу следует отнести влияние физико-технических характеристик горных пород на технологические показатели буровых и взрывных работ, на работу погрузочного оборудования и технологического транспорта. В практике рудничного геолога это зависимости между содержаниями химических элементов в горных породах. Стохастическая связь состоит в том, что одна случайная величина реагирует на изменение другой переменной изменением своего закона распределения.

В практике статистических исследований рассматривается частный случай такой связи, называемой статистической связью. Статистическая связь характеризуется тем, что в генеральной совокупности случайных величин условное математическое ожидание случайной переменной является функцией значения другой переменной:

$$M(y/x) = f(x). \qquad (5.2)$$

Поскольку априори вероятностный закон распределения случайных величин не известен, на практике применяют выборочный метод. Тогда математическое ожидание заменяется средними статистическими характеристиками и (5.2) принимает вид корреляционной зависимости

$$\bar{y}_x = f(x). \qquad (5.3)$$

Таким образом, корреляционная зависимость отражает статистическую зависимость условных средних значений показателя *y* от переменной величины *x*.

Корреляционная зависимость определяется как парная, если в анализе участвуют только две случайные величины *y* и *x*. В этом случае говорят о ***парной корреляции***. Если в анализе участвуют несколько случайных величин, так что $y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$, то говорят о ***множественной корреляции***. Различают также ***линейную*** корреляцию и ***нелинейную.*** Если зависимость $y = f(x)$ имеет вид

$$y = ax + b,$$

говорят о наличии линейной парной корреляционной зависимости.

Во всех остальных случаях говорят о наличии нелинейной парной корреляционной зависимости. Количественной оценкой статистической корреляционной зависимости нелинейного характера является ***корреляционной отношение*** **(**η**).**

5.2. Задачи корреляционного анализа

В практике изучения технологических процессов горного производства, природных явлений, свойств горных пород и особенностей проявления причинно-следственных отношений в самых различных их формах производится сопоставление нескольких рядов статистических сведений. Такое сопоставление имеет своей целью получить количественную оценку соотношения между, например, значениями показателей X и Y. Можно понимать, и можно даже объяснить что-либо, но этого недостаточно для проведения инженерных расчетов – здесь требуется знать форму соотношения между X и Y и его количественное представление. Выделяются три основных этапа корреляционного анализа: подготовка исходных данных, обработка статистической информации, анализ полученных результатов (рис. 5.1).

Подготовка исходных данных

Подготовка исходных данных является первым и потому самым ответственным этапом анализа. При этом решается следующий круг вопросов.



Рис. 5.1. Принципиальная схема проведения корреляционного анализа

1. Обоснование и формирование необходимого информационного массива сведений. Здесь исследователь сталкивается с двумя принципиально различными ситуациями: получение данных в результате проведения эксперимента в лабораторных либо в опытно-промышленных условиях; имеется генеральная совокупность сведений и решается вопрос об объеме представительной выборки.

В первом случае каждый полученный результат эксперимента «на вес золота», и это определяет весь технологический режим его

проведения, описания и анализа. Во втором случае, который связывается с изучением событий массового характера, например, текущие сведения о работе горного предприятия, материалы разведки и подсчета запасов, контрольные данные ОТК предприятия, опробование рудного материала и т. д., главным вопросом является объем представительной выборки. Объем представительной выборки определяется стоящей перед исследователем задачей и задаваемой плотностью получения результата.

2. Фильтрация или классифицирование информации по трем основополагающим признакам: информация должна отвечать условию качественной однородности, независимости, внутренней связанности.

Качественная однородность означает принадлежность информации одному виду. Например, горные породы подразделяются на скальные, рыхлые, грунты, пески (возможна и другая классификация); обогатительные схемы совершенно отчетливо подразделяются по признаку физической основы разделения рудной массы на кондиционную и некондиционную (хвосты обогащения) фракции (сухая и мокрая магнитные сепарации, радиометрическая сепарация, флотация); горно-транспортное оборудование подразделяется не только по функциональному признаку (погрузочные и транспортные средства, буровая техника и т. д.), но и по типажу, моделям и т. п.; в практике измерительных работ в маркшейдерском деле это, в первую очередь, тип и класс инструментов. Статистической обработке подлежат лишь те сведения, которые связаны одной «генетической» основой.

Вторым важным признаком является внешняя независимость информационных сведений, то есть появление сведения не зависит от

предыдущего и не оказывает влияния на последующие при прочих равных условиях. Так, загрузка транспортных средств забойным экскаватором или любым другим способом, погрешность измерения углов и длин при производстве маркшейдерских работ и многие другие примеры соответствуют требованию внешней независимости. А вот при исследовании команд диспетчера необходимо иметь в виду то обстоятельство, что его команды по большей своей части не отвечают условию независимости, поскольку их следует рассматривать как реакцию на ту или иную ситуацию, возникшую в схеме цепи аппаратов производственной структуры (участок, рудник, фабрика и т. д.), и направлены на устранение и недопущение сбоев в технологическом процессе.

Внутренняя связанность информационного множества сведений означает принадлежность их к одной генеральной совокупности, например, анализируются простои горно-транспортного оборудования. Естественно, что простои экскаваторов и буровых станков есть разнокачественные множества информации. Экскаваторы, расположенные в различных местах карьерного поля с автономным электропитанием, отвечают признаку независимости, а их принадлежность одной производственной структуре (карьеру) согласуется с требованием внутренней связанности. Внутренняя связанность определяется структурой горного предприятия. Так, в условиях ОАО Качканарский ГОК карьеры Западный, Северный и Главный представляют собой в определенном смысле автономные производственные структуры. Это означает, что анализ производства должен производиться только в

рамках каждой структурной единицы и лишь потом, как итог, допустимо сравнение показателей.

Обработка статистической информации

Обработка информации предусматривает получение главных статистических характеристик (среднее значение $\bar{x}$ и стандарта колебаний σ), графическое представление распределений случайных величин и зависимостей между ними в форме $y = f(x)$. Важными статистиками являются показатели асимметрии и эксцесса распределений при обработке больших выборок (более 1000 информационных единиц). Аналитическое представление зависимости вида $y = f(x)$ подытоживает камеральную работу информации.

Анализ полученных результатов

Анализ полученных результатов является завершающим этапом. Главная его составляющая заключается в инженерном и научном комментарии полученных результатов, в оценке точности и надежности этих результатов, формулировании нового знания, приведение этих знаний к инженерной форме для производства расчетов.

5.3. Корреляционное поле

Парная корреляция наглядно иллюстрируется в декартовой системе координат, когда одна случайная величина (x) выступает аргументом, другая (y) – функцией (рис. 5.2). Приведенные примеры показывают, что уже форма корреляционного поля (оконтуренное облако всех парных сопоставлений x и y) подсказывает исследователю ха-

рактер корреляционной связи: прямая или обратная зависимость, устойчивая или слабая, а, возможно, и отсутствие таковой.

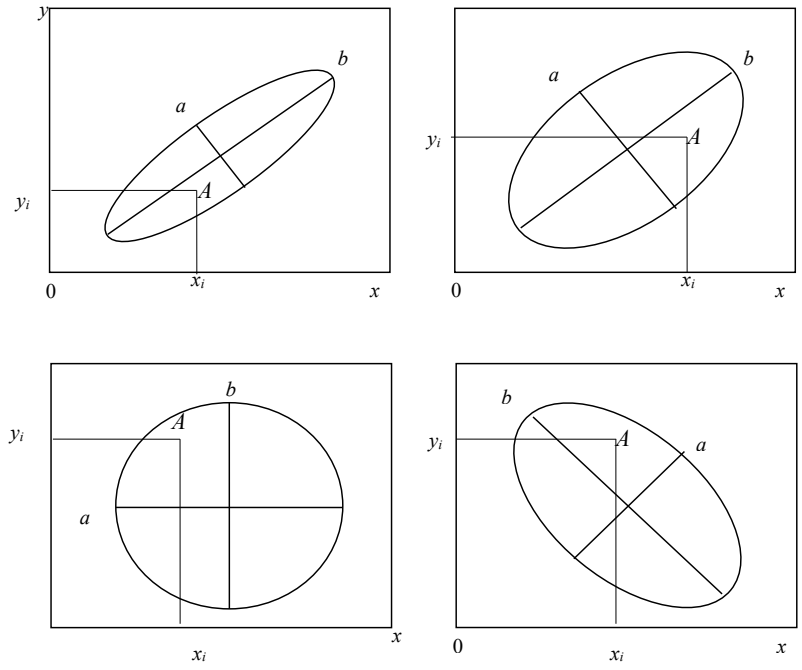


Рис. 5.2. Форма корреляционных полей в парной корреляции

По внешнему виду корреляционного поля можно судить о корреляционной зависимости: вытянутый эллипс свидетельствует о наличии зависимости; слабо проявляемая эллипсоидность говорит о слабой зависимости либо ее отсутствии.

В первом приближении исследователь может ориентироваться на соотношение полуосей a и b ($a < b$):

$$\eta^2 = 1 - \frac{a^2}{b^2}. \qquad (5.4)$$

Формально η^2 соответствует показателю эксцентриситета эллипса. Ниже будет показано, что соотношение (5.4) в полной мере соответствует понятию «корреляционное отношение» и поэтому оправданно может использоваться в экспертных оценках.

В табл. 5.1 в качестве примера представлены сведения по объемам отгрузки руды экскаватором в течение месяца.

Таблица 5.1

Объемы отгрузки руды экскаватором по суткам

Число месяца	Объем отгрузки, тыс. т в сутки	Накопительный объем отгрузки, тыс. т	Число месяца	Объем отгрузки, тыс. т в сутки	Накопительный объем отгрузки, тыс. т
1	1,2	1,2	16	1,3	59,5
2	5,0	6,2	17	5,9	65,4
3	4,2	10,4	18	–	65,4
4	3,8	14,2	19	4,4	69,8
5	4,5	18,7	20	4,8	74,6
6	–	18,7	21	6,3	80,9
7	3,9	22,6	22	5,7	86,6
8	5,1	27,7	23	6,4	93,0
9	5,4	33,1	24	6,1	99,1
10	2,7	35,8	25	5,3	104,4
11	3,7	39,5	26	2,8	107,2
12	4,9	44,4	27	3,1	110,3
13	5,3	49,7	28	3,3	113,6
14	5,1	54,8	29	2,5	116,1
15	3,4	58,2	30	6,4	122,5

Естественно, что при средней суточной производительности экскаватора (g) объем отгрузки пропорционален времени (количеству проработанных суток n)

$$Q = g \cdot n.$$

В силу различных факторов суточная производительность колеблется, и в заданный конкретный момент времени t_i значение Q_i будет отличаться от расчетного (рис. 5.3).

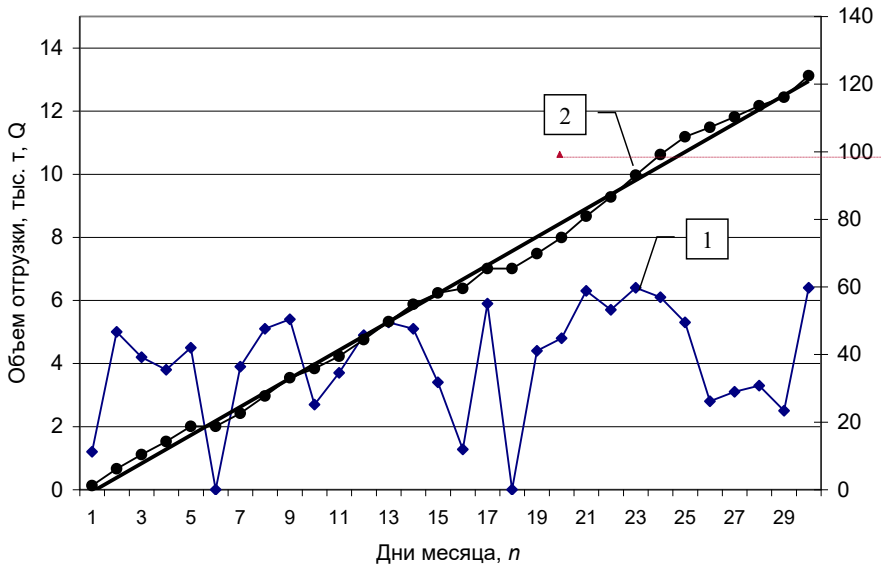


Рис. 5.3. Отгрузка руды экскаватором в течение месяца:

1 – суточные объемы отгрузки, тыс. т;
2 – накопительные объемы отгрузки (с начала месяца), тыс. т

В задачу исследования как раз и входит определить те факторы, которые влияют на устойчивость такого показателя как средняя производительность экскаватора, и оценить степень их влияния.

На крупных карьерах в работе находятся одновременно несколько экскаваторов (N). Рассмотрим задачу: как влияет количество

Отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Arial, полужирный

Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Arial, полужирный

экскаваторов на суточную производительность карьера? Естественно предположить, что

$$Q = g \cdot N$$

и, следовательно, чем больше техники в карьере, тем выше его объемы добычи. Однако анализ деятельности современных крупных карьеров показывает, что этот вывод имеет ограничение, которое в каждом конкретном случае оценивается отдельно. На рис. 5.4 приведен пример такого анализа по одному из крупнейших железорудных карьеров с производственной мощность 33 млн. т в год по горной массе и 26 млн. т по руде. При средней технической производительности экскаватора 3,2 млн. т в год необходимое количество их составит 26 : 3,2 = 8,1 шт., а средняя суточная производительность будет равна $\bar{g} = 3200 : 365 = 8{,}125$ т.

На рис. 5.4 линия (1) соответствует уравнению $Q = 8{,}125N$ и обозначает оптимистичный вариант, из которого следует, что для выполнения годовой программы по добыче достаточно 9 экскаваторов, которые одновременно обеспечивают 25 % резервных мощностей. Пунктирная линия (2) показывает границу зоны, в которой находятся фактические данные. Эта зона называется ***зоной доверительного интервала.*** Линия (3) показывает график статистической корреляционной зависимости между показателями Q и *N*.

С формальных позиций корреляционное поле может рассматриваться как двумерное распределение двух совместных случайных величин *y* и *x*.

В случае нормальной парной корреляции, когда y и x распределены по нормальному закону, нормированное корреляционное поле описывается уравнением

$$f(x, y) = A\exp[-B(x, y)],$$

где $A = \left[2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}\right]^{-1}$,

$$B(x, y) = \frac{1}{2(1-r^2)}\left[\frac{(x-m_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2r(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-m_y)^2}{\sigma_y^2}\right].$$

Отформатировано: По центру

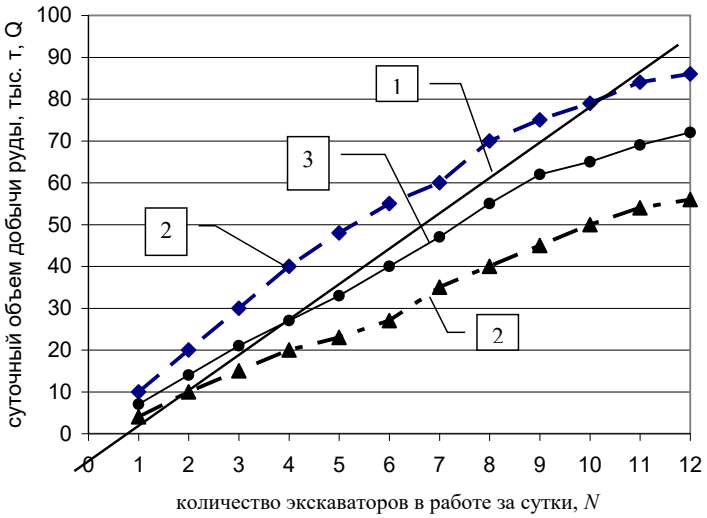


Рис. 5.4. Изменение суточной производительности карьера в зависимости от количества работающих экскаваторов:

1 – проектная динамика производительности;
2 – контур корреляционного поля;
3 – средняя статистическая динамика производительности карьера

Здесь m_x и m_y обозначают математическое ожидание случайных величин x и y. В выборочном методе математическому ожиданию соответствует среднее значение. Значения σ_x^2, σ_y^2 обозначают дисперсии

случайных величин x и y, а r есть коэффициент корреляции между этими случайными величинами. Чем больше объем выборки, тем надежнее представлено двумерное распределение.

5.4. Корреляционная таблица и ее обработка методом моментов

Отформатировано: Заголовок 2, По левому краю, Отступ: Слева: 1,27 см, Выступ: 0,95 см, междустрочный, одинарный

Корреляционную таблицу и схему обработки статистической информации с ее помощью разработал К. Пирсон. В табл. 5.2, 5.3 приведен пример обработки статистического массива непрерывных случайных величин с использованием метода моментов. В корреляционной таблице отображается статистическая зависимость между двумя случайными величинами x и y в виде корреляционного поля, построенного в ортогональных координатах x и y.

Непрерывные случайные величины ранжируются в порядке возрастания и группируются по классам. Классовый интервал (C) выбирается из условия

$$C = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}, \qquad n \geq 12. \qquad (5.5)$$

Значение $n \geq 12$ выбирается из условия Шеппарда, который показал, что величина классового интервала (C), особенно при малых выборках, оказывает влияние на точность определения четных центральных моментов. В частности, вычисленный второй центральный момент (μ_2) (он же дисперсия) отличается от истинного (μ_2(ист)) на величину $C^2/12$, так что

$$\mu_2 = \mu_2(\text{ист}) + \frac{C^2}{12} \qquad (5.6)$$

или

$$\mu_2(\text{ист}) = \mu_2 - \frac{C^2}{12}.$$

Шеппард показал, что при $C < 0{,}5\sigma$ ошибка в определении стандарта распределения (σ) не превосходит 1 %. Таким образом, из условия (5.5) следует, что

$$\sigma \approx \frac{x_{\max} - x_{\min}}{6}. \qquad (5.7)$$

Значение классового интервала округляется до величин, удобных для выполнения вычислительных операций, построения графиков.

Границы классового интервала аналогичны ячейкам сетки: в ячейку $x_i - (x_i + c)$ попадают все значения случайной величины x, удовлетворяющей условию

$$x_i < x_k \le x_i + c_x.$$

Аналогично, случайная величина y_k попадает в интервал

$$y_i < y_k \le y_i + c_y.$$

В примере табл. 5.2 классовые интервалы c_x и c_y приняты 2 единицам; в общем случае $c_x \neq c_y$, поскольку имеют разные системы измерений. Первый взгляд на корреляционное поле указывает на существование определенной связи между случайными величинами x и y. Порядок вычислительных процедур показан на полях, примыкающих к основной таблице. Построчная сумма цифр заносится в столбец n_x

Таблица 5.2

Корреляционная таблица статистической зависимости между случайными непрерывными величинами X и Y (определение средних значений и дисперсий)

X \ Y	3-5 4	5-7 6	7-9 8	9-11 10	11-13 12	13-15 14	15-17 16	17-19 18	19-21 20	21-23 22	23-25 24	n_x	a_x	$n_x a_x$	$n_x a_x^2$	p_x, %	$\sum p_x$, %
0–2 1	1	2	1									4	-4	-16	64	1,3	1,3
2–4 3	2	2	5	7	3	1						20	-3	-60	180	6,7	8,0
4–6 5	1	4	10	8	8	9	4	1				45	-2	-90	180	15,0	23,0
6–8 7		1	9	16	16	12	5					59	-1	-59	59	19,7	42,7
8–10 9		1	1	9	20	20	10		2	1		64	0	0	0	21,3	64,0
10–12 11			2	3	4	6	16	10	4			45	1	45	45	15,0	79,0
12–14 13				1	5	4	10	10	10	5	1	36	2	72	144	12,0	91,0
14–16 15						1	6	3	5	3	1	19	3	57	171	6,3	97,3
16–18 17							1	3	1	1	2	8	4	32	128	2,7	100,0
n_y	4	10	28	44	56	53	52	27	17	6	3	300		-19	971	100,0	
a_y	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5						
$n_y a_y$	-20	-40	-84	-88	-56	0	52	54	51	24	15	-92					
$n_y a_y^2$	100	80	252	176	56	0	52	108	153	96	75	1148					
p_y, %	1,3	3,3	9,3	14,7	18,7	17,7	17,3	9,0	5,7	2,0	1,0	100,0					
$\sum p_y$, %	1,3	4,6	13,9	28,6	47,3	65,0	82,3	91,3	97,0	99,0	100,0						

и означает количество случаев, когда x изменялся в пределах конкретного класса: (0–2) = 4; (2–4) = 20; (4–6) = 45 и т. д.

Дисперсия случайной величины x определяется через второй начальный момент m_2:

$$\left.\begin{aligned} D = \sigma^2 &= m_2 - m_1^2, \\ \sigma &= \sqrt{m_2 - m_1^2}; \\ \overline{\sigma} &= c\sqrt{m_2 - m_1^2} \end{aligned}\right| . \qquad (5.8)$$

В нашем примере имеем:

$$m_1(x) = -\frac{19}{300} = -0{,}063; \qquad m_2(x) = \frac{971}{300} = 3{,}237;$$

$$D_x = \sigma_x^2 = 3{,}237 - (-0{,}063)^2 = 3{,}233;$$

$$\sigma_x = \sqrt{3{,}233} = 1{,}798; \qquad \overline{\sigma}_x = 2 \cdot 1{,}798 = 3{,}596.$$

Величина $\overline{\sigma}_x$ означает приведенный к натуральному значению стандарт случайной величины x; $\overline{\sigma}_x$ имеет размерность случайной величины x.

Графа a_x означает условную систему ранжирования случайной величины x относительно выбранной точки "опоры" балки $x_{\min} - x_{\max}$. Рекомендуется точку "опоры" $a_x = 0$ выбирать в районе "центра тяжести" балки n_x. Первый начальный момент m_1 определяет точное положение центра тяжести распределения, который и является по определению средним значение случайной величины x,

$$\left.\begin{aligned} m_1(x) &= \frac{\sum n_x a_x}{\sum N} \\ \overline{x} &= \overline{x}_o + c_x m_1(x) \end{aligned}\right| . \qquad (5.9)$$

Отформатировано: слева: 2 см, справа: 2 см, Ширина: 21 см, Высота: 29,7 см, Расстояние от края до верхнего колонтитула: 1,25 см, Расстояние от края до нижнего колонтитула: 1,25 см

Здесь $\bar{x}_o$ означает среднее значение в классовом интервале $a_x = 0$. Имеем: $a_x = 0,\ x_0 = 8-10,\ \bar{x}_0 = 9,\ c_x = 2,$

$$\left.\begin{aligned} m_1(x) &= -\frac{19}{300} = -0{,}063 \\ \bar{x} &= 9 - 2 \cdot 0{,}063 = 8{,}873 \end{aligned}\right| .$$

В принципе, выбор положения нулевого класса ($a_x = 0$) не оказывает влияния на результат расчета – среднее значение случайной величины не зависит от выбора начала отсчета. Приближение нуля к центру тяжести распределения только облегчает арифметические операции при обработке таблицы. Покажем это на примере. Придадим значение $a_x = 0$ классу x = (4–6) и произведем вычисления.

X	n_x	a_x	$n_x a_x$	$n_x a_x^2$
0–2 1	4	-2	-8	16
2–4 3	20	-1	-20	20
4–6 5	45	0	0	0
6–8 7	59	1	59	59
8–10 9	64	2	128	256
10–12 11	45	2	135	405
12–14 13	36	4	144	576
14–16 15	19	5	95	475
16–18 17	8	6	48	288
Итого	300		581	2095

$$m_1(x) = \frac{581}{300} = 1{,}937$$

$$m_2(x) = \frac{2095}{300} = 6{,}983$$

$$\bar{x} = 5 + 2 \cdot 1{,}937 = 8{,}873$$

$$\sigma^2 = 6{,}983 - (1{,}937)^2 = 3{,}231$$

$$\sigma = 1{,}797$$

$$\bar{\sigma} = 2 \cdot 1{,}797 = 3{,}594$$

Отмечаемые несовпадения в третьем знаке связаны с округлением. В еще большей степени облегчение вычислительных операций

ощущается при вычислении смешанного момента для расчета коэффициента корреляции.

В графах p_x и $\sum p_x$ табл. 5.2 распределение n_x приведено к относительным единицам, выраженным в процентах.

В такой же последовательности производятся вычислительные операции для случайной величины *y*.

В нашем примере имеем:

$$m_1(y) = -\frac{92}{300} = -0{,}317; \qquad m_2(y) = \frac{1148}{300} = 3{,}827;$$

$$\bar{y} = 14 - 2 \cdot 0{,}317 = 13{,}366;$$

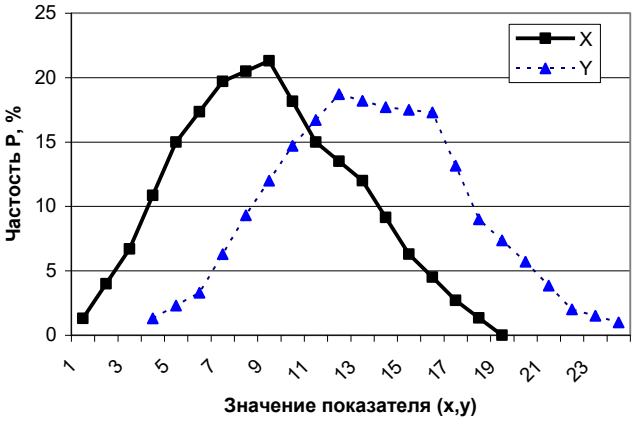
$$D_y = \sigma_y^2 = 3{,}827 - (-0{,}317)^2 = 3{,}726$$

$$\sigma_y = \sqrt{3{,}726} = 1{,}930; \qquad \bar{\sigma}_y = 2 \cdot 1{,}930 = 3{,}861.$$

На рис. 5.5 по данным табл. 5.2 построены графики статистических распределений (дифференциальные кривые плотности) случайных величин *x* и *y*. Графа n_x (соответственно n_y) называется графой частот, а графа p_x (соответственно p_y) – графой частостей. Первый контроль правильности составления корреляционной таблицы состоит в выполнении условия

$$\sum n_x = \sum n_y = N.$$

В табл. 5.3 приведена схема расчетов для определения коэффициента корреляции r_{xy}.



$n = 300$

$\bar{x} = 8{,}87 \quad \bar{\sigma}_x = 3{,}60$

$\bar{y} = 13{,}37 \quad \bar{\sigma}_y = 3{,}86$

Рисунок 5.5. Графика статистических распределений случайных величин x и y (по данным табл. 5.2)

Алгоритм расчета сводится к вычислению смешанного момента

$$R_{xy} = M[(x - \bar{x})(y - \bar{y})].$$

Построчно (относительно случайной величины x) определяется сумма $a_x \sum a_{y_i} n_i$. Так, для класса x = (0–2) ~~эта сумма равна~~имеем

$$[(-5)\cdot 1 + (-4)\cdot 2 + (-3)\cdot 1](-4) = 64,$$

для класса x = (2–4) соответственно получим

$$[(-5)\cdot 2 + (-4)\cdot 2 + (-3)\cdot 5 + (-2)\cdot 7 + (-1)\cdot 3 + (0)\cdot 1](-3) = 150$$

и т. д.

Относительно случайной величины y вычисления выполняются по схеме: для класса y = (3–5) имеем

$$[(-4)\cdot 1 + (-3)\cdot 2 + (-2)\cdot 1](-5) = 60;$$

для класса y = (5–7) имеем

$$[(-4)\cdot 2 + (-3)\cdot 2 + (-2)\cdot 4 + (-1)\cdot 1 + (0)\cdot 1](-3) = 92 \text{ и т. д.}$$

Таблица 5.3

Корреляционная таблица статистической зависимости между случайными непрерывными величинами y и x (расчет коэффициента корреляции r_{xy})

X \ y	3-5 4	5-7 6	7-9 8	9-11 10	11-13 12	13-15 14	15-17 16	17-19 18	19-21 20	21-23 22	23-25 24	n_x	a_x	$a_{x_i}\sum a_{y_j} n_{ij}$	$\sum n_i \bar{y}_i$	$\bar{y}$
0–2 1	1	2	1									4	-4	64	24	6,0
2–4 3	2	2	5	7	3	1						20	-3	150	180	9,0
4–6 5	1	4	10	8	8	9	4	1				45	-2	138	492	10,9
6–8 7		1	9	16	16	12	5					59	-1	74	678	11,5
8–10 9		1	1	9	20	20	10		2	1		64	0	0	846	13,2
10–12 11			2	3	4	6	16	10	4			45	1	32	694	15,4
12–14 13				1	5	4	10	10	10	5	1	36	2	84	588	16,3
14–16 15						1	6	3	5	3	1	19	3	132	354	18,6
16–18 17							1	3	1	1	2	8	4	96	160	20,0
n_y	4	10	28	44	56	53	52	27	17	6	3	300		770		
a_y	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5					
$a_y \sum a_{x_i} n_{ij}$	60	92	138	96	27	0	45	98	99	60	55	770				
$\sum n_i \bar{x}_i$	12,0	44	160	300	450	445	558	341	219	84	49					
$\bar{x}$	3,0	4,4	5,7	6,8	8,0	8,4	10,7	12,6	12,9	14,0	16,3					

Суммирование по графе дает значение 770, а суммирование по соответствующей строке также дает величину 770. Равенство этих сумм является контролем правильности выполненных арифметических действий

$$\sum a_{x_i} \sum a_{y_j} n_{ij} = \sum a_{y_j} \sum a_{x_i} n_{ij}.$$

Вычисление коэффициента корреляции выполняется по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum a_{x_i} \sum a_{y_j} n_{ij} - N m_1(x) m_1(y)}{N \sigma_x \sigma_y}. \qquad (5.10)$$

В нашем примере имеем:

$$r_{xy} = \frac{770 - 300(-0{,}063)(-0{,}317)}{300 \cdot 1{,}798 \cdot 1{,}930} = 0{,}733.$$

Корреляционная таблица позволяет получить эмпирические графики $y = f(x)$ и $x = \varphi(y)$. Для каждой строки по x вычисляется среднее значение случайной величины y, что в результате определит изменение случайной величины y от x. В нашем примере с точностью до второго знака для класса $x = (0 – 2)$ имеем

$$\bar{y}_1 = \frac{4 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 8 \cdot 1}{4} = 6{,}0;$$

для класса $x = (2 – 4)$ имеем

$$\bar{y}_3 = \frac{1}{20}(4 \cdot 2 + 6 \cdot 2 + 8 \cdot 5 + 10 \cdot 7 + 12 \cdot 3 + 14 \cdot 1) = \frac{180}{20} = 9{,}0.$$

Аналогичные вычисления выполняются для определения формы изменения случайной величины x от изменений случайной величины y. Для класса $y = (3 – 5)$ имеем:

$$\bar{x}_4 = \frac{1}{4}(1 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 5 \cdot 1) = \frac{12}{4} = 3{,}0;$$

для класса y = (5 – 7) имеем:

$$\bar{x}_6 = \frac{1}{10}(1 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 5 \cdot 4 + 7 \cdot 4 + 9 \cdot 1) = \frac{44}{10} = 4{,}4\,.$$

Следует обратить внимание на то, что в расчетах участвуют средние значения классовых интервалов. На рис. 5.6 показаны графики зависимостей $y = f(x)$ и $x = \varphi(y)$ по данным табл. 5.3.

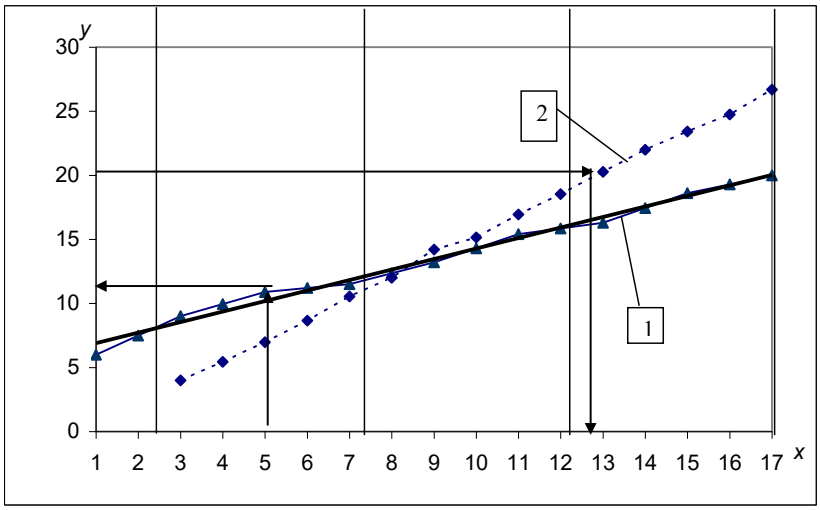


Рис. 5.6. График корреляционной зависимости между случайными величинами y и x:
1 – зависимость y от x ($y = f(x)$);
2 – зависимость x от y ($x = \varphi(y)$).
Направление стрелок указывает последовательность взятия отсчетов по графику.

Отформатировано: Шрифт: 14 пт, русский

Все выполненные до сих пор расчеты позволяют получить уравнения, связывающие между собой изменение случайных величин y и x.

$$\left.\begin{aligned} y &= \bar{y} + r_{xy}\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_x}(x-\bar{x}), \\ x &= \bar{x} + r_{xy}\frac{\bar{\sigma}_x}{\bar{\sigma}_y}(y-\bar{y}). \end{aligned}\right| \qquad (5.11)$$

В нашем примере имеем:

$$r_{xy} = 0{,}734 \qquad \begin{aligned} \bar{x} &= 8{,}873 \qquad & \bar{\sigma}_x &= 3{,}596 \\ \bar{y} &= 13{,}366 \qquad & \bar{\sigma}_y &= 3{,}861. \end{aligned}$$

Уравнения (5.11) представляют собой уравнения прямых:

$$y = ax + b, \qquad x = cy + d.$$

$$a = r_{xy}\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_x}, \qquad c = r_{xy}\frac{\bar{\sigma}_x}{\bar{\sigma}_y};$$

$$a = 0{,}788, \qquad c = 0{,}684.$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}, \qquad d = \bar{x} - c\bar{y};$$

$$b = 6{,}374, \qquad d = -0{,}269.$$

Окончательно имеем:

$$y = 0{,}788\,x + 6{,}374,$$

$$x = 0{,}684\,y - 0{,}269.$$

Контролем правильности вычислений является условие $r^2 = ac$. В нашем примере $0{,}734 = \sqrt{0{,}788 \cdot 0{,}684}$.

На рис. 5.6 эти уравнения показаны в виде прямых 1 и 2. О том, что система уравнений (5.11) однозначно описывает линейную зависимость между случайными величинами y и x, свидетельствует вычисление коэффициентов этих уравнений по способу наименьших квадратов. Покажем это на примере уравнения $y = ax + b$. Методом наименьших квадратов решается система двух уравнений вида

$$\left.\begin{aligned} \sum y &= a\sum x + nb, \\ \sum yx &= \sum x^2 + b\sum x. \end{aligned}\right|$$

Для наглядности составляем расчетную таблицу.

№ п/п	n_x	x	y	$n_x\,x$	$n_x\,y$	$n_x\,x^2$	$n_x\,xy$
1	4	1	6,0	4	24,0	4	24,0
2	20	3	9,0	60	180,0	180	540,0
3	45	5	10,9	225	490,5	1125	2452,,5
4	59	7	11,5	413	678,5	2891	4749,5
5	64	9	13,2	576	844,8	5184	7603,2
6	45	11	15,4	495	693,0	5445	7623,0
7	36	13	16,3	468	586,8	6084	7628,4
8	19	15	18,6	285	353,4	4275	5301,0
9	8	17	20,0	136	160,0	2312	2720,2
$\sum$	300	81	120,9	2662	4011,0	27500	38641,6

Эта система уравнений принимает вид:

$$\left.\begin{aligned} \sum yn_x &= a\sum xn_x + Nb \\ \sum yxn_x &= a\sum x^2 n_x + b\sum xn_x \end{aligned}\right| . \qquad (5.12)$$

Подставляя данные таблицы, запишем систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} 4011{,}0 &= a\cdot 2662 + 300\cdot b \\ 38641{,}6 &= a\cdot 27500 + 2662\cdot b \end{aligned}\right| \quad \begin{aligned} &\text{делим на 300,} \\ &\text{делим на 2662,} \end{aligned}$$

$$\left.\begin{aligned} 13{,}370 &= 8{,}873a + b \\ 14{,}516 &= 10{,}331a + b \end{aligned}\right| ,$$

$$a = 0{,}7864, \quad b = 6{,}395,$$

$$y = 0{,}786x + 6{,}395.$$

Если сравним полученные коэффициенты с ранее вычисленными, то расхождения $\Delta a = -0{,}002$ и $\Delta b = 0{,}021$ по отношению к истинным значениям составляют соответственно 0,2 и 0,3%. Эти погрешности возникли за счет произведенных округлений в промежуточных вычислениях.

5.5. Оценка тесноты корреляционной зависимости

В п. 5.4 показано вычисление коэффициента корреляции для случая парной линейной зависимости между случайными величинами *y* и *x*. К. Пирсон при анализе статистических совокупностей различных случайных величин обратил внимание на то, что форма корреляционного поля служит наглядным отображением тесноты совпадения двух случайных величин. Для количественной оценки тесноты связи между *y* и *x* им предложено использовать первый смешанный корреляционный момент, нормированный по стандарту случайных величин (σ_x, σ_y):

$$r = \frac{M[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{\sigma_x \sigma_y}, \qquad (5.13)$$

где символ *M* обозначает математическое ожидание, σ_x, σ_y – стандарты случайных величин в их системах измерения.

Рассмотрим аналитическое содержание коэффициента корреляции r. Поскольку корреляция как действие есть сопоставление, а как результат есть совпадение (соответствие), то коэффициент корреляции (r) как формальный показатель есть оценка степени совпадения

сопоставляемых случайных величин. Выражение (5.13) может быть представлено в виде

$$r = \frac{M(x, y) - \bar{x}\bar{y}}{\bar{\sigma}_x \bar{\sigma}_y}. \qquad (5.14)$$

Произведение x на y можно интерпретировать как площадь, тогда числитель (5.14) есть разность средней площади прямоугольников $x_i y_i$ и площади прямоугольника, построенного на средних сторонах $\bar{x}$ и $\bar{y}$. Геометрически это показано на рис. 5.7, где заштрихованные зоны показывают область изменения прямоугольника $x \times y$ и его площади. Числитель (5.14) ~~равен~~представляет собой тожество

$$M\left[(\bar{x} + \Delta x)(\bar{y} + \Delta y)\right] - \bar{x}\bar{y} = M(\Delta x \Delta y). \qquad (5.15)$$

Но $M^2(\Delta x \Delta y) \le \sigma_x^2 \sigma_y^2$.

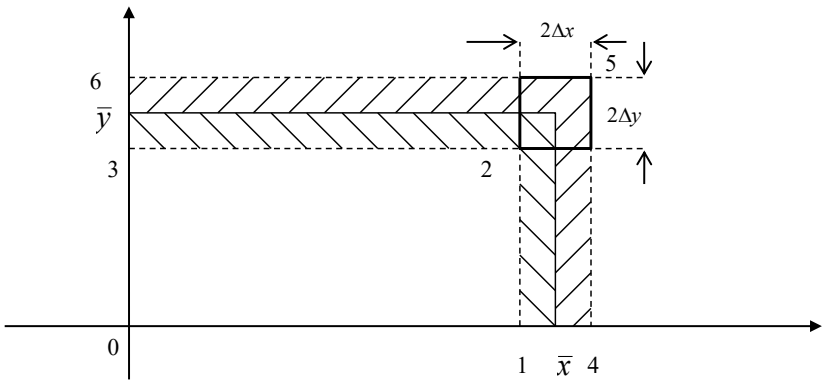


Рис. 5.7. К геометрической интерпретации корреляционного момента

С учетом (5.15) выражение (5.14) примет вид

$$r_{xy} = \frac{M(\Delta x \Delta y)}{\sigma_x \sigma_y}.$$

Возводя в квадрат, получим положительное число

$$r_{xy}^2 = \frac{M^2(\Delta x \Delta y)}{(\sigma_x \sigma_y)^2} \le 1.$$

Отсюда непосредственно следует, что

$$-1 \le r_{xy} \le 1. \qquad (5.16)$$

Это условие является основным в теории корреляции между случайными величинами. Итак, свойства коэффициента корреляции сводятся к следующим:

- равенство $r_{xy} = +1$ означает, что случайные величины y и x связаны между собой прямой линейной функциональной зависимостью

$$y = f(x),$$

где символ f означает оператор арифметического действия. Например,

$$y = ax,$$
$$y = ax + b.$$

Это позволяет выразить зависимость величины x от y в виде:

$$x = \frac{1}{a} y,$$
$$x = \frac{1}{a}(y - b);$$

- равенство $r_{xy} = -1$ означает, что случайные величины y и x связаны между собой обратной линейной функциональной зависимостью. Например,

$$y = -ax,$$
$$y = b - ax.$$

Здесь также возможно обратное преобразование

$$x = -\frac{1}{a}y; \qquad x = -\frac{1}{a}(y - b);$$

- выполнение равенства $r_{xy} = 0$ означает полное (абсолютное) отсутствие зависимости между случайными величинами *y* и *x*.

Таким образом, коэффициент корреляции служит удобной количественной характеристикой тесноты связи между двумя случайными величинами *y* и *x*. Значение r^2 получило название коэффициента детерминации. Коэффициент детерминации показывает, какая доля влияния на *y* приходится на фактор *x* в множестве всех факторов. Если долю неучтенных факторов обозначим через Δ^2, то справедливо равенство

$$\begin{array}{ll} & r^2 + \Delta^2 = 1 \\ \text{или} & r^2 = 1 - \Delta^2 \\ \text{или} & \Delta^2 = 1 - r^2. \end{array} \qquad (5.17)$$

Уравнения (5.17) определяют баланс полной системы событий: факторы учтенные и факторы неучтенные.

Дисперсия σ_y^2 значений случайной величины *y* есть отражение вариации этой случайной величины под воздействием различных факторов. Выбранный нами фактор *x* есть один из этого множества. Умножив (5.17) на σ_y^2, получим:

$$\sigma_y^2 = \sigma_y^2 r_{xy}^2 + \sigma_y^2 \Delta^2. \qquad (5.18)$$

Но $\sigma_y^2 r_{xy}^2$ есть дисперсия функционально изменяющегося значения *y* от изменения *x*. Эту величину называют закономерной составляющей в общей дисперсии показателя и обозначают σ_f^2. Аналогично, $\sigma_y^2 \Delta^2$

есть дисперсия "шума" или случайная составляющая общей дисперсии и обозначается δ^2. Тогда

$$\sigma_y^2 = \sigma_f^2 + \delta^2. \qquad (5.19)$$

Формула (5.19) находится в полном соответствии с законом сложения множеств случайных величин, так как δ^2 отражает внутригрупповую дисперсию случайной величины, а σ_f^2 – межгрупповую.

На рис. 5.8 дается геометрическая интерпретация уравнения (5.19) в форме динамического графика изменения случайной величины y.

Нетрудно видеть, что

$$\begin{aligned} \sigma_f^2 &= \sigma_y^2 r_{xy}^2, \\ \delta^2 &= \sigma_y^2 (1 - r_{xy}^2). \end{aligned} \qquad (5.20)$$

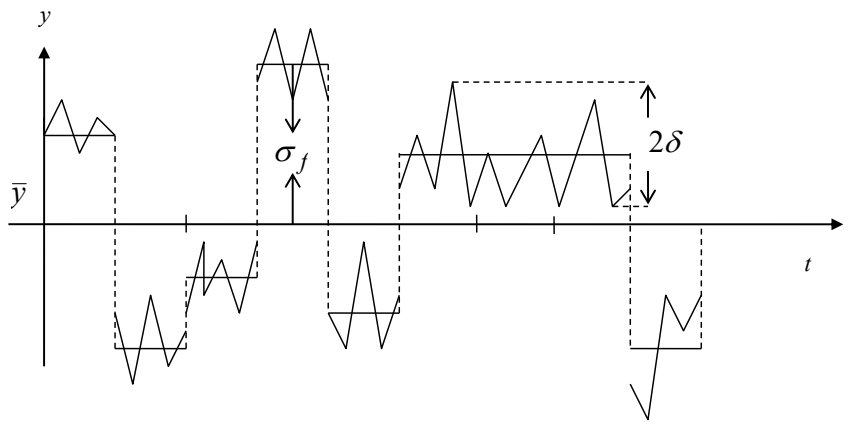


Рис. 5.8. Геометрическая интерпретация дисперсии сложной системы случайной величины

Уравнение (5.20) оценивает абсолютную величину случайной составляющей в системе $y = f(x)$ и потому служит для оценки погрешности определения $y_i = f(x_i)$:

$$\delta_y = \sigma_y \sqrt{1 - r_{xy}^2}\,. \tag{5.21}$$

В практике статистической обработки информации участвуют ограниченные выборки из генеральной совокупности сведений. В силу этого все статистические характеристики содержат погрешности, связанные с неполнотой проанализированных сведений. Известно, что погрешность коэффициента корреляции m_r может определяться по формуле

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}, \tag{5.22}$$

где n – объем выборки. Из формулы (5.22) следует, что:

- самая большая погрешность в определении r соответствует значению $r = 0$, самая малая – при $r = \pm 1$;
- чем больше объем выборки n, тем меньше погрешность в определении коэффициента корреляции.

Значение коэффициента корреляции считается вычисленным надежно, если выполняется условие

$$3m_r << r. \tag{5.23}$$

Это условие является достаточным для оценки значимости r в практике статистических исследований. Важной составляющей такого исследования является ранжирование коэффициента корреляции по оценке силы (тесноты) связи между случайными величинами. Мы ре-

комендуем пользоваться следующей классификационной таблицей (табл. 5.4).

Первый класс корреляционных зависимостей практически означает, что изучению подлежит детерминированная система событий, в которой присутствуют погрешности измерения некоторых параметров. Классическим примером тому служит определение ускорения свободно падающих тел (опыты Г. Галилея). Многочисленными опытами установлено, что высота падения тела (h) прямо пропорциональна квадрату времени падения тела в вакууме (t^2):

$$h = at^2.$$

Таблица 5.4

Классификация коэффициента корреляции при оценке силы связи между случайными величинами

Номер класса	Характеристика класса	r^2	$\lvert r \rvert$
1	Практически функциональные зависимости	более 0,90	более 0,95
2	Сильная связь	более 0,80	более 0,90
3	Тесная связь	0,50 – 0,80	0,70 – 0,90
4	Слабая связь	0,20 – 0,50	0,45 – 0,70
5	Связь практически отсутствует	менее 0,20	менее 0,45

~~прямо пропорционален высоте падения тела (h)~~Но в силу погрешностей в измерениях времени и высоты константа a варьирует~~ся~~ относительно некоторой средней величины

$$a = \frac{h}{t^2}.$$

Продифференцировав это выражение, имеем

$$da = \frac{1}{t^2}dh - \frac{2h}{t^3}dt = a\left(\frac{dh}{h} - 2\frac{dt}{t}\right).$$

Поскольку оператор дифференцирования d есть вектор, можно записать:

$$\overline{M}_0(a) = \overline{M}_0(h) - 2\overline{M}_0(t),$$

где $\overline{M}_0$ – относительная величина изменения вектора по отношению к его модулю. Тогда

$$\overline{M}_0^2(a) = \overline{M}_0^2(h) + 4\overline{M}_0^2(t) - 4\overline{M}_0(h)\overline{M}_0(t)\cos\varphi,$$

где φ – угол между векторами $\overline{M}_0(t)$ и $\overline{M}_0(h)$; $\cos\varphi$ имеет смысл геометрического коэффициента корреляции ($\cos\varphi = r_{ht}$). Если векторы перпендикулярны, то это означает отсутствие геометрической корреляции между точностью определения высоты ~~ой~~ (h) и времени ~~ем измерения~~ (t): $\cos 90^\circ = 0$. В этом случае погрешность определения константы a полностью зависит от точности измерения h и t.

$$M_0(a) = \sqrt{M_0^2(h) + 4M_0^2(t)}.$$

Константу a в физике принято обозначать через g – ускорение свободного падения.

Наличие очень высокой связи не освобождает от необходимости проведения анализа от степени влияния ошибок измерений. Так, из приведенного анализа вытекает, что влияние погрешности измерения времени t в четыре раза больше, чем высоты h. Поэтому для достижения требуемой точности в определении константы g в первую

очередь необходимо обеспечить высокую точность измерения времени.

Зависимости первого класса допускают производство алгебраических преобразований относительно переменных величин, но требуют при этом выполнения оценки точности результатов.

Второй класс корреляционных зависимостей (как и все остальные) не допускает производство алгебраических преобразований относительно переменных величин в силу того, что $y = f(x)$ не совпадает с преобразованием $x = \varphi(y)$. Этот класс зависимостей допустим в инженерных расчетах и в исследованиях, направленных на раскрытие физической сущности явления или процесса. Результаты расчетов и выводы должны обязательно сопровождаться оценкой точности вычислительных операций.

Третий класс корреляционных зависимостей (тесная связь) допускает возможность выполнения инженерных расчетов при экспертных оценках тенденций протекания процессов. Этот класс указывает на необходимость применения схем множественной корреляции $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$.

Четвертый класс (слабая связь) свидетельствует о том, что рассмотренный фактор *x* не является значимым в зависимости $y = f(x)$, необходим учет других факторов, влияющих на показатель *y*. Такие зависимости не могут быть использованы в инженерных расчетах технологических параметров процессов. Они, скорее всего, указывают на наличие некоторых маркирующих признаков, с которыми могут быть связаны причинные факторы.

Пятый класс формально свидетельствует об отсутствии совпадения признака y с фактором x, а следовательно, об их независимости.

5.6. Элементы статистики качественных признаков

Достаточно часто в практике решения инженерных задач статистические совокупности сведений представлены не количественными оценками, а качественными: цветовая гамма, звуковая, шумовая, различные параметрические градации и т. д.

Рассмотрим два случайных признака (случайных величины) ***A*** и ***B***. Пусть эти случайные величины характеризуются только двумя цветовыми признаками: черный цвет и белый. Например, имеем две урны ***A*** и ***B***, в которых лежат черные и белые шары. Урны достаточно большие, так что воспользуемся безвозвратной выборкой. Соотношение черных и белых шаров в каждой урне свое; одновременно из каждой урны выбирается по одному шару. Ставится вопрос: существует ли какая-либо статистическая связь между цветовым сочетанием шаров при извлечении из урн? Если такая связь просматривается, то можно ли по вынутому шару из урны ***A*** предположить, какого цвета шар будет извлечен из урны ***B***? Возможные ситуации сводятся к следующей схеме:

A	Ч	Ч	Б	Б
B	Ч	Б	Ч	Б

На основании этого построим матрицу (упрощенную корреляционную таблицу) для статистической обработки системы двух случайных величин ***A*** и ***B***.

A \ ***B***	Ч	Б	$\sum$

Ч Б	n_1 n_4	n_2 n_3	m_1 m_2
$\sum$	p_1	p_2	N

В этой матрице N составляет общее количество сопоставляемых парных извлечений шаров из урн. Числа m_1 и m_2 соответственно показывают, сколько раз из урны A было извлечено черных и белых шаров. Аналогично p_1 и p_2 показывают количество извлеченных черных и белых шаров из урны B. Естественно, что $m_1+m_2 = p_1+p_2 = N$. В теории доказывается, что для оценки коэффициента корреляции между признаками случайных величин $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{B}$, представленных матрицей, следует использовать формулу

$$r_{AB} = \frac{n_1 n_3 - n_2 n_4}{\sqrt{m_1 m_2 p_1 p_2}}, \qquad (5.24)$$

где r_{AB} полностью отвечает необходимым условиям и свойствам коэффициента корреляции: он изменяется в пределах ± 1, знак при r_{AB} определяется числителем в (5.24).

Рассмотренная схема удобна в практическом использовании, когда характеристики случайных величин можно разделить на два класса: больше – меньше, "+" и "–", черное – белое, хорошо – плохо и т. д. Объем выборки не является ограничивающим условием. Этот способ целесообразно использовать для экспертных оценок, когда решается вопрос о целесообразности применения более детального и точного способа исследования взаимосвязей в системе случайных величин. Рассмотрим схему "больше – меньше". Пусть даны два ряда случайных величин X и Y (табл. 5.5). В этой схеме выполняется сравнение

нижнего значения с предыдущим: 12 – 7 = *Б*, $4-12=M$ и т. д. Индексы "больше" – "меньше" можно заменить знаками "+" и "–". Составляется матрица, рассмотренная выше, и производятся простейшие вычислительные операции. По данным таблицы 5.5 имеем:

$$r_{xy}=\frac{(8\cdot 6)-(3\cdot 2)}{\sqrt{11\cdot 8\cdot 10\cdot 9}}=\frac{42}{88\cdot 99}=0{,}472.$$

Таблица 5.5

Исходные данные для оценки силы связи между случайными величинами *x* и *y* по схеме "больше – меньше"

№ п/п	*X*	Индекс $Б_x$, $М_x$	*Y*	Индекс $Б_y$, $М_y$
1	7	Б	6	Б
2	12	М	11	М
3	4	Б	7	Б
4	5	М	12	М
5	2	Б	11	М
6	3	Б	4	Б
7	11	М	8	М
8	7	Б	7	Б
9	11	М	10	М
10	4	Б	5	Б
11	5	Б	9	Б
12	6	Б	12	М
13	8	Б	8	Б
14	13	М	15	М
15	8	М	10	М
16	6	М	7	Б
17	5	М	8	М
18	8	Б	4	М
1*9	3	М	5	Б
20	6	Б	7	Б

Внешнее корреляционное поле подсказывает результат: зависимость между x и y просматривается, поскольку диагональ (8–6) устойчиво больше диагонали (3–2). Однако расчет показал, что степень корреляции относится к классу слабых связей, а простоте и наглядности схемы противопоставляется высокая чувствительность к расположению данных в матрице. Получение надежных результатов связывается с обоснованием необходимого объема выборки.

Таблица 5.6

Вычисление коэффициента корреляции по схеме "больше – меньше"

X \ Y	Бу	Му	∑
Бх	8	3	11
Мх	2	6	8
∑	10	9	19

Здесь следует руководствоваться следующим соотношением:

$$N = \frac{9(1-r^2)}{m_r^2}, \qquad (5.25)$$

где m_r^2 – задаваемая абсолютная погрешность в определении коэффициента корреляции. В рамках рассмотренного примера фактическая погрешность $m_r = \frac{1-(0{,}472)^2}{\sqrt{19}} = 0{,}178$. Если задаться погрешностью $m_r = 0{,}1$, то для получения достоверного результата количество сопоставлений составит $N = \frac{9(1-0{,}472^2)}{0{,}01} = 700$. При этом степень достоверности оценивается вероятностью $p > 0{,}997$.

5.7. Корреляционное отношение как мера тесноты связи нелинейных зависимостей между случайными величинами

Линейные зависимости при анализе производительных систем встречаются достаточно часто. Вместе с тем, нелинейные формы зависимости между случайными величинами также имеют место, поскольку производительные процессы описываются сложным оператором динамических систем. В табл. 5.7 рассмотрен пример, иллюстрирующий последовательность вычислительных операций при нелинейной форме зависимости между случайными величинами.

На первой стадии анализа точно так же, как и ранее, составляется корреляционная таблица. Для шкалы аргумента x вычисляются средние значения изменяющегося параметра y

$$\bar{y}_x = \frac{\sum n_i \bar{y}_i}{n_x}.$$

Так, для первой строки имеем:

$$\bar{y}_x = \frac{14 \cdot 4 + 10 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{26} = \frac{132}{26} = 5{,}1.$$

Аналогичные вычисления выполняются для аргумента y (табл. 5.7).

По результатам этого этапа вычислений строится график $y = f(x)$ (рис. 5.9). Средние групповые значения $\bar{y}_x$ достаточно определенно вписываются в кривую линию. Само же корреляционное поле указывает на "размытость" гипотетической линии и, следовательно, сила связи должна значительно отличаться от единицы. Опираясь на теорию оценок выборочных статистических характеристик, в математической статистике предложен показатель для характеристики степени зависимости между случайными величинами, названный

корреляционным отношением η. Корреляционное отношение (η) вычисляется по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_0^2 - \sigma_\Delta^2}{\sigma_0^2}}, \qquad (5.26)$$

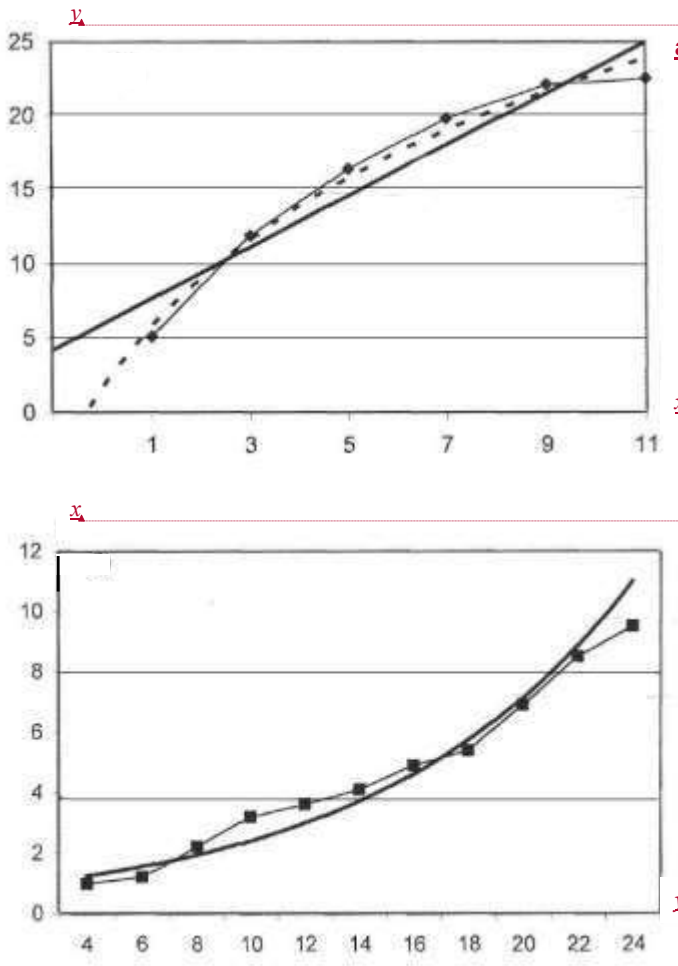
где σ_0^2 означает общую (полную) дисперсию показателя *y* (функции),

Таблица 5.7

Корреляционная таблица статистической зависимости между случайными величинами X и Y

(нелинейная зависимость)

X \ Y	3-5 4	5-7 6	7-9 8	9-11 10	11-13 12	13-15 14	15-17 16	17-19 18	19-21 20	21-23 22	23-25 24	n_x	$\sum n_i \bar{y}_i$	$\bar{y}_x$	δ_f $\bar{y}_x - \bar{y}_o$	δ_f^2	$\delta_f^2 n_x$
0–2 1	14	10	2									26	132	5,1	-10,6	112,36	2921,36
2–4 3		1	3	20	20	14	5	1				64	764	11,9	-3,8	14,44	924,1 6
4–6 5				2	8	15	50	40	8	2		125	2050	16, 4	0,7	0,49	61,25
6–8 7						1	2	10	30	8	2	53	1050	19,8	4,1	16,81	890,93
8–10 9								1	2	12	5	20	442	22,1	6,4	40,96	819,20
10–12 11									2	5	5	12	270	22,5	6,8	46,24	554,88
n_y	14	11	5	22	28	30	57	52	42	27	12	300	4708	15,7			6171,78
$\sum n_j \bar{x}_j$	14	13	11	70	100	124	279	282	290	229	114	1526					
$\bar{x}_y$	1,0	1,2	2,2	3,2	3,6	4,1	4,9	5,4	6,9	8,5	9,5	5,1					
$\delta_f = \bar{x}_y - \bar{x}_o$	-4,1	-3,9	-2,9	-1,9	-1,5	-1,0	-0,2	0,3	1,8	3,4	4,4						
δ_f^2	16,81	15,21	8,41	3,61	2,25	1,0	0,04	0,09	3,64	11,56	19,36						
$\delta_f^2 n_y$	253,34	167,31	42,05	79,42	63,00	30,0	2,28	4,68	152,88	312,12	232,32	1339,4					



Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Arial, полужирный

Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: курсив

Отформатировано: Шрифт: (по умолчанию) Arial, полужирный

Отформатировано: Шрифт: курсив

Рис. 5.9. График зависимости между случайными величинами x и y ~~(по да~~(по данным табл. 5.7): а~~)~~ – $y = f(x)$ ~~;~~ б~~)~~ – $x = \varphi(y)$.

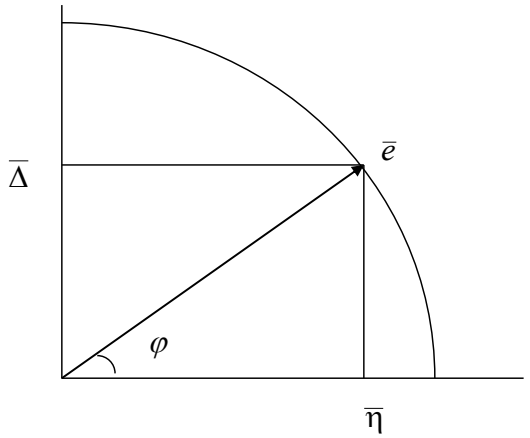
а σ_{Δ}^2 – дисперсия шумовой (внутригрупповой) составляющей случайной величины y. Числитель формулы (5.26) можно представить еще следующим образом:

$$\sigma_0^2 = \sigma_f^2 + \sigma_{\Delta}^2.$$

Разделив обе части равенства на σ_0^2, получим нормированное выражение, рассмотренное выше:

$$1 = \eta^2 + \Delta^2,$$

что с геометрических позиций означает единичный вектор $\bar{e}$, разложенный на ортогональные составляющие η и Δ.



Из представленной схемы следует:

$$\eta = \cos\varphi. \qquad (5.27)$$

Такую же геометрическую интерпретацию имеет и коэффициент корреляции, что позволяет записать:

$$\left.\begin{aligned} 1 &= r^2 + \Delta^2 \\ r &= \cos\varphi \end{aligned}\right|.$$

Как показано в табл. 5.7,

$$\bar{y} = \frac{4708}{300} = 15{,}7.$$

Далее производят вычисление разницы $\delta_f(y)$ среднегрупповых значений ($\bar{y}_x$) от общего среднего ($\bar{y}$). Среднюю квадратическую величину ~~$\sigma_f^2(y)$~~ $\delta_f^2(y)$ вычисляют по формуле

$$\sigma_f^2(y) = \frac{\sum \delta_f^2 n_x}{\sum n_x}.$$

В нашем примере имеем:

$$\sigma_f^2(y) = \frac{6171 \cdot 78}{300} = 20{,}6.$$

Дисперсия $\sigma_0^2(y)$ вычисляется по схеме, рассмотренной ранее. Опуская промежуточные расчеты, укажем, что $\sigma_0^2(y) = 24{,}72$. Таким образом, значение корреляционного отношения (η_{yx}) в нашем примере ~~будет~~ равно 0,913:

$$\eta_{yx} = \sqrt{\frac{\sigma_f^2}{\sigma_0^2}} = \sqrt{\frac{20{,}6}{24{,}72}} = 0{,}913,$$

$$\eta_{yx}^2 = 0{,}818.$$

В соответствии со шкалой табл. 5.4, тесноту связей $y = f(x)$ и $x = \varphi(y)$ следует оценить как достаточно сильную ($\eta^2 > 0{,}8$).

Толкование корреляционного отношения (η) полностью соответствует коэффициенту корреляции. Свойства η несколько отличаются от r – оно не имеет определенного знака, хотя и изменяется от нуля до единицы~~,~~

$$0 \le \eta \le 1.$$

Отформатировано: Шрифт: 16 пт, ниже на 12 пт

Отформатировано: русский

Знак при r характеризует наличие прямой (при $r > 0$) или обратной (при $r < 0$) зависимости между y и x. В случае нелинейных связей оценка зависимости между x и y дается исследователем исключительно исходя из геометрического представления.

В нашем примере зависимость $y = f(x)$ вполне определенно отличается от прямолинейной. Для описания графика (a) возможны различные модели, которые строятся на основании некоторых предпосылок, соответствующих исследуемому явлению. С чисто формальных позиций программы статистической обработки на ПЭВМ предложат исследователю несколько вариантов, например,

$$y = ax^n,$$

$$y = ax^2 + bx + c.$$

Во всех случаях это будут уравнения с хорошей сходимостью эмпирических данных с расчетными в пределах изменения аргумента. На рис. 5.9, -а точки, соединенные прямыми отрезками, обозначают эмпирические данные, сплошная линия соответствует уравнению

$$y = -0{,}1x^2 + 2{,}83x + 4{,}4,$$

а пунктирная соответствует уравнению

$$y = 6{,}51x^{0{,}556}.$$

На рис. 5.9, -б эмпирические данные одинаково хорошо согласуются с графиками зависимостей

$$x = 0{,}111\,y^{1{,}4}$$
$$x = 0{,}008\,y^2 + 0{,}2\,y.$$

В конечном счете исследователь сам выбирает ту или иную модель для описания процесса.

5.8. Ранговая корреляция

К числу экспрессных методов оценки степени зависимости между случайными величинами *y* и *x* относится сопоставление рангов этих величин. Ранг означает ряд, ранжирование – выстраивание в ряд по некоторому признаку. Ранжирование статистических рядов, обозначенных количественно, целесообразно производить по абсолютной величине. К. Пирсон разработал упрощенную схему обработки таких рядов, сохранив математическую строгость оценки. Ранговый коэффициент корреляции обозначается через ρ и рассчитывается по формуле

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \qquad (5.28)$$

где n – количество сопоставляемых пар случайных величин x и y;

d_i – разность рангов для случайных величин x и y .

В табл. 5.8 показан пример вычислительных операций, из которых имеем:

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot 2096{,}50}{20(400 - 1)} = -0{,}576.$$

Таким образом, два ряда случайных чисел x и y формально коррелированны, форма зависимости – обратная, степень зависимости – слабая.

Ранговый коэффициент корреляции относится к классу экспрессных, хотя и математически обоснован. Применение ранговой корреляции как метода экспрессной оценки всегда предпочтительно на первой стадии исследования, когда необходимо получить принципи-

альный ответ на вопрос: "Этим стоит заниматься или нет?" – при построении многофакторных моделей некоторого процесса или явления. Достоинство ранговой корреляции состоит в простоте вычислительных операций, возможности определиться в оценке тенденции (прямая или обратная). Ограничивающими условиями являются количество данных и невозможность геометрической интерпретации тенденций.

Таблица 5.8

Пример вычисления ранговой корреляции

n	Значение случайных величин		Ранг случайной величины		$R_x - R_y$	
	x	y	R_x	R_y	d	d^2
1	16	30	6	20	-14	196
2	15	27	5	17	-12	144
3	18	27	8	17	-9	81
4	11	29	1	19	-18	324
5	14	21	4	13	-9	81
6	22	18	11	11,5	-0,5	0,25
7	28	4	18	1	17	289
8	23	7	12	3,5	8,5	72,25
9	19	5	9	2	7	49
10	26	11	15,5	7,5	8	64
11	26	13	15,5	9	6,5	42,25
12	24	25	13	15	-2	4
13	13	27	3	17	-14	196
14	17	11	7	7,5	-0,5	0,25
15	27	9	17	5	12	144
16	12	18	2	11,5	-9,5	90,25
17	25	23	14	14	0	0
18	29	15	19	10	9	81
19	30	10	20	6	14	196
20	21	7	10	3,5	6,5	42,25
210			210	210		2096,5

Наш опыт вычислительных работ убеждает в том, что когда $n > 30$, процедура ранжирования начинает занимать значительное время, требует напряженного внимания, а сами вычисления должны проводиться с повторением ("в две руки"). Однако применение компьютерных технологий в исследованиях снимает проблему трудоемкости ручного счета.

При операции ранжирования необходимо руководствоваться следующим требованием: сумма рангов равна сумме порядковых номеров случайных величин. Это запишется следующим образом:

$$\sum n = \sum R_x = \sum R_y .$$

Следует отметить две особенности в вычислительных операциях. Если случайная величина принимает одно и то же значение несколько раз (два, три и т. д.), то всем им приписывается одно значение ранга, равное среднему их от порядковых номеров. Например, значение случайной величины встретилось два раза.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum = 55$
x	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	
R_x	1	2	3	4,5	4,5	6	7	8,5	8,5	10	$\sum = 55$

Тогда ранг *x* для случайных значений 4 и 4, 7 и 7 будет 4,5 и 8,5. Для трех повторений, соответственно, всем им должно быть приписано среднее значение ранга:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum = 55$
x	1	2	3	4	2	5	2	3	4	5	
R_x	1	3	5,5	7,5	3	9,5	3	5,5	7,5	9,5	$\sum = 55$

5.9. Ложная корреляция

Понятие «ложная корреляция» введено К. Пирсоном в 1897 г. в связи с анализом результатов измерений трех исполнителей, выполненных независимо друг от друга. Он обратил внимание на то, что относительные ошибки измерений этих наблюдателей некоторым образом коррелируются между собой. Это еще раз подтверждает сказанное ранее о том, что коэффициент корреляции (корреляционное отношение) есть всего лишь оценка степени совпадения сравниваемых случайных величин. Раскрытие сущности явления ложатся целиком и полностью на исследователя, и от его понимания явления и причинно-следственных связей, имеющих место при этом, зависит правильное толкование экспериментальных данных и формулирование выводов относительно изучаемых процессов.

Наглядной иллюстрацией двойного подхода при оценке степени коррелированности двух случайных величин между собой может служить анализ сложных производственных структур. В качестве примера рассмотрим структуру, включающую в себя два действующих карьера. Сменные производительности карьеров обозначим соответственно Q_1 и Q_2. Тогда имеем

$$Q = Q_1 + Q_2. \tag{5.29}$$

Оба карьера в своем технологическом режиме являются независимыми структурными (автономными) элементами. У них своя сырьевая база, свой регламент, свои штаты сотрудников, свой парк горнотранспортного оборудования. Итак, по своей природе (сущности) мы должны признать, что рудные потоки обоих карьеров (рудников) яв-

ляются независимыми. Следовательно, при корреляции Q_1 и Q_2 нам приходится ожидать полное или почти полное отсутствие корреляционной зависимости. И это обстоятельство действительно имеет место на предприятиях.

Совершенно по иному представляется эта же ситуация, если эту систему рассматривать в рамках концепции замкнутой системы, в которой закон материального баланса нормирован. Если разделить обе части равенства (5.29) на Q, получим

$$1 = \gamma_1 + \gamma_2, \qquad (5.30)$$

где γ_1 и γ_2 суть долевое участие каждого потока в формировании общего. Из формулы (5.30) непосредственно следует, что

$$1 = \gamma_1 + (1 - \gamma_1),$$

что, в свою очередь, указывает на жесткую детерминированную зависимость между характеристиками γ_1 и γ_2.

Так какое же следует сделать заключение о работе двух рудников, объединенных в одну производственную структуру? Как автономные производственные структуры они работают независимо друг от друга в рамках своих производственных мощностей и программ. Но если эту же схему рассматривать с позиции управления элементами системы в рамках всей системы (горное управление), то независимой работу карьеров классифицировать нельзя. Оба они участвуют в формировании плана горных работ предприятия, и отклонения от плана одного карьера автоматически изменяет режим работы другого. Таким образом, абсолютные и относительные характеристики можно рассматривать как "две стороны одной медали", дополняющие друг друга в зависимости от круга решаемых задач горного производства.

Следующий пример иллюстрирует вышеизложенное. Рассмотрим тот простой случай, когда в систему рудоуправления входят два карьера с производительностью Q_1= 4,92 тыс. т, Q_2= 6,10 тыс. т в сутки, полагая, что оба карьера как автономные производственные структуры работают в независимом режиме. В табл. 5.9 приведена корреляция между суточными объемами добычи обоих карьеров. Вычислительные операции показывают, что какая-либо связь между производительностью первого и второго карьера отсутствует ($r_{1-2} = -0{,}005$).

Рудник 1 (Q_1)	Рудник 2 (Q_2)
$m_1 = \frac{104}{113} = 0{,}92$	$m_1 = \frac{11}{113} = 0{,}10$
$m_2 = \frac{356}{113} = 3{,}15$	$m_2 = \frac{341}{113} = 3{,}02$
$\overline{Q}_1 = 4{,}0 + 1 \cdot 0{,}92 = 4{,}92$ тыс.т	$\overline{Q}_2 = 6{,}0 + 0{,}10 = 6{,}10$ тыс.т
$\sigma = \sqrt{3{,}15 - 0{,}92^2} = 1{,}52$	$\sigma = \sqrt{3{,}02 - 0{,}1^2} = 1{,}73$
$\overline{\sigma} = 1{,}52$ тыс.т	$\overline{\sigma} = 1{,}73$ тыс.т

$$r_{1-2} = \frac{9 - 113 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}10}{113 \cdot 1{,}52 \cdot 1{,}73} = -\frac{1{,}396}{297{,}145} = -0{,}0047 .$$

Если работу обоих карьеров рассматривать в едином технологическом комплексе питания обогатительной фабрики рудой, то, опираясь на закон материального баланса производственных систем, приходим к заключению о жесткой детерминированной зависимости между работой карьеров. В табл. 5.10 приведена корреляция между долевым участием каждого карьера в едином рудном потоке, поступающем на обогатительную фабрику.

Таблица 5.9

Корреляция между объемами добычи двух рудников по сменным данным (тыс. т)

Q_1 \ Q_2	3	4	5	6	7	8	9	10	m	a_y	ma_y	ma_y^2	ma_xa_y	p_1, %	$\sum p_1$, %
1				1	2				2	-3	-6	18	-3	1,8	1,8
2	1		3						4	-2	-8	16	12	3,5	5,3
3		2		2	5	3			12	-1	-12	12	-7	10,6	15,9
4	2	4	6	3	8	4	2		29	0	0	0	0	25,7	41,6
5		3	6	4	2	6	3	1	25	1	25	25	15	22,1	63,7
6	4	5	4	3		5			21	2	42	84	-32	18,6	82,3
7		2		6	4	3	2		17	3	51	153	36	15,0	97,3
8	1		1		1				3	4	12	48	-12	2,7	100,0
n	8	16	20	19	21	21	7	1	113		104	356	9		
a_x	-3	-2	-1	0	1	2	3	4							
na_x	-24	-32	-21	0	21	42	21	4	11						
na_x^2	72	64	21	0	21	84	63	16	341						
na_xa_y	-30	-34	-12	0	10	44	27	4	9						
p_2, %	7,0	14,2	17,7	16,8	18,6	18,5	6,2	1,0							
$\sum p_2$, %	7,0	21,2	38,9	55,7	74,3	92,8	99,0	100,0							

Расчеты показывают, что коэффициент корреляции здесь составляет $r_{1-2} = -0{,}927$.

Рудник 1 (γ_1)	Рудник 2 (γ_2)
$m_1 = -\frac{21}{113} = -0{,}186$	$m_1 = = -\frac{9}{113} = -0{,}08$
$m_2 = \frac{152}{113} = 1{,}345$	$m_2 = \frac{161}{113} = 1{,}421$
$\bar{\gamma}_1 = 45{,}0 + (-0{,}19)\cdot 10 = 43{,}1\ \%$	$\bar{\gamma}_2 = 55{,}0 + 10\cdot(-0{,}08) = 54{,}2\ \%$
$\sigma_1 = \sqrt{1{,}345 - 0{,}19^2} = 1{,}144$	$\sigma_2 = \sqrt{1{,}421 - 0{,}08^2} = 1{,}19$
$\bar{\sigma}_1 = 10\cdot 1{,}144 = 11{,}44\ \%$	$\bar{\sigma}_2 = 10\cdot 1{,}19 = 11{,}9\ \%$

$$r_{1-2} = \frac{-141 - 113\cdot(-0{,}186)\cdot(-0{,}080)}{113\cdot 1{,}144\cdot 1{,}190} = -\frac{142{,}68}{153{,}83} = -0{,}927\,.$$

Этот пример примечателен еще и тем, что здесь при ранжировании по классам не соблюдено требование $c << 6{,}5\sigma$. Классовый интервал принят за 10 %, а $\sigma \approx 11 - 12$ %.

В таких случаях необходимо во второй центральный момент μ_2 ввести поправку Шеппарда

$$\mu_2 = \mu_2(\Phi) - 0{,}0083\,,$$

$\mu_2(\Phi)$ – фактически полученное значение.

Тогда для первого карьера ис~~на~~правленное значение стандарта σ_1 ~~будет равно~~примет значение

$$\sqrt{\mu_2} = \sigma_1 = \sqrt{1{,}144^2 - 0{,}083} = 1{,}107\,.$$

Таблица 5.10

Корреляция долевого участия каждого рудника в общей подаче руды на фабрику (%)

γ_1 \ γ_2	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	m	a_y	ma_y	ma_y^2	$ma_x a_y$	p_1, %	$\sum p_1$, %
0–10															
10–20								2	2	-3	-6	18	-18	1,8	1,8
20–30						5	6		11	-2	-22	44	-34	9,7	11,5
30–40					6	24			32	-1	-32	32	-26	28,3	39,8
40–50				15	24				39	0	0	0	0	34,5	74,3
50–60			5	16					21	1	21	21	-26	18,6	92,9
60–70			7						7	2	14	28	-28	6,2	99,1
70–80		1							1	3	3	9	-9	0,9	100,0
n		1	12	31	30	31	6	2							
a_x		-3	-2	-1	0	1	2	3							
na_x		-3	-24	-21	0	31	12	6							
na_x^2		9	48	31	0	31	24	18							
$na_x a_y$		-9	-38	-16	0	-36	-24	-18							
p_2, %		0,9	10,6	27,4	26,5	27,4	5,3	1,9							
$\sum p_2$, %		0,9	11,5	38,9	65,4	92,8	98,1	100,0							

Аналогично для второго карьера будем иметь

$$\sqrt{\mu_2} = \sigma_2 = \sqrt{1{,}19^2 - 0{,}083} = 1{,}154 .$$

Тогда исправленный коэффициент корреляции ~~будет равен~~

$$r_{1-2} = -\frac{142{,}68}{113 \cdot 1{,}107 \cdot 1{,}154} = -0{,}988 .$$

Как видим, поправка вполне существенна. Следует добавить, что поправка Шеппарда, численно равная 0,083, соответствует только расчетной схеме методом моментов.

Таблица 5.11

Распределение объемов подачи руды на обогатительную фабрику

	~~суточная~~ Суточная подача руды, тыс. т												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	$\sum$
n	1	–	8	5	15	19	22	9	15	12	5	2	113
p_1, %	0,9	–	7,1	4,4	13,2	16,8	19,5	8,0	13,2	10,6	4,5	1,8	100,0
$\sum p_1$, %	0,9	0,9	8,0	12,4	15,6	42,4	61,9	69,9	83,1	93,7	98,2	100,0	100,0

Рассматривая систему в целом, следует onметить, что поставка руды на фабрику не стабильна, она изменяется от 5 до 16 тыс. т и стандарте $\sigma = 2{,}22$ тыс. т. Это означает, что в нашем примере режим работы фабрики изменяется до 50-ти процентной перегрузки со всеми вытекающими из этого последствиями.

6. ПОДБОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

В практике статистической обработки информации кроме получения средних характеристик и построения распределений случайных величин приходится оценивать динамику изменения этих характеристик либо во времени, либо в пространстве, либо в зависимости от других контролируемых факторов и параметров. Эта задача сводится к выбору математических моделей взаимосвязей и подбору коэффициентов для этих моделей, удовлетворяющих условию наилучшего приближения к опытным данным. Существуют экспертные (приблизительные) и строгие (точные) методы. К строгим методам относится способ наименьших квадратов, к экспертным – графические приемы построения аналитических зависимостей. Рассмотрим способы подбора коэффициентов уравнений.

6.1. Линейная функция $y=ax+b$

Рассмотрим линейную зависимость изменения параметра y от показателя x.

$$y = ax + b. \tag{6.1}$$

Формально способ наименьших квадратов сводится к составлению системы уравнений по схеме:

$$\left.\begin{aligned} \sum y &= a\sum x + nb \\ \sum yx &= a\sum x^2 + b\sum x \end{aligned}\right\},$$

$$\left.\begin{aligned} \sum x &= c\sum y + nd \\ \sum xy &= c\sum y^2 + d\sum y \end{aligned}\right\}.$$

Коэффициент корреляции (r), оценивающий степень совпадения y и x, определяется по формуле

$$|r| = \sqrt{ac} \qquad (6.2)$$

и принимает знак этих констант (a, c всегда имеют один знак). В силу того, что значение y для конкретного класса показателя $x = x_i + \Delta$ неоднозначно, а имеет некоторое распределение, график $y = f(x)$ будет представлять собой ломаную линию (рис 6.1).

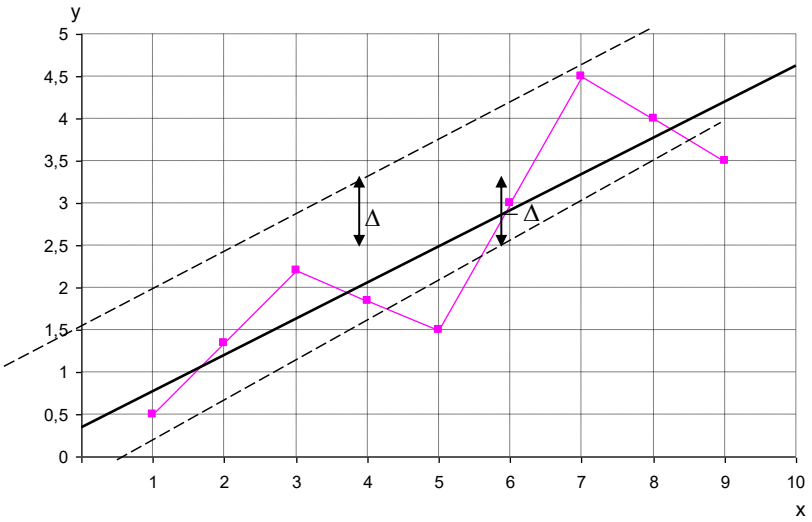


Рис. 6.1. Эмпирические данные соотношения между y и x

В табл. 6.1 приведен пример вычислительных операций по нахождению коэффициентов линейной зависимости y от x ($y = ax + b$) и x от y ($x = ay + b$).

Таблица 6.1

Пример вычисления зависимости между y и x по методу наименьших квадратов

№ п/п	Исходные значения					y_0	$\Delta=y-y_0$	Δ^2
	x	y	xy	x^2	y^2			
1	1	0,5	0,5	1	0,25	0,70	- 0,2	0,0400
2	3	2,0	6,0	9	4,0	1,55	+0,45	0,2025
3	5	1,5	7,5	25	2,25	2,40	- 0,90	0,8100
4	7	4,5	31,5	49	20,25	3,25	+1,25	1,5625
5	9	3,5	31,5	81	12,25	4,10	-0,60	0,36
$\sum$	25	12,0	77,00	165	39,00	12,00	0	2,975

$$\left.\begin{aligned} 12{,}0 &= 25a + 5b \\ 77{,}0 &= 165a + 25b \end{aligned}\right| \quad \begin{aligned} a &= 0{,}425 \\ b &= 0{,}275 \end{aligned},$$

$$y_0 = 0{,}425x + 0{,}275;$$

$$\left.\begin{aligned} 25 &= 12c + 5d \\ 77 &= 39c + 12d \end{aligned}\right| \quad \begin{aligned} c &= 1{,}667 \\ d &= 1{,}000 \end{aligned},$$

$$x_0 = 1{,}667y + 1;$$

$$r = \sqrt{0{,}425 \cdot 1{,}667} = +0{,}842,$$

$$r^2 = 0{,}708.$$

Значение r^2 называется коэффициентом детерминации (закономерности). Таким образом, мы должны констатировать, что зависимость показателя y от показателя x только на 70,8 % определяется изменением показателя x, а остальные 30 % приходятся на влияние других неучтенных факторов. Их влияние определяет величину Δ – отклонение наблюденных значений y от рассчитанных по формуле y_0. Среднеквадратическая величина $\overline{\Delta}$ рассчитывается по формуле

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}} = \sqrt{\frac{2{,}975}{5}} = \pm 0{,}7714 .$$

Эту же величину можно численно оценить через значение коэффициента корреляции *r*.

$$\bar{\Delta} = \sigma_y \sqrt{1 - r^2} \quad . \tag{6.3}$$

Но $$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - \left(\frac{\sum y}{n}\right)^2} .$$

В нашем примере имеем:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{39}{5} - \left(\frac{12}{5}\right)^2} = 1{,}428 \ , \qquad \bar{\Delta} = 1{,}428\sqrt{1 - 0{,}708} = 0{,}7716 .$$

Сходимость результата практически полная. Величина $\bar{\Delta}$ характеризует собой доверительный интервал уравнения, который отрисовывается по обе стороны расчетной прямой (на рис. 6.1 пунктирные линии). Тогда следует записать:

$$y = ax + b \pm \bar{\Delta} \cdot t . \tag{6.4}$$

Коэффициент *t* принимает значения 1,2,3..., и оценивает уровень доверительной вероятности (*t* = 1, p_1 = 0,68; *t* = 2, p_2 = 0,95; *t* = 3, p_3 = 0,997).

При построении эмпирических зависимостей всегда следует указывать интервал изменения показателя *x*. Например, $y = 0{,}425x + 0{,}275$ при $1 \le x < 10$.

В практике аналитического рассмотрения уравнения прямой полезно знать, что коэффициент корреляции *r* формально оценивает степень совпадения показателя *y* (абсцисса точки на прямой, с одной

стороны, и следствие некоторых причин, с другой) со значением x (ордината точки на прямой, с одной стороны, и причина, с другой).

Можно ранжировать степень этого совпадения и, следовательно, говорить о тесноте связи между показателями x и y (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Классифицирование тесноты эмпирической связи между x и y

Коэффициент детерминации r^2	Оценка зависимости
0–0,2	Связь практически отсутствует
0,2–0,5	Слабая связь
0,5–0,8	Сильная связь
0,8–1,0	Очень сильная связь, практически функциональная

На рис. 6.2 показана геометрическая интерпретация коэффициента корреляции r. Выражение (6.2) показывает, что r определяется произведением коэффициентов a и c зависимостей $y = f(x)$ и $x = g(y)$:

$$r^2 = ac.$$

Но $a = \mathrm{tg}(\alpha)$, $c = \mathrm{tg}(\beta)$.

Углы α и β можно выразить через углы γ и φ

$$a = \gamma - \frac{\varphi}{2}, \quad \beta = 90 - \left(\gamma - \frac{\varphi}{2}\right).$$

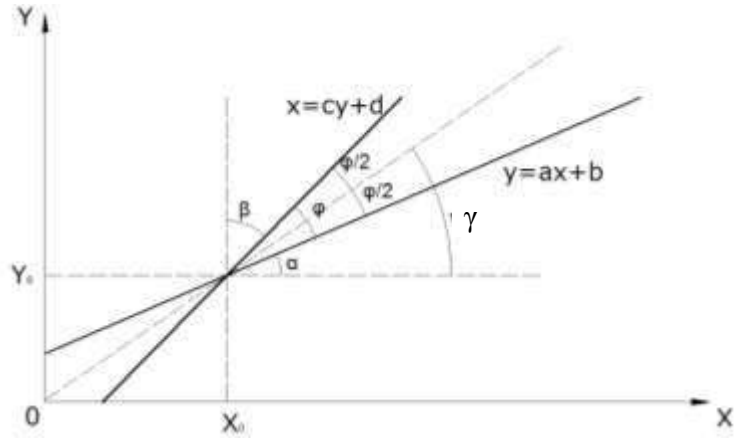


Рис. 6.2. Геометрическая интерпретация коэффициента корреляции r

Тогда после преобразования получим:

$$r^2 = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \frac{\varphi}{2})}{\operatorname{tg}(\gamma + \frac{\varphi}{2})} \quad . \tag{6.5}$$

Следовательно, значение r характеризует сектор φ и положение его в квадранте через угол γ.

Установление формы зависимости $y = f(x)$ и ее аналитическая интерпретация относятся к достаточному условию обработки опытных данных, которое составляет эмпирическую основу исследования. Выполнение необходимого условия любого исследования состоит в раскрытии физической сущности эмпирических коэффициентов, что, собственно, и характеризует научную (теоретическую) составляющую исследования.

6.2. Параболическая функция $y = \sum_{0}^{n} a_n x^n$

Модель полинома степени *n,* где *n* – целое число, в практике описания эмпирических данных имеет ограниченное применение за исключением нескольких частных случаев. В частности, полиномом первой степени ($n = 1$) является уравнение прямой:

$$y = a_0 + a_1 x .$$

Этот полином рассмотрен в п 6.1. Полиномом второй степени ($n = 2$) является квадратный трехчлен (квадратическая парабола):

$$y = ax^2 + bx + c . \qquad (6.6)$$

Здесь для нахождения трех коэффициентов (a, b, c) необходимо составить три уравнения. В схеме способа наименьших квадратов эти три уравнения имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} \sum y &= a\sum x^2 + b\sum x + nc \\ \sum yx &= a\sum x^3 + b\sum x^2 + c\sum x \\ \sum yx^2 &= a\sum x^4 + b\sum x^3 + c\sum x^2 \end{aligned}\right\}.$$

Как можно увидеть, трудоемкость вычислений резко возрастает с увеличением степени полинома. Поэтому этот способ целесообразно применять лишь в тех случаях, когда априори установлено, что $y = f(x)$ действительно, в силу некоторых физических предпосылок, имеет параболическую форму. В этом случае численные значения коэффициентов приобретают определенный физический смысл и позволяют глубже проникнуть в сущность процесса или природного явления. В инженерной практике часто бывает вполне достаточным использовать графоаналитический метод. В основе этого метода лежит

ручная отрисовка графика и использование геометрических особенностей параболы второго порядка. К таким геометрическим особенностям относятся:

− кривая второго порядка имеет один экстремум, который находится в точке $x_э$

$$y = ax^2 + bx + c, \qquad y'_x = 2ax + b.$$

При $y'_x = 0$; $x_э = -\dfrac{b}{2a}$

$$y_э = \frac{b^2}{4a} - \frac{b^2}{2a} + c = c - \frac{b^2}{4a};$$

− график $y = f(x)$ симметричен относительно точки $x_э$;

− корни уравнения (6.6) ($x_1 = x_{\min}, x_2 = x_{\max}$) (см. рис. 6.3) находятся на оси x симметрично по отношению $x_э$;

− точка экстремума одновременно является точкой перегиба, в которой производная y'_x меняет знак. Эта особенность позволяет составить три уравнения для нахождения коэффициентов *a,b,c*

$$\left.\begin{aligned} 0 &= ax_{\min}^2 + bx_{\min} + c \\ y_э &= ax_э^2 + bx_э + c \\ 0 &= ax_{\max}^2 + bx_{\max} + c \end{aligned}\right|.$$

Следует иметь в виду, что $x_э = \dfrac{x_{\max} + x_{\min}}{2}$.

Значения $x_э$ и $y_э$ берутся непосредственно с графика. Этот метод имеет то преимущество, что позволяет быстро произвести расчет и определить значения коэффициентов и, тем самым, подобрать такое

положение графика, которое наилучшим образом вписывается в систему экспериментальных данных.

Моделью параболических полиномов следует пользоваться с большой осторожностью при исследовании технологических процессов, так как эти модели симметричны. Необходимо всегда указывать область изменение показателя *x*.

В принципе, имея график, напоминающий параболу второго порядка, для нахождения коэффициентов уравнения можно взять любые три точки, даже если они расположены не симметрично относительно $x_э$, тогда уравнения примут вид

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= ax_1^2 + bx_1 + c \\ y_2 &= ax_2^2 + bx_2 + c \\ y_3 &= ax_3^2 + bx_3 + c \end{aligned}\right\} .$$

К кривым второго порядка приводит схема оптимизации процессов или их отдельных элементов.

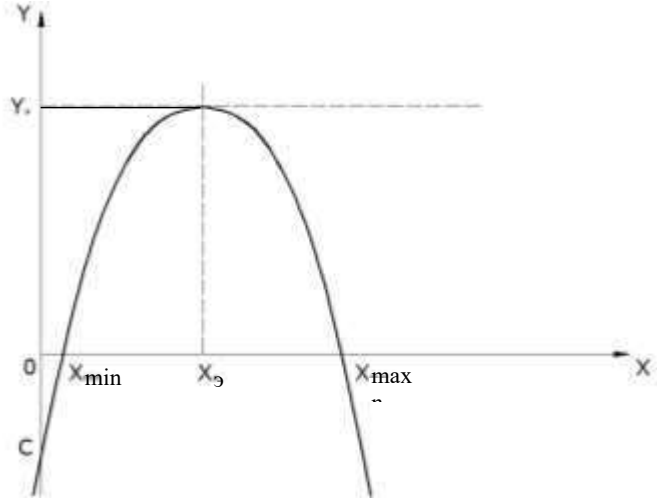
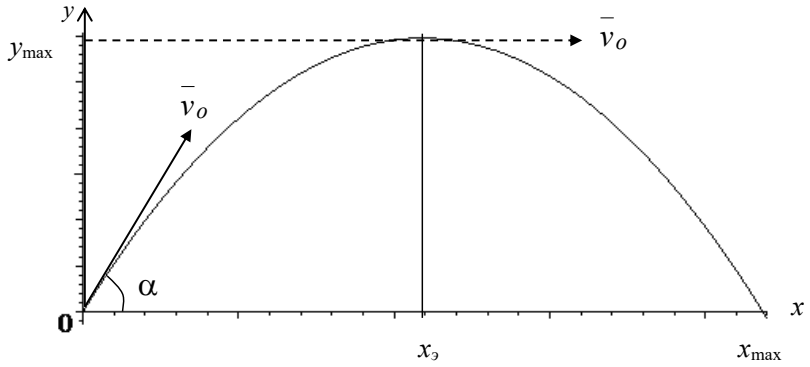


Рис. 6.3. График параболы второго порядка

Классическим примером параболической зависимости является траектория движения тела, выпущенного под углом к горизонту с некоторой скоростью v_o.



$$y = \mathrm{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 .$$

Эта физическая задача лежит в основе расчета радиуса разлета кусков горных пород при взрывном их разрушении. Другим примером является уравнение пути, пройденного телом при равноускоренном прямолинейном движении

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

6.3. Степенная функция $y = ax^n$

Рассмотрим класс кривых, описываемых степенной функцией вида

$$y = ax^n . \qquad (6.7)$$

Этот класс кривых часто используется в практике эмпирического описания опытных данных. Особенность уравнения (6.7) сводится к следующему:

1. Степенные функции имеют только два коэффициента – показатель степени n, определяющий форму кривой y, и коэффициент a, определяющий уровень абсолютных значений y.

2. На область значений коэффициентов нет ограничений – n и a принимают любые численные значения, как положительные, так и отрицательные.

3. Функция (6.7) интегрируется, дифференцируется, логарифмируется, что позволяет при необходимости использовать приемы математического анализа.

4. Функция (6.7) берет начало в точке x=0, в которой y=0. Значения x всегда положительные ($x \geq 0$).

5. При значениях $n > 1$ кривая y относится к параболическому классу с ветвью, уходящей в бесконечность. При отрицательных значениях ($n < 0$), y относится к классу гиперболических кривых, имеющих точку разрыва при x=0 $y = \infty$, и $y \to 0$ при $x \to \infty$.

6. При $0<n<1$ кривая приобретает положительно выполаживающийся график, не имеющий, однако, предела.

Линейность функций в логарифмической сетке – первый и основной признак соответствия эмпирических данных степенной зависимости.

$$\ln y = \ln a + n \ln x . \qquad (6.8)$$

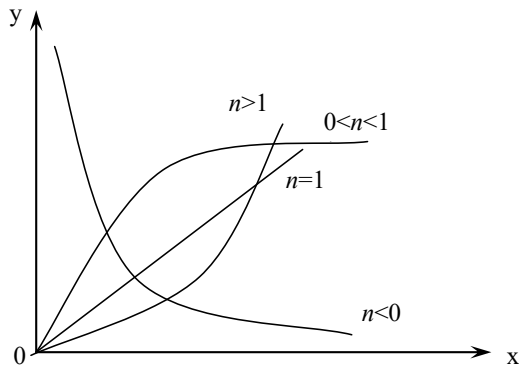


Рис. 6.4. График степенной функции

В этом случае схема метода наименьших квадратов представляется следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} \sum_1^N \ln y &= N \ln a + n \sum_1^N \ln x \\ \sum_1^N (\ln y \ln x) &= \ln a \sum_1^N \ln x + n \sum_1^N (\ln x)^2 \end{aligned}\right|,$$

где N – количество исходных данных.

Выбор основания логарифма не оказывает влияния на значения коэффициентов a и n, поскольку играет роль масштабного коэффициента при вычислительных операциях. На практике целесообразно пользоваться упрощенными приемами нахождения коэффициентов. При этом следует обратить внимание на то, что при $x = 1$ $y = a$. Полезен следующий способ составления двух уравнений

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= a x_1^n \\ y_2 &= a(2x_1)^n \end{aligned}\right\} . \qquad (6.9)$$

В этом случае, решение системы двух уравнений с двумя неизвестными сводится к простым арифметическим операциям.

$$\frac{y_2}{y_1} = 2^n, \quad n = \frac{\ln\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}{\ln 2}, \qquad a = \frac{y_1}{x_1^n}.$$

Степень соответствия зависимости y от x степенному уравнению можно оценить коэффициентом корреляции, вычисляемым по формуле:

$$r = \sqrt{1 - \frac{\Delta n^2}{n^2}}, \quad \Delta n = \frac{\Delta\bar{y}}{\ln 2}\left(\frac{y_1 + y_2}{y_1 y_2}\right), \quad \Delta\bar{y} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum\left(y_\text{ф} - y_\text{г}\right)^2},$$

где $y_\text{ф}$ – фактические значения y_i, соответствующие определенному значению x_i;

$y_\text{г}$ – значение y_i по графику, соответствующее тому же значению x_i.

Пример вычислительных операций представлен в форме таблицы**.**

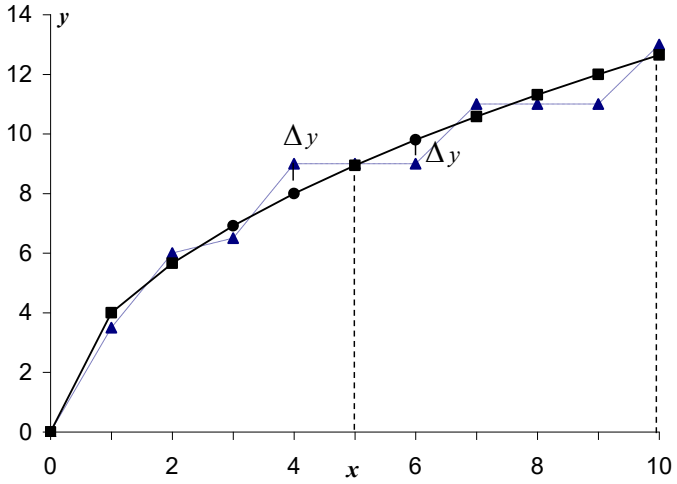
x_0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
y_0	3,5	6,0	6,5	9,0	9,0	9,0	11,0	11,0	11,0	13,0
$y_\text{г}$	4	5,66	6,92	8,0	8,94	9,8	10,58	11,31	12,0	12,65
Δy	-0,5	0,34	-0,38	1,0	0,06	-0,8	0,42	-0,31	-1,0	0,35

$$\Delta\bar{y} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot 3{,}7454} = 0{,}612.$$

$$9 = 4 \cdot 5^n$$

$$12{,}6 = 4 \cdot 10^n$$

$$\frac{12{,}6}{9{,}0} = 2^n \quad \text{или} \quad 1{,}4 = 2^n, \quad n = 0{,}5, \qquad y = 4\sqrt{x},$$



$$\Delta n = \frac{0{,}612}{\ln 2}\left(\frac{9+12{,}6}{9\cdot 12{,}6}\right) = 0{,}168$$

$$r = \sqrt{1-\left(\frac{0{,}168}{0{,}5}\right)^2} = 0{,}94.$$

Модель степенной функции во многих случаях хорошо согласуется с опытными данными при анализе производственных систем.

6.4. Показательная функция $y = ae^{bx^n}$

Класс показательной функции, как и степенной, находит широкое использование в аналитической интерпретации экспериментальных данных и эмпирическом представлении статистических материалов. Основанием показательной функции может быть в принципе любое число *к*.

$$y = a\kappa^{bx^n}.$$

Но наибольшее распространение получили *к* = 10 и *к* = *e*, что облегчает производство математических операций, если приходится

пользоваться логарифмированием. Можно определенно констатировать, что в настоящее время пользуются формой показательной функции с основанием натурального логарифма *e* исключительно исходя из удобства пользования табличными функциями дифференцирования и интегрирования. Вся современная вычислительная техника снабжена функциями с основанием *e*. Мы будем пользоваться формулой:

$$y = ae^{bx^n} = a \cdot \exp\left(bx^n\right). \qquad (6.10)$$

Обозначение exp заменяет e. Логарифмирование функции (6.10) по натуральному основанию дает:

$$\ln y = \ln a + bx^n,$$

что определяет линейную при $n = 1$ и нелинейную при $n \neq 1$ форму зависимости логарифма y от натурального значения x. Способ наименьших квадратов применительно к этой форме представления при $n = 1$ дает следующую систему уравнений для нахождения коэффициентов:

$$\sum_1^N \ln y = N \ln a + b\sum_1^N x,$$

$$\sum_1^N (\ln yx) = \ln a \sum x + b\sum_1^N x^2.$$

Функция (6.10) интересна тем, что не накладывает никаких ограничений на область изменения аргумента x (он может принимать любые положительные и отрицательные значения) и значений коэффициентов a и b. Главной особенностью этой функции является то, что при $x = 0$, $y = a$.

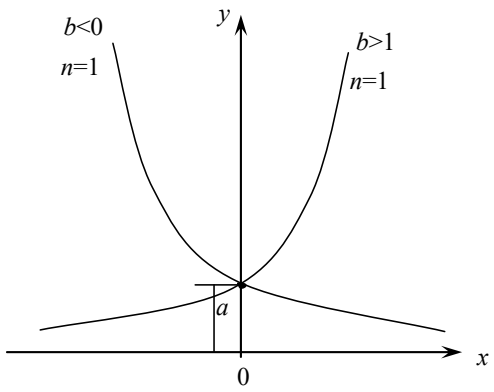


Рис. 6.5. Формы показательной функции

Эта функция гиперболического типа, ее асимптотой является $y = 0$ при $x \to \infty$, она пересекает ось y в точке a. Если $y_0 = a$ можно определить по эмпирическому графику, то коэффициент b определяется из условия $y_i = ae^{-bx_i}$, $\ln y_i = \ln a - bx_i$, $\dfrac{\ln a - \ln y_i}{x_i} = b$.

В общем случае для нахождения значений коэффициентов a и b составляется система двух уравнений ($x_2 > x_1$)

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= ae^{-bx_1} \\ y_2 &= ae^{-bx_2} \end{aligned}\right|,$$

из которой следует:

$$\frac{y_2}{y_1} = e^{-b(x_2 - x_1)}; \qquad \ln\left(\frac{y_2}{y_1}\right) = -b(x_2 - x_1);$$

$$b = -\frac{1}{x_2 - x_1}\ln\left(\frac{y_2}{y_1}\right); \qquad a = ye^{bx}.$$

Когда в обработке участвует большой статистический материал, целесообразно использовать в системе уравнений средние статистические значения $\bar{y}$ и $\bar{x}$. Тогда первое уравнение будет иметь вид:

$$\bar{y} = ae^{b\bar{x}},$$

а в качестве второго уравнения можно последовательно принять значение y_1, соответствующее значению $x_1 = \bar{x} - \sigma_x$, или y_3, соответствующее $x_3 = \bar{x} + \sigma_x$. Тогда система уравнений будет иметь вид

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= ae^{-b(\bar{x}-\sigma_x)} \\ y_3 &= ae^{-b(\bar{x}+\sigma_x)} \end{aligned}\right\}.$$

В результате решения системы уравнений получаются значения коэффициентов *a* и *b*. Полученное уравнение зависимости $\bar{y} = f(x)$ будет опираться на три наиболее надежные точки. Рассмотренная функция находит широкое применение в теории массового обслуживания при исследовании технологических процессов, транспортных потоков, информационных потоков.

При исследовании распределений случайных величин класс кривых вида

$$y = a \cdot \exp(-bx^n) \qquad (6.11)$$

можно отнести к базовым. Это определяется некоторыми замечательными свойствами этих кривых.

1. При $n > 0$ $y = a$ при $x = 0$
2. Значение y асимптотически приближается к $y = 0$ при $x \to \infty$.

3. При $n < 0$ y асимптотически приближается к пределу $y = a$ при $x \to \infty$, а при $x = 0$, $y = 0$.

4. При четных значениях n функция y симметрична относительно оси абсцисс.

Вид функции показан на рис. 6.6.

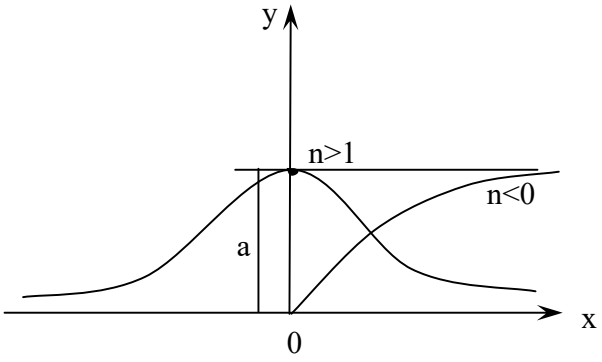


Рис. 6.6. Вид функции $y = ae^{-bx^n}$

Наиболее рациональным способом определения коэффициентов в уравнении следует признать графоаналитический.

$$y_1 = ae^{-bx_1^n}, \qquad y_2 = ae^{-b(2x_1)^n},$$

Здесь a считается значением, определенным по графику.

$$\ln\frac{y_1}{a} = -bx_1^n, \qquad \ln\frac{y_2}{a} = -b(2x_1)^n,$$

$$\frac{\ln\frac{y_1}{a}}{\ln\frac{y_2}{a}} = 2^n, \qquad n = \ln\frac{\ln\frac{y_1}{a}}{\ln\frac{y_2}{a}} \cdot \frac{1}{\ln 2}.$$

Кривые кумулятивного этапа (процессы насыщения) описываются уравнениями вида

$$y = ae^{-b\left(\frac{1}{x}\right)^n}, \qquad y = A\left(1 - e^{-bx^{-n}}\right) \qquad (6.12)$$

Решение (6.12) сводится к способу, рассмотренному выше. Решение осуществляется по схеме степенной функции, если A берется с графика

$$\ln\left(1 - \frac{y}{A}\right) = -bx^n.$$

Здесь допустимо использовать помимо способа наименьших квадратов упрощенные, но вполне отвечающие требованию сходимости с опытными данными, схемы и графо-аналитические приемы нахождения констант уравнения. Выражение (6.12) должно рассматриваться в первую очередь как некая математическая модель для описания свойств явлений природы и особенностей производственных процессов.

7. ЭЛЕМЕНТЫ МНОЖЕСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Анализ динамики технологических и экономических показателей производственных систем не ограничивается исследованием взаимосвязей в форме парной корреляции. Технологические показатели всегда есть функция от многих параметров. Например, коэффициент использования любого вида горно-транспортного оборудования (Ки) зависит от чистого времени работы или от коэффициента использования рабочего времени Ки(t), технологических характеристик рабочего пространства, степени изношенности оборудования, организационных факторов и т. д. Экономические показатели по определению многофакторные, так как они накопительно отражают изменение затрат, связанных с функционированием технологической системы. Все задачи, связанные с оптимизацией процессов также многофакторны, поскольку рассматривают два противоположных следствия (ущерб и прибыль) от группы технологически связанных факторов. В практике маркшейдерско-геодезических измерений на результаты наблюдений большое влияние оказывает воздействие окружающей среды во всех ее метеорологических проявлениях: снег и ветер, солнце и дождь, туман и зной и т. д., и т. п. Изучение влияния всех факторов, в конечном счете, привело к решению задачи о введении систематических поправок в систему измерений и формированию специального научного направления – теории ошибок измерений.

В практике геологического изучения вещественного состава горных пород, под углом зрения поиска генетической основы в концентрациях тех или иных химических элементов, имеются многочис-

ленные попытки использования многофакторных моделей. Рассмотрим пример вычислительных операций для функции вида $z = f(x, y)$.

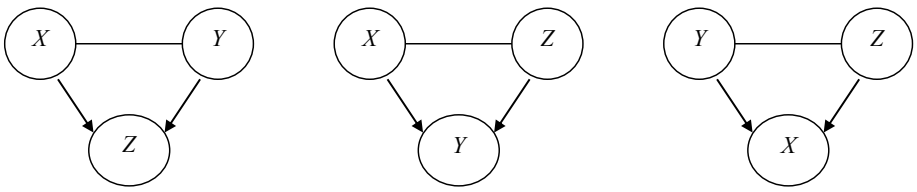
7.1. Корреляция между тремя совместными событиями

Плоская модель зависимости между тремя случайными величинами полно изучена в теории корреляционного анализа. Эта модель имеет вид

$$z = ax + by + c\,. \qquad (7.1)$$

С геометрических позиций это уравнение плоскости, с вероятностных – сумма двух случайных величин x и y, которые изменяются независимо друг от друга, составляя при этом полную схему событий.

В качестве примера вычислительных процедур приведем результаты анализа морфологических параметров молодых людей возрастом 21-22 года. Объем выборки составил 106 человек, из которых 1/3 составляли женщины и 2/3 – мужчины. При этом анализировались корреляционные соотношения между весом *X*, ростом *Y* и размером обуви *Z*.



$z = f(x, y)$ $\qquad$ $y = \psi(x, z)$ $\qquad$ $x = \varphi(y, z)$

В основе уравнения (7.1) лежат парные корреляционные взаимосвязи между указанными тремя параметрами. В табл. 7.1 приведены

результаты корреляционной обработки связи между ростом (x) студентов и их весом (y).

x – рост	y – вес
$m_1(x) = \frac{\sum na}{\sum n} = \frac{86}{106} = 0{,}811$	$m_1(y) = -\frac{23}{106} = -0{,}217$
$m_2(x) = \frac{\sum na^2}{\sum n} = \frac{694}{106} = 6{,}547$	$m_2(y) = \frac{907}{106} = 8{,}557$
$\bar{x} = \bar{x}_0 + cm_1$	$\bar{y} = \bar{y}_0 + cm_1$
$\bar{x} = 172 + 4 \cdot 0{,}811 = 175{,}2\,\text{см}$	$\bar{y} = 68 + 4 \cdot (-0{,}217) = 67{,}1\,\text{кг}$
$\sigma_x = \sqrt{m_2 - m_1^2}$	
$\sigma_x = \sqrt{6{,}547 - 0{,}811^2} = 2{,}427$	$\sigma_y = \sqrt{8{,}557 - (-0{,}217)^2} = 2{,}917$
$\bar{\sigma}_x = c\sigma_x = 4 \cdot 2{,}427 = 9{,}71\,\text{см}$	$\bar{\sigma}_y = 4 \cdot 2{,}917 = 11{,}67\,\text{кг}$

$$r_{xy} = \frac{\sum P_y a_x a_y - (\sum n) m_1(x) m_1(y)}{(\sum n)\sigma_x \sigma_y},$$

$$r_{xy} = \frac{648 - 106 \cdot 0{,}811 \cdot (-0{,}217)}{106 \cdot 2{,}427 \cdot 2{,}917} = 0{,}888,\ r_{xy}^2 = 0{,}788,$$

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{\sum n}} = \frac{1 - 0{,}788}{\sqrt{106}} = 0{,}021,\ r >> 3m_r,$$

$$y = r_{xy} \frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{\sigma}_x}(x - \bar{x}) + \bar{y},$$

$$\mathbf{y} = 0{,}888 \frac{11{,}67}{9{,}71}(x - 175{,}2) + 67{,}1 = \mathbf{1{,}07x - 119{,}9}.$$

Таблица 7.1

Корреляция роста (x) и веса (y) у студентов возраста 21-22 года

Рост, см x \ *Вес, кг* y	46-50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	P_y	a_y	$\sum P_y a_y$	$\sum P_y a_y^2$	$\sum P_y a_x a_y$	$\sum P_j y_j$	$\bar{y}$
154–158	3														3	-4	-12	48	60	144	48,0
162	6	2	1	1											10	-3	-30	90	129	508	50,8
166	3	2	1	1											7	-2	-14	28	56	364	52,0
170	3	1	2	3	3	1									13	-1	-13	13	34	748	51,5
174				3	5	2	1								11	0	0	0	0	708	64,4
178				1	2	9	3	3	3	1					22	1	22	22	18	1568	71,3
182					1	2	5	1							9	2	18	36	12	636	70,7
186						2	5	5	4	1	1				18	3	54	162	108	1368	76,0
190							1	2	2	1	1				7	4	28	112	80	556	79,4
194								1		1	1				3	5	15	75	55	248	82,7
198											2	1			3	6	18	108	96	268	89,3
P_x	15	5	4	9	11	16	15	12	9	4	5	1			106		86	694	648		
a_x	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6									
$\sum P_x a_x$	-75	-20	-12	-18	-11	0	15	24	27	16	25	6			-23						
$\sum P_x a_x^2$	375	80	36	36	11	0	15	48	81	64	125	36			907						
$\sum P_x a_x a_y$	195	44	21	14	-1	0	32	66	69	52	120	36			648						
$\sum P_i x_i$	2424	816	660	1524	1896	2824	2708	2196	1640	740	956	196,0									
$\bar{x}$	161,6	163,2	165,0	169,3	172,4	176,5	180,5	183,0	182,2	185,0	191,2	196,0									

x – рост, см

y – вес, кг.

$$x = r_{xy}\,\frac{\overline{\sigma}_x}{\overline{\sigma}_y}\left(y - \bar{y}\right) + \bar{x}\,,$$

$$\mathbf{x} = 0{,}888\,\frac{9{,}71}{11{,}67}\left(y - 67{,}1\right) + 175{,}2 = \mathbf{0{,}739y + 125{,}6}.$$

Контроль вычислений: $r = \sqrt{1{,}07 \cdot 0{,}739} = 0{,}888$.

На рис.7.1 показаны графики зависимости между ростом и весом студентов.

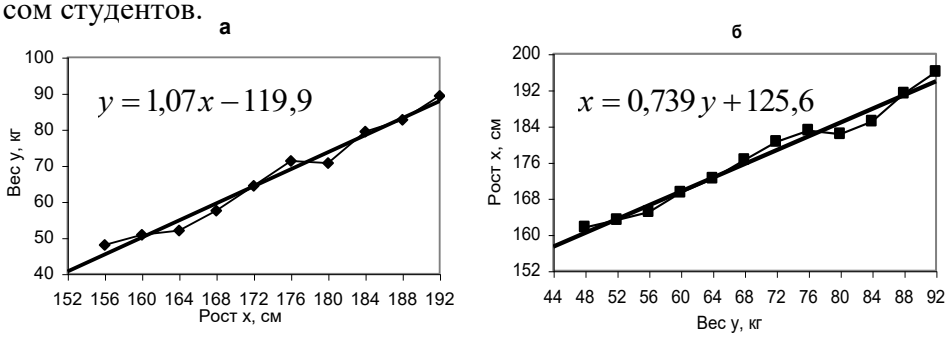


Рис. 7.1. Корреляционная зависимость между параметрами x и y

а – $y = f(x)$; б – $x = \varphi(y)$.

Проведенные расчеты показывают:

- между ростом и весом молодых людей возраста 21-22 года имеет место корреляционная зависимость, которая характеризуется как сильная (существенная) – $r = 0{,}888$.
- значение коэффициента r много больше его утроенной ($3m_r$) погрешности. Это означает, что значение r определено достаточно надежно, выборка вполне представительна;

x – рост	z – размер обуви
$m_1(x) = -0{,}17$	$m_1(y) = -0{,}217$
$m_2(x) = 5{,}962$	$m_2(y) = 8{,}142$
$\bar{x} = 176{,}0 - 4 \cdot 0{,}17 = 175{,}32$ см	$\bar{z} = 41{,}0 - 4 \cdot 0{,}217 = 40{,}72$

$\sigma_x = \sqrt{m_2 - m_1^2} = 2{,}440$ $\sigma_z = \sqrt{m_2 - m_1^2} = 2{,}845$

$\overline{\sigma}_x = c\sigma_x = 9{,}767$ см $\overline{\sigma}_z = c \cdot \sigma_z = 2{,}845$

$$r_{xz} = \frac{658 - 106 \cdot (-0{,}17) \cdot (-0{,}217)}{106 \cdot 2{,}440 \cdot 2{,}845} = 0{,}888\,,$$

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{\sum n}} = \frac{1 - 0{,}888^2}{\sqrt{106}} = 0{,}021\,, \qquad r >> 3m_r\,,$$

$$z = r_{xz}\frac{\overline{\sigma}_z}{\overline{\sigma}_x}(x - \bar{x}) + \bar{z}\,, \qquad z = 0{,}26x - 5{,}3 \qquad \Delta z = 1{,}1$$

$$x = r_{xz}\frac{\overline{\sigma}_x}{\overline{\sigma}_z}(z - \bar{z}) + \bar{x}\,, \qquad x = 3{,}22z + 47 \qquad \Delta x = 4{,}0$$

На рис.7.2 показаны графики зависимости между ростом и размером обуви студентов.

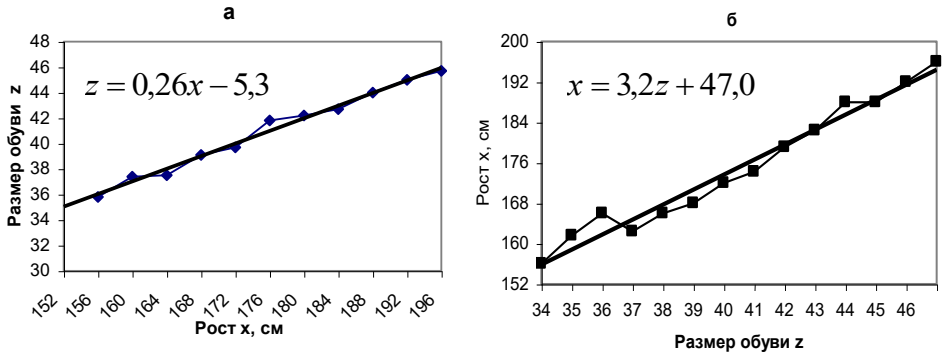


Рис. 7.2. Корреляционная зависимость между параметрами x и z

а – $z = f(x)$; б – $x = \varphi(z)$.

– доверительный интервал (Δ) корреляционного уравнения составляет:

$$\Delta = \sigma\sqrt{1 - r^2}$$

$y = \varphi(x)$ $\Delta y = 11{,}67\sqrt{1 - 0{,}888^2} = 5{,}4$ кг

$x = f(y)$ $\Delta x = 9{,}71\sqrt{1 - 0{,}888^2} = 4{,}46$ см.

По отношению к средним значениям это составит

$$\frac{\Delta y}{\bar{y}} = \frac{5{,}4}{67{,}1} = 0{,}080\,, \qquad \frac{\Delta x}{\bar{x}} = \frac{4{,}46}{175{,}2} = 0{,}025.$$

Следовательно, точность (относительная погрешность) определения y по x не превышает 10 %, а x по y – 3 %.

В табл. 7.2 и 7.3 приведены результаты обработки данных выборки по параметрам $x \to z$ и $y \to z$.

y – вес	z – размер обуви
$m_1(y) = 0{,}16\,,$	$m_1(z) = -0{,}443\,,$
$m_2(y) = 8{,}80\,,$	$m_2(z) = 8{,}65\,,$
$\bar{y} = 66{,}0 + 4{,}016 = 66{,}64$ кг,	$\bar{z} = 41{,}0 - 0{,}44 = 40{,}56\,,$
$\sigma_y = \sqrt{m_2 - m_1^2} = 2{,}962\,,$	$\sigma_z = \sqrt{m_2 - m_1^2} = 2{,}908\,,$
$\overline{\sigma}_y = c\sigma_y = 11{,}85$ кг.	$\overline{\sigma}_z = c \cdot \sigma_z = 2{,}908\,.$

$$r_{yz} = \frac{786 - 106 \cdot (-0{,}16) \cdot (-0{,}443)}{106 \cdot 2{,}962 \cdot 2{,}908} = 0{,}869\,,$$

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{\sum n}} = \frac{1 - 0{,}869^2}{\sqrt{106}} = 0{,}024\,,\ r >> 3m_r\,,$$

$$y = r_{yz}\,\frac{\overline{\sigma}_y}{\overline{\sigma}_z}\,(z - \bar{z}) + \bar{y}\,, \qquad y = 3{,}55z - 77{,}6\,, \qquad \Delta y = 5{,}8\,\text{кг},$$

$$z = r_{yz}\,\frac{\overline{\sigma}_z}{\overline{\sigma}_y}\,(y - \bar{y}) + \bar{z}\,, \qquad z = 0{,}213y + 26{,}4\,, \qquad \Delta z = 1{,}43.$$

Таблица 7.2

Корреляция роста (x) с размером обуви (z) студентов возраста 21-22 года

Рост, см \ *Обувь* Z / x	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	P_z	a_z	$\sum P_z a_z$	$\sum P_z a_z^2$	$\sum P_z a_x a_z$	$\sum P_j z_j$	$\bar{z}$
154–158	1	1		2											4	-5	-20	100	105	143	35,8
162		2	1	3	2										8	-4	-32	120	140	299	37,4
166		1		2	4	1									8	-3	-24	72	84	300	37,5
170		1		3	2	3	1	3							13	-2	-26	52	62	508	39,1
174			1		1	1	4	3	1						11	-1	-11	11	13	437	39,7
178					1		1	2	13	3					20	0	0	0	0	835	41,8
182								2	6	2	1				11	1	11	11	13	464	42,2
186								1	7	8	1	2			18	2	36	72	60	768	42,7
190									1	2	1	3	1		7	3	21	63	63	308	44,0
194											1	2	1		3	4	12	48	48	135	45,0
198											1		1	1	3	5	15	75	70	137	45,7
P_x	1	5	2	10	10	5	6	11	28	15	5	4	3	1	106		-18	632	658		
a_x	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6							
$\sum P_x a_x$	-7	-30	-10	-40	-30	-10	-6	0	28	30	15	16	15	6							
$\sum P_x a_x^2$	49	180	50	160	93	20	6	0	28	60	45	64	75	36	863						
$\sum P_x a_x a_y$	35	108	25	136	75	20	6	0	22	48	45	48	60	30							
$\sum P_i x_i$	156,0	808	332	1624	166,0	840	1032	1916	5016	2736	940	752	576	196							
$\bar{x}$	156,0	161,6	166,0	162,4	166,0	168,0	172,0	174,2	179,1	182,4	188,0	188,0	192	196							

x – рост, см

z –размер обуви

Таблица 7.3

Корреляция веса (y) с размером обуви (z) студентов возраста 21-22 года

z \ y (Вес, кг)	46-50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	P_y	a_y	$\sum P_y a_y$	$\sum P_y a_y^2$	$\sum P_y a_y a_z$	$\sum P_j z_j$	$\bar{z}$
34	1	1		1											3	-7	-21	147	77	154	51,3
35	3	1													4	-6	-24	144	114	188	47,0
36	2	6	1	2											11	-5	-55	275	205	562	51,1
37	1														1	-4	-4	16	20	46	46,0
38	1	2	2	2		1									8	-3	-24	72	69	436	54,5
39			2	2	2										6	-2	-12	24	24	348	58,0
40				1	1	2		1							5	-1	-5	5	1	326	65,2
41					5	2	3		1						11	0	0	0	0	730	66,4
42					1	6	10	7	2	5		2			33	1	33	33	61	2422	73,4
43							6	7	1	1					15	2	30	60	54	1098	73,2
44								1	1	1					3	3	9	27	27	234	78,0
45									1			3			4	4	16	64	84	348	87,0
46													1		2	5	10	50	50	172	86,0
P_z	8	10	5	8	9	11	19	16	7	7	–	5	1		106		-47	917	786		
a_z	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7								
$\sum P_z a_z$	-40	-40	-15	-16	-9	0	19	32	21	28	–	30	7		17						
$\sum P_z a_z^2$	200	160	45	32	9	0	19	64	63	112	–	180	49		933						
$\sum P_z a_x a_z$	210	196	45	56	4	0	22	46	48	40	–	84	35		786						
$\sum P_j y_j$	286	361	190	300	365	452	801	679	303	297		219	46								
$\bar{y}$	35,8	36,1	38,0	37,5	40,6	41,1	42,2	42,4	43,3	42,4	–	43,8	46,0								

y – вес, кг

z –размер обуви

На рис.7.3 показаны графики зависимости между весом и размером обуви студентов.

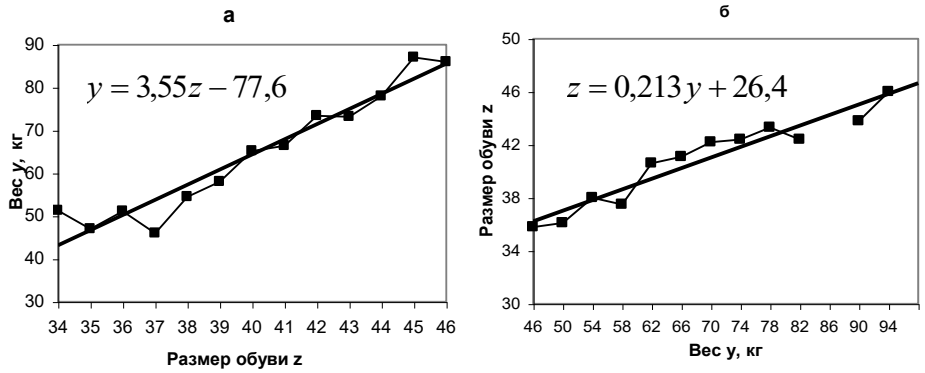


Рисунок 7.3. Корреляционная зависимость между параметрами y и z

а – $z = f(y)$; б – $y = \varphi(z)$.

Вычислительные показатели парных корреляций позволяют получить зависимость одного из параметров x, y, z от двух других: $z = f(x, y)$, $x = \varphi(y, z)$, $y = \psi(x, z)$. Исходные данные для последующих вычислений сведены в таблицу

Показатель	x	y	z
Среднее значение параметра	175,2	67,1	40,2
Стандарт, σ_i	9,7	11,7	2,8
Интервал изменения параметра min – max	150–200	42–100	33–48
Парные коэффициенты корреляции r_{ij}	$r_{xy} = 0{,}888$ $r_{xz} = 0{,}888$ $r_{yz} = 0{,}869$		

Зависимость $z = f(x, y)$

$$z = ax + by + c$$

Совокупный коэффициент корреляции R равен

$$R_z = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz} + r_{yz}^2}{1 - r_{xy}^2}}. \qquad (7.2)$$

$$R_z = \sqrt{\frac{0{,}888^2 - 2 \cdot 0{,}888 \cdot 0{,}888 \cdot 0{,}869 + 0{,}869^2}{1 - 0{,}888^2}} = 0{,}905.$$

$$R_z^2 = 0{,}819 \approx 0{,}82.$$

Значение R^2 определяет вес (долю) учтенных факторов *x* и *y* на значение *z* в общей совокупности влияющих факторов. В частности, на долю роста и веса при определении размера обуви приходится 82 %, на остальные факторы – 18 %. Значения коэффициентов *a*, *b* и *c* определяются по формулам:

$$a = \frac{r_{xz} - r_{yz}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\overline{\sigma}_z}{\overline{\sigma}_x}, \qquad a = 0{,}158. \qquad (7.3)$$

$$b = \frac{r_{yz} - r_{xz}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\overline{\sigma}_z}{\overline{\sigma}_y}, \qquad b = 0{,}092. \qquad (7.4)$$

$$c = \bar{z} - a\bar{x} - b\bar{y}, \qquad c = 6{,}33,$$

$$z = 0{,}158x + 0{,}092y + 6{,}33.$$

Зависимость $y = \psi(x, z)$

$$y = ax + cz + b.$$

Совокупный коэффициент корреляции R равен

$$R_y = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz} + r_{zy}^2}{1 - r_{xz}^2}}.$$

$$R_y = \sqrt{\frac{0{,}888^2 - 2 \cdot 0{,}888 \cdot 0{,}888 \cdot 0{,}869 + 0{,}869^2}{1 - 0{,}888^2}} = 0{,}905.$$

$$R_z^2 = 0{,}819 \approx 0{,}82.$$

$$a = \frac{r_{xz} - r_{yz} r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\overline{\sigma}_y}{\overline{\sigma}_z}, \qquad a = 0{,}658.$$

$$c = \frac{r_{yz} - r_{xz} r_{xy}}{1 - r_{xz}^2} \cdot \frac{\overline{\sigma}_y}{\overline{\sigma}_z}, \qquad c = 1{,}61.$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} - c\bar{z}, \qquad b = -112{,}9,$$

$$y = 0{,}658x + 1{,}61z - 112{,}9.$$

Зависимость $x = \varphi(y, z)$

$$x = by + cz + a.$$

$$R_x = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 - 2 r_{xy} r_{xz} r_{yz} + r_{xz}^2}{1 - r_{yz}^2}}.$$

$$R_x = \sqrt{\frac{0{,}888^2 - 2 \cdot 0{,}888 \cdot 0{,}888 \cdot 0{,}869 + 0{,}888^2}{1 - 0{,}869^2}} = 0{,}918.$$

$$R_x^2 = 0{,}842 \approx 0{,}84.$$

$$b = \frac{r_{xy} - r_{xz} r_{yz}}{1 - r_{yz}^2} \cdot \frac{\overline{\sigma}_x}{\overline{\sigma}_y}, \qquad b = 0{,}394.$$

$$c = \frac{r_{xz} - r_{xy} r_{yz}}{1 - r_{yz}^2} \cdot \frac{\overline{\sigma}_x}{\overline{\sigma}_y}, \qquad c = 1{,}645.$$

$$a = \bar{x} - b\bar{y} - c\bar{z}, \qquad a = 82{,}63,$$

$$x = 0{,}394\,y + 1{,}645z + 82{,}63.$$

При анализе многофакторных зависимостей важной составляющей является рассмотрение случая, когда один или несколько пере-

менных параметров принимаются постоянным в некоторой области их изменения. В рассматриваемом выше примере можно задаться условиями:

$$z = f(x, y) \quad \text{при} \quad y = y_0 \quad \text{или} \quad x = x_0;$$

$$y = \psi(x, z) \quad \text{при} \quad x = x_0 \quad \text{или} \quad z = z_0;$$

$$x = \varphi(y, z) \quad \text{при} \quad z = z_0 \quad \text{или} \quad y = y_0.$$

При этом уровень тесноты связи характеризуется частными коэффициентами корреляции. Так, для схемы $z = ax + by + c$ будем иметь

$$r_{xz}(y) = \frac{r_{xz} - r_{xy} r_{yz}}{\sqrt{\left(1 - r_{xy}^2\right)\left(1 - r_{yz}^2\right)}}. \tag{7.5}$$

$$r_{yz}(x) = \frac{r_{yz} - r_{xy} r_{xz}}{\sqrt{\left(1 - r_{xy}^2\right)\left(1 - r_{xz}^2\right)}}. \tag{7.6}$$

7.2. Схема экспертной оценки

Строгие классические методы обработки статистической информации применяют в том случае, когда исследователю в полной мере понятна задача, и вопрос состоит лишь в том, чтобы получить наиболее надежные и достоверные оценки. Этому этапу предшествует поиск наиболее рационального осмысления информации, обоснование необходимого и достаточного объема выборок, отыскание или подтверждение наиболее значимых соотношений между исследуемыми показателями. С этой целью возможно использовать экспертные методы обработки информации, разработанные для анализа ма-

лых выборок. Это касается в первую очередь оценки парных корреляций. Ниже приведены примеры использования метода ранговой корреляции.

В табл. 7.4 приведены данные по сопоставлению показателей *x*, *y*, *z* в выборке из 20 единиц с последующей их обработкой.

Итак, первый вывод, который следует из проведенных вычислений, констатирует, что между случайными величинами x и z связь практически отсутствует ($\rho_{xz}^2 = 0{,}085$), а между y и z просматривается очень слабая зависимость ($\rho_{yz}^2 = 0{,}389$). Теперь произведем оценку силы связи между случайной величиной z и совместным влиянием случайных величин x и y. Такой оценкой является совокупный коэффициент корреляции *R* (7.2).

Подставим вычисленные ранее значения ρ в формулу (7.2). Тогда получим оценку влияния x и y на z:

$$R = \left[\frac{0{,}163^2 - 2 \cdot (-0{,}577) \cdot 0{,}163 \cdot 0{,}594 + 0{,}594^2}{1 - (-0{,}577)^2} \right]^{0{,}5} = \left(\frac{0{,}491}{0{,}667} \right)^{0{,}5} = 0{,}858 .$$

Итак, несмотря на то, что каждая из случайных величин x и y имеет плохую степень совпадения с z, их совместное влияние на случайную величину z практически приближается к детерминированной зависимости. В этом случае уместен вопрос о том, какое аналитическое выражение описывает функцию $z = f(x, y)$. В (7.1) константа

$$c = \bar{z} - a\bar{x} - b\bar{y},$$

$$\bar{z} = \frac{769}{20} = 38{,}45; \qquad \bar{x} = \frac{416}{20} = 20{,}8; \qquad \bar{y} = \frac{337}{20} = 18{,}85.$$

Таблица 7.4

Зависимость между тремя случайными величинами

№ п/п	Значения случайных величин			Ранг случайной величины			$d_x - d_y$	d_{xy}^2	$d_x - d_z$	d_{xz}^2	$d_y - d_z$	d_{yz}^2
	x	y	z	d_x	d_y	d_z	d_{xy}		d_{xz}		d_{yz}	
1	16	30	50	6	20	18,5	-14	196	-12,5	156,25	1,5	2,25
2	15	27	40	5	17	13	-12	144	-8	64	4	16
3	18	27	38	8	17	10	-9	81	-2	4	7	49
4	11	29	38	1	19	10	-18	324	-9	81	9	81
5	14	21	38	4	13	10	-9	81	-6	36	3	9
6	22	18	44	11	11,5	15	-0,5	0,25	-4	16	-3,5	12,25
7	28	4	30	18	1	4,5	17	289	13,5	182,25	-3,5	12,25
8	23	7	32	12	3,5	6	8,5	72,25	6	36	-2,5	6,25
9	19	5	28	9	2	2,5	7	49	6,5	42,25	-0,5	0,25
10	26	11	40	15,5	7,5	13	8	64	2,5	6,25	-5,5	30,25
11	26	13	35	15,5	9	7,5	6,5	30,25	8	64	1,5	2,25
12	24	25	54	13	15	20	-2	4	-7	49	-5	25
13	13	27	46	3	17	16	-14	196	-13	169	1	1
14	17	11	28	7	7,5	2,5	-0,5	0,25	4,5	20,25	5	25
15	27	9	35	17	5	7,5	12	144	9,5	90,25	-2,5	6,25
16	12	18	25	2	11,5	1	-9,5	90,25	1	1	10,5	110,25
17	25	23	50	14	14	18,5	0	0	-4,5	20,25	-4,5	20,25
18	29	15	40	19	10	13	9	81	6	36	-3	9
19	30	10	48	20	6	17	14	196	3	9	-11	121
20	21	7	30	10	3,5	4,5	6,5	42,25	5,5	30,25	-1	1
Σ210	416	337	769	210	210	210		2096,50		1113		539,5

Коэффициенты a и b вычисляются по формулам:

$$a = \frac{r_{xz} - r_{yz} r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y},$$

$$b = \frac{r_{yz} - r_{xz} r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_y}.$$

Значения стандартов (σ) случайных величин соответственно равны $\sigma_x = 5{,}97;\ \sigma_y = 1{,}03;\ \sigma_z = 8{,}07$.

Поскольку ранее были получены экспертные оценки тесноты связи между случайными величинами в виде ранговой корреляции (ρ_i), а не строгие оценки в виде коэффициента корреляции (r_i), для нахождения зависимости $z = f(x, y)$ примем способ наименьших квадратов. Система уравнений имеет вид:

$$\left.\begin{aligned} 38{,}45 &= 20{,}8a + 18{,}85b + c \\ 807{,}75 &= 467{,}3a + 328{,}65b + 20{,}8c \\ 689{,}1 &= 328{,}65a + 356{,}35b + 18{,}85c \end{aligned}\right\}$$

Отсюда $a = 0{,}565,\ b = 0{,}890,\ c = 11{,}8$. Таким образом,

$$z = 0{,}565x + 0{,}890y + 11{,}8.$$

Погрешность этого уравнения (Δz) вычисляется по формуле

$$\Delta z = \sigma_z \sqrt{1 - R^2} = 8{,}07\sqrt{1 - 0{,}858^2} = 4{,}1,$$

что составляет около 10 % относительно среднего значения:

$$\frac{\Delta z}{z} = \frac{4{,}1}{38{,}45} = 0{,}107.$$

В качестве примера из практики горного производства рассмотрим зависимость между средним размером куска горной породы по-

сле взрыва ($d_к$) от удельного расхода ВВ (q) и коэффициента сближения зарядов скважин (a) по материалам экспериментальных взрывов на карьере Тургоякского рудоуправления [9], представленных в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Результаты экспериментальных взрывов на карьере Тургоякского РУ

№ п/п	Удельный расход ВВ q, кг/м^3	Коэффициент сближения зарядов a, един.	Средний размер куска d, м
1	0,38	0,76	0,29
2	0,43	1,06	0,25
3	0,44	1,07	0,29
4	0,48	0,81	0,26
5	0,36	0,79	0,29
6	0,41	0,97	0,30
7	0,60	0,91	0,23
средн.	0,443	0,906	0,263
1	0,35	0,78	0,37
2	0,47	1,16	0,31
3	0,33	0,72	0,36
4	0,35	0,88	0,32
5	0,44	1,03	0,31
6	0,40	0,90	0,31
7	0,50	0,97	0,36
8	0,53	1,05	0,33
9	0,44	1,04	0,34
10	0,47	1,20	0,31
11	0,49	1,00	0,40
12	0,78	1,00	0,40
13	0,53	1,08	0,36
14	0,78	0,62	0,32
15	0,43	0,99	0,35
16	0,54	0,83	0,37
17	0,69	0,95	0,33
средн.	0,501	0,953	0,344
1	0,54	1,11	0,55
2	0,57	1,00	0,48
3	0,48	1,00	0,42
4	0,65	0,88	0,47
5	0,50	0,96	0,53
6	0,47	0,91	0,59
средн.	0,535	0,978	0,507

Опуская промежуточные вычислительные операции, представим конечные результата анализа. Парные коэффициенты корреляции соответственно равны:

- средний размер куска ($d_к$) – удельный расход ВВ (q) – $\rho_{dq} = -0{,}40$;
- средний размер куска ($d_к$) – коэффициент сближения зарядов (a) – $\rho_{da} = -0{,}03$;
- удельный расход ВВ (q) – коэффициент сближения зарядов (a) – $\rho_{qa} = 0{,}18$.

Совокупный коэффициент корреляции R вычисляется по формуле

$$R^2 = \frac{r_{dq}^2 - 2r_{da} \cdot r_{dq} \cdot r_{qa} + r_{qa}^2}{1 - r_{qa}^2};$$

$$R^2 = \frac{(-0{,}4)^2 - 2 \cdot 0{,}18 \cdot (-0{,}4)(-0{,}03) + (-0{,}03)^2}{1 - 0{,}18^2} = 0{,}1618;;$$

$$R = 0{,}402.$$

Из всего этого делаем заключение о том, что рассмотренные факторы (удельный расход ВВ и коэффициент сближения скважинных зарядов) не относятся к определяющим при оценке степени дробления горных пород скважинными зарядами – доля обоих этих факторов не превышает 20 % от всех возможных. Учет трещиноватости и крепости пород становится просто необходимым.

В качестве третьего примера приведем исследования морфологических параметров группы студентов возраста 20-21 год в одном из ВУЗов.

7.3. Линейная модель многофакторного анализа

Для системы линейных взаимосвязей между случайными величинами общая структура аналитической модели $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_{n-1}, x_n)$ представляется в виде

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \ldots + a_{n-1} x_{n-1} + a_n x_n, \qquad (7.7)$$

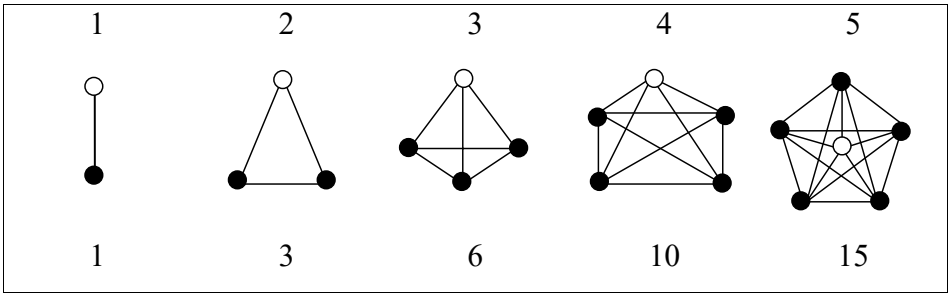
где a_i – некоторые константы, а x_i – переменные, соответствующие количеству учитываемых факторов. Для случая $n > 2$ в математике разработан метод линейного программирования. Его сущность состоит в решении системы линейных уравнений с *n* неизвестными. Существуют специально разработанные программы для ЭВМ, которые в состоянии решить эту задачу как для случая избыточности исходных данных, так и недостаточности.

Подобный принцип заложен в теорию уравнивания систем угловых и линейных измерений в геодезии и маркшейдерском деле (схема К. Гаусса).

Метод линейного программирования требует выполнения обязательного условия – прямой пропорциональной зависимости $y = f(x)$. По существу функция (7.7) есть формальное отображение системы "одно следствие – *n* причин". Технологические процессы часто не вписываются в указанную схему, поскольку априори нельзя утверждать, что они линейны в своем функциональном проявлении. К числу аналитических особенностей схем множественной корреляции следует отнести увеличение количества вариантов связей (*N* пропорционально n^2) в системе "одно следствие – *n* факторов":

$$N = \frac{n(n+1)}{2}.$$

Это утверждение наглядно иллюстрируется геометрическими построениями, показанными ниже.



Здесь верхний ряд светлых кружков означает функциональный показатель, темные – учитываемые факторы. Уже учет трех факторов требует исследования шести корреляционных векторов, а пятифакторная модель – пятнадцати. Объем вычислительных операций становится доступным только для высокоскоростных ЭВМ. Если принять во внимание тот факт, что подобные модели по своей сути сугубо формальные математические конструкции, то становится понятным, почему они не находят широкого распространения в теоретических исследованиях горных процессов, а ограничиваются локальным инженерным использованием.

Вероятностной основой множественной корреляции является полная группа однородных событий, при которой сумма корреляционных векторов образует замкнутую систему $\sum r_{ij}^2 = 1$, что равноценно выражениям

$$\vec{\sigma}_y = \sum \vec{\sigma}_{x_{ij}}$$
$$\sigma_y^2 = \sum \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} r_{ij}$$,

где $i = 1,2,3,\ldots,n$, $j = 1,2,3,\ldots,n$, n – количество факторов в системе.

Выражение (7.7) обосновывает применение итерационного метода вычислений – метода последовательных приближений. При этом коэффициенты a_i приобретают смысл долевого участия i –го потока информации в едином, суммарном. Вычислительные операции здесь сводятся к следующей последовательности:

- по результатам экспертных оценок из совокупности исследуемых факторов выбираются один-два, наиболее тесно связанных с функциональным параметром;
- устанавливается форма связи $y = f(x_1)$ с использованием строгих аналитических методов статистической обработки данных;
- определяется разность фактических ($y_\text{ф}$) и расчетных ($y_\text{р}$) значений показателя y:

$$y_\text{ф} - y_\text{р} = \Delta y,$$
$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum \Delta y^2}{m\sigma_y^2}},$$

где m – количество данных, участвующих в анализе;

- устанавливается зависимость

$$\Delta y = f(x_2).$$

Затем вновь определяется разность

$$y_\text{ф} - (y_\text{р} + \Delta y) = \Delta y_2$$

и

$$\eta_2 = \sqrt{1 - \frac{\sum \Delta y_2{}^2}{m\sigma_y^2}} \ .$$

Операция продолжается до тех пор, пока значение корреляционного отношения не достигнет желаемого уровня. Этот метод обладает тем преимуществом, что позволяет придать эмпирическому подходу в использовании информации некоторую технологическую интерпретацию при построении математической модели процесса или явления. Здесь используется широкий класс нелинейных математических структур.

7.4. Модель поверхности второго порядка

Методы геометрической интерпретации поверхностей с числовыми отметками (топография), свойств геохимического поля (геометрия недр), физических полей (метрология, геомеханика) и другие области знания широко используют модели поверхностей второго порядка и топологические преобразования этих поверхностей во времени. Это дает возможность представить сложные процессы в мультипликативной форме, постоянно изменяющейся во времени. Именно эту идею развивали П. К. Соболевский и П. А. Корольков в связи с обоснованием научной концепции "Геометрии недр" и "Геометризации потока". Здесь некоторый параметр u ставится в зависимость от пространственных координат и времени так, что $u = f(x, y, z, t)$ принимает вид

$$u = Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Iy + Kz + L, \quad (7.8)$$

где константы обозначены заглавными буквами.

Современная вычислительная техника пришла на смену ручному способу построения геометрических моделей топографических поверхностей вида

$$u = Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F\,.$$

Поставив коэффициенты в определенную зависимость от времени или от каких-либо других факторов, получают полифакторную модель второго порядка. Следует, однако, всегда помнить, что достоверность геометрических построений в первую очередь определяется достаточностью исходной информации, а не средством ее обработки.

8. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДИСКРЕТНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

8.1. Испытания Бернулли. Биномиальное распределение

Испытания Бернулли есть вероятностный эксперимент с двумя исходами: «плюс» – «минус», 0 – 1, черное – белое, успех – неудача и т. д., причем вероятность события A (успех) обозначается p, а вероятность неудачи $q = 1 - p$.

Последовательность независимых испытаний Бернулли приводит, в зависимости от поставленных условий, к биномиальному, геометрическому, паскалеву и отрицательному биномиальному распределениям:

- биномиальная случайная величина – число успехов k в n испытаниях;
- геометрическая случайная величина – число испытаний n до первого успеха;
- паскалева случайная величина – число испытаний n до k успехов;
- отрицательная биномиальная случайная величина – число неудач $(n - k)$ до k успехов.

Случайная величина X принимает во всех испытаниях только целочисленные значения от 0 до n.

Если производится n независимых испытаний, в каждом из которых событие A появляется с вероятностью p, то вероятность того, что событие A появится ровно k раз ($0 \le k \le n$, k – целое число), выражается формулой

$$p(k,n) = P(X = k) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k}, \tag{8.1}$$

$$q = 1 - p, \tag{8.2}$$

$$\binom{n}{k} = C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}. \tag{8.3}$$

Задача. Имеется N черных и M белых шаров, причем:

$$N + M = R; \quad N/R = p, \quad M/R = q, \quad p + q = 1.$$

Из совокупности R достаются n раз шары с возвратом (для обеспечения независимости результатов испытаний). Какова вероятность того, что при этом k раз будет вынуто черных шаров?

Пусть $n = 5$, $p = 0{,}2$, тогда вероятности событий k будут равны:

k	0	1	2	3	4	5
p	0,328	0,410	0,205	0,051	0,006	0,000

Вероятность того, что все 5 раз будет вынут черный шар, равна $0{,}2^5=0{,}00032$. Следовательно, если известна вероятность события, то можно ответить на следующие два вопроса:

– какова вероятность того, что в n испытаниях произойдет n событий A?

$$p(n, n) = p^n; \tag{8.4}$$

– какова вероятность того, что в n испытаниях произойдет хотя бы 1 раз событие A? При этом понимается, что событие A может произойти не менее одного раза, т. е. исключается только случай, когда событие A не произойдет во всех испытаниях

$$p = 1 - q^n. \tag{8.5}$$

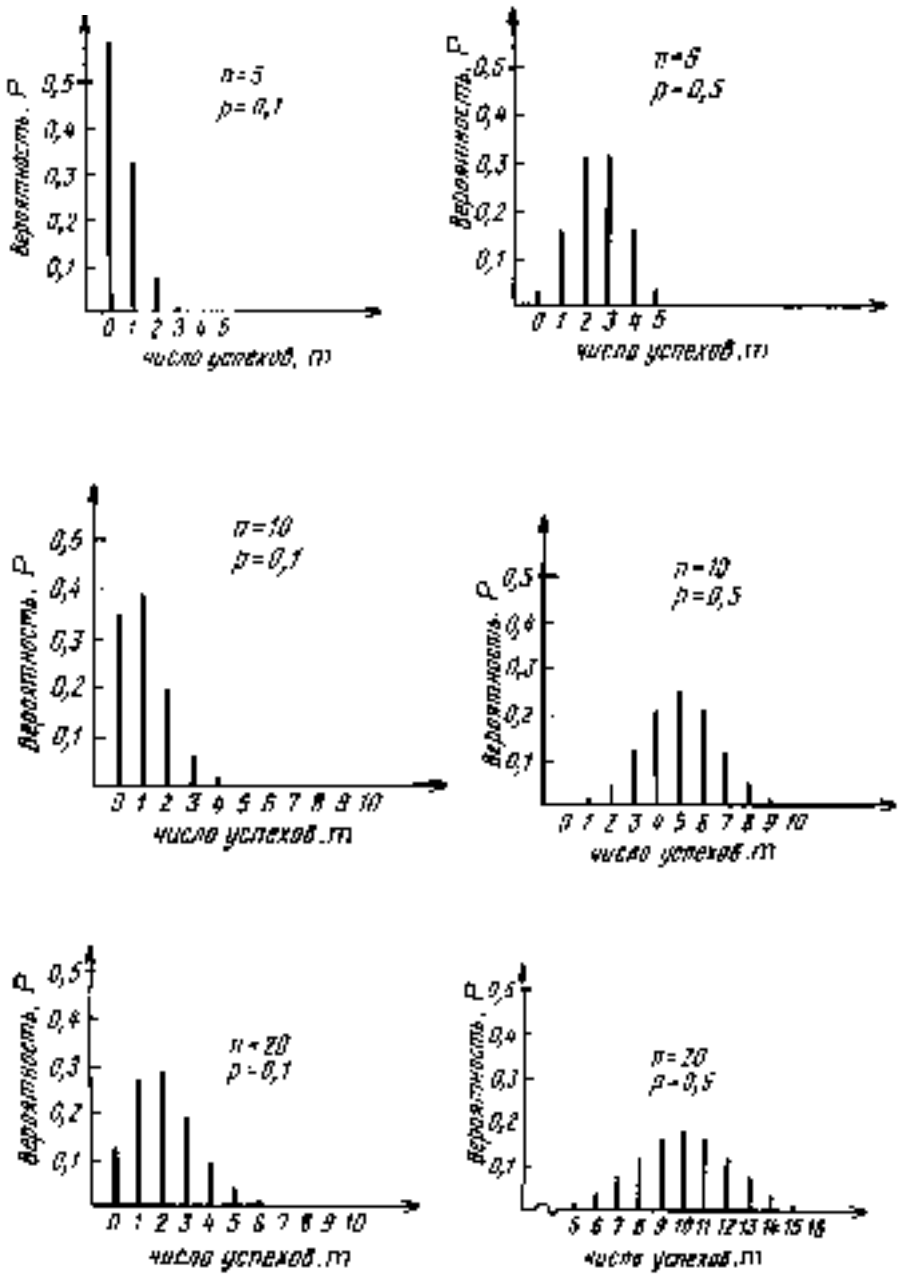


Рис. 8.1. Функция плотности вероятности для биномиальной случайной величины

Основные характеристики распределения Бернулли:

среднее значение $m_k = np$;

дисперсия $D = \sigma^2 = npq$;

коэффициент асимметрии $A = (q - p)/\sigma$.

В зависимости от соотношения между p и q, случайная величина может иметь как правую, так и левую асимметрию.

Коэффициент эксцесса $\text{Эк} = \dfrac{1-6pq}{\sigma^2} + 3$;

коэффициент вариации $V = (q/np)^{1/2}$.

Если вероятность успеха в испытаниях не постоянна, т. е. $p_i \neq p$, то говорят, что случайная величина имеет обобщенное биномиальное распределение. Для построения ряда такого распределения удобно применять производящую функцию $\varphi(z)$, которая задается произведением

$$\varphi(z) = \prod_{i=1}^{n} (q_i + p_i z) = \sum_{i=0}^{n} a_i z^i .$$

Коэффициенты при z^i ($i = 0 \ldots n$) равны вероятностям всех возможных $(n + 1)$ значений случайной величины. Важнейшие числовые характеристики обобщенного биномиального распределения:

среднее значение $m_X = \sum_{i=1}^{n} p_i$;

дисперсия $D = \sum_{i=1}^{n} p_i q_i$.

Задача. Борт карьера разделен на 5 участков протяженностью по 100 м. Для каждого участка известна вероятность обрушения:

$p_1 = 0{,}2$; $p_2 = 0{,}3$; $p_3 = 0{,}4$; $p_4 = 0{,}3$; $p_5 = 0{,}2$.

Построить ряд распределения случайной величины X – длина обрушения, найти среднее значение этой величины.

Исходя из равенства длин участков будем рассматривать целочисленную случайную величину Y – количество участков, на которых произойдут обрушения. Производящая функция этой случайной величины:

$$\varphi(z) = (q_1 + p_1 z)(q_2 + p_2 z)(q_3 + p_3 z)(q_4 + p_4 z)(q_5 + p_5 z) =$$
$$= (0{,}8 + 0{,}2z)(0{,}7 + 0{,}3z)(0{,}6 + 0{,}4z)(0{,}7 + 0{,}3z)(0{,}8 + 0{,}2z) =$$
$$= 0{,}1882 + 0{,}3808\,z + 0{,}2972\,z^2 + 0{,}1120\,z^3 + 0{,}0204\,z^4 + 0{,}0014\,z^5.$$

Для расчета коэффициентов полинома $\varphi(z)$ удобно перемножить матрицы:

$$\mathbf{a}^{\mathrm{T}} = \begin{pmatrix} q_1 & p_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_2 & p_2 & 0 \\ 0 & q_2 & p_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_3 & p_3 & 0 & 0 \\ 0 & q_3 & p_3 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & p_3 \end{pmatrix} \cdot \ldots \ .$$

Таким образом, переходя к случайной величине $X = i \cdot 100$ м, получим ряд распределения:

X, м	0	100	200	300	400	500
p	0,1882	0,3808	0,2972	0,1120	0,0204	0,0014

Среднее ожидаемое значение длины участка обрушения борта

$$m_X = 100 \text{ м} \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i = 100 \text{ м} \cdot (0{,}2 + 0{,}3 + 0{,}4 + 0{,}3 + 0{,}2) = 140 \text{ м}.$$

Область возможного применения распределения

1. Анализ работы горно-транспортного оборудования: готовность к работе авто- и железнодорожного транспорта, буровых станков, экскаваторов и т. д.; аварийность оборудования.

2. Оценка доли браковочной продукции.

3. Оценка «ураганных проб».

4. Обоснование радиуса опасной зоны при ведении взрывных работ.

5. Расчет резерва горно-транспортного оборудования и т. д.

8.2. Геометрическое распределение (Распределение Фарри)

В схеме испытаний Бернулли ставится вопрос: сколько необходимо провести испытаний n до первого появления события A – успеха, если его вероятность равна p?

Распределение вероятностей числа испытаний n называется геометрическим (В. Феллер, 1950), и имеет вид (рис. 8.2)

$$p_n = P(X = n) = pq^{n-1}, \qquad (8.6)$$

где $n \geq 1$, n – целое.

Вероятности p_n образуют геометрическую прогрессию с первым членом p и знаменателем q (отсюда и название "геометрическое распределение").

Основные характеристики распределения

Среднее значение $m_n = 1/p$; (8.7)

дисперсия $D = \sigma^2 = q/p^2$; (8.8)

коэффициент асимметрии $A = (1 + q)/\sqrt{q}$;

коэффициент эксцесса Эк = $9 + p^2/q$;

коэффициент вариации $V = 1/\sqrt{q}$;

мода Мо = 1.

Вероятность модального значения ($P_{n=1} = P_{\text{Мо}}$) = P.

Интегральная форма геометрического распределения показывает вероятность появления хотя бы одного события A в n испытаниях

$$F_n = \sum_0^n p_n = 1 - q^n .$$

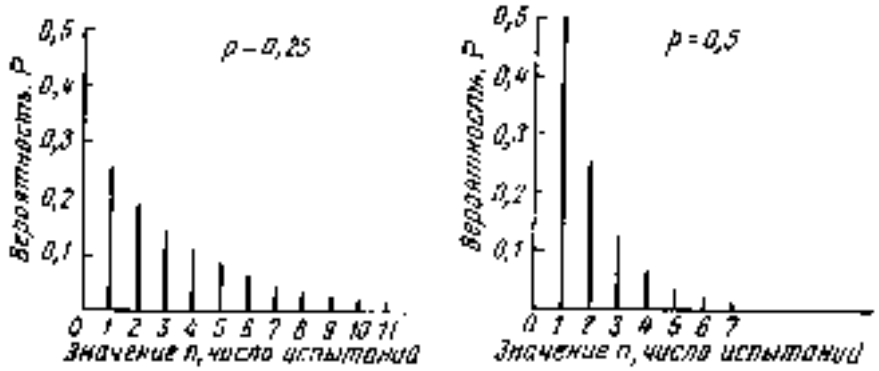


Рис. 8.2. Функция плотности вероятности для геометрической случайной величины

Пример. Вероятность наличия самородков в россыпи оценивается $p = 0{,}0001$ на 1 м^3 песков. Вопрос: какова вероятность попадания хотя бы 1 самородка при переработке $Q = 1000$ м^3 песков?

По формуле (8.5) получим

$$F_1 = 1 - 0{,}9999^{1000} = 1 - 0{,}9048 = 0{,}0952,$$

то есть вероятность не превышает 10 %.

В условиях данного примера определим эту же вероятность при $Q = 10000$ м^3

$$F_1 = 1 - 0{,}9999^{10000} = 1 - 0{,}3679 = 0{,}6321.$$

Следовательно, в 63 случаях из 100 (почти 2/3) возможно появление хотя бы одного самородка.

8.3. Распределение Паскаля

Для условий испытаний Бернулли ставится вопрос: сколько нужно произвести испытаний n до появления k успехов, если вероятность успеха равна p? Вероятности случайной величины $X = n$ распределены по закону

$$P_n = \binom{n-1}{n-k} p^k q^{n-k} \quad , \tag{8.9}$$

причем $n \geq 1$, целое число.

Очевидно, что при $k = 1$ распределение Паскаля совпадает с геометрическим распределением. Если в формуле (8.9) обозначить число неудач $l = n - k$, то распределение Паскаля примет форму отрицательного биномиального распределения.

***Основные характеристики распределения*:**

среднее значение $m_n = k\dfrac{q}{p}$;

дисперсия $D = k\dfrac{q}{p^2}$;

коэффициент асимметрии $A = \dfrac{1+q}{\sqrt{kq}}$;

коэффициент эксцесса $\text{Эк} = \dfrac{6}{k} + \dfrac{p^2}{kq} + 3$;

коэффициент вариации $V = 1/\sqrt{kq}$.

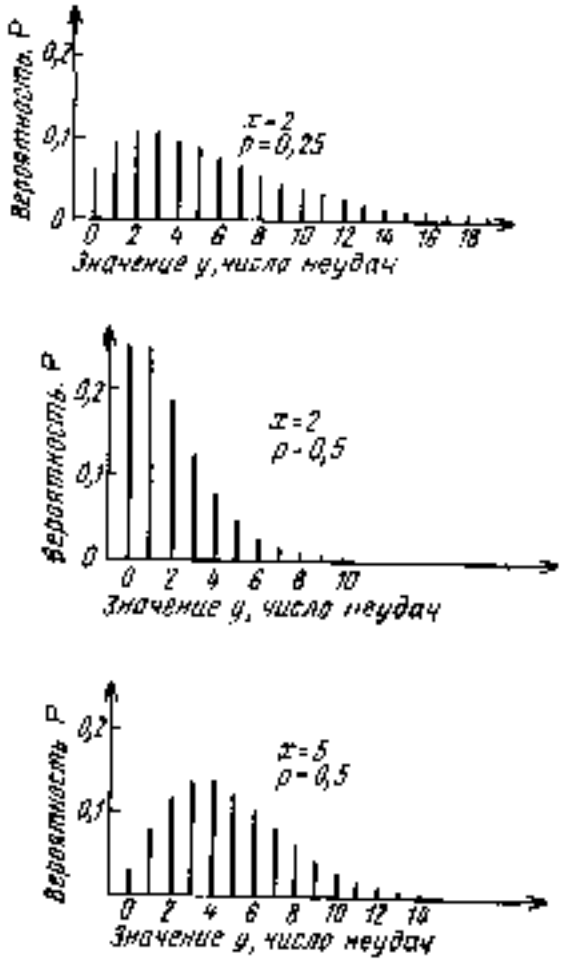


Рис. 8.3. Плотность вероятности распределения Паскаля (отрицательного биномиального распределения)

Пример. Если буровой станок трижды из-за каких либо поломок останавливается, его отправляют на капитальный ремонт. Вероятность исправности станка в течение смены 0,90. Сколько смен проработает буровой станок до капитального ремонта?

Наличие неисправности оценивается вероятностью $p = 1 – 0,90 = 0,10$. Тогда до появления $k = 3$ остановок станок проработает m_n смен:

$$m_n = 3\frac{0,90}{0,10} = 27, \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{27}{0,10}} = 16,4.$$

Таким образом, при готовности бурстанка $p = 0,9$, в среднем продолжительность его работы до капитального ремонта составит 27 смен с вариацией от 11 до 43 смен.

8.4. Гипергеометрическое распределение

Важнейшей особенностью схемы испытаний Бернулли являлась независимость каждого последующего испытания от предыдущего. Для этого после каждого испытания состояние системы восстанавливалось – это достигалось возвращением элементов. Теперь предположим, что в исходной совокупности из N элементов l элементов обладают некоторым свойством ($p_0 = l/N$). Если извлечь без возвращения $n \le N$ элементов совокупности, то какова вероятность, что среди них окажется ровно $k \le l$ элементов с отмеченным свойством?

Распределение k элементов подчиняется следующему выражению:

$$p_k = \frac{\binom{l}{k}\binom{N-l}{n-k}}{\binom{N}{n}}, \qquad (8.10)$$

где k – целое число.

Основные характеристики распределения:

$$m_k = n\frac{l}{N} = np_0,$$

$$D = \sigma^2 = np_0q_0\left(\frac{N-n}{N-1}\right) = \frac{nl(N-l)(N-n)}{N^2(N-1)}.$$

Если объем выборки n в сравнении с объемом всей совокупности N мал, то влияние невозвращения становится незначительным. Поэтому при больших значениях N для приближенного вычисления вероятностей можно пользоваться следующими правилами:

– если $n / N < 0{,}1$, то применимо биномиальное распределение при $p = p_0$;
– если $n / N < 0{,}1$ и одновременно $p_0 < 0{,}1$, то применимо распределение Пуассона;
– если $D > 9$, применимо нормальное распределение.

Гипергеометрическое распределение наилучшим образом подходит к оценке брака в определенной партии технических изделий, когда из генеральной совокупности N извлекается малая партия n и оценивается уровень брака. С использованием этого распределения можно решить вопрос о представительной выборке n.

Пример. Партия продукции представляет 1000 изделий. Служба ОТК отбирает партию из 50 изделий и обнаруживает 5 бракованных. Оценить качество всей партии.

Так как левая часть равенства (8.10) известна ($p_k = k/n = 0{,}1$), можно решить уравнение (8.10) относительно l:

$$\frac{\binom{l}{5}\binom{1000-l}{45}}{\binom{1000}{50}} = 0{,}1.$$

При этом пришлось бы вычислять большие факториалы. Так как $n / N = 50 / 1000 < 0{,}1$, используем первое правило приближенных расчетов, заменив гипергеометрическое распределение биномиальным. Найдем $p_0 = p$ из равенства (8.1) при: $k = 5$, $n = 50$, $p_k = 0{,}1$

$$\binom{50}{5} p_0^5 (1 - p_0)^{45} = 0{,}1.$$

Подбором получим $p_0 = 0{,}0595$. Таким образом, ожидаемое количество бракованных изделий во всей партии составляет

$$l = Np_0 = 1000 \cdot 0{,}0595 = 60 \text{ шт.}$$

8.5. Распределение Пуассона

Рассмотрим другой класс дискретных случайных величин, не имеющих ограничений схемы Бернулли. К такому классу можно отнести поток дискретных событий: поток пешеходов, машин, команд и т. д. Если поток случайных событий удовлетворяет условиям: средняя плотность событий λ на всем временном интервале исследования остается постоянной; число событий на заданном отрезке τ не зависит от того, сколько их выпадает на любом другом временном участке; невозможность появления совместных событий, – то такой поток называется простейшим или потоком Пуассона.

Распределение Пуассона оценивает вероятность появления k событий на участке τ при средней плотности событий λ:

$$p_k = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}. \qquad (8.11)$$

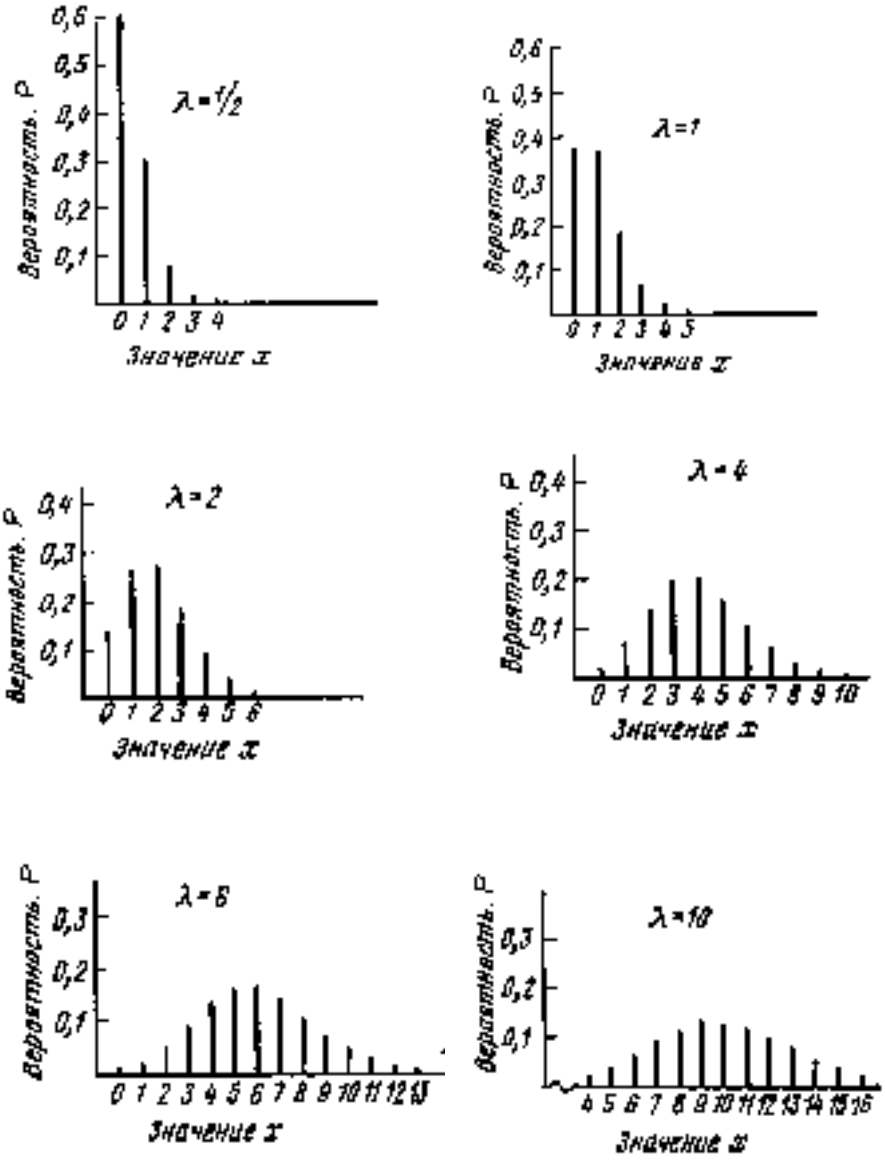


Рис. 8.4. Функция вероятности для пуассоновской случайной величины

***Основные характеристики распределения**:*

среднее значение	$m_k = \lambda\tau;$
дисперсия	$D = \lambda\tau$;
коэффициент асимметрии	$A = 1/\sqrt{\lambda\tau}$;
коэффициент эксцесса	$\text{Эк} = 1/(\lambda\tau)$.

Закон Пуассона является предельным для биномиального распределения при большом числе опытов и малой вероятности события. Его еще называют законом редких явлений.

Вероятность появления хотя бы одного события на отрезке τ определяется выражением

$$P = 1 - e^{-\lambda\tau}. \qquad (8.12)$$

В условии предыдущей задачи заменим гипергеометрическое распределение распределением Пуассона при: $k = 5$; $\lambda = p_0$; $\tau = 50$.

$$p_5 = \frac{(50 \cdot p_0)^5}{5!} e^{-50 p_0} = 0{,}1$$

Решение уравнения (8.11) при $p_k = 0{,}1$ дает $p_0 = 0{,}0598$, т. е. ответы практически совпали.

В табл. 8.1 в качестве примера приведены результаты исследования керна разведочных скважин Актовракского месторождения хризотил-асбеста, которые подтверждают хорошую сходимость опытных данных с расчетными.

Статистические оценки средних значений и стандартов ($\bar{k}$ и s_k) вычислялись по формулам

$$\bar{k} = \sum k_i p_i / 100; \quad s_k = \sqrt{\sum k_i^2 p_i / 100 - \bar{k}^2},$$

где p_i – частости опытных распределений, %.

Таблица 8.1

Сравнение опытных и теоретических частостей распределений перидотитовых реликтов (k) (в числителе – опытное распределение, в знаменателе – теоретическое распределение)

k	l = 20 м	l = 40 м	l = 60 м	l = 80 м	S = 20×20 м
0	27,4/26,1	9,8/8,9	-/1,2	0,9/0,8	-/0,5
1	34,2/35,7	22,3/21,5	6,1/5,2	3,5/3,7	4,0/2,8
2	25,0/22,6	22,8/26,0	9,7/11,6	10,4/9,0	7,5/7,3
3	11,2/9,6	21,0/21,0	18,9/17,2	14,3/14,7	13,0/12,7
4	2,2/3,0	12,7/12,7	17,6/19,1	16,6/17,9	15,8/16,6
5	- /0,8	8,4/6,2	17,8/17,0	17,1/17,5	18,0/17,4
6	- /0,2	2,5/2,5	15,6/12,6	13,9/14,3	14,0/15,2
7		0,5/0,9	8,1/8,0	9,2/10,0	12,0/11,4
8		- /0,3	3,3/4,5	8,4/6,1	7,0/7,5
9		- /0,1	2,2/2,2	3,3/3,3	4,0/4,4
10			0,7/1,0	1,7/1,6	1,2/2,3
11			- /0,4	0,5/0,7	1,5/1,1
12			- /0,1	0,2/0,3	1,5/0,5
13				- /0,1	0,5/0,2
14					- /0,1
$\bar{k}$	1,27	2,42	4,45	4,89	5,24
s_k	1,05	1,56	1,95	2,22	2,39
N	365	417	455	574	291

Вероятностная схема распределения Пуассона широко применяется в теории массового обслуживания, при оценке рудоносности жильных и росыпных месторождений, при изучении трещиноватости горных массивов, в теории изотопных методов оценки качества ми-

нерального сырья, при оценке плотности событий в пространственно-временных границах, в комплексе с задачей Бюффона позволяет изучать особенности минеральной вкрапленности по шлифам горных пород.

Распределение Пуассона носит еще название «распределение редких событий» и впервые было применено для оценки вероятности несчастных случаев с летальным исходом в австрийской армии от удара копытом в кавалерийских частях. Вероятностная схема Пуассона может быть принята как исходная теоретическая гипотеза при изучении «отказов» в схемах взрывания, широко используемых в технологии открытого способа отработки месторождений и проходке горных выработок на шахтах, при изучении явления травматизма, прогнозировании и развития аварийных и катастрофических ситуаций и т. д.

Пример. Установлено, что отказ при взрывании скважин на карьере составил 3 скважины из 1000. Обуривается рудный блок количеством 200 скважин. Оценить: вероятности безотказного взрывания и отказа хотя бы одной скважины; вероятное количество отказов.

Из условия задачи имеем, что плотность событий или вероятность события составляет 0,003, т. е. $p_0=a$. Тогда вероятность безотказного взрыва определится из выражения

$$p_0 = \frac{a^0}{0!} e^{-a} = \frac{1}{1} e^{-0,003} = 0,997.$$

Вероятность того, что произойдет хотя бы один отказ составит

$$P = 1 - e^{-a} = 0,003$$

или относительно обуриваемого объема n=200×0,003=0,6 скв.

Вероятность того, что произойдет один отказ, составит

$$p_1 = \frac{0{,}003^1}{1!} e^{-0{,}003} = 0{,}00299,$$

а два отказа

$$p_2 = \frac{0{,}003^2}{2!} e^{-0{,}003} = 4{,}5 \cdot 10^{-6},$$

т. е. практически равна нулю. Таким образом, с вероятностью 0,003 или 0,3 % следует ожидать отказ на производстве взрыва на подготовленном рудном блоке. Этот результат сравнивается с допустимыми нормативными, после чего принимается решение о возможности производства взрывных работ.

9. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ СХЕМЫ НЕПРЕРЫВНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

9.1. Закон равномерной плотности

Пусть случайная величина X при массовых наблюдениях принимает численные значения в интервале от некоторого наименьшего значения a до наибольшего b, и нет оснований отдать предпочтение какому-либо из этих значений. При этих условиях распределение случайной величины X подчиняется закону равномерной плотности (рис. 9.1). Его иногда еще называют равномерным, прямоугольным законом. Примером случайной величины X, подчиняющейся этому закону, может служить погрешность округления.

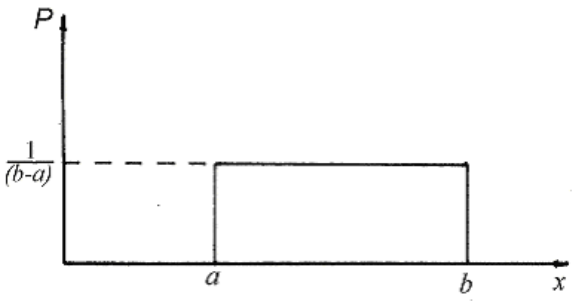


Рис. 9.1. Равномерное распределение

Закон равномерной плотности лежит в основе выбора классового интервала c при статистической обработке информации. Известно [7], что при статистической обработке методом моментов малых выборок ($N < 100$) центральные моменты μ_i, по которым определяются стандарт σ, коэффициенты асимметрии A и эксцесса Эк, содержат ошибки за счет неправильного выбора классового интервала c. В

частности, исправленный второй центральный момент $\bar{\mu}_2$ (приближенный к истинному значению) отличается от рассчитанного μ_2 на величину $c^2/12$:

$$\bar{\mu}_2 = \mu_2 - \frac{c^2}{12}. \tag{9.1}$$

Поправка в рассчитанное значение стандарта не превысит 1 % (относительно σ), если выполняется условие Шеппарда

$$c \le 0{,}5\sigma. \tag{9.2}$$

Учитывая, что изменение случайной величины X с вероятностью $p \ge 0{,}997$ укладывается в интервал

$$x_{\max} - x_{\min} = 6\sigma, \tag{9.3}$$

приходим к заключению, что для правильного выбора классового интервала c должно выполняться условие

$$c \le \frac{x_{\max} - x_{\min}}{12}. \tag{9.4}$$

Закон равномерной плотности определяется двумя параметрами: началом a и концом b промежутка изменения случайной величины X.

Функция распределения случайной величины X имеет вид

$$F(x) = \frac{x-a}{b-a}, \tag{9.5}$$

при $a \le x \le b$.

Плотность распределения вероятности имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{b-a}. \tag{9.6}$$

Основные характеристики распределения:

среднее значение

$$m_x = \frac{a+b}{2}; \tag{9.7}$$

дисперсия

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}; \tag{9.8}$$

коэффициент асимметрии

$$A = 0; \tag{9.9}$$

коэффициент эксцесса

$$\text{Эк} = -1{,}8. \tag{9.10}$$

Вероятность попадания случайной величины X на интервал (n, m), если этот интервал находится внутри (a, b)

$$p(n \le X \le m) = \frac{m-n}{b-a}, \tag{9.11}$$

т. е. искомая вероятность равна отношению интервалов (принцип геометрической вероятности).

9.2. Распределение Симпсона (треугольное распределение)

Пусть измеряется отрезок прямой линии длины L отрезком, длина которого l, причем $0{,}5\,L < l < L$.

Схема измерения следующая. Примерно на середине измеряемого отрезка наносится отметка О, от которой вправо и влево делаются замеры до концов отрезка $L = b - a$.

Мерная линейка имеет цену деления Δ. Требуется определить стандарт ошибки измерения σ, предполагая, что совмещение нулево-

го деления мерной линейки с отметкой О выполняется с высокой точностью. Отсчет берется с округлением в ближайшую сторону цены деления Δ.

При указанном порядке измерений ошибки измерений на каждом конце отрезка, возникающие за счет округлений, складываются.

Распределение Симпсона определяется двумя параметрами: a и b – границами изменения случайной величины (рис. 9.2).

Плотность распределения имеет вид треугольника, поэтому иногда распределение Симпсона называют треугольным распределением. Это распределение было одной из первых моделей при изучении закона распределения ошибок случайных величин.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \le a \\ \dfrac{4(x-a)}{(b-a)^2} & \text{при } a < x \le (a+b)/2 \\ \dfrac{4(b-x)}{(b-a)^2} & \text{при } (a+b)/2 < x \le b \\ 0 & \text{при } x > b \end{cases}$$

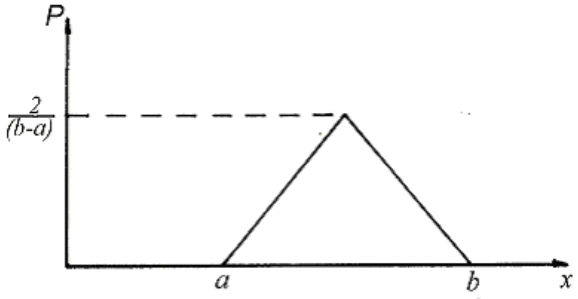


Рис. 9.2. Распределение Симпсона (треугольное распределение)

Основные характеристики распределения:

Среднее значение

$$m_x = \frac{a+b}{2} = \frac{l}{2}, \tag{9.12}$$

дисперсия

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{6}. \tag{9.13}$$

9.3. Экспоненциальное (показательное) распределение

Экспоненциальное, или показательное распределение случайной величины X (рис. 9.3) широко используется в теории массового обслуживания.

Вероятностная схема, которая приводит к этому распределению, сводится к следующему. Вы наблюдаете со смотровой площадки на борту карьера за потоком автосамосвалов, выходящих из него. При этом с помощью секундомера отмечаете интервал времени τ, через который автосамосвалы проходят установленный вами пикет, отметку или какой-либо знак. Если поток автосамосвалов удовлетворя-

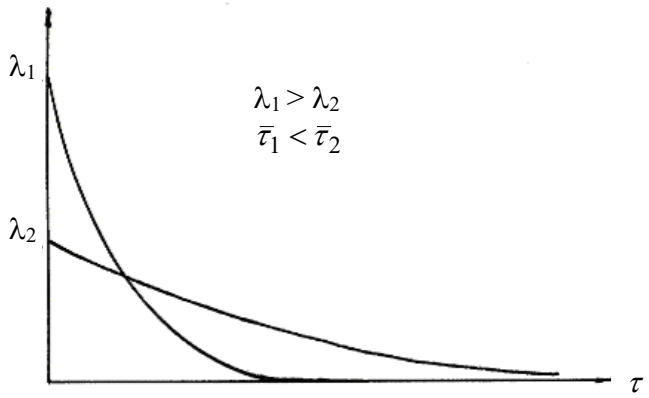


Рис. 9.3. Экспоненциальное распределение

ет требованиям простейшего потока, то распределение случайной величины (промежутка времени между двумя смежными событиями) описывается следующим выражением $(\tau \geq 0, \lambda \geq 0)$:

$$P(\tau) = \lambda \exp(-\lambda\tau). \quad (9.14)$$

Основные характеристики распределения:

среднее значение $$m_\tau = \frac{1}{\lambda} = \bar{\tau}, \quad (9.15)$$

дисперсия $$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}, \quad (9.16)$$

мода $$\text{Mo} = 0, \quad (9.17)$$

медиана $$\text{Me} = \ln 2 / \lambda, \quad (9.18)$$

асимметрия $$A = 2, \quad (9.19)$$

эксцесс $$\text{Эк} = 6. \quad (9.20)$$

Показательное распределение относится к основным в теории информации и теории массового обслуживания. Многие задачи АСУ ТП решаются на основе теории массового обслуживания: ритмичность поступления информации, оценка надежности технических средств, время безотказной работы оборудования, время простоев и т. д.

9.4. Нормальное (гауссово) распределение

Нормальный закон (рис. 9.4) играет исключительно важную роль в теории вероятностей и занимает среди других законов распределения особое положение.

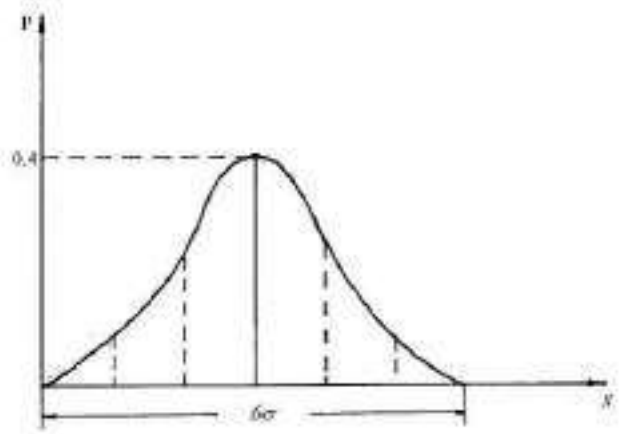


Рис. 9.4. Нормальное распределение

Главная его особенность состоит в том, что он является предельным для следствия многофакторных причин. В теории вероятностей доказывается, что если на появление случайной величины X оказывают влияние достаточно большое число факторов N, при этом каждый из факторов не преобладает над суммарным воздействием остальных, то есть факторы рассматриваются как равновероятные, распределение случайной величины X приближается к нормальному закону.

Доказывается также, что композиция (сумма) любых законов распределения, когда их количество достаточно велико, приводит к нормальному закону.

К. Гаусс пришел к выражению плотности распределения в виде

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x - m_x)^2 \right], \qquad (9.21)$$

т. е. среднее значение m_x и стандарт σ сами являются параметрами распределения. Кроме того, коэффициенты асимметрии и эксцесса у нормального распределения равны нулю.

Основные характеристики распределения

Функция плотности нормального распределения случайной величины X симметрична относительно среднего значения m_x.

Модальное, медианное и среднее значения совпадают

$$Mo = Me = m_x.$$

Вероятность отклонения случайной величины X от среднего значения m_x на $t\sigma$ равна:

$$P(|x - m_x| \le t\sigma) = \left\{ \begin{array}{ll} 0{,}68 & \text{при } t = 1, \\ 0{,}95 & \text{при } t = 2, \\ 0{,}997 & \text{при } t = 3 \end{array} \right\}.$$

Последнее соотношение определило формулировку правила «трех сигм». Значение функции $f(x)$ в модальном значении равно

$$f(x = m_x) = 0{,}3989 / \sigma.$$

Точки перегиба кривой (9.21) соответствуют значениям

$$X = m_x \pm \sigma.$$

Примером величин, которые распределяются по нормальному закону, служат случайные ошибки измерений, показатели стационарных процессов. Нормальным законом аппроксимируют широкий круг статистической информации, если совокупность изучаемых признаков удовлетворяет трем условиям: внутренней связанности, качественной однородности, внешней независимости.

Соблюдение условий качественной однородности означает, что все события однотипны: яблоки изучаются отдельно, груши – отдельно. При этом, если каждое последующее событие не зависит от предыдущих, то такие события обладают свойством внешней независимости. И, наконец, внутренняя связанность между событиями означает, что каждое из них есть следствие однотипных причин, и они принадлежат одной статистической совокупности.

Для удобства практических расчетов целесообразно пользоваться специальными таблицами, которые приводятся в справочной литературе и в приложениях к пособиям по теории вероятностей и математической статистике.

Вероятность попадания случайной величины, распределенной по нормальному закону, в заданный интервал значений определяется интегрированием функции (9.21).

$$F(a \le X \le b) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}} dx = \Phi\left(\frac{b-m_x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-m_x}{\sigma}\right).$$

Значения функции Лапласа $\Phi(y)$ берутся из специальных таблиц.

9.5. Двумерное нормальное распределение

В практике горно-геометрического анализа данных разведки, эксплуатации и анализа производственных процессов часто встречаются задачи, в которых участвуют не одна, а несколько случайных величин. В таких случаях удобно пользоваться геометрической интерпретацией. Например, систему двух случайных величин X и Y можно интерпретировать как точку на плоскости с координатами X и

Y. Аналогично система трех случайных величин может быть изображена точкой в системе трех пространственных координат. Функцией распределения системы двух случайных величин (*X, Y*) называется вероятность совместного выполнения двух условий $X < x$ и $Y < y$:

$$F(x, y) = P\,[(X < x), (Y < y)]. \tag{9.22}$$

Тогда плотность вероятности

$$f(x, y) = F'(x, y). \tag{9.23}$$

Если случайные величины *X* и *Y* независимые, то вероятность совместного события *z*(*x,y*) определится как произведение вероятностей

$$P_z = P_x\, P_y$$

или

$$f(xy) = f(x)\, f(y). \tag{9.24}$$

Так, если независимые случайные величины *X* и *Y* подчиняются нормальному распределению, то распределение случайной величины *Z* примет вид:

$$f(z) = f(x,y) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2\sigma_x^2}(x-m_x)^2\right]\frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2\sigma_y^2}(y-m_y)^2\right] =$$

$$= \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\}. \tag{9.25}$$

Параметрами этого распределения являются координаты центра рассеивания m_x, m_y и полуоси эллипса рассеивания σ_x и σ_y. Но, если случайные величины *X* и *Y* внутренне связаны и эта связь оценивается коэффициентом корреляции *r*, то распределение случайной величины *Z* будет иметь вид

$$f(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}}\times$$

$$\exp\left\{-\frac{1}{2(1-r^2)}\left[\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2-\frac{2r(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x\sigma_y}+\left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\}. \quad (9.26)$$

На практике встречаются случаи, когда законы распределения случайных величин X и Y неизвестны, но могут быть представлены в виде эмпирических распределений, получаемых по массиву опытных данных.

В этом случае целесообразно использовать табличную форму вычислений, основанную на формуле (9.26). Вычислительные операции сводятся к следующей схеме (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Композиция двух случайных величин

СВ X		СВ Y						Итого
Значения X	Частости P_X	Значения Y						
		0	1	2	3	4	5	
		Частости P_Y						
		0,15	0,32	0,25	0,15	0,08	0,05	
4	0,05	75* / 4	160 / 5	125 / 6	75 / 7	40 / 8	25 / 9	0,05
5	0,08	120 / 5	256 / 6	200 / 7	120 / 8	64 / 9	40 / 10	0,08
6	0,12	180 / 6	384 / 7	300 / 8	180 / 9	96 / 10	60 / 11	0,12
7	0,20	300 / 7	640 / 8	500 / 9	300 / 10	160 / 11	100 / 12	0,20
8	0,25	375 / 8	800 / 9	625 / 10	375 / 11	200 / 12	125 / 13	0,25
9	0,20	300 / 9	640 / 10	500 / 11	300 / 12	160 / 13	100 / 14	0,20
10	0,10	150 / 10	320 / 11	250 / 12	150 / 13	80 / 14	50 / 15	0,10
Итого		0,15	0,32	0,25	0,15	0,08	0,05	1,00

* *Значения в таблице умножаются на 10^{-4}.*

Частость случайной величины X, равная P_X, умножается построчно на частость случайной величины Y, равную P_Y , и это значение записывается в соответствующую клетку. Контролем вычислений является соответствие значений «Итого» частостям P_X и P_Y.

Параметры распределения Z приведены ниже.

Z	P, %	a	na	na^2	
4	0,75	-5	-3,75	18,75	
5	2,80	-4	-11,20	44,80	
6	5,61	-3	-16,83	50,49	
7	9,59	-2	-19,18	38,36	
8	14,75	-2	-14,75	14,75	$m_1 = \frac{36}{100} = 0{,}36$
9	18,69	0	0	0	
10	18,51	1	18,51	18,51	$m_2 = \frac{451{,}36}{100} = 4{,}5136$
11	14,15	2	28,30	56,60	$\sigma = \sqrt{m_2 - m_1^2} = 2{,}094$
12	8,50	3	25,50	76,50	$\bar{z} = 9{,}0 - 0{,}36 = 9{,}36$
13	4,35	4	17,40	69,60	
14	1,80	5	9,00	45,00	
15	0,50	6	3,00	18,00	
	100,00		36,00	451,36	

По данным таблицы 9.1 строится поле с числовыми отметками в системе координат (X, Y) и в форме изолиний совместной вероятности изображается композиция случайных величин $Z = X + Y$.

Двумерному нормальному закону подчиняются ошибки положения геодезических пунктов, системы содержаний двух компонентов добываемых руд и др.

Формула (9.26) примет вид

$$f(x,y) = f(\Delta_x, \Delta_y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}} \times$$
$$\times \exp\left(\frac{1}{2(1-r^2)} \left(\frac{\Delta_x^2}{\sigma_x^2} - \frac{2r\Delta_x\Delta_y}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{\Delta_y^2}{\sigma_y^2} \right) \right) \qquad (9.27)$$

Для нормированных значений случайных величин $t_x = \Delta_x / \sigma_x$ и $t_y = \Delta_y / \sigma_y$ получим:

Для построения эллипса ошибок можно использовать запись в полярной системе координат.

При $r = 0$ эллипс ориентирован по осям координат, с возрастанием r эллипс вытянут вдоль прямой, расположенной под углом $\alpha = 45°$ (если $\sigma_x = \sigma_y$). При $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ эллипс вписан в квадрат со сторонами 2σ (рис. 9.5, а). При $r < 0$ угол $\alpha = 135°$.

В полярной системе координат

$$f(\rho_\Delta, \alpha) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}} \exp\left(-\frac{\rho_\Delta^2}{2(1-r^2)} \left(\frac{\cos^2\alpha}{\sigma_x^2} - \frac{r\sin 2\alpha}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{\sin^2\alpha}{\sigma_y^2} \right) \right) =$$

$$= h\exp\left(-\frac{\rho^2 s^2}{2} \right). \qquad (9.28)$$

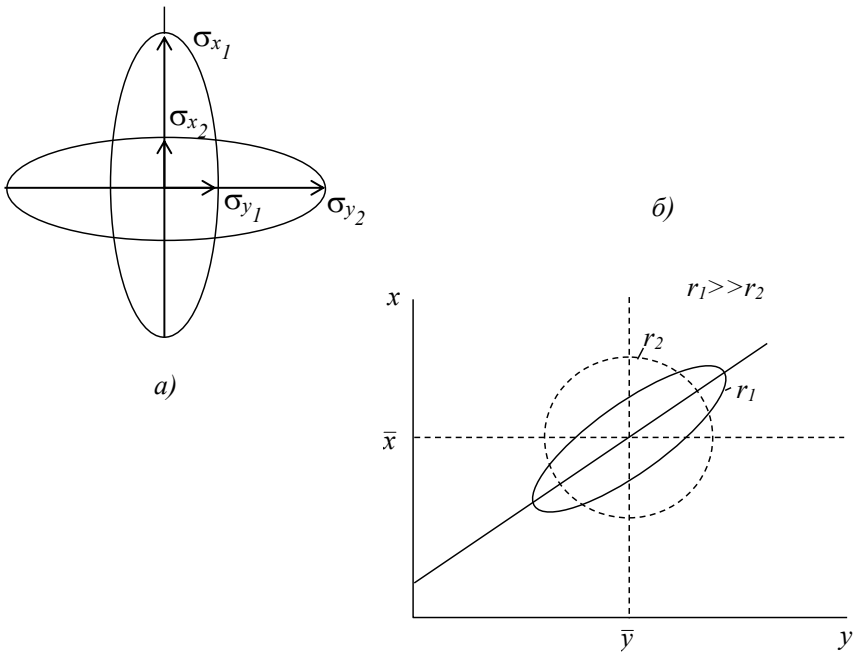


Рис. 9.5. Зависимость формы эллипса от коэффициента корреляции r (*а*) и отношения σ_x/σ_y (*б*).

Радиус-векторы эллипса $\rho_\Delta^2 s^2 = c^2$ определяются по формуле

$$\rho_\Delta(\alpha) = c/s = \frac{c\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{\dfrac{\cos^2\alpha}{\sigma_x^2} - \dfrac{r\sin 2\alpha}{\sigma_x\sigma_y} + \dfrac{\sin^2\alpha}{\sigma_y^2}}}.$$

При $\sigma_x \neq \sigma_y$ большая ось эллипса склоняется к оси с большим стандартом (см. рис. 9.5, б).

Экстремум $\rho_\Delta(\alpha)$ достигается при $\alpha = \Theta$, причем

$$\mathrm{tg}2\Theta = \frac{2r\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}.$$

Для расчета большой и малой полуосей эллипса (A и B) применяются формулы:

$$A = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + w)/2};$$

$$B = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - w)/2},$$

где

$$w = \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4r^2\sigma_x^2\sigma_y^2}. \qquad (9.29)$$

Формулы применяются для построения главных эллипсов.

Вероятность попадания случайной точки M(X, Y) внутрь эллипса определяется по формуле

$$P_2 = 1 - e^{-c_2^2/2}. \qquad (9.30)$$

Для корреляционного анализа случайных величин X и Y используются еще условные распределения:

$$f(X|Y) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi(1-r^2)}}\exp\left(-\frac{1}{2(1-r^2)}\left(\frac{\Delta_x}{\sigma_x} - r\frac{\Delta_y}{\sigma_y}\right)^2\right), \qquad (9.31)$$

$$f(Y|X) = \frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi(1-r^2)}}\exp\left(-\frac{1}{2(1-r^2)}\left(\frac{\Delta_y}{\sigma_y} - r\frac{\Delta_x}{\sigma_x}\right)^2\right). \qquad (9.32)$$

Каждый из этих законов распределения является нормальным с условным математическим ожиданием и условным стандартом, определяемым по формулам:

$$m_{x|y} = m_x + r\sigma_x\Delta_y/\sigma_y; \quad \sigma_{x|y} = \sigma_x\sqrt{1-r^2}, \qquad (9.33)$$

$$m_{y|x} = m_y + r\sigma_y\Delta_x/\sigma_x; \quad \sigma_{y|x} = \sigma_y\sqrt{1-r^2}. \qquad (9.34)$$

Прямые линии $m_{x|y}$ и $m_{y|x}$ называются линиями регрессии.

Задача 9.1. Координаты геодезического пункта определены с ошибками по координатным осям σ_x=3 мм и σ_y=5 мм. Найти предельную ошибку положения пункта при вероятности P_2=0,99.

$$M = c_{2_{0,99}} \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = 18 \text{ мм}; \quad c_{2_{0,99}} = -\sqrt{-2\ln(1-P_2)} = 3{,}03.$$

9.6. Вероятность попадания случайной точки на плоскости в заданную область. Распределение Рэлея

Пусть положение точки M на плоскости определяется координатами X, Y, которые в свою очередь распределены нормально относительно их средних значений m_x и m_y. На плоскости выделен прямоугольник A со сторонами, параллельными главным осям рассеивания (рис. 9.6). Ставится задача определить вероятность попадания точки M (X, Y) в эту область.

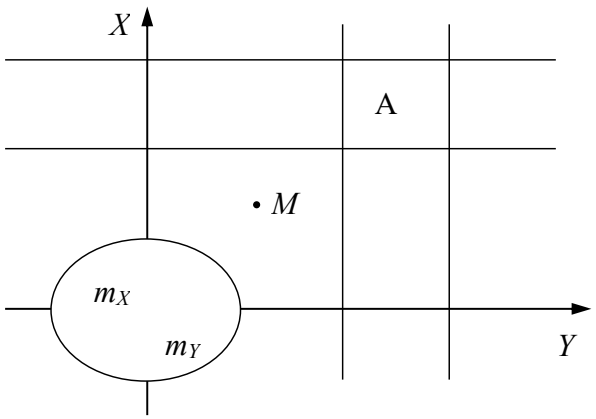


Рис. 9.6. К определению вероятности попадания точки M (X, Y) в область А

Очевидно, что эта вероятность определится по формуле

$$P((x,y) \in A) = \int_a^b \int_c^d f(x,y)\,dx\,dy.$$

Если координаты точки *M* независимые величины, то искомая вероятность может быть рассчитана по формуле

$$P((x,y)\in A)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\int_a^b e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}dx\int_c^d e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}}dy=$$

$$=\left[\Phi\left(\frac{b-m_x}{\sigma_x}\right)-\Phi\left(\frac{a-m_x}{\sigma_x}\right)\right]\cdot\left[\Phi\left(\frac{d-m_y}{\sigma_y}\right)-\Phi\left(\frac{c-m_y}{\sigma_y}\right)\right].$$

Задача 9.2. Распределения рудных компонентов характеризуются средними значениями и стандартами: m_{Cu} = 5,1 %; m_{Zn} = 15,2 %; σ_{Cu} = 3,2 %; σ_{Zn} = 7,8 %. Какова вероятность появления пробы с содержанием меди 7 … 9 % и цинка 9 … 11 %?

По формуле (9.40) получим:

$$P(\mathrm{Cu}=7\ldots9\,\%,\ \mathrm{Zn}=9\ldots11\,\%)=\left[\Phi\left(\frac{9-5{,}1}{3{,}2}\right)-\Phi\left(\frac{7-5{,}1}{3{,}2}\right)\right]\times$$

$$\times\left[\Phi\left(\frac{11-15{,}2}{7{,}8}\right)-\Phi\left(\frac{9-15{,}2}{7{,}8}\right)\right]=(0{,}3885-0{,}2237)(-0{,}2049+0{,}2867)=0{,}0135.$$

Примем ограничение: положение случайной точки *M*(*X*, *Y*) на плоскости подчинено двумерному нормальному распределению, у которого главные оси эллипса рассеивания равны между собой, т. е. имеет место круговое рассеивание с параметрами $\sigma_x=\sigma_y=\sigma$, $m_x=0$, $m_y=0$. Определим вероятность попадания случайной точки *M* (*X*, *Y*) внутрь круга радиуса *R*. Из формулы (9.26) при *r* = 0 получим

$$f(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2+y^2)\right]. \qquad (9.34)$$

Функция распределения примет вид

$$F(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2+y^2)\right]dx\,dy. \qquad (9.35)$$

Переходя к полярным координатам точки *M*, произведем замены:

$$x=\rho\cos\alpha,\quad y=\rho\sin\alpha,\quad dx\,dy=\rho\,d\rho\,d\alpha.$$

Решение (9.35) приводит к следующему выражению:

$$F(\rho,\alpha)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\int_0^{2\pi}d\alpha\int_0^{R}\rho\exp\left(-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right)d\rho=1-\exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right). \qquad (9.36)$$

После дифференцирования получим плотность распределения Рэлея

$$f(R)=\frac{R}{\sigma^2}\exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right). \qquad (9.37)$$

При замене $K=R/\sigma$ формула (9.37) принимает вид:

$$f(K)=\frac{K}{\sigma}\exp\left(-\frac{K^2}{2}\right). \qquad (9.38)$$

График плотности распределения (9.38) показан на рис. 9.7. Вероятность попадания случайной точки внутрь круга радиуса $R=K\sigma$ оценивается по формуле

$$P(R)=1-\exp(-K^2/2). \qquad (9.39)$$

Основные характеристики распределения

среднее значение $m_R=\sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}}\approx 1{,}25\sigma$;

стандарт $\sigma_R=\sigma\sqrt{2-\frac{\pi}{2}}=0{,}6551\,\sigma$;

мода $\mathrm{Mo}=\sigma$, $f(\mathrm{Mo})=0{,}606/\sigma$;

медиана $\mathrm{Me}=\sigma\sqrt{2\ln 2}=1{,}177\,\sigma$.

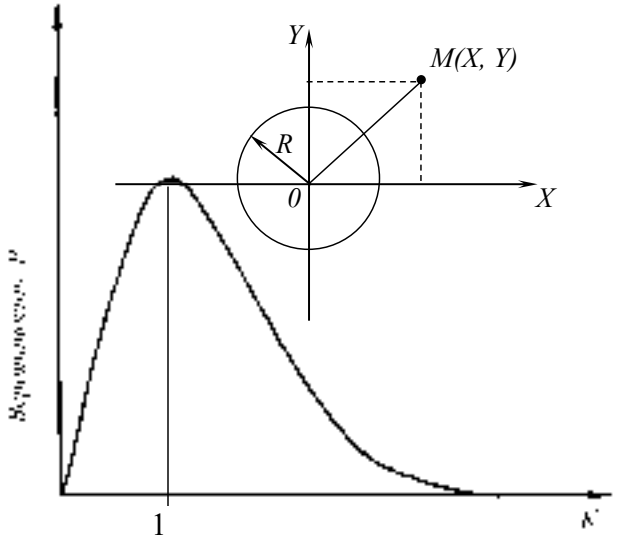


Рис. 9.7. Распределение Рэлея

Распределение Рэлея используется для вычисления вероятности попадания случайной точки M в круг радиусом R и кольцо $(R_1 - R_2)$ при круговом рассеивании, если центр рассеивания совпадает с центром круга и центром кольца. Геометрическим образом этого распределения может служить распределение длины гипотенузы в равнобедренном прямоугольном треугольнике при условии, что длина его катетов распределена нормально со стандартом σ.

9.7. Многомерное нормальное распределение Максвелла

Рассмотрим нормальное распределение для системы произвольного числа n случайных величин $X_1, X_2, \ldots, X_n$. Такая система представляется вектором $\mathbf{x}^{\mathrm{T}} = (x_1, \ldots, x_n)$ в n-мерном пространстве. Отметим, что элементами вектора **x** являются значения, которые приняли случайные величины $X_1, \ldots, X_n$ в процессе испытания (n – мер-

ного эксперимента). Каждый набор таких значений можно представить как точку A в n-мерном пространстве с координатами $x_1, \ldots, x_n$ (рис.9.8).

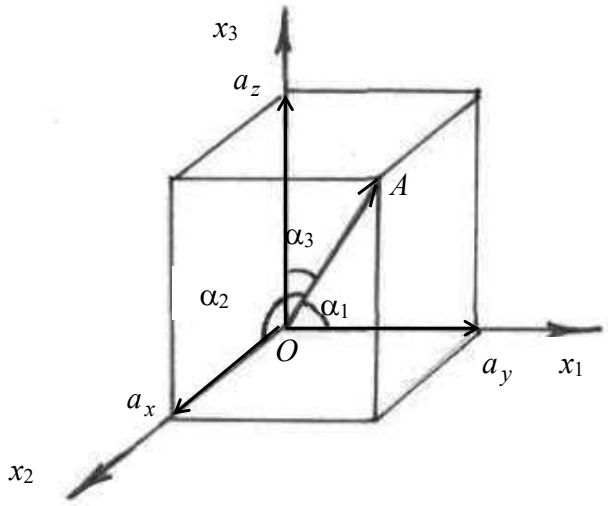


Рис. 9.8. Вектор OA в трехмерном пространстве

Аналогично задаче Рэлея, поставим задачу определить распределение длины диагонали куба R, если длины его ребер распределены нормально со стандартом σ. В этом случае распределение параметра R примет вид

$$f(R,\sigma)=\sqrt{\frac{2}{\pi}}\frac{R^2}{\sigma^3}\exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right). \qquad (9.40)$$

При $K = R/\sigma$ (9.40) принимает вид (рис. 9.9)

$$f(K)=\frac{K^2}{\sigma}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\exp\left(-\frac{1}{2}K^2\right).$$

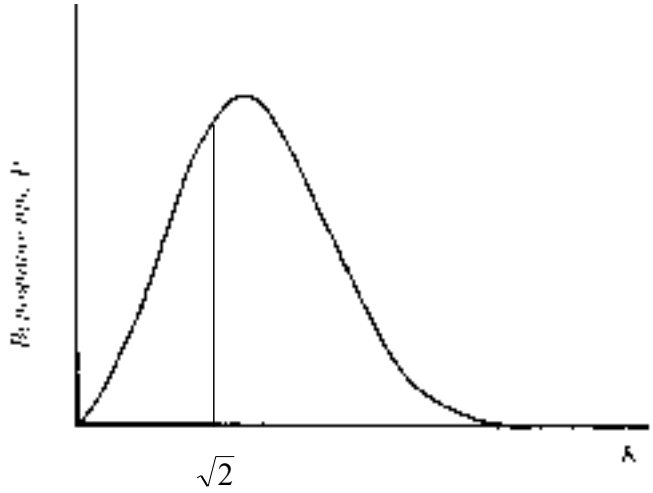


Рис. 9.9. Распределение Максвелла

Основные характеристики распределения:

среднее значение

$$m_R = 2\sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma = 1{,}596\ \sigma;$$

стандарт

$$\sigma_R = \sqrt{3 - \frac{8}{\pi}}\sigma = 0{,}673\ \sigma;$$

мода

$$\text{Mo} = \sqrt{2}\sigma = 1{,}414\sigma,$$

медиана

$$\text{Me} = 1{,}538\sigma.$$

Распределение Максвелла получено при изучении диффузии газов, где в качестве аргумента функции (9.40) принимается скорость движения молекулы газа. Этот закон распределения может быть принят как исходная модель при оценке вероятности попадания случайной точки *M* (*X, Y, Z*) в заданную область (шар, сферу, слой между

двумя сферами), если центр рассеивания совпадает с центром сферы и имеет радиус R.

9.8. Распределение модуля нормально распределенной случайной величины

Пусть случайная величина X распределена по нормальному закону с параметрами $N(m_x, \sigma)$. Найдем распределение величины

$$\Delta = \left| \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \right|.$$

Распределение случайной величины Δ определяется теми же двумя параметрами, которые характеризуют исходное нормальное распределение. Плотность вероятности (рис. 9.10) описывается формулой

$$f(\Delta) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2} \right). \qquad (9.41)$$

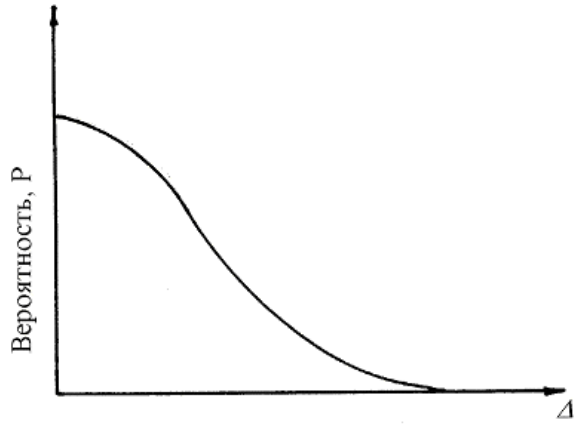


Рис. 9.10. Вид распределения модуля случайной величины, распределенной по нормальному закону

Основные характеристики распределения:

$$m_\Delta = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\,\sigma = 0{,}7979\,\sigma,$$

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\frac{\pi-2}{\pi}}\,\sigma = 0{,}6028\,\sigma.$$

Модальное значение, соответствующее $\Delta = 0$, равно

$$f(\Delta = 0) = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\frac{2}{\pi}} = \frac{0{,}7979}{\sigma}.$$

Распределение (9.41) обладает правой асимметрией и положительным эксцессом, но в практике анализа данных разведки и эксплуатации они не играют познавательной роли.

9.9. Логарифмически нормальное (логнормальное) распределение

Пусть случайная величина x определяется как произведение большого числа случайных независимых величин $y_i > 0$.

$$x = \prod_{i=1}^{n} y_i\,.$$

При этом

$$\sigma_{y_i}^2 << \sum_{j=1}^{n-1} \sigma_{y_j}^2\ .$$

Тогда величина $z = \ln x$ будет распределена по нормальному закону в силу выполнения главного условия вероятностной схемы Гаусса

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_z\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln x_0)^2}{2\sigma_z^2}}, \qquad (9.42)$$

$$\ln x_0 = m_z = M(\ln x), \quad x_0 = \exp m_z .$$

$$\sigma_z^2 = M\left(\ln \frac{x}{x_0}\right)^2 .$$

Основные характеристики распределения:

среднее значение $m_x = x_0\sqrt{\omega}$,

дисперсия $\sigma_x^2 = m_x^2(\omega - 1)$,

мода $\text{Мо} = x_0 / \omega$,

медиана $\text{Ме} = x_0$,

коэффициент асимметрии

$$A = (\omega + 2)\sqrt{\omega - 1},$$

$$\omega = \exp\left(\sigma_z^2\right),$$

коэффициент эксцесса

$$\text{Эк} = \omega^4 + 2\omega^3 + 3\omega^2 - 6.$$

С достаточной для практических целей точностью, логарифмически нормальным распределением аппроксимируются такие случайные величины, как: распределение гранулометрического состава взорванной и дробленой горной массы, распределение крупиц золота по крупности, содержание цветных и редких металлов по результатам геологического опробования, распределение месторождений по объему запасов, распределение населенных пунктов по численности проживающих в них граждан, а так же площадные и объемные характеристики тел и т. д. (рис. 9.11, 9.12).

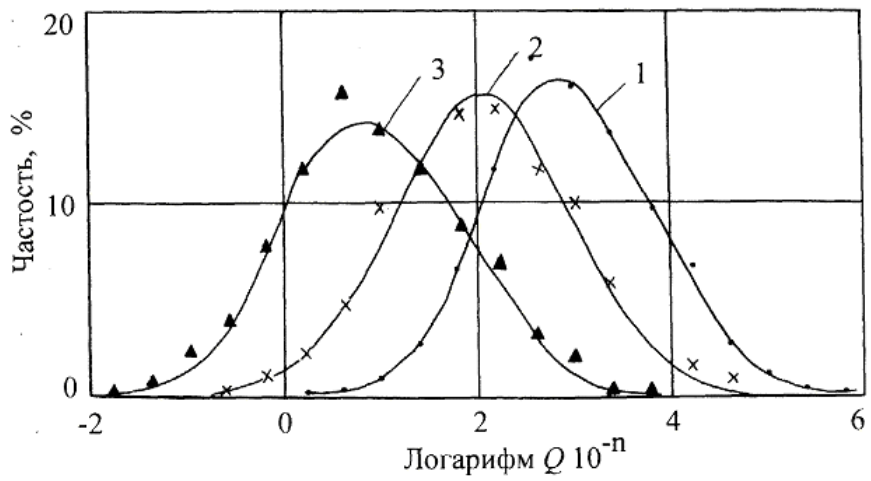


Рис. 9.11. Распределение логарифмов запасов месторождений.

1 – Fe, Cu, Ni (*n*=6); ***2*** – Au (*n*=3); ***3*** – Ag, Li (*n*=3)

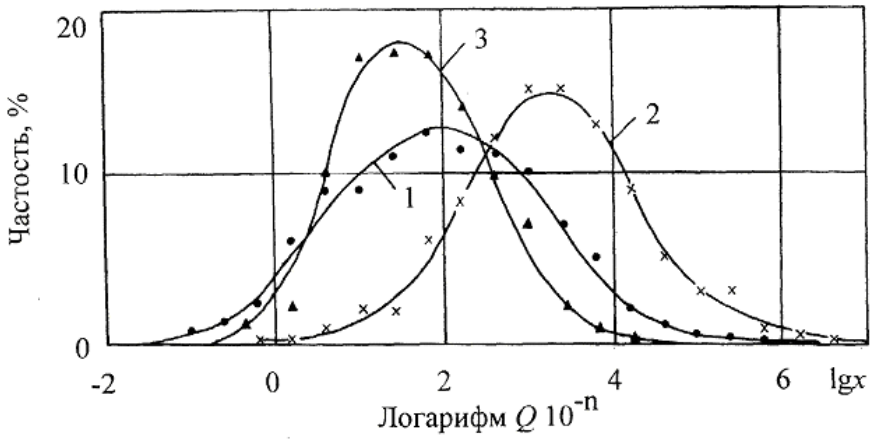


Рис. 9.12. Распределение логарифмов запасов месторождений.

1 – нефть (*n*=6); ***2*** – уголь (*n*=6); ***3*** – Co, Mo (*n*=3)

9.10. Распределение монотонной функции одного случайного аргумента

На практике встречаются задачи, когда распределение случайной величины X известно или может быть определено по имеющейся информации, но требуется знать распределение случайной величины Y, связанной с X

$$y = \varphi(x).$$

В теории вероятностей доказывается, что если известны распределения случайной величины X и зависимость φ, то распределение случайной величины Y может быть определено по формуле

$$g(y) = |\psi'(y)| \cdot f[\psi(y)]. \qquad (9.43)$$

Схема вычислительных операций сводится к следующему:

известно распределение случайной величины X в виде $P = f(x)$;

известно соотношение $y = \varphi(x)$.

Находится соотношение $x = \psi(y)$ путем обратного преобразования функции $y = \varphi(x)$; находится производная по y $x' = \psi'(y)$, и модуль этой производной $|x'| = |\psi'(y)|$.

Наконец, определяется искомая функция

$$g(y) = |\psi'(y)| \cdot f[\psi(y)].$$

Рассмотрим несколько примеров.

Задача 9.4. Случайная величина X подчинена нормальному закону распределения с плотностью

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_x^2} (x - m_x)^2 \right],$$

а величина Y связана с X линейной зависимостью вида

$$y = ax + b.$$

Тогда

$$x = \frac{y-b}{a}, \quad x' = \frac{1}{a}, \quad |x'| = \left|\frac{1}{a}\right|,$$

$$g(y) = \frac{1}{|a|\sigma_x\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2a^2\sigma_x^2}\left[y-(am_x+b)\right]^2\right]. \qquad (9.44)$$

Нетрудно убедиться, что случайная величина X также подчинена нормальному закону распределения с параметрами:

$$m_y = am_x + b, \quad \sigma_y = |a|\sigma_x.$$

Задача 9.5. Случайная величина X подчинена нормальному закону распределения с плотностью

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_x^2}(x-m_x)^2\right],$$

а случайная величина Y связана с X соотношением

$$y = \pi x^2 \quad \text{при} \quad x \geq 0.$$

Требуется найти плотность распределения случайной величины Y.

Расчеты выполняются по приведенной схеме.

$$x = \sqrt{\frac{y}{\pi}}, \quad x' = \frac{1}{2\sqrt{\pi y}};$$

$$g(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sqrt{2y}} \exp\left[-\frac{1}{2\pi\sigma_x^2}\left(\sqrt{y}-m_x\sqrt{\pi}\right)^2\right]. \qquad (9.45)$$

Из формулы (9.45) видно, что распределение случайной величины Y отличается от нормального.

9.11. Распределение Вейбулла

Распределение Вейбулла (рис. 9.13) не имеет определенной вероятностной и геометрической интерпретации. Оно обобщает некоторый класс математических моделей, которые при обработке эмпирического материала могут быть с успехом использованы. Математическая предпосылка распределения исходит из функции насыщения вида

$$F(x) = 1 - e^{-(ax)^n}, \tag{9.46}$$

причем $x \geq 0,\ a > 0,\ n > 0.$

Нетрудно видеть, что при $x \to \infty$ значение функции $F(x) \to 1$, т. е. формально выполняется условие нормирования плотности распределения

$$F(x) = \int_0^\infty f(x)\,dx = 1.$$

Тогда $f(x) = F'(x).$

Взяв производную по x от (9.46), получим

$$f(x) = -n(ax)^{n-1} \exp(-(ax)^n). \tag{9.47}$$

Основные характеристики распределения:

среднее значение

$$m_x = a\Gamma\left(\frac{n+1}{n}\right);$$

стандарт

$$\sigma = a\sqrt{\Gamma\left(\frac{n+2}{n}\right) - \Gamma^2\left(\frac{n+1}{n}\right)};$$

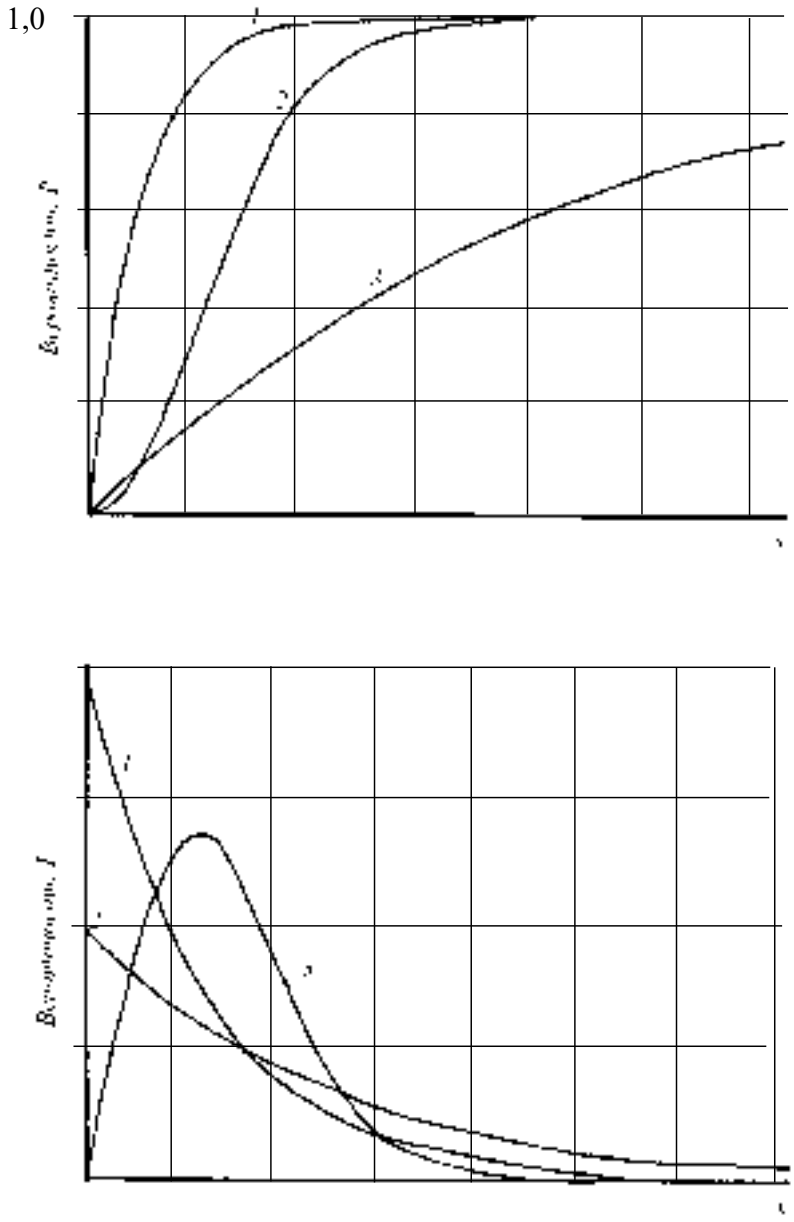


Рис. 9.13. Виды распределения Вейбулла
1 - $a = 1$, $n = 1$; ***2*** - $a = 0,5$, $n = 1$; ***3*** – $a = 0,5$, $n = 2$

модальное значение

$$\text{Мо} = a\left(1-\frac{1}{n}\right)^{1/n} \quad \text{при } n > 1,$$

$$\text{Мо} = 0 \qquad \text{при } n \le 1.$$

$\Gamma(n)$ – гамма-функция.

Распределение Вейбулла при $n = 1$ превращается в экспоненциальное распределение, и при $n = 2$ – в распределение Рэлея.

9.12. Гамма – распределение

Как и распределение Вейбулла, гамма-распределение не имеет вероятностной схемы и геометрического образа, и поэтому также относится к классу эмпирических моделей:

$$f(x) = \frac{a^n}{\Gamma(n)} x^{n-1} \exp(-ax) \ , \qquad (9.48)$$

причем $x \ge 0,\ a > 0,\ n > 0.$

Основные характеристики распределения:

среднее значение

$$m_x = n/a\,;$$

стандарт

$$\sigma = \frac{\sqrt{n}}{a};$$

мода

$$\text{Мо} = (n-1)/a\,, \text{ при } n \ge 1;$$

коэффициент асимметрии

$$A = 2/\sqrt{n}\,;$$

коэффициент эксцесса

$$\text{Эк} = \frac{6}{n}.$$

При $n = 1$ гамма-распределение совпадает с экспоненциальным, а при целых n называется также распределением Эрланга. Сумма

двух или нескольких случайных величин, имеющих гамма-распределение с параметрами n_i, подчиняется гамма-распределению с параметром $n = \sum_{1}^{n} n_i$.

9.13. Обобщенная модель распределения случайных величин

В практике обработки статистических материалов рассмотренные классические стохастические схемы далеко не всегда соответствуют реальным процессам, формирующим случайные события. Широкий круг эмпирических законов распределения описывается уравнением

$$f(x) = ax^{n-1} \exp(-bx^c), \qquad (9.49)$$

где n, c – неотрицательные константы, $x \geq 0$.

Значения коэффициентов a и b определяются из условий нормирования функции $y = f(x)$. Примем два первых условия нормирования функций распределения:

$$\int_0^\infty f(x)\,dx = 1, \quad \int_0^\infty x\,f(x)\,dx = M(x) = m_x.$$

После преобразований получим:

$$b = \left[\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{c}\right)}{m\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)}\right]^c,$$

$$a = \frac{c}{\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)} b^{\frac{n}{c}} = \frac{c\Gamma^n\left(\frac{n+1}{c}\right)}{m^n \Gamma^{n+1}\left(\frac{n}{c}\right)}.$$

Основные характеристики распределения:

$$\sigma^2 = m^2\left(\frac{\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n+2}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1}{c}\right)}-1\right), \qquad (9.50)$$

$$A=\frac{\frac{\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1}{c}\right)}\left[\frac{\Gamma\left(\frac{n+3}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)}{\Gamma\left(\frac{n+1}{c}\right)}-3\Gamma\left(\frac{n+2}{c}\right)\right]+2}{\left(\frac{\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n+2}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1}{c}\right)}-1\right)^{3/2}},$$

$$\text{Эк}=\frac{\frac{\Gamma\left(\frac{n+4}{c}\right)\Gamma^3\left(\frac{n}{c}\right)}{\Gamma^4\left(\frac{n+1}{c}\right)}-4\frac{\Gamma\left(\frac{n+3}{c}\right)\Gamma^2\left(\frac{n}{c}\right)}{\Gamma^3\left(\frac{n+1}{c}\right)}+6\frac{\Gamma\left(\frac{n+2}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1}{c}\right)}-3}{\left(\frac{\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n+2}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1}{c}\right)}-1\right)^2}-3.$$

Из (9.50) видно, что между стандартом σ и средним значением m при фиксированных значениях n и c существует прямолинейная зависимость

$$\sigma = m\sqrt{U_n - 1}, \qquad (9.51)$$

$$U_n = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n+2}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1}{c}\right)}. \qquad (9.52)$$

Учитывая соотношение (9.52), начальные моменты статистического распределения примут вид:

$$m_1 = m; \quad m_2 = U_n m_1^2; \quad m_3 = U_n^2 U_{n+1} m_1^3;$$

$$m_4 = U_n^3 U_{n+1}^2 U_{n+2} m_1^4,$$

где $$U_{n+i} = \frac{\Gamma\left(\frac{n+i}{c}\right)\Gamma\left(\frac{n+2+i}{c}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{n+1+i}{c}\right)}.$$

Тогда основные соотношения выразятся через функции U_{n+i} следующим образом:

$$\sigma^2 = m^2 (U_n - 1); \tag{9.53}$$

$$A = \frac{U_n^2 U_{n+1} - 3U_n + 2}{(U_n - 1)^{3/2}}; \tag{9.54}$$

$$\text{Эк} = \frac{U_n^3 U_{n+1}^2 U_{n+2} - 4U_n^2 U_{n+1} + 6U_n - 3}{(U_n - 1)^2} - 3.$$

Функция U_n зависит от двух параметров n и c. На практике поступают следующим образом. По эмпирическим данным определяют значения m, σ^2, A и из (9.53) и (9.54) находят значения функций U_n и U_{n+1}:

$$U_n = 1 + \frac{\sigma^2}{m^2}, \tag{9.55}$$

$$U_{n+1} = \frac{A(U_n - 1)^{3/2} + 3U_n - 2}{U_n^2}. \tag{9.56}$$

Для нахождения параметров распределения n и c пользуются графиком, построенным в координатах n и c (рис. 9.14) на логарифмической сетке.

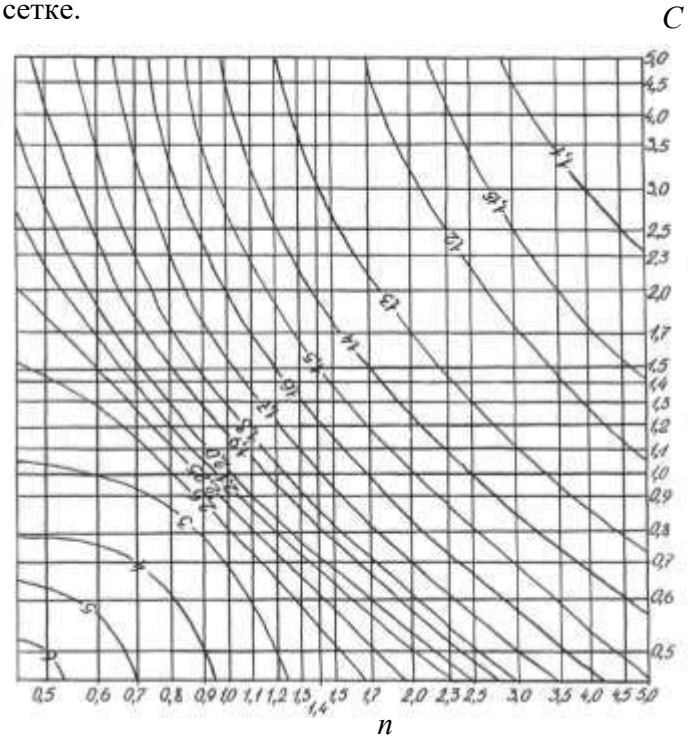


Рис. 9.14. График изменения функции U_k

Линии на номограмме представляют собой изменение U_{n+i} при различных соотношениях n и c. Поэтому по вычисленным значениям U_n и U_{n+1} находится значение c такое, чтобы параметр n для функции U_n отличался от этого параметра для функции U_{n+1} точно на 1.

$$U_n \to n, \quad U_{n+1} \to n+1.$$

Для этого соотношения параметр c имеет только одно значение.

9.14. Распределение качественно однородных случайных величин при их объединении

В теоретическом плане поставленный вопрос представляет интерес, поскольку он не рассматривался прежде в специальной литературе. В практическом плане он интересен тем, что позволяет глубже постичь рассмотренный процесс и выработать определенные технологические приемы для наиболее эффективного применения следствий, вытекающих из объединения потоков. Для решения поставленного вопроса рассмотрим задачу в наиболее простой ее постановке: задачу об объединении двух потоков. Итак, пусть известно, что объединяются два потока, заданных законами распределений своих качественных показателей, например, $f_1(\alpha)$ и $f_2(\beta)$. Требуется определить вид закона распределения показателя u в объединенном потоке.

В нашей постановке задача сводится к нахождению закона распределения суммы двух случайных величин

$$u = \alpha + \beta.$$

Самый общий вид решения этой задачи сводится к нахождению двойного интеграла типа

$$F_u = \iint\limits_D f(\alpha,\beta)\, d\alpha\, d\beta \ ,$$

где $f(\alpha, \beta)$ – плотность распределения суммы двух случайных величин α и β.

Примем, что α и β распределены нормально:

$$f_1(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\alpha} \exp\left[-\frac{(\alpha - m_\alpha)^2}{2\sigma_\alpha^2} \right],$$

$$f_2(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\beta} \exp\left[-\frac{(\beta - m_\beta)^2}{2\sigma_\beta^2} \right].$$

Если α и β представляют собой, например, содержание полезного компонента в потоках, то необходимо произвести замену переменных в силу того, что при объединении потоков складываются натуральные показатели этих потоков (производительность, мощность и т. д.)

$$x = \alpha\, g_1, \qquad y = \beta\, g_2 .$$

где g_i – производительность потоков.

Учитывая, что

$$f_1(x) = \alpha'_x f_1\left(\frac{x}{g_1}\right),$$

$$f_2(y) = \beta'_y f_2\left(\frac{y}{g_2}\right),$$

получим

$$\left.\begin{aligned} f_1(x) &= \frac{A_1}{g_1} \exp\left[-\frac{A_2}{g_1^2}(x - g_1 m_\alpha)^2 \right] \\ f_2(y) &= \frac{B_1}{g_2} \exp\left[-\frac{B_2}{g_2^2}(y - g_2 m_\beta)^2 \right] \end{aligned}\right\}.$$

Распределения $f_1(x)$ и $f_2(y)$ подчиняются нормальному закону со средними значениями соответственно $g_1 m_\alpha$ и $g_2 m_\beta$, дисперсиями $g_1^2\sigma_\alpha^2$ и $g_2^2\sigma_\beta^2$.

Композиция (свертка) двух нормальных законов дает распределение случайной величины $u = x + y$

$$f(u) = \frac{1}{\sigma_u \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_u^2} (u - m_u)^2 \right]. \qquad (9.57)$$

Здесь

$$m_u = g_1 m_\alpha + g_2 m_\beta,$$

$$\sigma_u^2 = \sigma_\alpha^2 g_1^2 + 2r\sigma_\alpha \sigma_\beta g_1 g_2 + \sigma_\beta^2 g_2^2;$$

r – коэффициент корреляции между α и β.

Итак, формула (9.74) определяет собой искомое распределение при объединении двух зависимых случайных величин, распределенных нормально. Анализируя ее, можно констатировать, что при объединении потоков с нормальным распределением показателей, суммарный поток также характеризуется нормальным распределением этих параметров.

Хотя формула (9.74) получена на примере объединения двух потоков, сделанные выводы могут быть распространены на n потоков:

$$f(u) = N\left\{ m_u = \sum_1^n \alpha_i g_i;\ \sigma_u^2 = \mathbf{g}^{\mathrm{T}} \mathbf{K} \mathbf{g} \right\},$$

где $\mathbf{g}^{\mathrm{T}} = (g_1 \ \ g_2 \ \ \ldots \ g_n)$ – вектор производительностей потоков; $\mathbf{K}$ – ковариационная матрица вектора α:

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} \sigma_\alpha^2 & r_{\alpha\beta}\sigma_\alpha\sigma_\beta & r_{\alpha\gamma}\sigma_\alpha\sigma_\gamma & \ldots \\ r_{\alpha\beta}\sigma_\alpha\sigma_\beta & \sigma_\beta^2 & r_{\beta\gamma}\sigma_\beta\sigma_\gamma & \ldots \\ r_{\alpha\gamma}\sigma_\alpha\sigma_\gamma & r_{\beta\gamma}\sigma_\beta\sigma_\gamma & \sigma_\gamma^2 & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \end{pmatrix}.$$

Вводя различные ограничения, получим ряд следствий.

Следствие 1. При функционально (r = 1) связанных значениях показателей α_1, α_2, ... , α_n распределение показателя $u = \sum \alpha_i g_i$ будет нормальным, с параметрами

$$N_1\left\{m_{u_1} = \sum_1^n m_{\alpha_i} g_i;\ \sigma_{u_1} = \sum_1^n \left(\sigma_{\alpha_i} g_i\right)\right\},$$

т. е. и среднее значение, и стандарт определяются как средневзвешенные величины.

Следствие 2. При объединении потоков с независимыми параметрами *(r = 0)* нормальное распределение будет иметь параметры

$$N_2\left\{m_{u_2} = \sum_1^n m_{\alpha_i} g_i;\ \sigma_{u_2}^2 = \sum_1^n \sigma_{\alpha_i}^2 g_i^2\right\}.$$

Следствие 3. Если между показателями двух объединенных потоков существует обратная зависимость (r = –1), нормальное распределение будет иметь следующие параметры:

$$N_3\left\{m_{u_3} = \sum_1^n m_{\alpha_i} g_i;\quad \sigma_{u_3} = \left|\sigma_{\alpha_1} g_1 - \sigma_{\alpha_2} g_2\right|\right\}.$$

При прочих равных условиях $\sigma_{u_3} < \sigma_{u_2} < \sigma_{u_1}$.

Очень часто, однако, на практике приходится иметь дело с асимметричными распределениями. В силу этого рассмотрим вопрос динамики распределений при объединении потоков с асимметричным характером распределения показателей.

Иллюстрация решения поставленной задачи наиболее наглядно осуществляется на примере двух потоков. Пусть объединяются два потока. Поскольку, как доказывалось ранее, в общем случае задача не

имеет решения, сведем ее к рассмотрению частного, но вполне представительного случая: оба потока имеют одинаковое распределение параметра, в качестве которого выступает содержание полезного компонента в рудных потоках; потоки характеризуются одинаковой производительностью и классифицируются как независимые друг от друга; параметр распределен по экспоненциальному закону, который наиболее ярко представляет асимметричный характер распределений.

$$f(\alpha_1) = f(\alpha_2) = a\exp(-a\alpha). \qquad (9.58)$$

Поскольку потоки независимые, имеет место равенство

$$f(x, y) = f(x)f(y).$$

Производя замену переменных, как и ранее,

$$x = \alpha g, \quad y = \alpha g,$$

а также учитывая, что

$$z = x + y,$$

можно записать

$$F_z = \int_0^z f(z)dx \int_0^{z-x} f(z-y)dy,$$

где

$$f(x) = \frac{a}{g}\exp\left(-\frac{a}{g}x\right),$$

$$f(y) = f(z-x) = \frac{a}{g}\exp\left(-\frac{a}{g}(z-x)\right).$$

После преобразований и решения интеграла получим

$$F_z = 1 - \left(1 + \frac{a}{g}z\right)\exp\left(-\frac{a}{g}z\right),$$

из которого вытекает, что

$$f(z) = dF_z = \frac{a^2}{g^2} \exp\left(-\frac{a}{g} z \right).$$

Но z соответствует количеству металла в объединенном потоке.

$$z = 2ag = 2gu,$$

где u, как и ранее, – содержание полезного компонента в объединенном потоке. Тогда, производя вновь замену переменных, получим уравнение, описывающее искомый закон распределения. Учитывая, что

$$f(u) = f[z = \varphi(u)]\varphi'(u),$$

получим

$$f(u) = \frac{2a^2}{g} a^2 u \exp(-2au). \qquad (9.59)$$

Нетрудно убедиться в том, что характеристики распределения (9.59) связаны с исходным следующим образом:

$$m_u = m_\alpha = \frac{1}{a}, \qquad \sigma_u = \frac{\sigma_\alpha}{\sqrt{2}} = \frac{1}{a\sqrt{2}}.$$

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что структура формулы (9.59) принципиально отличается от экспоненциального закона распределения и соответствует гамма-распределению.

Если теперь произведем повторное объединение двух новых потоков, то следует ожидать новой деформации в структуре распределения содержания исследуемого признака. Действительно, повторив аналогичные математические операции, получим

$$f(u_2) = \frac{128}{3} a^4 u_2^2 \exp(4au_2). \qquad (9.60)$$

Если, наконец, такие операции повторять n раз, то окажется, что

$$f(u_n) = \frac{(2^n a)^{2n}}{(2^n - 1)!} u_n^n \exp(-2^n a u_n). \qquad (9.61)$$

представляет собой гамма-распределение, для которого

$$m_u = \frac{1}{a}, \qquad \sigma_u^2 = (2^n a^2)^{-1}, \qquad A = 2^{1-n/2}. \qquad (9.62)$$

Здесь A – коэффициент асимметрии; n – ранг объединенного потока (n = 0, 1, 2, ...).

Условимся, что при объединении двух первичных потоков образуется поток первого ранга; объединение потоков первого ранга образует поток второго ранга и т. д.

Нетрудно видеть, что с увеличением ранга потока дисперсия σ^2 и асимметрия A быстро уменьшаются, при этом среднее остается постоянным. Следовательно, распределение приближается к симметричному с малым разбросом.

Таким образом, обобщая выполненные исследования, можно констатировать:

- объединение потоков приводит к деформации исходных распределений показателей; эта деформация прежде всего проявляется в уменьшении дисперсии;
- при объединении потоков любой класс распределений показателей трансформируется в своем пределе в симметричное, близкое к нормальному распределению.

Этот вывод полностью соответствует содержанию предельных теорем теории вероятностей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ ПО РАЗДЕЛАМ

1. Математическая статистика как область математических знаний
   1.1. Что такое статистика и математическая статистика. Раскрыть сущность объекта и предмета? Что составляет цель и задачу статистики?
   1.2. Изложить основные исторические этапы становления и развития статистики: собирательство и обобщение различных сведений (эмпирическое знание); возникновение политической арифметики; демографические обобщения; экономическая география.
   1.3. Как развивались статистические исследования в Англии, Германии, Франции, Голландии?
   1.4. Как развивались статистические исследования в России?
   1.5. Какие предпосылки стимулировали возникновение теории вероятностей?
2. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики
   2.1. Что такое случайные события и величины? Какими основными признаками характеризуются случайные величины (качественная однородность, внешняя независимость, внутренняя связанность)?
   2.2. Какими количественными характеристиками оценивается совокупность случайных величин (вероятность, среднее значение, стандарт колебаний)?

2.3. Какие существуют виды случайных величин (дискретные, непрерывные, качественные)?

3. Статистический коллектив как совокупность случайных величин
   - Что такое статистическая совокупность; понятие генеральной совокупности и выборки?
   - Какими количественными параметрами оцениваются статистические коллективы; формы представления статистических коллективов?

4. Количественные характеристики выборочного метода исследования совокупности случайных величин
   - Каков физический и геометрический смысл среднего значения и стандарта?
   - Как оценить погрешность выборочных средних и дисперсии?
   - Как оценить значимость расхождения средних значений двух независимых выборок?
   - Как оценить значимость расхождения дисперсий двух независимых выборок?
   - Какие принципы закладываются в требования к объему выборки?

5. Законы распределения дискретных случайных величин
   - Какая схема случайных событий приводит к биномиальному распределению?
   - Какие предпосылки в схеме случайных событий приводят к распределению Пуассона?

6. Понятие о геометрической вероятности

- Какая вероятностная схема лежит в основе задачи Бюффона?
- Что означает оценить степень разведанности контуров рудных тел?

7. Законы распределения непрерывных случайных величин и их статистики
   - Вероятностная схема равномерного распределения (ошибки округления, визирования, взятие отсчетов)
   - Какие исходные предпосылки лежат в основе нормального (Гауссова) распределения погрешностей измерений?
   - Какая геометрическая модель приводит к экспоненциальному распределению?
   - Какова геометрическая сущность распределения Рэлея (погрешность положения пунктов полигонометрии)?
   - Какова возможность применения распределения Максвелла (вероятность попадания точки в трехмерную область) в решении задачи сбойки выработок?
   - Какова сущность логарифмического нормального распределения (распределения запасов полезных ископаемых)?
   - Обобщенная модель распределения случайных величин.
8. Основные положения Закона больших чисел
9. Основы корреляционного анализа
   – Какова геометрическая сущность метода моментов? Ранжирование статистической последовательности. Обработка статистического ряда методом моментов
   – Использование схемы статистической обработки в подсчете запасов и учете "ураганных" проб.

– Что такое корреляция, парная корреляция, обработка корреляционной таблицы, какими свойствами обладает коэффициент корреляции? Оценка тесноты связи между двумя случайными величинами.
– Какие существуют виды корреляционных зависимостей между случайными величинами?
– Что такое корреляционное отношение и его свойства.
– Условия использования множественной корреляции.
– Совокупный коэффициент корреляции как мера тесноты связи во множественной корреляции.
– Какие существуют экспертные методы оценки тесноты связи?

10. Подбор математических моделей для аппроксимации эмпирических зависимостей

– Какой геометрический смысл у коэффициентов линейной функции $y = ax + b$?
– Графо-аналитический метод определения эмпирических коэффициентов.
– В чем состоит геометрическая сущность метода наименьших квадратов?
– Какими свойствами обладает параболическая функция $y = ax^2 + bx + c$?
– Графо-аналитический метод определения эмпирических коэффициентов.
– Схема определения коэффициентов методом наименьших квадратов в параболической зависимости.

– Какими свойствами обладает степенная функция $y = ax^n$?
– Графо-аналитический метод определения эмпирических коэффициентов степенной функции.
– Схема определения коэффициентов методом наименьших квадратов в степенной функции.
– Каковы область применения показательной функции $y = ae^{bx^n}$ и способы определения коэффициентов по эмпирическим данным?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964.– 576 с.
2. *Гальянов А. В.* Применение вероятностных схем к задачам из практики горного дела: учебное пособие / А. В. Гальянов, В. А. Гордеев. − Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2005. – 157 с.
3. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для втузов. – М.: Высшая школа, 1977. – 497 с.
4. *Гордеев В. А.* Статистические методы обработки маркшейдерско-геологической информации: учебное пособие / В. А. Гордеев, И. М. Диденко. – Екатеринбург: УГИ, 1992. – 88 с.
5. *Кендалл М.* Геометрическая вероятность / М. Кендалл, П. Моран. − М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1972. – 192 с.
6. Майстров Л. Е. Теория вероятностей. Исторический очерк / Л. Е. Майстров. − М.: Наука, 1967. – 319 с.
7. Математическая статистика: учебник для техникумов / под ред. Длина А.М. – М.: Высшая школа, 1978. – 398 с.
8. *Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений.– М.: Изд-во ФМЛ, 1961.–480 с.
9. *Павловский З.* Введение в математическую статистику / З. Павловский; под ред. Ф. Д. Лифшица. – М.: Статистика, 1967. – 287 с.

10. *Пасхавер И.С.* Закон больших чисел и статистические закономерности. – М.: Статистика, 1974. – 151 с.

11. *Птуха М. П.* Очерки по истории статистики XVII-XVIII веков / М. П. Птуха. − М.: ОГИЗ Государственное изд. политической литературы, 1945. – 352 с.

12. *Пучков Я. М.* Построение и анализ эмпирических формул / Я. М. Пучков, В. Г. Шеменев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 120 с.

13. *Романовский В. И.* Математическая статистика / В. И. Романовский. – М.: ГО НТИ НКТП СССР, 1938. – 420 с.

14. *Соболевский П. К.* Современная горная геометрия / П. К. Соболевский // Научные труды МГУ. – 1969.

15. *Хастингс Н.* Справочник по статистическим распределениям / Н. Хастингс, Дж. Пикок. − М.: Статистика, 1980. – 95 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.В.Гальянов

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Учебное пособие

К расчетно-графическим работам
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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:

$$\boldsymbol{U_1}=(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{a})^2+(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{b})^2-(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{a})(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{b})-(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{a})-(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{b})+\text{И}. \quad (1.1)$$

$$\boldsymbol{U_2}=-\mathbf{12}[(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{c})^2-(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{d})^2]+(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{c})(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{d})+(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{c})+(\boldsymbol{y}+\boldsymbol{d})+\text{О}. \quad (1.2)$$

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)

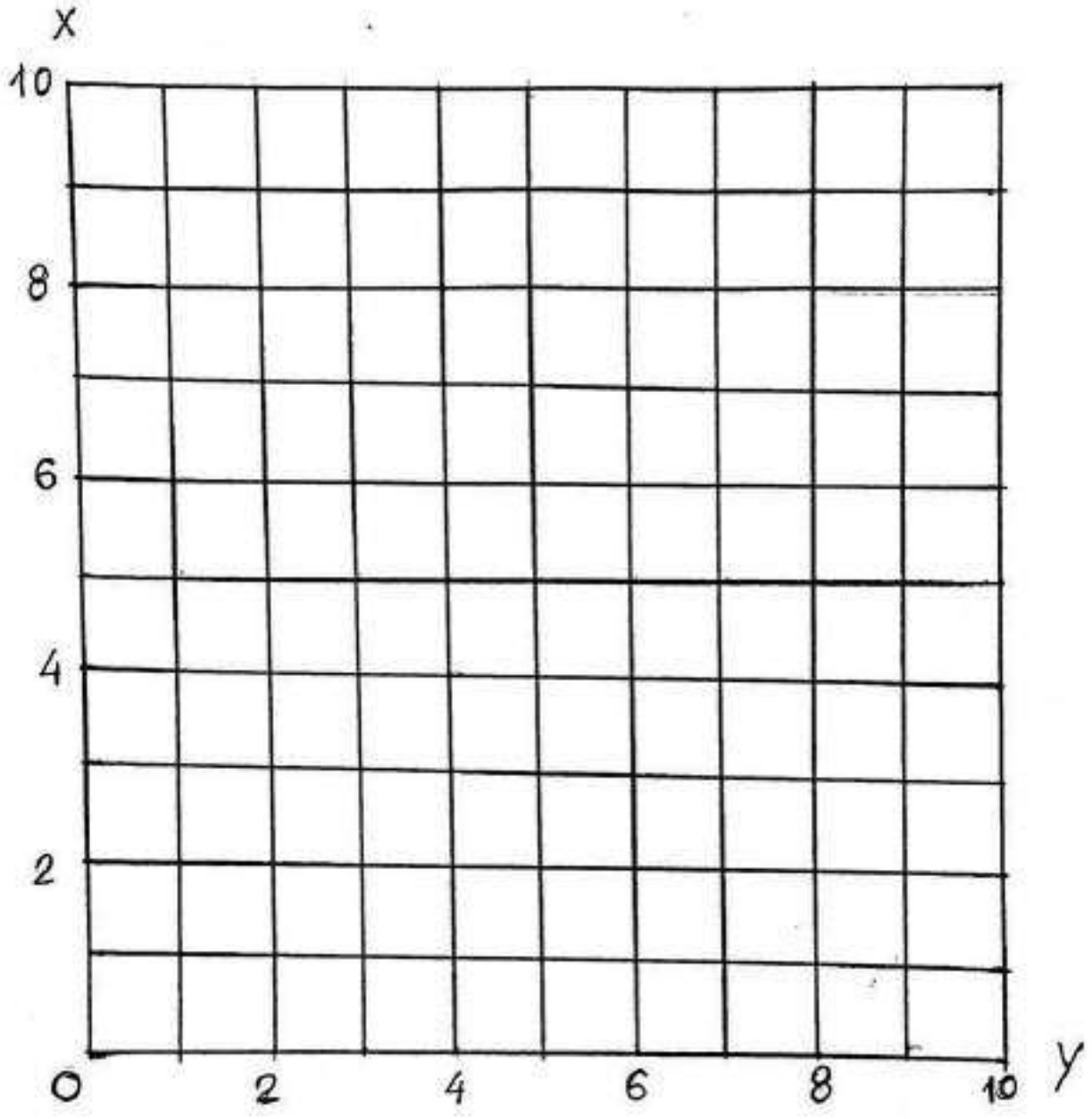


Рис. 1.1. Палетка для построения поверхностей *U*
(15 х 15 см)

Линия ската на плане есть проекция «вектор – градиента».

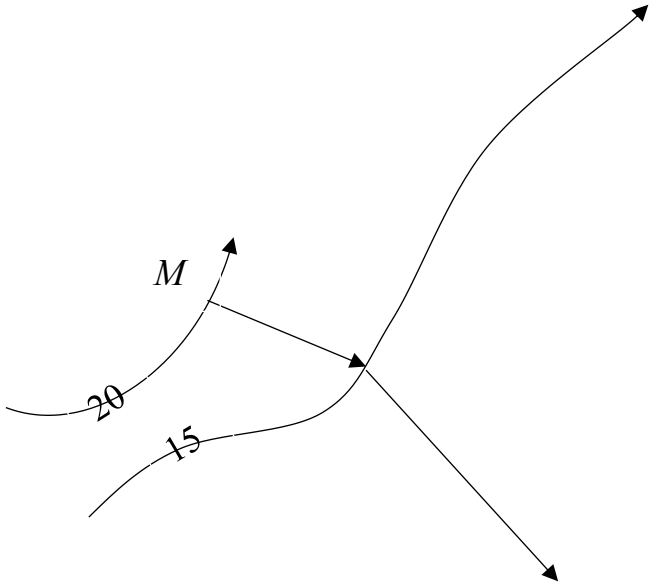


Рис.1.2. Геометрические параметры изолиний

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 ($K_Р$) и коэффициент достоверности разведанной площади ($K_Д$):

$$K_Р = 1 - \frac{l}{2}\frac{P}{S_p}. \qquad (2.1)$$

P – периметр контура «руда – порода», м;

$\frac{l}{2}$ – ширина зоны неопределенности положения контура рудного тела (расстояние между оконтуривающими скважинами), м;

$$K_Д = \frac{S_Д}{S_р}, \qquad (2.2)$$

где $S_Д$, $S_р$ – соответственно достоверная и разведанная площади рудного поля, тыс. м^2.

Коэффициент $K_р$ изменяется от 1 до 0 и может быть отрицательным; Kр ≥ 0,8 соответствует категории подсчета запасов А; $K_р$ = 0,5-0,8 категории В; $K_р$ = 0,2-0,5 – категории C_1; $K_р$ = 0-0,2 – категории C_2 и при $K_р$ < 0 делается заключение абсолютной недостаточности данных разведки.

Коэффициент $K_Д$ изменяется от 1 до 0, и его значения корреспондируются с категориями следующим образом: $K_Д$ ≥ 0,8 – категория А; $K_Д$ = 0,5-0,8 – категория В; $K_Д$ = 0,-05 – категория C_1; $K_Д$ < 0,2 – категория C_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): *A*, *B*, *C*. В каждом варианте рассматривают четыре этапа разведки путем последовательного сгущения сети.

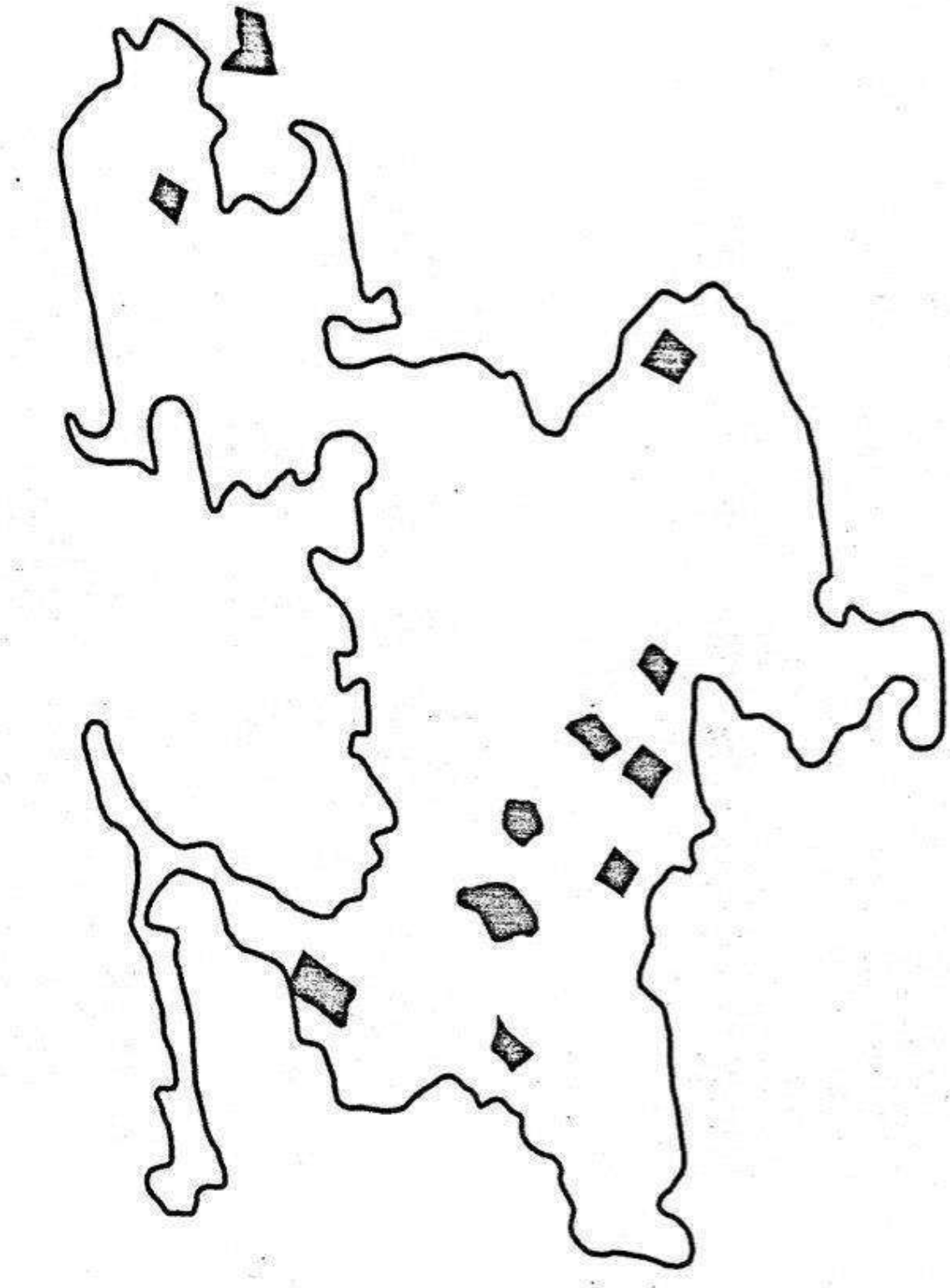


Рис. 2.1. Истинный контур рудного тела

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).

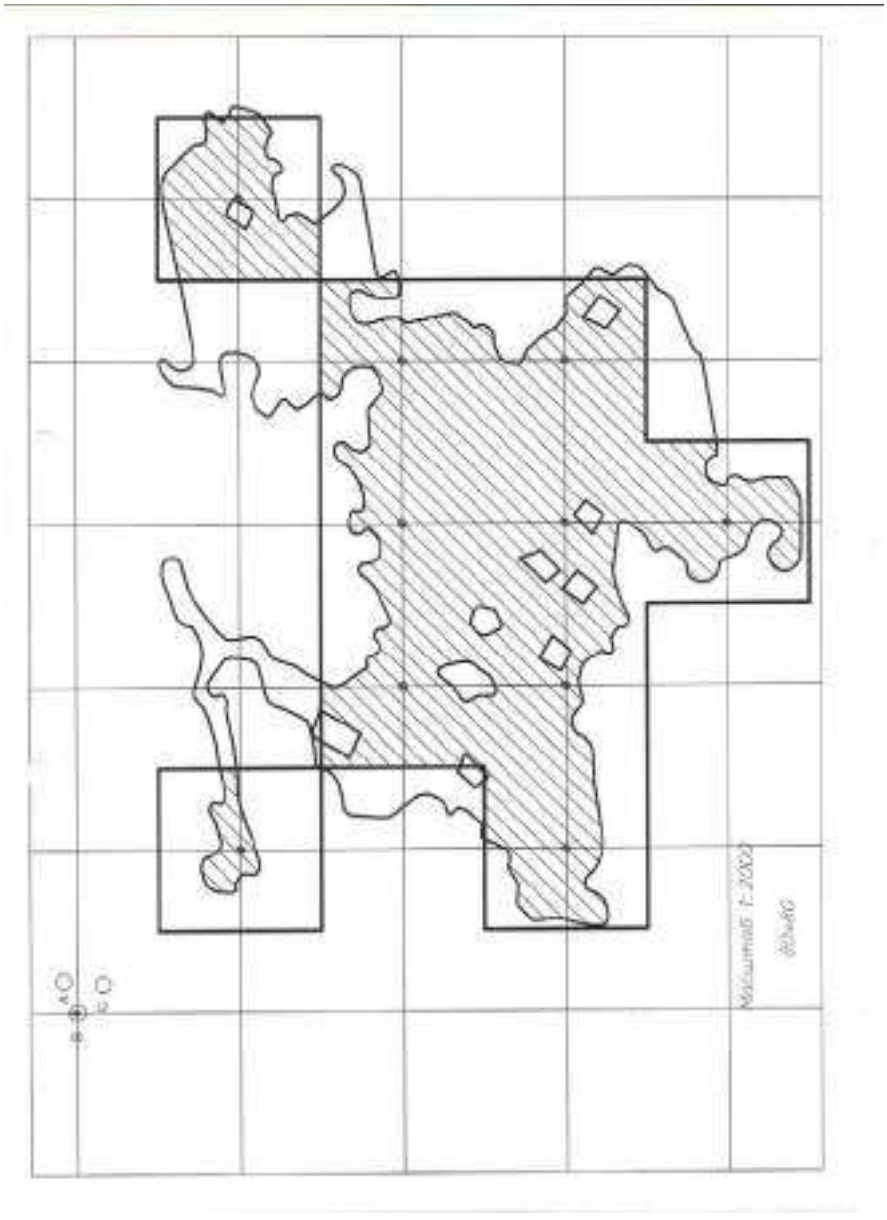


Рис. 2.2. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 80х80 м (привязка к т. А)

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.

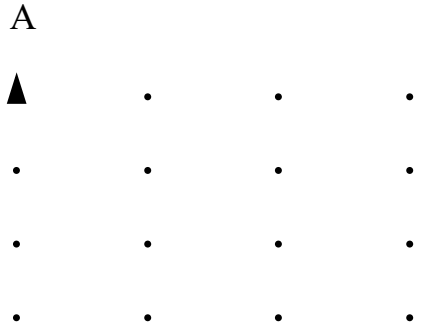


Рис. 2.3. Схема построения разведочной сети

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*						
	80x80 м^2				40x40 м^2	20x20 м^2	10x10 м^2
	$S_Р$, тыс.м^2	S_0, тыс.м^2	Δ $S_Р$, тыс.м^2	M_S, %			
1	2	3	4	5	6-9	10-13	14-17
A							
B							
C							

$$\Delta S_P = S_P - S_0, \qquad M_S = \frac{\Delta S_P}{S_0} 100\ \%. \tag{2.5}$$

$$\overline{M}(S) = \sqrt{\frac{M_S^2(A)+M_S^2(B)+M_S^2(C)}{3}}, \tag{2.6}$$

где S_0 – истинная площадь рудного тела, определяется в М 1:2000 (для всех вариантов S_0 = const).

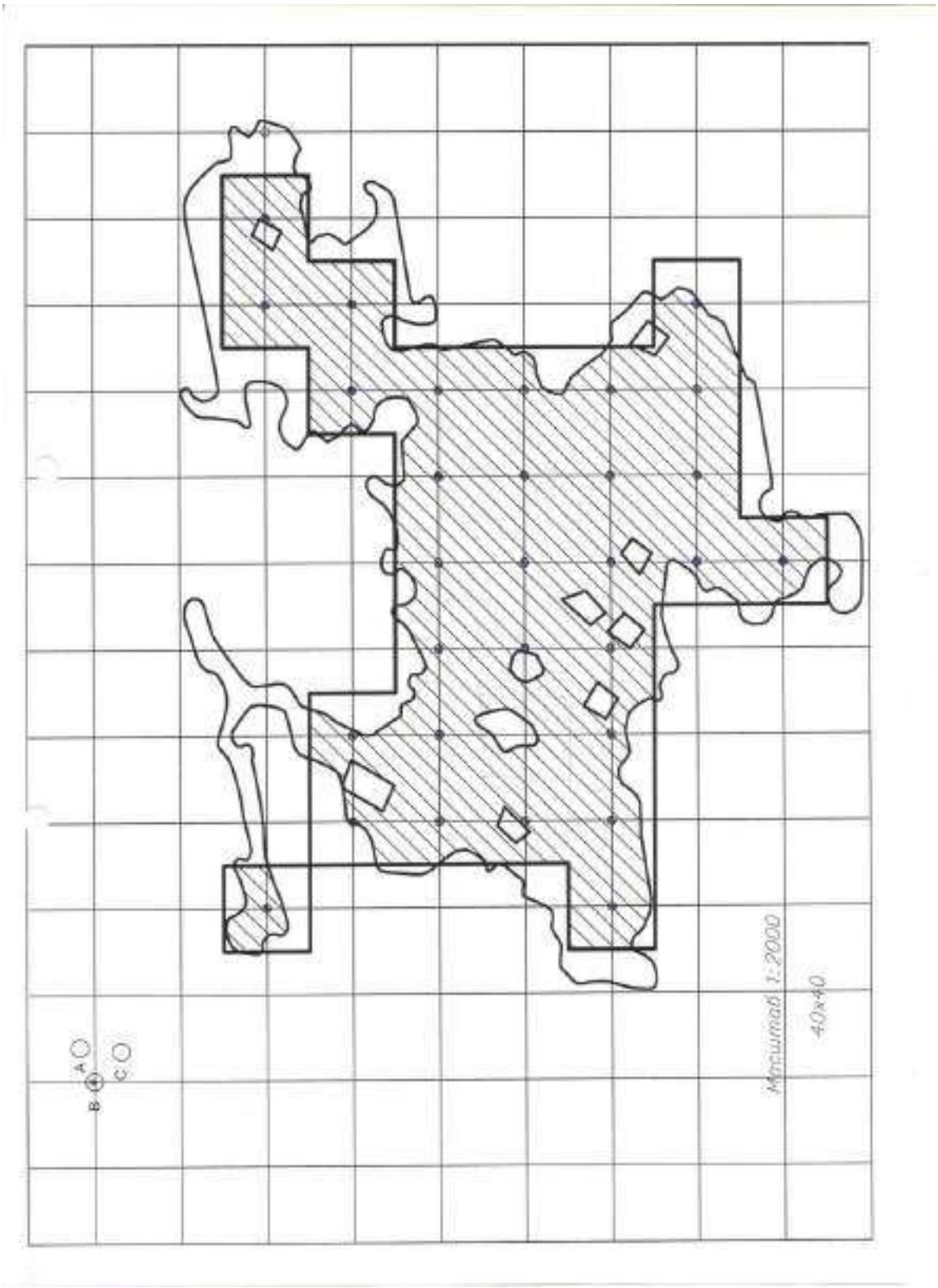


Рис. 2.4. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 40х40 м

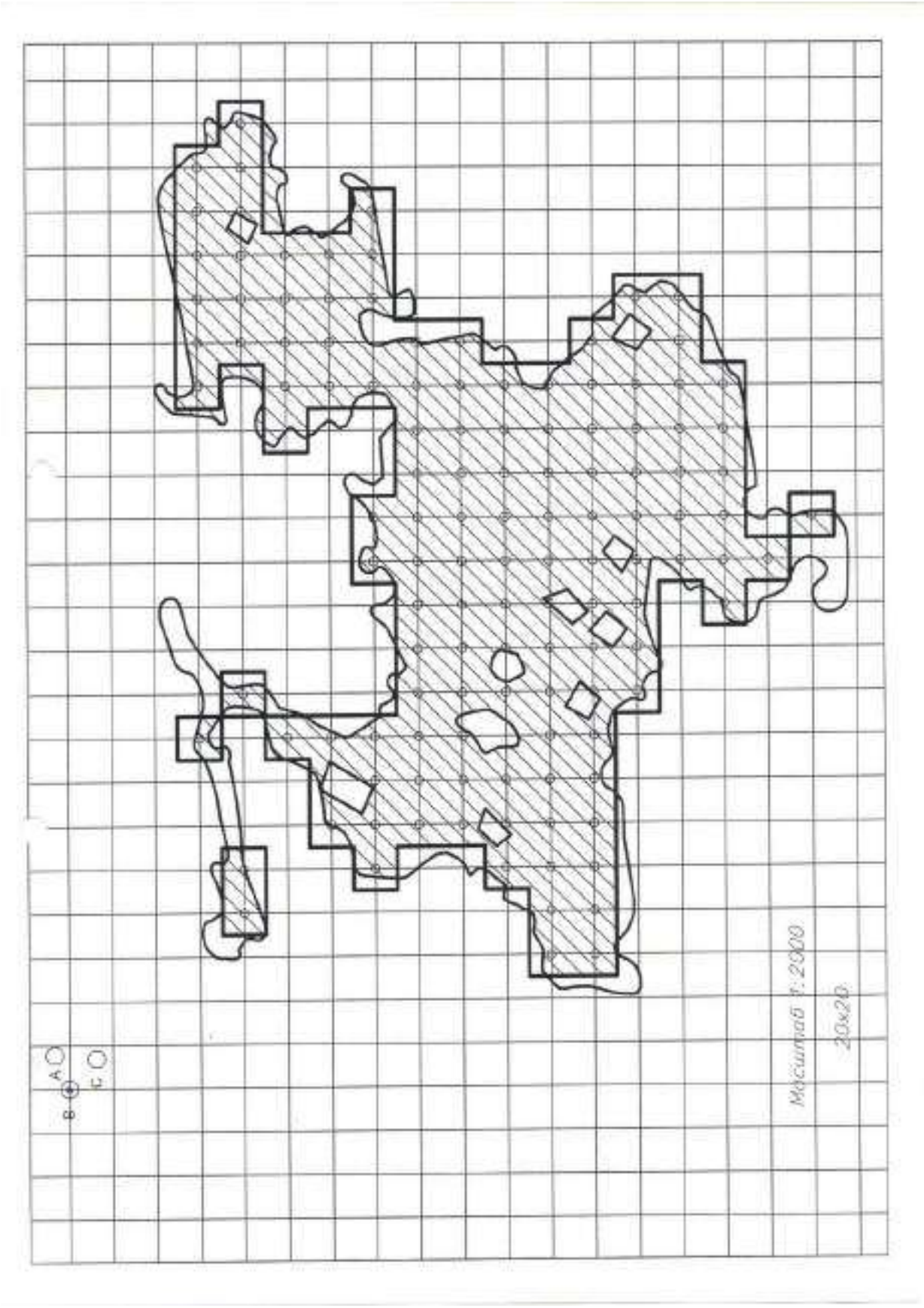


Рис. 2.5. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 20х20 м

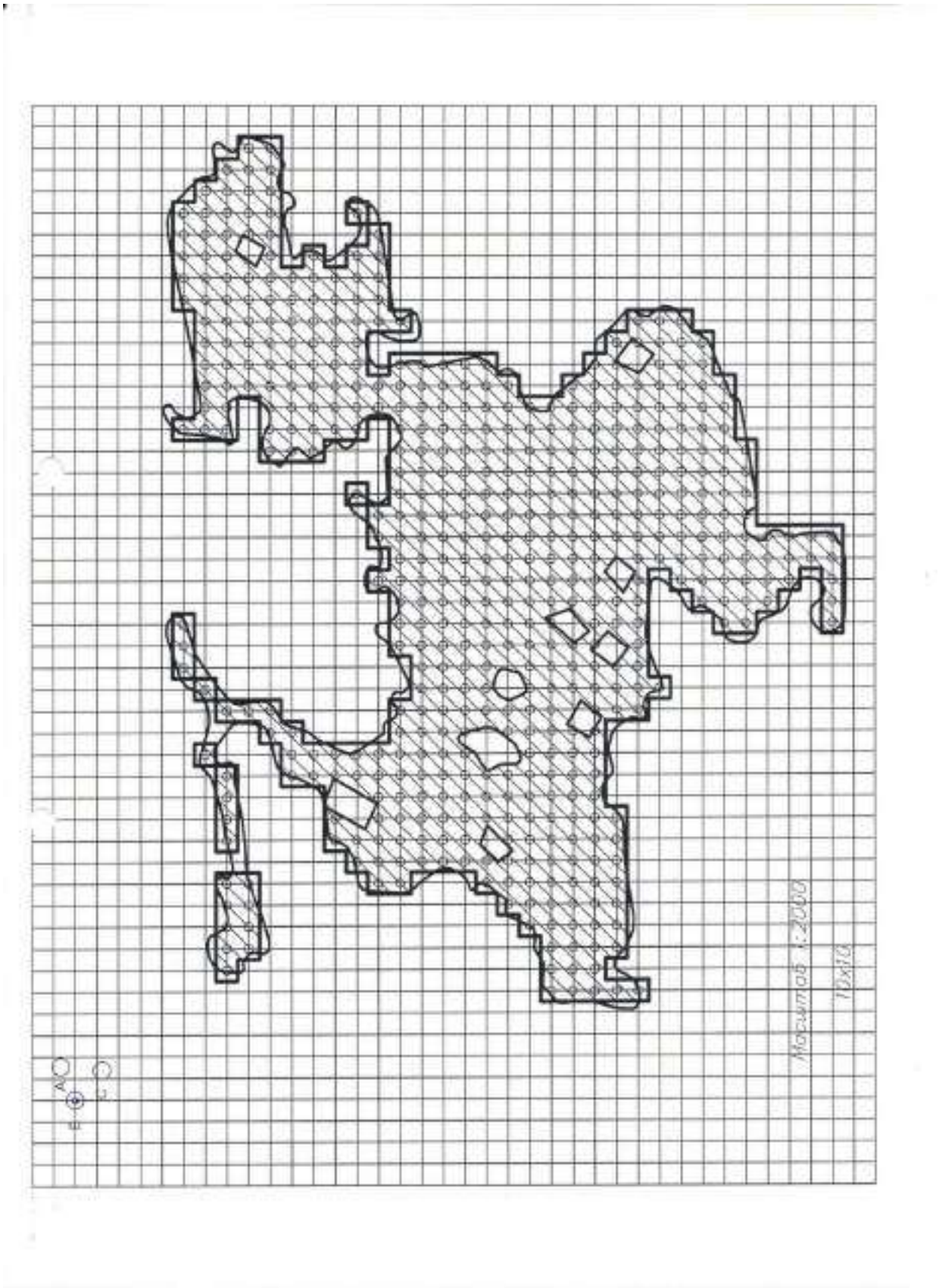


Рис. 2.6. Вариант оконтуривания рудного тела по сетке 10х10 м

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:

$K_P = f(l)$, $K_Д = f(l)$ (рис. 2.7)

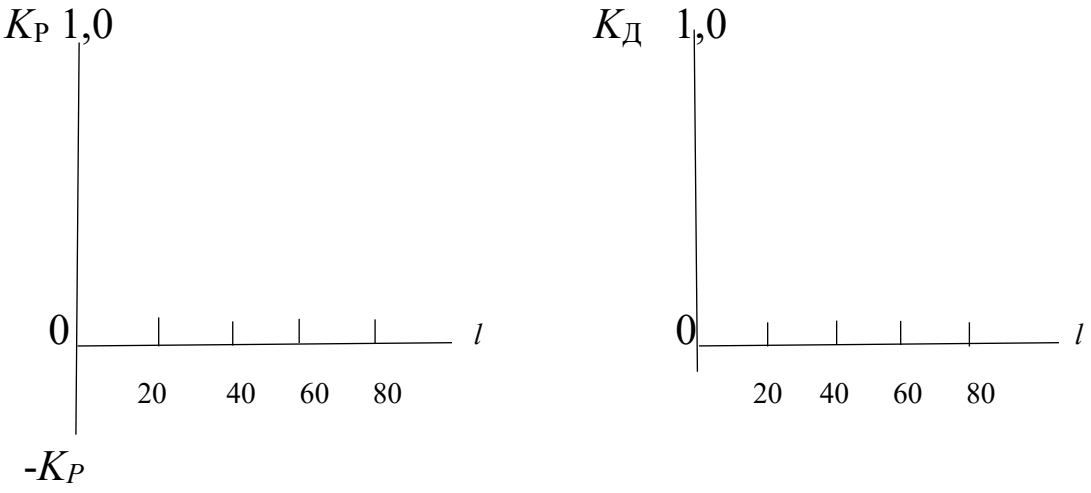


Рис. 2.7. Плотность разведочной сети *X*, м

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).

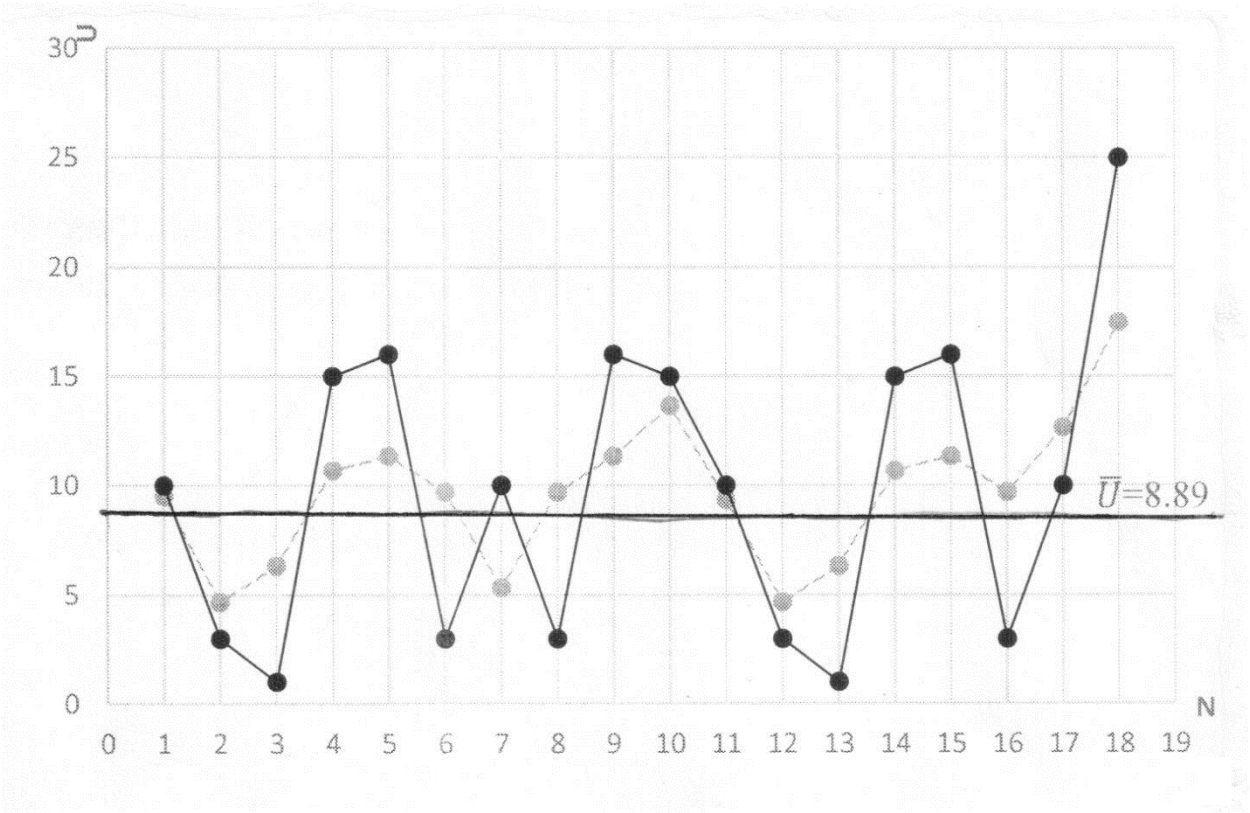


Рис. 3.1. Последовательность изменения показателя U

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 $\overline{U}$. Линия $\overline{U}$ 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;

$C_п$, 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 $K_{\text{П}}$ и $K_{\text{Р}}$.

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 $K_{\text{П}}$ (ф) и $K_{\text{Р}}$ (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	$\text{С}_{\text{П}}$	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*, %	$d\text{С}_\text{п}$, %	*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 $K_\text{П}$ и $K_\text{Р}$ по схеме:

$$X_\text{ф} = X_0 + dx.$$

Таблица 4.5. – Таблица фактических значений исходных параметров расчета $K_\text{П}$ и $K_\text{Р}$:

№	Б, тыс.т	Д, тыс.т	С, %	*a*, %	$d\text{С}_\text{п}$, %	*b*, %	$K_\text{п}$, %	$K_\text{р}$, %
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 $K_\text{п}$ и $K_\text{р}$ рассчитывают по формулам (4.4) и (4.5).

6. Составляется табл. 4.6 сопоставления расчетных и истинных значений $K_\text{п}$ и $K_\text{р}$.

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.	$\overline{K_{\text{п}}}(\Phi)$		m($K_{\text{п}}$)		$\overline{K_{\text{р}}}(\Phi)$		m($K_{\text{р}}$)	

$$\Delta K_{\text{п}} = K_{\text{п}}(\Phi) - K_{\text{п}}(\text{о}), \qquad \Delta K_{\text{р}} = K_{\text{р}}(\Phi) - K_{\text{р}}(\text{о});$$

$$m(K_{\text{п}}) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum \Delta K_{\text{п}}^2}\,, \quad m\left(K_{\text{р}}\right) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum \Delta K_{\text{р}}^2}\;;$$

n – количество расчетных вариантов (в примере n =5).

$$\text{М}(K_{\text{п}}) = \frac{\Delta K_{\text{п}}}{\text{К}_{\text{п}}(\text{о})}\,100\ \%, \qquad \text{М}\left(K_{\text{р}}\right) = \frac{\Delta K_{\text{р}}}{K_{\text{р}}(\text{о})}\,100\ \%;$$

$$\overline{\text{М}}(K_{\text{п}}) = \sqrt{\frac{1}{n}M^2}\,(K_{\text{П}}), \qquad \overline{\text{М}}\left(K_{\text{р}}\right) = \sqrt{\frac{1}{n}M^2}\,(K_P).$$

7. По данным табл. 4.6 строится график зависимости между $\Delta K_{\text{п}}$ и $\Delta K_{\text{р}}$ (рис. 4.1).

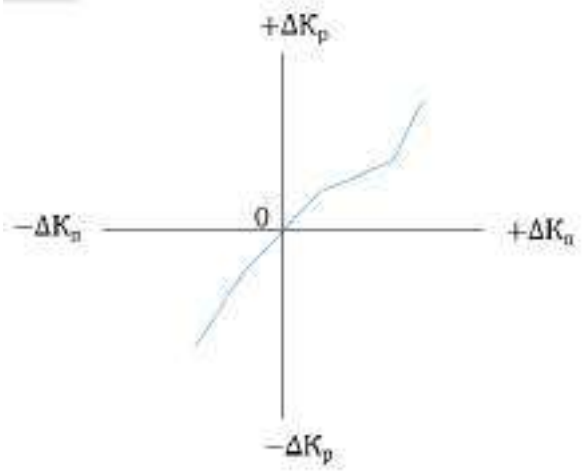


Рис. 4.1. Соотношение между $\Delta K_{\text{п}}$ и $\Delta K_{\text{р}}$

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 $C_{\text{П}}$ 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 $m_{K_{\text{П}}}$ и $m_{K_{\text{Р}}}$ (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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.В.Гальянов

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Учебно-методическое пособие

к самостоятельной работе
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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



Латышев О. Г., Казак О. О.

Учебно-методическое пособие к выполнению контрольных работ по дисциплине для студентов всех специальностей направления подготовки «Горное дело»

Екатеринбург – 2017

Контрольная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы – овладение методикой лабораторного определения деформационных характеристик скальных пород статическим методом применительно к расчетам процессов горного производства.

Определяемые в опыте деформационные характеристики включают: модуль упругости, модуль пластичности, модуль общей деформации, коэффициент Пуассона. По полученным результатам вычисляются модуль сдвига и модуль объемного сжатия. Указанные характеристики определяют устойчивость горных пород и энергоемкость всех процессов связанных с разработкой пород.

Теоретическая основа дается в учебнике [1]:

2.2. Напряжения и деформации в горных породах;

2.3. Упругие свойства горных пород;

2.6. Методы определения упругих свойств горных пород;

2.13. Пластическое деформирование горных пород;

2.14. Пластические свойства горных пород.

Методика эксперимента

1. На испытываемый образец в форме цилиндра (керна) или призмы с параллельными торцами устанавливаются датчики продольной и поперечной деформации (тензодатчики сопротивления или индикаторы часового типа). Измеряют высоту и площадь образца S; определяют базу измерений (в продольном направлении L и поперечном направлении d).

2. Образец устанавливают на прессе и производят его ступенчатое нагружение. Величина предельной нагрузки определяется прочностью горной породы при сжатии или назначается в зависимости от конкретно решаемой задачи.

3. На каждой ступени нагружения фиксируется значение нагрузки P_i, Н (или кгс) и показания парных датчиков продольной и поперечной деформации.

4. После проведения эксперимента вычисляют напряжения на каждой ступени нагружения $\sigma_i = P/S$; усредняют показания пар дат-

чиков и вычисляют относительную продольную $\varepsilon_i = \Delta L/L$ и поперечную $\Delta d_i/d$ деформации.

5. Результаты заносят в таблицу и производят построение графиков продольной и поперечной деформации.

6. По линейным участкам графиков вычисляют модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν; выделяют нелинейный участок графика, характеризующий пластическую деформацию породы, и вычисляют модуль пластичности $E_{пл}$; по полной деформации определяют модуль общей деформации $E_{деф}$.

7. Вычисляют значения модуля сдвига: $G = E/[2(1+\nu)]$ и модуля объемного сжатия $K = E/[3(1-2\nu)]$.

Задание:

1. Вычислить все указанные выше деформационные характеристики горной породы.

2. Определить удельную энергоемкость разрушения данной породы: $A_{уд} = \sigma^2/2E_{деф}$, Дж/м^3, приняв σ равным предельному значению напряжений, полученному в опыте.

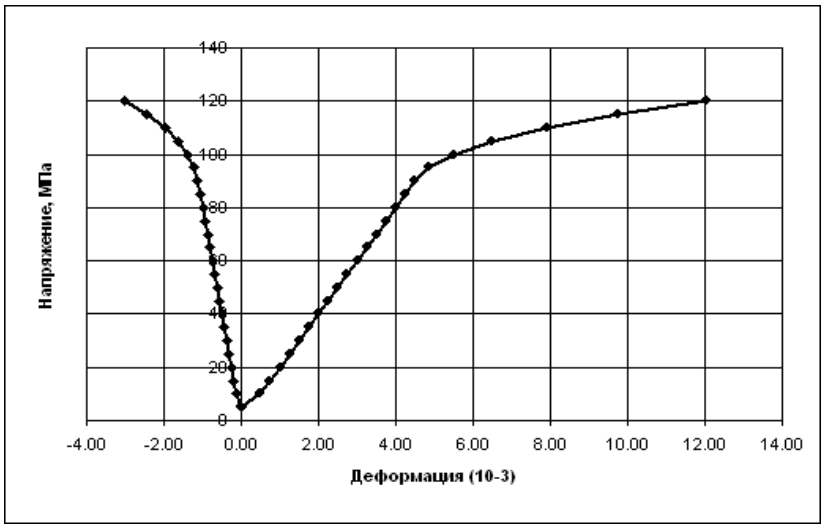
3. Определить удельную энергоемкость разрушения этой же породы в предположении ее идеальной упругости: $A_{уд}^* = \sigma^2/2E$, Дж/м^3.

4. Сравнить результаты и определить потери энергии на пластическое деформирование горной породы: $\Delta A = A_{уд} - A_{уд}^*$; выразить потери в % к $A_{уд}$.

Пример распечатки результатов

Известняк		
Напряжение, МПа	**Деформация (10^{-3})**	
	продольная	**поперечная**
5	0.000	0.000
10	0.500	-0.125
15	0.750	-0.188
20	1.000	-0.250
25	1.250	-0.313
30	1.500	-0.375
35	1.750	-0.438
40	2.000	-0.500
45	2.250	-0.563
50	2.500	-0.625
55	2.750	-0.688
60	3.000	-0.750
65	3.250	-0.813
70	3.500	-0.875
75	3.750	-0.938
80	4.000	-1.000
85	4.250	-1.063
90	4.500	-1.125
95	4.854	-1.213
100	5.503	-1.376
105	6.503	-1.626
110	7.901	-1.975
115	9.738	-2.434
120	12.053	-3.013

***Модуль упругости, ГПа*:**	20.0
Предел упругости, МПа	90.0
Модуль пластичности, ГПа	4.0
Модуль общей деформации, ГПа	10.0
Модуль сдвига, ГПа	8.0
Модуль объемного сжатия, ГПа	13.3
***Коэффициент Пуассона*:**	0.25



Контрольная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Цель работы – овладение методикой экспериментального определения масштабного эффекта в горных породах применительно к расчетам процессов горного производства.

Масштабным эффектом называется снижение прочности горных пород при увеличении их объема. Поскольку прочность пород определяется в лабораторных экспериментах на образцах заведомо малого размера, а реальные процессы охватывают значительные объемы породного массива, то учет масштабного эффекта необходим для введения соответствующих поправок в расчетные формулы технологии горного производства.

Теоретическая основа

[1] – разделы: 2.10; 5.5; 5.9;

[2] – Лабораторная работа «Построение паспорта прочности горных пород».

Методика эксперимента

1. В соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе производится определение прочности при сжатии и обработка результатов для кубических образцов двух типоразмеров со стороной 2 и 5 см.

2. Найти показатель масштабного эффекта *n*.

3. Записать уравнение масштабного эффекта и построить его график при изменении объема пород от 1 до 20 м^3.

Задание:

1. При проходке выработки площадью поперечного сечения 10 м^2 с помощью буровзрывных работ глубина отбойки породы (уходка за цикл) составляет 2,0 м. С учетом масштабного эффекта определить прочность данного объема исследованной Вами породы.

2. Оценить требуемое количество взрывчатого вещества (ВВ) на 1 м^3 разрушаемой породы (удельный расход ВВ) по формуле:

$$q = 0{,}015\ \sigma_{сж}[\text{МПа}],\ \text{кг/м}^3.$$

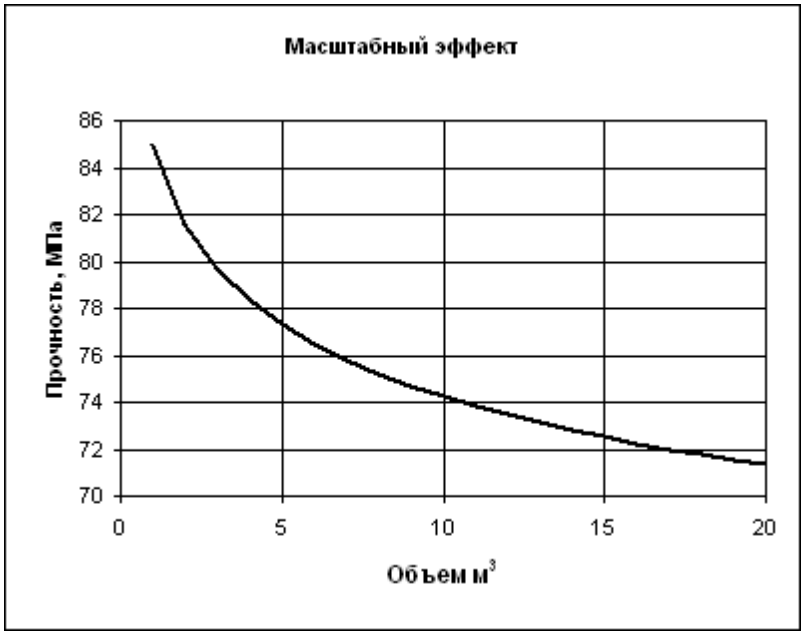
Пример распечатки результатов

ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ГОРНЫХ ПОРОД

Студент:	***Иванов И. И.***

Задание №5

Куб со стороной 2 см			**Куб со стороной 5 см**		
Площадь, $см^2$	Нагрузка, тс	Прочность, МПа	Площадь, $см^2$	Нагрузка, тс	Прочность, МПа
4	3.81	95.2	25	18.43	73.7
4	3.16	79.1	25	13.57	54.3
4	2.91	72.8	25	16.31	65.2
4	4.09	102.3	25	18.88	75.5
4	3.20	80.1	25	14.00	56.0
4	3.14	78.4	25	20.09	80.4
4	3.57	89.4	25	20.14	80.6
4	3.73	93.1	25	19.00	76.0
4	3.34	83.5	25	18.63	74.5
4	3.05	76.3	25	18.31	73.2
Среднее		85	**Среднее**		71



Контрольная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОЙ СТРУКТУРЫ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ

Цель работы – отработка методов исследования и анализа трещинной структуры породных массивов применительно к оценке их прочности и устойчивости.

Трещины разбивают породный массив на отдельные блоки, образующие его иерархическую структуру. Поэтому для проектировании процессов разработки месторождений и определения устойчивости горных выработок особенности трещинной структуры массива нуждаются в количественной оценке.

Теоретическая основа

[1] – раздел 6.1.

Методика эксперимента

1. На обнажении пород (стенках или забое выработки) очерчивается площадка 1 м^2, отмывается от осевшей пыли и производится электронная фотография со вспышкой.

2. При наличии заполненных трещин из них отбираются для последующего анализа пробы материала заполнителя.

3. По полученной фотографии все трещины разбиваются на классы по размерам (желательно в логарифмическом масштабе).

4. Путем накладывания палетки соответствующих размеров ячейки подсчитывается число трещин каждого класса.

5. По полученным данным определяют сводные характеристики трещиноватости массива: концентрацию трещин, их суммарную и удельную поверхность, степень нарушенности и дисперсность.

Задание:

1. По данным задания составить расчетную таблицу и определить выше указанные параметры трещиноватости породного массива.

2. Построить гистограмму распределения трещин по размерам.

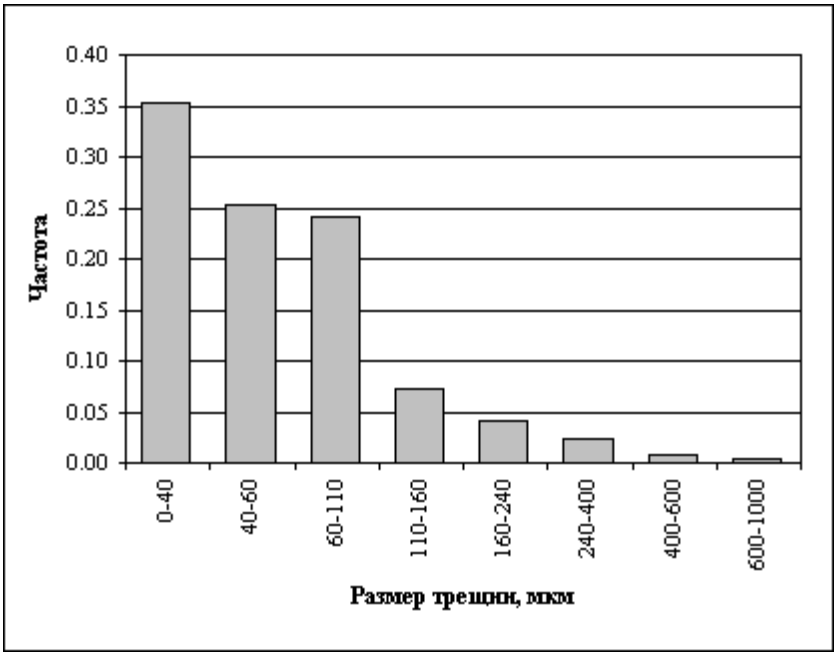
3. Выполнить анализ результатов.

Пример распечатки результатов

Исследование трещинной структуры породных массивов

Студент ***Задание №***

Интервал трещиноватости, мм	Середина интервала, мм	Число трещин	Частота n_i	*mi/li*	*2mi*li*	*mi*li*	*mi*li²*
0-40	20	97	0.444	22.2062	0.0178	0.0089	0.0002
40-60	50	53	0.243	4.8675	0.0243	0.0122	0.0006
60-110	85	44	0.202	2.3752	0.0343	0.0172	0.0015
110-160	135	12	0.056	0.4117	0.0150	0.0075	0.0010
160-240	200	7	0.030	0.1506	0.0120	0.0060	0.0012
240-400	270	4	0.017	0.0611	0.0089	0.0045	0.0012
400-600	500	1	0.005	0.0109	0.0055	0.0027	0.0014
600-1000	800	1	0.003	0.0037	0.0047	0.0024	0.0019
Сумма:		218	1.0000	30.0869	0.1226	0.0613	0.0089



Порядок выполнения и оформления контрольной работы

1. Производят все указанные в задании вычисления характеристик горных пород.

2. В соответствии с заданием определяют параметры элементов горной технологии по полученным характеристикам горной породы.

3. Оформляют и защищают контрольную работу.

Контрольная работа должна состоять из титульного листа с указанием ее названия, автора и руководителя; краткой теории вопроса; сводки результатов и выводов.

При выполнении графических построений и таблиц на компьютере приводятся их распечатки.

Все расчеты оформляются в виде формулы в общем виде, ее числовое выражение и полученный результат с указанием размерности.

Рекомендуемая литература

1. Латышев О. Г., Казак О. О. Физика горных пород: Учебник для вузов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 277 с.

2. Латышев О. Г., Азанов М. А., Анохина О. О. Физика горных пород: Учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. -65 с.

3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород: Учебник. –М.: Кн. дом «ЛИБЕРКОМ», 2010. – 360 с.

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

Латышев О. Г., Казак О. О.

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
1. Методические указания к организации самостоятельной работы студента 6
2. Содержание курса. Контрольные вопросы и упражнения 7
3. Контрольные работы 25
3.1. Контрольная работа №1. Определение деформационных характеристик горных пород 25
3.2. Контрольная работа №2. Определение масштабного эффекта в горных породах 28
3.3.Контрольная работа №3. Исследование трещинной структуры породных массивов 30
4. Контрольные вопросы и упражнения (для студентов заочного обучения) 32
Рекомендуемая литература 39

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 180 часов или 5 зачетных единиц. Из них 116 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Физика горных пород» обязательная самостоятельная работа студента осуществляется в следующих направлениях – освоение материалов по отдельным темам, входящим в Рабочую учебную программу дисциплины; подготовка, оформление, защита плановых лабораторных работ; подготоквка и защита контрольных работ. Дополнительная самостоятельная работа связана с углубленным изучением отдельных разделов курса на основе научно-исследовательской работы студента (НИРС). Организация работы студентов при подготовке лабораторных и научных исследований отражена в пособии [2]. Данное учебно-методическое пособие предназначено для организации второй части самостоятельной работы студентов – освоения отдельных тем дисциплины и выполнение контрольных работ. В последней части пособия сформулированы контрольные вопросы и упражнения предназначенные для выполнения контрольной работы студентов заочной формы обучения.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Физика горных пород». Она содержит названия 45 основных тем с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов в экзаменационном билете. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Причем в экзаменационный билет может включаться один из вопросов по такой теме. 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 шахтного строительства имеется тестовая обучающая программа и мультимедийные средства обучения [3]. 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 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. 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. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

Тема №1. Горные породы как объект разработки

Структура и текстура пород, их минеральный состав. Неоднородность состава и строения горных пород. Оценка изменчивости свойств пород. Типы горных массивов. (§ 1.1, С. 6-10).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как связаны состав и строение горных пород с их генезисом?
2. Что понимается под структурой и текстурой горных пород, и какие их типы можно выделить для горных пород?
3. Чем обусловлена изменчивость свойств горных пород?
4. Опишите статистические характеристики изменчивости свойств горных пород.

Тема №2. Классификация физических свойств горных пород

Физические поля, действующие на горные породы. Классы и группы свойств горных пород. (§ 1.2, С. 10-12).

Дополнительная литература: [4].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные виды энергии, используемые при разработке горных пород.
2. Укажите классы физических свойств горных пород.
3. Какие группы характеристик включает класс механических свойств горных пород?

Тема №3. Силы связи и внутренняя структура горных пород

Кристаллическая решетка и анизотропия свойств горных пород. Ионные, атомные (ковалентные), металлические и молекулярные кристаллы. Взаимодействие между минеральными зернами. (§ 1.3, 1.4, С. 12-20).

Дополнительная литература: [4, 6].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимают под анизотропией свойств горных пород?
2. Почему анизотропия свойств присуща любому типу кристаллов?
3. Какие силы удерживают частицы в узлах решетки ионного кристалла?
4. Поясните схему обменного взаимодействия атомов в ковалентном кристалле.
5. Чем обусловлено взаимодействие частиц в металлических и молекулярных кристаллах?
6. Охарактеризуйте типы взаимодействий между минеральными зернами, слагающими горную породу.

Тема №4. Дефекты кристаллической структуры

Тепловые колебания как дефекты структуры, флуктуация энергии. Точечные дефекты (вакансии, атомы внедрения), их образование и движение под действием нагрузки. Линейные дефекты – дислокации (краевая и винтовая), движение и размножение дислокаций. Поверхностные и объемные дефекты.

(§ 1.5, С. 20-24).

Дополнительная литература: [4, 6].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Почему тепловые колебания атомов вносят искажения в кристаллическую решетку кристаллов?
2. Что понимают по термической флуктуацией энергии?
3. Как образуются вакансии и атомы внедрения в кристаллах?
4. Что представляет собой краевая и винтовая дислокации?
5. Как реагируют точечные и линейные дефекты на приложение к горной породе внешней механической нагрузки?
6. Что понимают под поверхностными и объемными дефектами горных пород?

Тема №5. Плотностные свойства горных пород

Объемная масса и объемный вес. Удельная масса (плотность) и удельный вес. Пористость, виды пористости (общая, открытая, эффективная). Трещиноватость горных пород и ее характеристики. Методы определения плотностных свойств горных пород (§ 2.1, С. 24-27).

Дополнительная литература: [4, 9].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Дайте определения объемной и удельной массы горных пород.
2. Чем отличаются объемная масса и объемный вес горных пород?
3. Назовите и охарактеризуйте основные виды пористости горных пород.
4. Охарактеризуйте методы определения плотностных свойств горных пород.
5. Какими показателями может оцениваться трещиноватость горных пород?

Задачи: 1, 2, 11.

Тема №6. Напряжения и деформации в горных породах

Разложение сил в произвольной площадке (схема) – нормальные и касательные напряжения, их размерность. Зависимость величины напряжений от угла наклона площадки (аналитическое выражение и круг напряжений Мора). Деформации пород от действия нормальных и касательных напряжений. Графики упругой, пластичной и упруго-пластичной деформации. (§ 2.2, С. 27-30).

Дополнительная литература: [4, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Изобразите схему разложения сил в произвольной площадке элементарного объема горной породы.

2. Что понимается под нормальными и касательными напряжениями? Укажите их размерность.

3. Выведите аналитические зависимости величины нормальных и касательных напряжений от угла наклона произвольной площадки.

4. Изобразите и поясните смысл круга напряжений Мора для одноосного напряженного состояния горной породы.

5. Какие по величине нормальные и касательные напряжения действуют в площадках под углом 0^o, 45^o и 90^o к линии действия нагрузки? Покажите эти характерные точки на круге напряжений Мора.

6. Что понимается под продольной, поперечной (абсолютной и относительной) и угловой (сдвиговой) деформацией?

7. Изобразите графики упругой, пластической, упруго-пластической деформации. Охарактеризуйте их основные особенности.

Задачи: 3, 4.

Тема №7. Упругие свойства горных пород

Работа деформирования горных пород и ее графическая интерпретация. Модули упругости, сдвига и объемного сжатия. Коэффициент Пуассона. (§ 2.3, С. 30-33).

Дополнительная литература: [4. 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Выведите формулы работы упругой деформации. Дайте их интерпретацию на графике упругой деформации горных пород.

2. Запишите закон Гука для нормальных и касательных напряжений. Укажите выражения для модуля упругости (Юнга) и модуля сдвига.

3. Что понимается под модулем объемного сжатия? Укажите размерность модулей.

4. Что выражает коэффициент Пуассона горной породы?

Задачи: 6, 7, 8, 37.

Тема №8. Распространение упругих колебаний в горных породах

Классификация упругих колебаний по частоте. Продольные волны и их характеристики (деформации среды, направление колебания атомов). Условия массива и стержня. Поперечные волны и их характеристики (деформации среды, направление колебания атомов). (§ 2.4, С. 33-36).

Дополнительная литература: [4, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Дайте классификацию упругих колебаний по частоте и укажите, – по какому принципу она сформирована.

2. Как деформируется горная порода при распространении по ней продольных упругих волн?

3. Чем отличается распространение продольной волны в массиве и стержне?

4. Как деформируется горная порода при распространении по ней поперечных упругих волн?

Задачи: 18, 32, 45, 57.

Тема №9. Акустические свойства горных пород

Скорость и характеристики распространения продольных волн. Скорость и характеристики распространения поперечных волн. Акустическое сопротивление. Физика затухания упругих волн, коэффициент и логарифмический декремент затухания. (§ 2.5, С. 36-39).

Дополнительная литература: [4, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите закономерности распространения продольных и поперечных упругих волн.

2. Дайте выражение акустического сопротивления (жесткости) горных пород. Укажите ее размерность.

3. В чем проявляется затухание упругих волн и какова физика этого процесса?

4. Выведите формулу коэффициента затухания амплитуды волны с расстоянием.

5. Дайте выражение логарифмического декремента затухания волны.

Задачи: 36, 53, 54.

Тема №10. Методы определения упругих свойств горных пород

Схема измерений при реализации статического метода. График деформаций и определение модуля упругости, коэффициента Пуассона, модуля сдвига и модуля объемного сжатия. Сущность динамического метода и варианты его реализации – измерение $C_м$ и $C_{ст}$ (два варианта), измерение $C_м$ и C_s, достоинства и недостатки способов. (§ 2.6, С. 39-44).

Дополнительная литература: [4, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите процедуру измерения упругих свойств горных пород статическим методом. Укажите достоинства и недостатки данного метода.

2. Укажите существо динамического метода определения упругих свойств горных пород.

3. Как обеспечить условия массива и стержня при измерении в горной породе скорости продольной волны? Какой вариант предпочтительней?

4. Укажите существо и преимущества способа определения упругих свойств пород путем измерения в них скорости продольной и поперечной волны в массиве.

Задачи: 23, 27, 56.

Тема №11. Прочность горных пород. Критерии прочности

Понятие прочности, ее виды и размерность. Общая модель критериев прочности. Технические критерии прочности: наибольших нормальных напряжений; наибольших удлинений; наибольших касательных напряжений; энергетический критерий. Общее положение критерия Мора. (§ 2.7, С. 44-46).

***Дополнительная литература*:** [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что называется прочностью горной породы? Укажите виды прочности и их размерность.
2. Поясните смысл модели технических критериев прочности.
3. Укажите смысл и математическое выражение каждого из технических критериев прочности.

Тема №12. Теория прочности Мора

Построение и использование круга напряжений для объемного сжатия. Типичные круги предельных напряжений и их огибающая. Физический смысл огибающей кругов напряжений Мора, следствия теории прочности Мора. (§ 2.8, С. 46-48).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Охарактеризуйте теорию Мора на примере построения и использования круга напряжений для объемного сжатия.
2. Произведите построение предельных кругов напряжений при объемном и одноосном растяжении, растяжении со сжатием, одноосном и всестороннем сжатии. Поясните их расположение на графике.
3. Что характеризует огибающая предельных кругов напряжений?
4. Какими напряжениями (в соответствии с теорией прочности Мора) обусловлено разрушение горной породы?

Задачи: 34.

Тема №13. Паспорт прочности горных пород

Процедура построения паспорта прочности. Физический смысл и уравнение линейной огибающей. Сцепление и угол внутреннего трения, их физический смысл. (§ 2.9, С. 48-53).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите процедуру построения паспорта прочности горных пород.
2. Запишите уравнение линейной огибающей предельных кругов напряжений. Укажите физический смысл этой огибающей.
3. Что называется сцеплением горной породы?
4. Что характеризует угол внутреннего трения горной породы?
5. Как оценить предельные значения угла и коэффициента внутреннего трения горных пород?

Задачи: 38, 39, 42.

Тема №14. Теория хрупкого разрушения (теория трещин Гриффитса)

Модель Гриффитса – растяжение пластины с трещиной. Механизм освобождений упругой энергии при возникновении трещины. Трещинодвижущая сила. Сопротивление росту трещины. Формирование критерия прочности Гриффитса, понятие критической трещины. (§ 2.11, С. 57-61)

Дополнительная литература: [5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Поясните механизм разрушения на примере растяжения пластины с трещиной.

2. Дайте вывод формулы упругой энергии, освобождающейся при росте трещины.

3. Что называется трещинодвижущей силой?

4. Что понимается под сопротивлением росту трещины?

4. Что характеризует удельная поверхностная энергия горной породы?

5. Запишите уравнение критерия прочности Гриффитса и поясните его смысл.

Тема №15. Кинетическая концепция прочности

Понятие и уравнение долговечности тела. Уравнение флуктуации тепловой энергии. Энергия активации процесса разрушения и ее смысл. Стадии разрушения тел в соответствии с кинетической концепцией прочности. (§ 2.12, С. 61-64)

Дополнительная литература: [5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Запишите и дайте физическую интерпретацию уравнению долговечности тела.

2. Опишите механизм разрушения горных пород с позиций кинетической концепции прочности.

3. Что называется активационным объемом и как его величина связана с коэффициентом перенапряжений?

4. Как соотносится кинетическая концепция прочности с теорией трещин Гриффитса?

Тема №16. Пластическое деформирование и пластические свойства горных пород

Механизмы межзеренного и внутризеренного скольжения. Модули упругости, пластичности и общей деформации, их графическая интерпретация. Коэффициенты пластичности и хрупкости как соотношение работ деформирования горной породы, их графическая интерпретация. (§ 2.13, 2.14, С. 64-69).

Дополнительная литература: [4, 5, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите механизм межзеренного скольжения как основного механизма пластической деформации горных пород.

2. Чем определяется внутризеренное скольжение при пластической деформации кристаллических горных пород?

3. Что называется пределом упругости горных пород?

4. Постройте график деформации упруго-пластичной горной породы и дайте геометрическую интерпретацию модулям упругости, пластичности и общей деформации.

5. Что характеризуют коэффициенты пластичности и хрупкости? Поясните их сущность на графике деформации горных пород.

Задачи: 21, 40, 41, 43, 49, 50, 60.

Тема №17. Ползучесть горных пород

Механическая модель ползучести. Графики затухающей и незатухающей ползучести, их интерпретация. Механизмы ползучести (диффузионно-вязкое течение, движение дислокаций, межзеренное скольжение). Вывод основного уравнения реологии и его применимость к описанию ползучести, оценка затухающей ползучести. (§ 2.15, С. 69-72).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите явление ползучести горных пород с помощью механической модели Максвелла.

2. Постройте типичные графики затухающей и незатухающей ползучести горных пород. Опишите характерные этапы ползучести.

3. Охарактеризуйте механизмы ползучести горных пород. Более детально проясните механизм межзеренного скольжения.

4. Выведите основное реологическое уравнение для модели Максвелла. Укажите, какой вид ползучести оно описывает.

Тема №18. Релаксация напряжений и длительная прочность горных пород

Понятие релаксации напряжений и ее модель, физика явления (механизмы ползучести). Уравнение релаксации напряжений, период релаксации и его смысл. Понятие длительной прочности. Связь длительной прочности с ползучестью пород и метод оценки величины длительной прочности. (§ 2.15, С. 72-74).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под релаксацией напряжений и каков ее механизм?

2. Напишите уравнение релаксации напряжений и поясните смысл периода релаксации.

3. Что называется длительной прочностью горных пород?

4. Постройте график снижения прочности горных пород во времени и поясните, за счет чего происходит это снижение.

5. Как производится экспериментальное определение величины длительной прочности. Поясните на графиках ползучести горных пород.

Задачи: 12, 33.

Тема №19. Статические и динамические характеристики горных пород

Предельные случаи деформирования горных пород. Явление упругого последействия. Влияние дефектов структуры. Влияние релаксации напряжений на прочность и упругость пород. (§ 2.17, С. 81-83).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как реагирует горная порода на ее деформирование?
2. Изобразите и прокомментируйте графики изменения деформации горных пород при статическом и динамическом нагружении.
3. Как влияют дефекты структуры на прочность и упругость пород при различной скорости ее нагружения?
4. Какова роль релаксации напряжений при статическом нагружении горной породы (покажите на графике).

Тема №20. Развитие исследований по механике горных пород

Первый этап – критерии, рассматривающие горную породу как бесструктурную модель. Второй этап – теории хрупкого разрушения при наличии трещин. Третий этап – теории прочности с учетом термических флуктуаций энергии. Недостатки существующих теорий, требования к разработке обобщенной теории прочности. (§ 2.18, С. 83-92).

Дополнительная литература: [5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Какой принцип положен в основу формирования технических критериев прочности?
2. Опишите существо теории прочности Мора и диаграммы Двиденкова-Фридмана.
3. Укажите основные черты теорий хрупкого разрушения трещиноватых пород.
4. Какова роль термических флуктуаций энергии в формировании прочности горных пород?
5. Охарактеризуйте основные требования к созданию обобщенной теории прочности.

Тема №21. Тепловые свойства горных пород

Удельная и объемная теплоемкость, ее зависимость от температуры. Тепло- и температуропроводность горных пород. Тепловое расширение пород (линейное и объемное). Термические напряжения в горных породах. (Гл. 3, С. 92-102).

Дополнительная литература: [4].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Дайте выражение и размерности удельной и объемной теплоемкости.
2. Постройте график зависимости теплоемкости от температуры горных пород. Дайте интерпретацию графика.

3. Дайте формулы и размерность теплопроводности и температуропроводности горных пород.

4. Опишите фононный (решеточный) механизм распространения тепла в горных породах. Поясните, какие факторы определяют изменение теплопроводности с нагревом горных пород.

5. Что называется коэффициентом теплового линейного и объемного расширения?

6. Чем определяются и как выражаются термические напряжения в горных породах?

Задачи: 9, 46, 47, 51, 52, 55.

Тема №22. Электропроводность горных пород

Электропроводность и электрическое сопротивление горных пород. Механизм электропроводности горных пород: проводников, полупроводников и диэлектриков. Влияние температуры на электропроводность данных типов пород. Методы измерения электрического сопротивления горных пород. (§ 4.1, С. 102-106).

Дополнительная литература: [4, 10].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Напишите формулу удельного электрического сопротивления горных пород.

2. Укажите механизм электропроводности проводников и ее зависимость от температуры горных пород.

3. Чем обусловлена электропроводность полупроводников и как она изменяется при нагреве горных пород?

4. Чем определяется электропроводность горных пород – диэлектриков и как она зависит от температуры?

5. Опишите процедуру измерения электрического сопротивления горных пород, используя схему опыта.

Тема №23. Диэлектрическая проницаемость и поляризация горных пород

Закон Кулона, диэлектрическая проницаемость и ее физический смысл. Понятие и механизмы поляризации (электронная, ионная, дипольная, макроструктурная, электрохимическая). (§ 4.2, С. 106-109).

Дополнительная литература: [4].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что характеризует относительная диэлектрическая проницаемость горных пород и как она связана с силой взаимодействия зарядов (закон Кулона)?

2. Что понимается под поляризацией горной породы?

3. Опишите механизмы электронной, ионной и дипольной поляризации горных пород.

4. Как происходит (специфичная для горных пород) макроструктурная и электрохимическая поляризация?

Тема №24. Диэлектрические потери в горных породах

Зависимость поляризации от частоты электрического поля. Физика диэлектрических потерь. Эквивалентная схема горной породы и ее векторная диаграмма. Тангенс угла диэлектрических потерь и вывод уравнения удельной мощности диэлектрических потерь. (§ 4.3, С. 109-114).

Дополнительная литература: [4].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что называется и чем обусловлены диэлектрические потери в горных породах?

2. С помощью эквивалентной схемы горной породы поясните смысл тангенса угла диэлектрических потерь.

3. Выведите формулу удельного количества теплоты, выделяемой в горной породе за счет диэлектрических потерь.

4. Опишите схему измерения диэлектрических характеристик горных пород.

Задачи: 24, 25.

Тема №25. Магнитные свойства горных пород

Магнитная проницаемость и ее смысл, связь с индукцией поля. Намагничивание горных пород диа- и парамагнетиков. Намагничивание ферромагнетиков (график), намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила. (§ 4.4, С. 114-117).

Дополнительная литература: [4, 6].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что характеризует магнитная проницаемость горных пород и как она связана с индукцией и напряженностью магнитного поля?

2. В чем состоит различие в процессе намагничивания горных пород диамагнетиков парамагнетиков?

3. Постройте график намагничивания горной породы-ферромагнетика и поясните смысл показателей: намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила.

Тема №26. Гранулометрический состав разрушенных пород

Понятие гранулометрического состава, его табличное и графическое изображение (гистограмма, полигон, кумулята). Характеристики грансостава (средний размер куска, коэффициент неоднородности и степень дробления, удельная энергоемкость дробления). Коэффициент разрыхления, насыпная масса и угол естественного откоса разрушенных пород. (§ 5.2.1, С. 122-129).

Дополнительная литература: [5, 8].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как определяется и выражается гранулометрический состав разрушенной породы?

2. Произведите построение и покажите смысл гистограммы, полигона и кумулятивной кривой распределения кусков разрушенной породы по размерам.

3. Что характеризуют и как определяются коэффициент неоднородности, степень и энергоемкость дробления?

4. Что называется коэффициентом разрыхления и как он связан с объемной и насыпной массой горных пород? Какие факторы определяют величину коэффициента разрыхления?

5. Что представляет собой угол естественного откоса разрушенной горной массы?

Задачи: 13, 14., 15, 19, 31.

Тема №27. Физико-механические свойства разрушенных пород

Понятие идеально сыпучей и реально разрушенной горной массы. Построение паспорта прочности для данных типов пород. Деформационные характеристики разрушенных пород, модули деформации и спада. (§ 5.2.2, С. 130-132).

Дополнительная литература: [5, 8].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Чем отличаются идеально сыпучие от реально разрушенных горных пород?

2. Опишите схему экспериментального построения паспорта прочности разрушенных пород.

3. Постойте и дайте интерпретацию паспортам прочности идеально сыпучей и реально разрушенной горных пород.

4. Постройте графики деформации идеально сыпучей и реально разрушенной горной породы, охарактеризуйте модули деформации и спада.

Тема №28. Водно-физические свойства глинистых пород

Глины, суглинки и супеси. Структура воды в глинистых породах, определение влажности. Сухое, пластичное и текучее состояние глинистых пород, связь с ползучестью пород. Набухание и усадка глин, осмотическая природа набухания. Липкость глин и методы борьбы с налипанием. (§ 5.3.1, С. 132-136).

Дополнительная литература: [4, 9].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под глинистыми горными породами?

2. Какие виды воды содержатся в глинистых породах, и как определяется ее количество (влажность)?

3. Как зависит состояние глинистых пород от их влажности. Покажите типичные графики ползучести глинистых пород.

4. Что понимается под пределами пластичности и текучести глинистых пород?

5. Опишите физику явлений набухания и усадки глинистых пород. Какими показателями они характеризуются?

6. Как определяется липкость (адгезия) глинистых пород? Укажите методы борьбы с налипанием глин на рабочий инструмент.

Задачи: 22.

Тема №29. Механические свойства глинистых пород

Построение паспорта прочности глинистых пород. Деформационные характеристики глин, коэффициенты сжимаемости и компрессии, область их применения. (§ 5.3.2, С. 136-139).

Дополнительная литература: [4, 9].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите схему и процедуру построения паспорта прочности глинистых пород.

2. Опишите устройство экспериментальной установки для проведения компрессионных испытаний глинистых пород и поясните схему испытаний.

3. Как и для каких целей определяется коэффициент сжимаемости глинистых пород? Поясните на графике.

4. Что понимается под коэффициентом компрессии глинистых пород? Поясните на графике.

Задачи: 29, 30.

Тема №30. Мерзлые (криогенные) горные породы

Структура воды в горных породах и ее характеристики. Изменение объемной массы, скорости волны, теплопроводности и теплоемкости при замораживании пород. Изменение прочности скальных и разрушенных пород при замораживании. Графики деформации скальных и разрушенных пород при положительных и отрицательных температурах. (§ 5.4, С. 140-143).

Дополнительная литература: [4, 9].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под физически связанной, капиллярной и свободной водой в горных породах? Укажите их температуру замерзания.

2. Укажите характер изменения объемной массы, скорости волны, теплопроводности и теплоемкости горных пород при их замораживании.

3. Покажите на графике и охарактеризуйте основные особенности изменения прочности скальных и разрушенных пород при их замораживании.

4. Постройте и опишите графики деформации скальных пород при положительных и отрицательных температурах.

5. Постройте и опишите графики деформации разрушенных (раздельнозернистых) пород при положительных и отрицательных температурах.

Задачи: 10.

Тема №31. Особенности массива горных пород

Различие в свойствах массива и образца горных пород, факторы, определяющие это различие. Методы изучения свойств массива горных пород (натурные, косвенные, расчетные), их суть. Понятие и область применения свойств массива горных пород, горной породы в массиве, горной породы в куске (образце). (§ 5.5, С. 143-145).

Дополнительная литература: [4].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Какие факторы определяют различие в физических свойствах горных пород в массиве и в образце?

2. Какие методы могут использоваться для определения свойств массива горных пород?

3. Чем различаются следующие понятия: «массив горных пород», «горная порода в массиве» и «горная порода в образце (куске)»?

Тема №32. Физические поля в породном массиве

Напряженно-деформированное состояние (НДС) массива и формирование горного давления. Влияние горного давления на прочность и упругость пород. Роль воды в горных породах. Влияние теплового и электромагнитного полей на свойства пород. (§ 5.6, С. 145-151).

Дополнительная литература: [4, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под напряженно-деформированным состоянием породного массива?

2. Как влияет горное давление различного по величине уровня на прочностные и упругие свойства горных пород?

3. Охарактеризуйте роль воды при деформации и разрушении горных пород.

4. Как изменяются свойства горных пород при их нагреве?

Тема №33. Трещинная структура породных массивов

Выделение типов массива по слоистости. Слоистость горных пород и коэффициент анизотропии. Характеристики трещин и их особенности. Влияние трещиноватости на свойства горных пород. (§ 5.7, С. 151-153).

Дополнительная литература: [4, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как разделяются породные массивы по слоистости?

2. Как оценивается анизотропия свойств слоистого массива?

3. Укажите показатели, характеризующие трещиноватость породного массива;

4. Как оценивается блочность и трещинная пустотность породного массива?

Тема №34. Гидравлические характеристики породных массивов

Классификация трещин по степени их раскрытия. Характеристики фильтрации жидкости в породный массив. Явление смачиваемости пород и капиллярное движение жидкости. Оценка водопоглощения горных пород. Коэффициент размокания горных пород. (§ 5.8, С. 153-160).

Дополнительная литература: [4, 9].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под коэффициентом фильтрации и коэффициентом проницаемости породного массива? Как они соотносятся?

2. Опишите характер движения жидкости по капиллярным трещинам массива.

3. Охарактеризуйте механизм смачиваемости пород.

4. Как определяется влагоемкость и водопоглощение горных пород?

5. Как влияет влажность пород на их прочность? Что понимается под коэффициентом размокания?

Тема №35. Масштабный эффект в горных породах

Определение и физика масштабного эффекта в горных породах. Уравнение масштабного эффекта. Физический смысл минимальной и теоретической прочности пород. Показатель масштабного эффекта и способ его определения. (§ 5.9, С. 161-162).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что называется и чем обусловлен масштабный эффект в горных породах?

2. Постройте график и опишите зависимость прочности горных пород от их объема.

3. Напишите уравнение масштабного эффекта и поясните смысл входящих в формулу показателей.

4. Опишите процедуру экспериментального определения показателя масштабного эффекта n.

Задачи: 17.

Тема №36. Горно-технологические характеристики пород и породных массивов

Определение горно-технологических характеристик. Крепость и шкала крепости проф. М.М.Протодьяконова. Твердость и контактная прочность горных пород. Абразивность пород и методы ее оценки. Другие горно-технологические характеристики и их определение. (§ 5.10, С. 163-167).

Дополнительная литература: [4, 5, 8].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что понимается под горно-технологическими характеристиками пород?

2. Как определяется и в каких пределах изменяется коэффициент крепости горных пород по шкале проф. М.М.Протодьяконова?

3. Как определяется твердость и чем она отличается от контактной прочности горных пород?

4. Что характеризует и как определяется абразивность горных пород?

5. Опишите методы определения дробимости горных пород.

6. Назовите наиболее употребительные горно-технологические характеристики пород.

Задачи: 44, 48.

Тема №37. Изучение строения породных массивов

Классификация методов изучения трещиноватости породных массивов. Прямые методы и их реализация. Описание косвенных методов оценки трещиноватости (при бурении скважин, гидравлическом опробовании, по показателям производственных процессов, электрический и акустический методы). Оценка трещиноватости по извлеченному керну. Обработка результатов измерений трещиноватости. (§ 6.1, С. 168-174).

Дополнительная литература: [4, 8].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Охарактеризуйте прямые (непосредственные) методы изучения трещиноватости массива.

2. Назовите основные направления косвенных методов оценки трещиноватости массива.

3. Какими показателями можно оценить трещиноватость массива в ходе бурения разведочных скважин?

4. Охарактеризуйте этапы исследований при изучении трещиноватости массива на обнажениях.

5. Какие параметры характеризуют системы трещин породного массива?

Тема №38. Натурные методы изучения свойств массива

Определение показателей, связанных с распространением энергии. Схема и последовательность определения прочности при сжатии и деформационных характеристик массива. Процедура построения паспорта прочности массива пород. Пенетрационные методы (определение контактной прочности). Скважинные исследования массива. (§ 6.2, С. 175-183).

Дополнительная литература: [4, 10].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Какие характеристики массива пород могут определяться в производственных условиях теми же методами, что и в лабораторных условиях?

2. Опишите схему и последовательность определения прочности при сжатии и деформационных характеристик массива горных пород.

3. Опишите схему и последовательность испытаний для построения паспорта прочности массива горных пород.

4. Какие показатели определяются при пенетрационных испытаниях массива?

5. Укажите существо скважинных испытаний при оценке деформационных свойств массива.

Задачи: 16.

Тема №39. Прогноз свойств горных пород и массивов

Основы прогноза. Процедура установления взаимосвязей свойств пород. Использование взаимосвязей свойств. Достоинства и недостатки косвенного определения свойств массива. Введение поправок на действующие в массиве физические поля. (§ 6.3, 6.4, С. 183-193).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Укажите существо косвенного метода определения свойств горных пород и массивов.
2. Опишите процедуру корреляционного анализа взаимосвязей свойств горных пород.
3. Каким образом вводятся поправки в уравнения прогноза на действующие в породном массиве физические поля?
4. Укажите достоинства и недостатки методов прогноза свойств пород с помощью их взаимосвязей.

Тема №40. Геофизические методы исследования массива

Классификация геофизических методов. Процедура скважинного каротажа. Использование данных акустического каротажа. Введение поправок на действующее в массиве горное давление. (§ 6.5, С. 194-198).

Дополнительная литература: [4, 10].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите наиболее употребительные геофизические методы исследования породного массива.
2. Как осуществляется скважинный (в частности, акустический) каротаж массива?
3. Как можно использовать данные акустического каротажа?
4. Охарактеризуйте методику косвенного определения свойств массива по данным акустического каротажа.

Тема №41. Исследование технологических параметров массива

Критерии эффективности технологических процессов. Формирование критериев буримости горных пород. Оценка взрываемости горных пород. Определение эффективности уборки породы (экскавируемости). (§ 6.6, С. 198-213).

Дополнительная литература: [4, 5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Охарактеризуйте принципы формирования критериев эффективности процессов горного производства.
2. Укажите основные расчетные соотношения для описания процессов бурения шпуров и скважин.
3. Какие расчетные соотношения характеризуют процесс разрушения пород взрывом?
4. Как оценить эффективность погрузки горной породы?

Тема №42. Прогноз устойчивости горных пород в выработках

Общее условие устойчивости горных пород в выработке. Коэффициент структурного ослабления. Коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки. Вероятностная характеристика безопасности выработки. Вероятностный прогноз устойчивости горных пород в выработке. (§ 6.7, С. 213-219).

Дополнительная литература: [5, 7].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Поясните физический смысл уравнения устойчивости горных пород в выработке.
2. Что характеризует и как определяется коэффициент структурного ослабления массива?
3. От каких факторов зависит коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки?
4. Поясните вероятностный смысл характеристики безопасности выработки.

Тема №43. Методы изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива

Факторы, влияющие на величину горного давления. Метод разгрузки и его реализация. Скважинные методы. Метод компенсационной нагрузки. Достоинства и недостатки методов. Косвенные методы исследования НДС массива. (§ 6.7, С. 219-238).

Дополнительная литература: [5, 7, 10].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Какие факторы нарушают линейное распределение давления по глубине массива?
2. Дайте схему и опишите существо метода разгрузки.
3. Каким образом реализуются скважинные методы изучения НДС массива?
4. На каком принципе основан метод компенсационной нагрузки и поясните схемой.
5. Как реализуется акустический метод исследования НДС массива?

Тема №44. Горные удары и выбросы

Понятие горных ударов и выбросов. Уравнение энергетического баланса горного удара. Математическое выражение составляющих уравнения энергетического баланса. Условие внезапных выбросов угля и газа. Запредельное деформирование горных пород и его характеристики. (§ 6.8.3, С. 252-255).

Дополнительная литература: [5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите физику возникновения горных ударов и выбросов.
2. Запишите уравнение энергетического баланса горного удара и поясните смысл входящих в него слагаемых.

3. Изобразите график запредельного деформирования горных пород и дайте его интерпретацию.

4. Что называется дилатансией горных пород?

5. Дайте определение модуля спада.

Тема №45. Прогноз и предотвращение горных ударов

Этапы прогнозирования горных ударов. Определение5 потенциальной удароопасности горных пород. Локальный прогноз горных ударов: методы дискования керна, вдавливания пуансона и др. Методы предотвращения горных ударов. (§ 6.8.5, 6.8.6, С. 260-272).

Дополнительная литература: [5].

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Опишите последовательность прогноза горных ударов.

2. Укажите два критерия удароопасности горных пород с пояснениями на графике деформации.

3. Охарактеризуйте метод дискования керна как средство прогноза горного удара.

4. Как определяется коэффициент удароопасности при использовании метода вдавливания пуансона?

5. Опишите особенности бурения разгрузочных щелей и камуфлетного взрывания как меры борьбы с горными ударами.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Порядок выполнения и оформления контрольной работы

1. Производят все указанные в задании вычисления характеристик горных пород.

2. В соответствии с заданием определяют параметры элементов горной технологии по полученным характеристикам горной породы.

3. Оформляют и защищают контрольную работу.

Контрольная работа должна состоять из титульного листа с указанием ее названия, автора и руководителя; краткой теории вопроса; сводки результатов и выводов.

При выполнении графических построений и таблиц на компьютере приводятся их распечатки.

Все расчеты оформляются в виде формул в общем виде, их числовое выражение и полученный результат с указанием размерности.

Контрольная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы – овладение методикой лабораторного определения деформационных характеристик скальных пород статическим методом применительно к расчетам процессов горного производства.

Определяемые в опыте деформационные характеристики включают: модуль упругости, модуль пластичности, модуль общей деформации, коэффициент Пуассона. По полученным результатам вычисляются модуль сдвига и модуль объемного сжатия. Указанные характеристики определяют устойчивость горных пород и энергоемкость всех процессов связанных с разработкой пород.

Теоретическая основа дается в учебнике [1]:

2.2. Напряжения и деформации в горных породах;

2.3. Упругие свойства горных пород;

2.6. Методы определения упругих свойств горных пород;

2.13. Пластическое деформирование горных пород;

2.14. Пластические свойства горных пород.

Методика эксперимента

1. На испытываемый образец в форме цилиндра (керна) или призмы с параллельными торцами устанавливаются датчики продольной и поперечной деформации (тензодатчики сопротивления или индикаторы часового типа). Измеряют высоту и площадь образца S; определяют базу измерений (в продольном направлении L и поперечном направлении d).

2. Образец устанавливают на прессе и производят его ступенчатое нагружение. Величина предельной нагрузки определяется прочностью горной породы при сжатии или назначается в зависимости от конкретно решаемой задачи.

3. На каждой ступени нагружения фиксируется значение нагрузки P_i, Н (или кгс) и показания парных датчиков продольной и поперечной деформации.

4. После проведения эксперимента вычисляют напряжения на каждой ступени нагружения $\sigma_i = P/S$; усредняют показания пар датчиков и вычисляют относительную продольную $\varepsilon_i = \Delta L/L$ и поперечную $\Delta d_i/d$ деформации.

5. Результаты заносят в таблицу и производят построение графиков продольной и поперечной деформации.

6. По линейным участкам графиков вычисляют модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν; выделяют нелинейный участок графика, характеризующий пластическую деформацию породы, и вычисляют модуль пластичности $E_{пл}$; по полной деформации определяют модуль общей деформации $E_{деф}$.

7. Вычисляют значения модуля сдвига: $G = E/ [2 (1 + \nu)]$ и модуля объемного сжатия $K = E/ [3 (1 - 2\nu)]$.

Задание:

1. Вычислить все указанные выше деформационные характеристики горной породы.

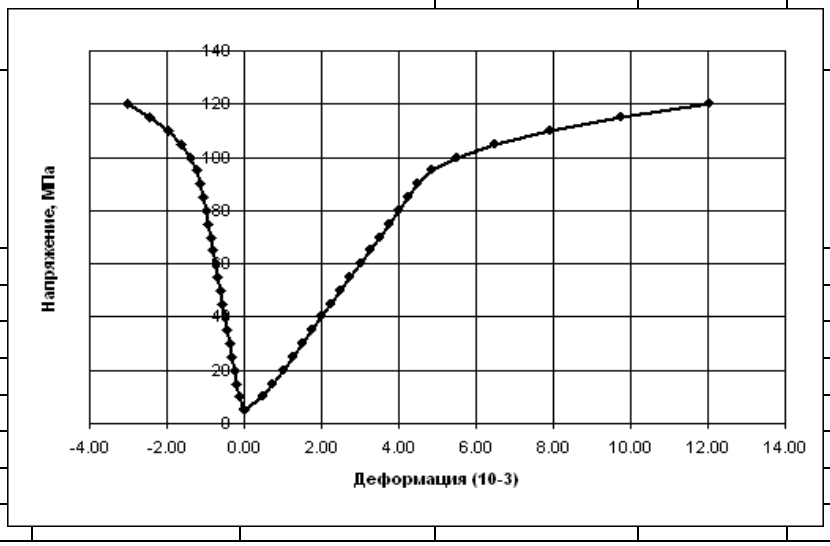
2. Определить удельную энергоемкость разрушения данной породы: $A_{уд} = \sigma^2/2E_{деф}$, Дж/м^3, приняв σ равным предельному значению напряжений, полученному в опыте.

3. Определить удельную энергоемкость разрушения этой же породы в предположении ее идеальной упругости: $A_{уд}^* = \sigma^2/2E$, Дж/м^3.

4. Сравнить результаты и определить потери энергии на пластическое деформирование горной породы: $\Delta A = A_{уд} - A_{уд}^*$; выразить потери в % к $A_{уд}$.

Пример распечатки результатов

	Известняк				
	Напряжение, МПа	**Деформация (10^{-3})**			
		продольная	**поперечная**		
	5	0.000	0.000		
	10	0.500	-0.125		
	15	0.750	-0.188		
	20	1.000	-0.250		
	25	1.250	-0.313		
	30	1.500	-0.375		
	35	1.750	-0.438		
	40	2.000	-0.500		
	45	2.250	-0.563		
	50	2.500	-0.625		
	55	2.750	-0.688		
	60	3.000	-0.750		
	65	3.250	-0.813		
	70	3.500	-0.875		
	75	3.750	-0.938		
	80	4.000	-1.000		
	85	4.250	-1.063		
	90	4.500	-1.125		
	95	4.854	-1.213		
	100	5.503	-1.376		
	105	6.503	-1.626		
	110	7.901	-1.975		
	115	9.738	-2.434		
	120	12.053	-3.013		
***Модуль упругости, ГПа*:**				20.0	
Предел упругости, МПа				90.0	
Модуль пластичности, ГПа				4.0	
Модуль общей деформации, ГПа				10.0	
Модуль сдвига, ГПа				8.0	
Модуль объемного сжатия, ГПа					
Коэффициент Пуассона					



Контрольная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Цель работы – овладение методикой экспериментального определения масштабного эффекта в горных породах применительно к расчетам процессов горного производства.

Масштабным эффектом называется снижение прочности горных пород при увеличении их объема. Поскольку прочность пород определяется в лабораторных экспериментах на образцах заведомо малого размера, а реальные процессы охватывают значительные объемы породного массива, то учет масштабного эффекта необходим для введения соответствующих поправок в расчетные формулы технологии горного производства.

Теоретическая основа

[1] – разделы: 2.10; 5.5; 5.9;

[2] – Лабораторная работа «Построение паспорта прочности горных пород».

Методика эксперимента

1. В соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе производится определение прочности при сжатии и обработка результатов для кубических образцов двух типоразмеров со стороной 2 и 5 см.

2. Найти показатель масштабного эффекта *n*.

3. Записать уравнение масштабного эффекта и построить его график при изменении объема пород от 1 до 20 м^3.

Задание:

1. При проходке выработки площадью поперечного сечения 10 м^2 с помощью буровзрывных работ глубина отбойки породы (уходка за цикл) составляет 2,0 м. С учетом масштабного эффекта определить прочность данного объема исследованной Вами породы.

2. Оценить требуемое количество взрывчатого вещества (ВВ) на 1 м^3 разрушаемой породы (удельный расход ВВ) по формуле:

$$q = 0{,}015\ \sigma_{сж}[\text{МПа}],\ \text{кг/м}^3.$$

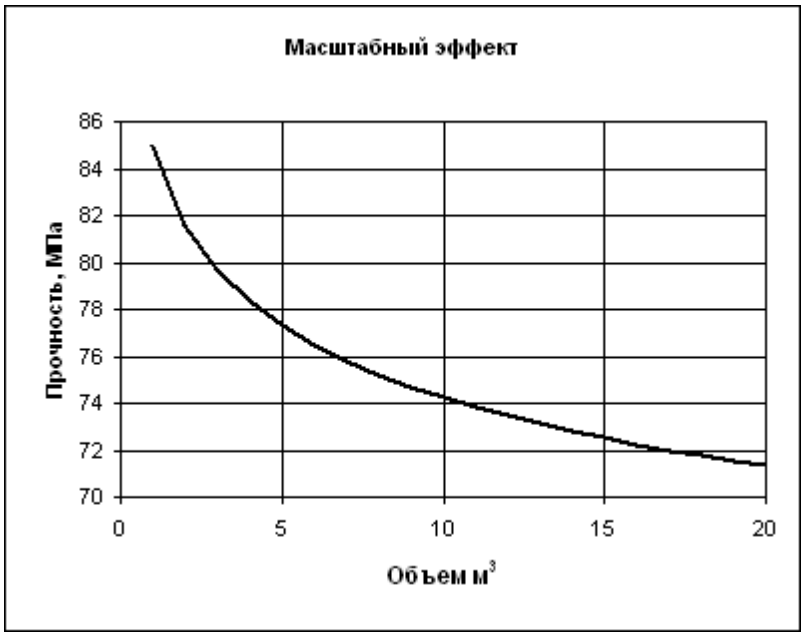
Пример распечатки результатов

ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ГОРНЫХ ПОРОД

Студент:	***Иванов И. И.***

Задание №5

Куб со стороной 2 см			**Куб со стороной 5 см**		
Площадь, $см^2$	Нагрузка, тс	Прочность, МПа	Площадь, $см^2$	Нагрузка, тс	Прочность, МПа
4	3.81	95.2	25	18.43	73.7
4	3.16	79.1	25	13.57	54.3
4	2.91	72.8	25	16.31	65.2
4	4.09	102.3	25	18.88	75.5
4	3.20	80.1	25	14.00	56.0
4	3.14	78.4	25	20.09	80.4
4	3.57	89.4	25	20.14	80.6
4	3.73	93.1	25	19.00	76.0
4	3.34	83.5	25	18.63	74.5
4	3.05	76.3	25	18.31	73.2
Среднее		85	**Среднее**		71



Контрольная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОЙ СТРУКТУРЫ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ

Цель работы – отработка методов исследования и анализа трещинной структуры породных массивов применительно к оценке их прочности и устойчивости.

Трещины разбивают породный массив на отдельные блоки, образующие его иерархическую структуру. Поэтому для проектировании процессов разработки месторождений и определения устойчивости горных выработок особенности трещинной структуры массива нуждаются в количественной оценке.

Теоретическая основа

[1] – раздел 6.1.

Методика эксперимента

1. На обнажении пород (стенках или забое выработки) очерчивается площадка 1 м^2, отмывается от осевшей пыли и производится электронная фотография со вспышкой.

2. При наличии заполненных трещин из них отбираются для последующего анализа пробы материала заполнителя.

3. По полученной фотографии все трещины разбиваются на классы по размерам (желательно в логарифмическом масштабе).

4. Путем накладывания палетки соответствующих размеров ячейки подсчитывается число трещин каждого класса.

5. По полученным данным определяют сводные характеристики трещиноватости массива: концентрацию трещин, их суммарную и удельную поверхность, степень нарушенности и дисперсность.

Задание:

1. По данным задания составить расчетную таблицу и определить выше указанные параметры трещиноватости породного массива.

2. Построить гистограмму распределения трещин по размерам.

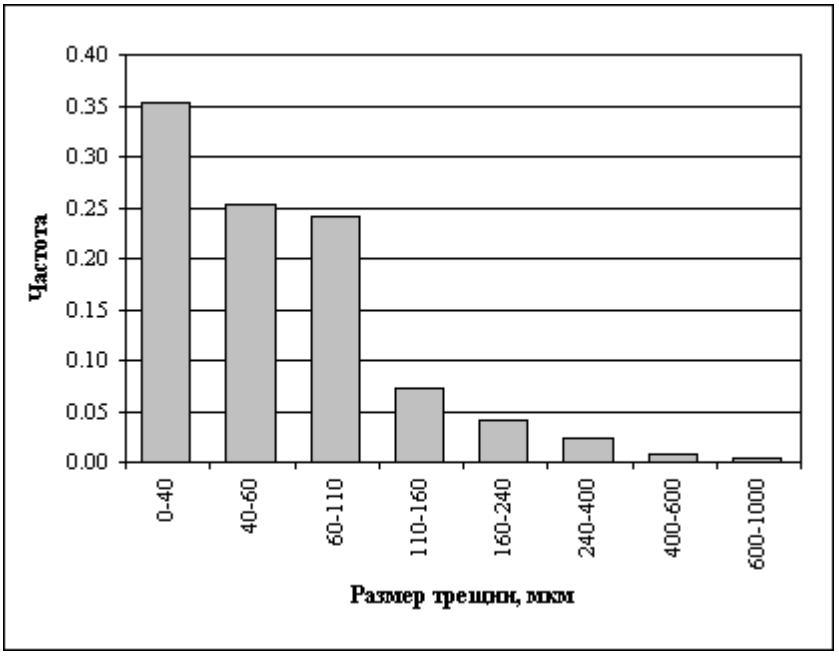
3. Выполнить анализ результатов.

Пример распечатки результатов

Исследование трещинной структуры породных массивов

Студент ***Задание №***

Интервал трещиноватости, мм	**Середина интервала, мм**	**Число трещин**	**Частота n_i**	***mi/li***	***2mi*li***	***mi*li***	***mi*li^2***
0-40	20	97	0.444	22.2062	0.0178	0.0089	0.0002
40-60	50	53	0.243	4.8675	0.0243	0.0122	0.0006
60-110	85	44	0.202	2.3752	0.0343	0.0172	0.0015
110-160	135	12	0.056	0.4117	0.0150	0.0075	0.0010
160-240	200	7	0.030	0.1506	0.0120	0.0060	0.0012
240-400	270	4	0.017	0.0611	0.0089	0.0045	0.0012
400-600	500	1	0.005	0.0109	0.0055	0.0027	0.0014
600-1000	800	1	0.003	0.0037	0.0047	0.0024	0.0019
Сумма:		218	1.0000	30.0869	0.1226	0.0613	0.0089



4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ
(для студентов заочного обучения)

1. Что понимается под структурой и текстурой горных пород и какие их типы можно выделить для горных пород? Кубический образец со стороной 5 см имеет массу 320 г. Определить объемную массу и объемный вес горной породы.

2. Как можно оценить строение массива горных пород по результатам бурения скважин? Горная порода плотностью 2,8 г/см^3 имеет общую пористость 5%. Определить ее объемную массу, удельный и объемный вес.

3. Опишите основные методы укрепления массива горных пород. На кубический образец со стороной 2 м действует сжимающая нагрузка 5 тонн. Построить круг напряжений Мора и определить нормальные и касательные напряжения в площадке, ориентированной под углом 30^0 к плоскости нагружения.

4. Опишите классификацию кристаллов по типам сил связи. Для условий предыдущей задачи (№3) определить минимальные и максимальные нормальные и касательные напряжения. Указать, каким площадкам они соответствуют.

5. Опишите основные виды дефектов структуры кристаллов. В массиве горных пород действуют главные напряжения величиной 50, 30 и 15 МПа. Построить круги напряжений, характеризующие объемное напряженное состояние горной породы и определить величину нормальных и касательных напряжений, действующих в площадке, ориентированной под углом 45^0 к соответствующим осям.

6. Какие типы дислокаций определяют линейные дефекты кристаллов? Опишите механизм их движения и размножения. Определить работу деформирования целика горной породы сечением 1,5х1,5 м и высотой 3 м, если при вертикальном напряжении 25 МПа опускание кровли выработки (деформация целика) составило 30 мм.

7. Какие показатели характеризуют плотностные свойства горных пород? Определить модуль упругости горной породы для условий предыдущей задачи (№6).

8. Опишите различные виды пористости горных пород. Модуль упругости горной породы составляет 35 ГПа и коэффициент Пуассона – 0,25. Вычислить модуль сдвига и модуль объемного сжатия горной породы в Паскалях и кгс/см^2.

9. Охарактеризуйте взаимосвязь нормальных и касательных напряжений в горной породе. Кубический образец горной породы со стороной 5 м при нагревании на 40^0 расширился во всех направлениях на 20 мм. Вычислить коэффициенты теплового линейного и объемного расширения данной породы.

10. Какие деформации соответствуют нормальным и касательным напряжениям в горной породе? Кубический образец горной породы со стороной 5 см имеет прочность при сжатии 120 МПа. После 25 циклов замораживания и отта-

ивания образец разрушился при нагрузке 22 тонны. Является ли данная порода морозостойкой?

11. Как разделяются горные породы по характеру их деформирования? Покажите типичные графики деформации. Определить объем пор в кубическом образце горной породы, если ее общая пористость составляет 4 %, а сторона куба 5 см.

12. Опишите физические основы действия поверхностно-активных веществ на горные породы. Целик высотой 3 м, поддерживающий кровлю выработки, под действием вертикального давления в 30 МПа перешел в стадию незатухающей ползучести. Определить, на сколько миллиметров опустится кровля выработки за первые сутки, если модуль упругости породы – 4 ГПа, период релаксации - $5 \cdot 10^4$с.

13. Как определить работу деформирования горных пород? При разрушении горных пород взрывом получен следующий гранулометрический состав разрушенной породы

Размер кусков, см	0 - 10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Масса фракции, т	2	5	15	12	4	2

Построить гистограмму и полигон распределения кусков по размерам.

14. Опишите упругие свойства горных пород и их взаимосвязь. По данным задачи №13 построить кумулятивную кривую грансостава разрушенной породы, определить средний размер куска, коэффициент неоднородности дробления и степень дробления, если объемная масса взорванной породы составляет 2,8 г/см^3.

15. Как распределяются напряжения в горных породах вокруг выработки? Покажите эпюры напряжений. Транспортировка руды осуществляется думпкарами вместимостью 20 м^3. Какова должна быть их минимальная грузоподъемность, если объемная масса руды 3,5 г/см^3 и коэффициент разрыхления – 1,8?

16. Укажите зависимость скорости распространения продольных и поперечных волн от упругих свойств горных пород и размеров образца. При испытаниях горной породы на срез со сжатием в шахтных условиях получены следующие результаты: при углах среза 60; 45; 30 градусов прочность на срез составила, соответственно, 10; 25; 35 МПа. Построить паспорт прочности и определить величину сцепления массива горных пород.

17. Чем определяется и как оценивается затухание упругих колебаний в горных породах? Определить показатель масштабного эффекта, если при испытании кубических образцов горной породы размерами 2 и 4 см их прочность составила соответственно 54 и 38 МПа.

18. Опишите физическую сущность горных ударов и выбросов пород. Определить динамический модуль сдвига горной породы с объемной массой 2,7 г/см^3, если скорость распространения в ней поперечных упругих волн составляет 3800 м/с.

19. Дайте сравнительную оценку статического и динамического методов определения упругих свойств горных пород. При проходке горной выработки сечением 8 $м^2$ продвигание забоя за цикл составляет 2 м. Сколько вагонеток вместимостью 1,5 $м^3$ потребуется для уборки взорванной породы, если ее коэффициент разрыхления – 1,8?

20. Как влияет скорость приложения нагрузки на упругие свойства горных пород и чем определяется различие в величине статических и динамических показателей? Определить величину вертикальных и горизонтальных напряжений в массиве на глубине 800 м, если средний объемный вес пород составляет 2,5 $гс/см^3$ и коэффициент Пуассона – 0,25.

21. Укажите основные критерии прочности горных пород и условия их применения. Построить график деформации упруго-пластичной породы, если ее прочность при сжатии составляет 150 МПа, предел упругости – 100 МПа, а упругая продольная деформация – 0,002 составляет половину от полной (разрушающей). Показать на графике и вычислить величины модуля упругости, модуля пластичности и модуля полной деформации.

22. Опишите существо теории прочности Мора и укажите физическую сущность огибающей предельных кругов напряжений. Глинистая порода с массой минерального скелета 2 кг переходит в пластичное состояние при увлажнении до увеличения массы в 2,3 кг и в текучее – до 2,8 кг. Определить пределы пластичности, текучести и число пластичности данной породы.

23. Опишите процедуру построения паспорта прочности горных пород с его графической иллюстрацией. Вычислить величину основных упругих характеристик горной породы (модули упругости, сдвига, объемного сжатия, коэффициент Пуассона), если известны скорость распространения продольной – 5000 м/м и поперечной – 2800 м/с волны в массиве; объемная масса породы – 2,8 $г/см^3$.

24. Что называется сцеплением и углом внутреннего трения горных пород? Укажите их положение на графике паспорта прочности. Определить количество теплоты, которое выделится в образце породы размерами 50х50х50 см в переменном электрическом поле напряженностью 2000 В/м и частотой 1 МГц, если относительная диэлектрическая проницаемость горной породы – 3,5 и тангенс угла потерь – 0,25.

25. Опишите механизмы пластичности горных пород. Какое количество тепла выделится в кубическом образце горной породы со стороной 20 см в переменном электрическом поле напряженностью 5000 В/м и частотой 15 кГц, если относительная диэлектрическая проницаемость пород составляет 5,6 и тангенс угла диэлектрических потерь – 0,3?

26. Дайте определение предела упругости и модулей упругости, пластичности, полной деформации. Укажите их положение на графике деформации. Вычислить электрическое сопротивление кубического образца горной породы со стороной 20 см, если ее удельное электросопротивление составляет 600 Ом·м.

27. Что называется коэффициентом пластичности и коэффициентом хрупкости, как они связаны с работой разрушения горных пород? Определить максимальный размер горной породы, при котором еще выполняется условие стержня, если скорость продольной волны в ней составляет 4500 м/с и частота колебаний 25 кГц.

28. На основании модели упруго-пластичного тела (модель Максвелла) опишите характерные этапы затухающей и незатухающей ползучести горных пород. Определить величину напряжений на контуре горной выработки, пройденной на глубине 420 м, если средний объемный вес вышележащих пород составляет 2,8 гс/см^3, коэффициент Пуассона – 0,3 и коэффициент концентрации напряжений – 2,2.

29. Дайте вывод основного уравнения реологии и укажите его применимость к процессу ползучести горных пород. При испытании глинистой породы на срез со сжатием при нормальных сжимающих напряжениях σ = 0; 5; 10; 15 МПа получены следующие значения прочности породы на срез, соответственно, τ_C = 3; 10; 15; 16 МПа. Построить паспорт прочности глинистой породы.

30. Что называется релаксацией напряжений и чем она обусловлена в горных породах? При компрессионных испытаниях кубического образца глинистой породы размером 5 см получены следующие данные: при напряжениях 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 кгс/см^2 образец показал продольную деформацию, соответственно, 2; 4; 8; 16 мм. Построить график деформации и определить величину коэффициента сжимаемости глинистой породы.

31. Что понимается под длительной прочностью горных пород? Как она соотносится с ползучестью? Определить нагрузку на прицепное устройство скипа вместимостью 11 м^3 при подъеме полезного ископаемого с объемной массой 3,2 г/см^3, если коэффициент разрыхления составляет 1,8 и собственная масса скипа 11 тонн.

32. Опишите основные горнотехнологические характеристики пород. При динамическом нагружении горной породы ее относительная продольная деформация в 4 раза превышает поперечную. Во сколько раз скорость продольной волны в массиве этих пород больше скорости поперечной волны?

33. Охарактеризуйте методы локального прогноза горных ударов. До какого значения снизятся за двое суток напряжения на контуре жестко закрепленной горной выработки, если начальной напряжение составляет 80 МПа, период релаксации - $4 \cdot 10^5$с.

34. Дайте определение теплоемкости горных пород. Как она зависит от температуры и влажности пород? Разрушение кубического образца горной породы со стороной 5 см произошло при вертикальной нагрузке 8 тонн и боковой – 5 тонн. Определить предельное касательное напряжение, действовавшее в площадке под углом 30^0 к горизонтальной плоскости.

34. Охарактеризуйте механизм передачи тепла в горных породах, дайте определения теплопроводности и температуропроводности. Определить критическую глубину разработки, на которой возникает возможность горных ударов, если прочность при растяжении горных пород составляет 25 МПа, коэффици-

ент структурного ослабления – 0,8, коэффициент концентрации напряжений – 1,8, средний объемный вес пород – 2,5 гс/см^3, а тектонические напряжения в массиве пренебрежимо малы.

36. Опишите тепловое расширение и возникновение термических напряжений в горных породах. На расстоянии 20 м от источника энергия (амплитуда) упругой волны уменьшилась в 5 раз. Определить коэффициент затухания волны для данных условий.

37. Опишите механизм электропроводности горных пород проводников, полупроводников и диэлектриков. Определить удельную работу хрупкого разрушения горной породы, если ее прочность составляет 150 МПа, а модуль упругости – 60 ГПа.

38. Что называется относительной диэлектрической проницаемостью? Как она характеризует поляризацию горных пород? Определить прочность горной породы при одноосном растяжении, если огибающая кругов предельных напряжений принята в виде прямой с углом внутреннего трения 35^0 и величиной сцепления – 40 МПа. Построить паспорт прочности.

39. Опишите основные механизмы поляризации горных пород. Прочность горной породы при одноосном растяжении составила 25 МПа, при одноосном сжатии – 150 МПа. Построить паспорт прочности и определить величину сцепления и угла внутреннего трения данной породы.

40. Что представляют собой диэлектрические потери в горных породах? Модуль пластичности горной породы составляет 25 ГПа, предел упругости – 40 МПа. Определить прочность при сжатии данной породы, если при ее разрушении общая относительная продольная деформация составила 0,0015, а упругая – 0,0005. Построить график деформации.

41. Выведите формулу для расчета процесса нагревания горных пород в переменном электрическом поле. Определить удельную работу разрушения горной породы, если ее прочность составляет 60 МПа, модуль упругости – 4 ГПа, коэффициент пластичности – 2,2.

42. Укажите особенности намагничивания горных пород диа-, пара- и ферромагнетиков. Определить величину сцепления горной породы при линейной огибающей кругов напряжений Мора, если угол внутреннего трения породы 45^0 и разрушение произошло при нормальных и касательных напряжениях, соответственно, 25 и 60 МПа. Построить паспорт прочности.

43. Что называется гранулометрическим составом разрушенных горных пород? Дайте графическое изображение гистограммы и полигона распределения кусков горной породы по размерам. Определить предел упругости горной породы, если ее разрушение произошло при напряжении 35 МПа и относительной пластической деформации 0,002. Модуль пластичности горной породы – 5 ГПа.

44. Укажите основные характеристики гранулометрического состава разрушенных пород. Построить графики зависимости коэффициентов крепости (основного и модернизированного) от прочности горных пород при сжатии в

интервале от 0 до 400 МПа. Оценить разницу в коэффициентах при $\sigma_{сж}$ = 50 и 150 МПа.

45. Что называется коэффициентом разрыхления горных пород, от каких факторов зависит его величина? Рассчитать и показать на графике изменение отношения скоростей продольной и поперечной волн ($C_м/C_S$) при изменении коэффициента Пуассона от 0,1 до 0,5, если все прочие показатели остаются неизменными.

46. Опишите процедуру построения паспорта прочности разрушенных горных пород. Какое количество тепла получит кубический образец горной породы со стороной 4 см нагретый на 20^0, если объемная теплоемкость породы 1,8 кДж/м^{3}К?

47. Как определяются деформационные характеристики разрушенных пород? Какое количество тепла проходит через стержень горной породы сечением 10х10 см за 5 минут при градиенте температур 3 град/м, если коэффициент теплопроводности породы составляет 5 Вт/м·К?

48. Укажите основные принципы и методы борьбы с горными ударами и выбросами. Определить контактную прочность горной породы, если при внедрении штампа диаметром 3 мм разрушающая нагрузка составила 8 кН.

49. Как изменяется состояние глинистых пород в зависимости от их влажности? Вычислить коэффициент хрупкости горной породы с модулем упругости 50 ГПа, если ее общая работа разрушения составила 20 кДж/м^3, а предел упругости – 30 МПа.

50. Опишите механизмы набухания и липкости (адгезии) глинистых пород. Целик горной породы высотой 2,5 м разрушился при напряжении 150 МПа и продольной деформации 8 мм. Вычислить модуль общей (полной) деформации горной породы.

51. Опишите процедуру построения паспорта прочности глинистых пород. Определить объемную теплоемкость горной породы, если на цилиндрическом образце диаметром 6 см, высотой 15 см и массой 1,2 кг определена удельная теплоемкость 700 Дж/кг·К.

52. Укажите существо компрессионных испытаний глинистых пород и деформационные характеристики глин. Определить удельный тепловой поток в горной породе, если перепад температур на 1 м составляет 5^0 и коэффициент теплопроводности – 1,5 Вт/м·К.

53. Как изменяются деформационные характеристики скальных и раздельнозернистых пород при замораживании? Построить график зависимости коэффициента Пуассона от отношения скоростей распространения в горной породе продольной волны в массиве и стержне ($C_м/C_{ст}$) в диапазоне от 1 до 3.

54. Как изменяется прочность влажных горных пород в области отрицательных температур? Определить скорость распространения в массиве пород поперечной волны, если скорость продольной волны составляет 5500 м/с и коэффициент Пуассона – 0,3.

55. Почему свойства массива отличаются от свойств слагающих его горных пород (в образце)? На сколько градусов следует нагреть горную породу

для ее разрушения, если прочность ее составляет 25 МПа, модуль упругости – 40 ГПа и коэффициент теплового линейного расширения - $5 \cdot 10^{-5}$ 1/К?

56. Опишите процедуру построения паспорта прочности массива горных пород по результатам натурных испытаний. Продольная упругая волна в тонком стержне длиной 25 см распространяется за $4 \cdot 10^{-5}$ с. Вычислить динамический модуль упругости горной породы, если ее плотность – 2,5 г/см^3.

57. Что называется масштабным эффектом? Чем он обусловлен в горных породах? Объемная масса горной породы 2,7 г/см^3, модуль упругости – 50ГПа, коэффициент Пуассона – 0,25. Вычислить скорость распространения продольной волны в массиве и стержне данной породы. На образцах какого размера могут быть получены эти данные, если частота упругих колебаний составляет 60 кГц?

58. Укажите общие принципы косвенных методов оценки свойств массива горных пород. Вычислить электрическую емкость 1 м^3 горной породы, если ее относительная диэлектрическая проницаемость составляет 4,5.

59. Как влияет горное давление и влажность на свойства горных пород? При нагружении горной породы до 80% ее прочности ($\sigma_{сж}$ = 150 МПа) относительная продольная деформация составила 0,005. Является ли данная порода потенциально удароопасной, если ее модуль упругости – 40 ГПа и предел упругости – 70 МПа? Проиллюстрировать вывод графиком деформации горной породы.

60. Как оценивается трещиноватость массива горных пород? Горная порода с модулем упругости 16 ГПа разрушилась при напряжении 50 МПа. Определить удельную работу разрушения породы, если ее коэффициент пластичности составляет 1,8.

При выполнении контрольной работы следует выбирать вариант, соответствующий последней цифре номера зачетной книжки.

Вариант	Номера контрольных вопросов и заданий					
0	1	3	10	23	47	50
1	2	17	35	37	49	55
2	16	19	34	36	40	51
3	4	15	20	32	33	48
4	5	21	38	39	52	56
5	6	14	22	27	31	58
6	7	13	25	41	46	57
7	8	12	26	29	42	53
8	9	11	18	28	43	45
9	24	30	44	54	59	60

При оформлении контрольной работы ответы следует располагать в порядке номеров, указанных в задании, переписывая полностью сам вопрос.

Рекомендуемая литература

1. Латышев О. Г., Казак О. О. Физика горных пород: Учебник. – Екатеринбург, Изд УГГУ, 2014. – 277 с.

2. Латышев О. Г., Анохина О. О., Азанов М.А. Физика горных пород. Учебно-методическое пособие к лабораторным работам для студентов всех специальностей направления 130400 «Горное дело». – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2010. – 60 с.

3. Латышев О. Г. Физика горных пород. Мультимедийные средства обучения: Учебно-методическое пособие для студентов всех специальностей направления 130400 «Горное дело». – Екатеринбург: УГГУ, 2010.

4. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород: Учебник. – М.: Кн. дом «ЛИБЕРКОМ», 2010. – 360 с.

5. Латышев О. Г. Разрушение горных пород. – М.: Теплотехник, 2007. – 672 с.

6. Бушманов Б. Н., Хромов Ю. А. Физика твердого тела. –М.: Высшая школа, 1971. –224с.

7. Баклашов И. В. Геомеханика: - Т.1. Основы геомеханики. –М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 208 с.

8. Барон Л. И. Горнотехнологическое породоведение. Предмет и способы исследований. -М.: Наука, 1977. –324 с.

9. Панюков П. Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 296 с.

10. Ямщиков В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982. – 296 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И ЗАДАНИЯ

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Специальность

21.05.04 Горное дело

Специализация

№4 Маркшейдерское дело

Форма обучения: очная, заочная
год набора: 2019

Автор(ы) Цейтлин Е.М., доцент, к.г.м.н.,
Студенок Г.А.

Одобрена на заседании кафедры
Инженерной экологии
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Хохряков А.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 8 от 17.04.2019 г.
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией
горно-технологического факультета
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019 г.
(Дата)

Екатеринбург
2019

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В процессе изучения дисциплины «Горнопромышленная экология» студенты должны изучить теоретический материал, выполнить контрольную работу и другие, предусмотренные рабочей программой дисциплины, самостоятельные задания. По окончании изучения дисциплины предусмотрен экзамен.

Занятия по дисциплине «Горнопромышленная экология» проводятся в форме лекций и практических (семинарских) занятий.

Цель лекции – формирование основы для последующего усвоения учебного материала.

Цель практических и семинарских занятий – оказание помощи студентам в изучении наиболее важных вопросов учебного курса, углубление и закрепление, систематизация соответствующих знаний студентов по предмету.

При изучении дисциплины «Горнопромышленная экология» важную роль играет самостоятельная работа студентов, которая заключается в организации систематического изучения учебной дисциплины, закреплении и углублении полученных знаний и навыков, подготовке к предстоящим занятиям, а также в формировании культуры умственного труда и самостоятельном поиске новых знаний.

Для успешного изучения дисциплины и приобретения компетенций (см. программу дисциплины) студенты должны посетить аудиторные занятия, повторить материалы лекций, провести подготовку к практическим и семинарским занятиям, самостоятельно прочитать рекомендуемую основную и дополнительную литературу, подобрать и ознакомиться с понятийным аппаратом.

Выбор литературы для изучения делается обычно по программе дисциплины либо путем самостоятельного отбора.

Во время изучения литературы необходимо конспектировать и делать записи прочитанного. Такие записи способствуют лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебниках зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение изменения в законодательстве и тенденции практики. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

Перечень вопросов, подлежащий изучению, приведен в программе курса.

Теоретические знания, полученные в ходе прослушивания лекций, изучения основной и дополнительной литературы, участие в семинарских и практических занятиях позволяют студентам формировать всю полноту и объективность знаний.

Выполняя контрольную работу, другие письменные задания, студент учится самостоятельно работать с основной и дополнительной литературой, выявлять наиболее важные аспекты, углубленно и более детально изучать материалы по дисциплине и расширять свой кругозор.

Практические задачи, составляющие содержание практических занятий, контрольной работы и других письменных заданий, помогут выработать умения и навыки применения теоретических знаний.

Кроме того, студентам предлагается выполнить тест для самопроверки и самоконтроля, ответ на который после изучения отдельных тем курса и курса в целом позволят студенту проверить полученные знания.

При постоянном, последовательном изучении всех тем дисциплины, активной работе на лекциях и практических (семинарских) занятиях студенту удается полностью освоить изучаемый предмет.

Степень и качество освоения курса будет зависеть от самодисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ВИДАМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа студента состоит из следующих видов работ:

- повторение материалов лекций;
- самостоятельное изучение отдельных тем курса;
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к устному опросу;
- подготовка к докладу;
- работа с порталом электронных образовательных ресурсов;
- работа с литературой и интернет-ресурсами;
- тестирование.

Повторение материалов лекций предполагает их прочтение, запоминание основных терминов и определений, разбор смысла и содержания основных понятий, подготовку (запись) вопросов, которые остались неясными, непонятными. Поскольку не все важные вопросы достаточно полно раскрываются в лекциях, студент должен самостоятельно работать с учебными пособиями, дополняя конспект лекций.

Самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины предполагает чтение основной и дополнительной литературы по соответствующей теме, изучение научных статей и материалов, подготовку конспекта.

Ответы на вопросы для самопроверки и для подготовки к устному опросу позволяют оценить объем теоретических знаний. Ответы на все вопросы позволяют перейти к материалам для практических и семинарских занятий. Если ответить на вопрос затруднительно, следует повторить теоретический материал и найти ответ в лекциях, дополнительной литературе.

Работа с порталом электронных образовательных ресурсов предполагает регулярное использование студентом различных учебно-методических материалов, размещенных на портале.

Работа с литературой и интернет-ресурсами дополняет учебную работу на лекциях и практических (семинарских) занятиях. Для начала рекомендуется изучение тех источников, которые указаны преподавателем, при необходимости следует расширить круг изучаемых источников. Работа с информацией - поиск информации в библиотеке, Интернете, отбор информации для решения конкретной учебной задачи. При работе с интернет-ресурсами следует иметь в виду, что качество некоторых материалов может быть не соответствующим необходимому уровню.

Тестирование позволяет провести проверку знаний отдельных тем курса и всей дисциплины в целом.

Выполнение домашних заданий предусмотрено в следующей форме:

Подготовка к докладу – подготовка доклада на определенную тему, включающего обзор соответствующих литературных и других источников или краткое изложение книги, научной работы, статьи, исследования;

Конкретные виды заданий по дисциплине «Горнопромышленная экология» указаны далее.

Важнейшее требование для всех письменных работ - самостоятельность их выполнения.

Добросовестное выполнение данных методических указаний будет способствовать усвоению знаний, приобретению навыков практической деятельности, формированию указанных в программе учебной дисциплины компетенций.

Обоснование затрат времени на самостоятельную работу обучающихся (СРО)

Суммарный объем часов на СРО *очной формы обучения* составляет **126** часов.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Единица измерения	Норма времени, час	Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.	Принятая трудоемкость СРО, час.
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					95
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	1,75 х 36 = 63	63
2	Самостоятельное изучение тем курса	1 тема	1,0-8,0	1,5 х 8 = 12	12
3	Подготовка к докладу, сообщению, аналитическому обзору	1 занятие	1,0-2,5	2,2 х 9= 20	20
Другие виды самостоятельной работы					31
4	Тестирование	1 тест по теме	0,1-0,5	0,5 х 8 = 4	4
5	Подготовка к экзамену	1 экзамен		27	27
	Итого:				**126**

Суммарный объем часов на СРО *заочной формы* обучения составляет **168** час.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Единица измерения	Норма времени, час	Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.	Принятая трудоемкость СРО, час.
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	4 х 8 = 32	32
2	Самостоятельное изучение тем курса	1 тема	1,0-15	8 х 15 = 120	120
3	Подготовка к докладу, сообщению, аналитическому обзору	1 занятие	1,0-3,0	2 х 1,5 = 3	3
Другие виды самостоятельной работы					
4	Тестирование	1 тест по теме	0,1-0,5	0,5 х 8 = 4	4
5	Подготовка к экзамену	1 экзамен		9	9
	Итого:				**168**

Тема 1. Воздействие антропогенных факторов горного производства на подсистемы биосферы.

Цель: закрепление и систематизация знаний по теме, разработка навыков работы с литературой.

Задания

Домашнее устное задание:

1. Повторение материала лекций:

– прочитать раздел 1 учебного пособия: Обеспечение экологической безопасности в промышленности: учебно-методическое пособие/ А.В.Хохряков, А.Г.Студенок, И.В.Медведева, А.М.Ольховский, В.Г.Альбрехт, Е.А.Летучая, А.Ф.Фадеичев, О.А. Москвина, Е.М. Цейтлин, Г.А. Студенок; Институт инженерной экологии УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017.

– прочитать главу 1 учебного пособия: Промышленная экология : учебное пособие / В. А. Зайцев. - Москва : БИНОМосква Лаборатория знаний, 2013. - 382 с

2. Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое безотходные технологии?
2. В чём заключается загрязнение окружающей среды от горнопромышленных производств?
3. Какие существуют компоненты земной атмосферы?
4. Назовите основные пути решения экологических проблем.

Задания для тестирования:

*Инструкция***.** Внимательно прочитайте вопрос и варианты ответов. Из предложенных ответов правильный только один.

На листе бумаги напишите тему, номера вопросов и проставьте рядом номер правильного ответа или впишите словами.

1. Как правильно оценивается эффективность экологической охраны окружающей среды?

- как системный показатель прибыли, полученный от сохранения чистоты продуктивности природной среды, являющейся индикатором здоровья людей и продолжительность их жизни;
- как системный показатель прибыли, полученный от сохранения и рационального использования природных ресурсов и естественных условий;
- как показатель эколого–социально–экономической прибыли, понимаемый как конечный результат природоохранных мероприятий.

2. Какую роль в управлении и экономическом регулировании экологической охраны природы и окружающей среды играют кадастры и реестры природных ресурсов?

- введение стимулирующих льготных налогов, цен на экологически чистую продукцию;
- дифференцирование взимания платы за пользование природными ресурсами с учетом ренты;
- установление нормативных налоговых и других видов платежей, штрафных санкций за загрязнение окружающей среды.

3. Расставьте по степени снижения их вредного воздействия на окружающую среду виды транспорта:

- ракетно-космический;
- водный;
- авиационный;
- железнодорожный;
- автомобильный;
- трубопроводный.

4. Расставьте в последовательности увеличения экологической нагрузки на окружающую среду объекты топливно-энергетического комплекса:

- ТЭС, сжигающие уголь и горючие сланцы;
- геотермальные электростанции;
- ТЭС, сжигающие нефтепродукты;
- ТЭС, сжигающие газ;
- АЭС, при их безаварийной работе.

5. Что такое экологический фактор?

6. Что представляют собой абиотические факторы?

7. Антропогенные факторы это…

8. Каким геологическим процессам подвергаются отвалы техногенных пород?

а) выветривания;

б) испарению;

в) водной и ветровой эрозии.

9. Какие геохимические изменения природы вод происходят в результате разработки сульфидных месторождений?

а) накопление тяжёлых металлов;

б) условия миграции химических элементов;

в) рассеяние тяжёлых металлов.

10. К каким изменениям приводит разработка месторождений нефти на шельфе?

Тема 2. Взаимодействие природных и техногенных процессов, преобразование вещества и энергии в горном производстве.

Цель: закрепление и систематизация знаний по теме, разработка навыков работы с литературой.

Задания

Домашнее устное задание:

1. Повторение материала лекций:

– прочитать раздел 2 учебного пособия: Обеспечение экологической безопасности в промышленности: учебно-методическое пособие/ А.В.Хохряков, А.Г.Студенок, И.В.Медведева, А.М.Ольховский, В.Г.Альбрехт, Е.А.Летучая, А.Ф.Фадеичев, О.А. Москвина, Е.М. Цейтлин, Г.А. Студенок; Институт инженерной экологии УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017.

– прочитать главу 2 учебного пособия: Промышленная экология : учебное пособие / В. А. Зайцев. - Москва : БИНОМосква Лаборатория знаний, 2013. - 382 с

2. Вопросы для самоконтроля и для подготовки к устному опросу:

1. Как промышленное производство воздействует на окружающую среду?
2. Назовите принципы нормирования техногенного воздействия промышленности на окружающую среду.
3. Какие существуют требования к технологическим процессам горного производства?
4. Какие существуют требования к аппаратному оформлению, сырью, энергоресурсам и готовой продукции?

Задания для тестирования:

*Инструкция***.** Внимательно прочитайте вопрос и варианты ответов. Из предложенных ответов правильный только один.

На листе бумаги напишите тему, номера вопросов и проставьте рядом номер правильного ответа или впишите словами.

1. Выветривание горных пород, связанное с круговоротом воды, называется..

2. Основные горные породы земли и металлы, слагающие земную кору- это..

3. Наибольшую опасность представляет нарушение герметичности сосуда хранения жидкостей 1 и 2 категории (правильный ответ):

А. выше уровня жидкости; Б. ниже уровня жидкости;

В. отказ предохранительного клапана.

4. Взрывом называют:

А. Внезапное высвобождение энергии, сопровождающееся быстрым увеличением давления в ограниченном пространстве;

Б. Внезапное высвобождение энергии, сопровождающееся изменением состояния вещества;

В. Сильный и шумный хлопок, связанный с нагнетанием и сбросом давления.

5.Что из нижеперечисленного является основным поражающим фактором при взрыве?

А. Тепловая энергия;

Б. Ударная волна;

В. Звуковая волна.

6. Какие виды взрывов бывают? (согласно классификации)

7. К легко воспламеняющимся жидкостям относятся …

8. Взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости происходит при(выберите правильный ответ):

А. Разгерметизации сосуда под давлением;

Б. Нахождении сосуда под давлением в зоне пожара;

В. Разлитии воспламеняющегося вещества

9. Физические характеристики токсичных веществ (выберите неправильный ответ):

А. Способность к рассеиванию;

Б. Стойкость;

В. Гидрофильность.

Тема 3. Оценка воздействия на окружающую среду горных предприятий. Разделы ООС и ОВОС в проектной документации.

Цель: закрепление и систематизация знаний по теме, разработка навыков работы с литературой.

Задания

Домашнее устное задание:

1. Повторение материала лекций:

– прочитать раздел 3 учебного пособия: Обеспечение экологической безопасности в промышленности: учебно-методическое пособие/ А.В.Хохряков, А.Г.Студенок, И.В.Медведева, А.М.Ольховский, В.Г.Альбрехт, Е.А.Летучая, А.Ф.Фадеичев, О.А. Москвина, Е.М. Цейтлин, Г.А. Студенок; Институт инженерной экологии УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017.

- ознакомиться со следующими нормативно-правовыми документами:

Закон «Об охране окружающей природной среды»	Верховный Совет РФ с изменениями на 27 декабря 2018 года
Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации	Приказ Госкомэкологии РФ от 16.05.2000 N 372. Зарегистрировано в Минюсте РФ 04.07.2000 N 2302
Закон «Об экологической экспертизе»	Законодательное Собрание РФ

2. Вопросы для самоконтроля и для подготовки к устному опросу:

1. Что такое оценка воздействия на окружающую среду?
2. В чём заключается государственная экологическая экспертиза?
3. Сколько этапов в себя включает ОВОС?
4. В чём заключается экологическая экспертиза и экологический аудит? В чём их различие?

Задания для тестирования:

*Инструкция***.** Внимательно прочитайте вопрос и варианты ответов. Из предложенных ответов правильный только один.

На листе бумаги напишите тему, номера вопросов и проставьте рядом номер правильного ответа или впишите словами.

1. Что первоначально проводится при проведении ОВОС?

1. Собрание ГЭЭ.
2. Рекогносцировочная оценка.
3. Предварительная проверка.
4. Оценка по проведению ОВОС.

2. Что готовит заказчик/инвестор на любой стадии разработки проектной документации?

1. Информацию о состоянии ОПС.
2. Участников процесса ОВОС
3. Техническое задание.
4. Оценку доходов на предприятии.

3. Что включает в себя предварительная оценка воздействия на окружающую среду?

1. Анализ, проверка, выявление и прогноз.
2. Описание, анализ и характеристика.
3. Характеристика и оценка.
4. Анализ и меры по снижению воздействия

4. Какие разделы предусматриваются в проекте ТЕО?

5. Описание, анализ, характеристика, оценка и меры мы можем отнести к…

6. Сколько этапов содержит, согласно "Положению об ОВОС в РФ", данная процедура?

1.три

2.четыре
3. пять

7. Какой итоговый документ первого этапа ОВОС выдается, согласно "Положению об ОВОС в РФ"?

1. Сводка воздействий на ОС
2. Техническое задание на проведение ОВОС
3.Разрешение на проведение ОВОС

8. Является ли обязательным информирование общественности на первом этапе ОВОС?

1. Да
2. Нет

9. Итогом третьего этапа ОВОС, согласно "Положению об ОВОС в РФ", является…

10. Что не должны содержать материалы ОВОС проектов новых технологий и техники?

1. Характеристику технологического процесса
2. Бизнес-план применения данной технологии
3. Оценку методического подхода к определению и расчёту выбросов (сбросов)
4. Алгоритмы расчёта удельных количеств ЗВ, поступающих в ОС

Тема 4. Охрана атмосферного воздуха в горном производстве, причины, источники и нормирование воздействия, методы очистки.
Тема 5. Охрана поверхностных и подземных вод в горном производстве, причины, источники и нормирование воздействия, методы очистки.
Тема 6. Охрана и рациональное использование недр и земной поверхности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, шахт и карьеров.

Цель: закрепление и систематизация знаний по теме, разработка навыков работы с литературой.

Задания

Домашнее устное задание:

1. Повторение материала лекций:

– прочитать раздел 4,5,7 учебного пособия: Обеспечение экологической безопасности в промышленности: учебно-методическое пособие/ А.В.Хохряков, А.Г.Студенок, И.В.Медведева, А.М.Ольховский, В.Г.Альбрехт, Е.А.Летучая, А.Ф.Фадеичев, О.А. Москвина, Е.М. Цейтлин, Г.А. Студенок; Институт инженерной экологии УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017.

– прочитать главы 4,5 учебного пособия: Промышленная экология : учебное пособие / В. А. Зайцев. - Москва : БИНОМосква Лаборатория знаний, 2013. - 382 с

2. Вопросы для самоконтроля и для подготовки к устному опросу:

1. Какие существуют нормативы качества атмосферного воздуха?
2. Перечислите основные источники загрязнения атмосферы от горных проивзодств.
3. Какие существуют инженерные методы защиты воздуха от загрязнений?
4. Что такое рециркуляция газов?
5. В чем заключается смысл создания замкнутых водооборотных систем?
6. Как нормируется качество воды?
7. Какие существуют мероприятия по охране водных ресурсов?
8. Перечислите инженерные методы очистки сточных вод.
9. В чём заключается антропогенное воздействие на ландшафты от горных производств?
10. Что такое почвы? В чём проявляются её свойства?
11. Какие существуют мероприятия по охране земельных ресурсов?

Задания для тестирования:

*Инструкция***.** Внимательно прочитайте вопрос и варианты ответов. Из предложенных ответов правильный только один.

На листе бумаги напишите тему, номера вопросов и проставьте рядом номер правильного ответа или впишите словами.

1. Что не относится к мерам по предотвращению загрязнения воздуха?

а) разбавление метана свежим атмосферным воздухом за счёт общешахтной нагнетательной вентиляции и местной всасывающей;

б) изоляция выработанного пространства;

в) средства индивидуальной защиты шахтёра («самоспасатель»);

в) контроль за состоянием и качеством проветривания;

г) опережающая дегазация пластов;

д) дегазация выработанного пространства;

е) применение горного оборудования во взрывобезопасном исполнении.

2. Что не относится к способам борьбы с рудничной пылью?

а) применение очистных и проходческих комбайнов с крупным срезом стружки;

б) предварительное нагнетание в пласт воды;

в) применение взрывной отбойки патронированными ВВ;

г) орошение забоя;

д) сухое пылеулавливание;

е) связывание пыли полимерами;

ж) применение средств индивидуальной защиты (респиратор).

3. Что не относится к защите гидросферы от загрязнений?

а) механическая очистка сточных и шахтных вод;

б) бурение шпуров и скважин с промывкой;

в) использование коагулянтов и сорбентов;

г) хлорирование;

е) утилизация жидких промышленных отходов;

ж) создание пневмобарьера.

4. Что не относится к защите литосферы?

а) технологии по утилизации и обезвреживанию промышленных отходов;

б) сжигание токсичных отходов;

в) ликвидация воронок обрушения;

г) переработка отходов в шлаковом расплаве;

д) рекультивация карьера и промплощадки рудника (шахты);

е) обеззараживание загрязнённых территорий;

ж) противоэрозионные мероприятия.

5. Какие мероприятия не относятся к изоляции и захоронению отходов?

а) хранение отходов в специальных наземных, слабоуглубленных и подземных сооружениях;

б) размещение отходов в глубоких океанических впадинах с застойными режимами перемещения вод;

в) закладка выработанного пространства;

г) размещение отходов в мощных толщах материковых льдов;

д) преобразование отходов в нейтральное вещество;

е) сжигание, переработка отходов.

6. Что не относится к экологическому воздействию?

а) вентиляция шахт и карьеров;

б) водоотлив и водозабор;

в) осушение месторождений;

г) сооружение отвалов, хвостохранилищ;

д) шум, сейсмика взрывов;

ж) отчуждение и изъятие земель;

з) оформление земельного и горного отвода;

и) добычные работы.

7. Какие техногенные загрязнения окружающей среды могут вызвать «региональную экологическую катастрофу?

8. Наибольший объём среди отходов бурения составляют:

- буровые сточные воды;
- хозяйственно-бытовые отходы;
- буровой шлам.

9. Основой стратегии создания экологически безопасной технологии бурения является:

- безопасный сброс буровых сточных вод в объекты природной среды;
- утилизация отходов бурения;
- применение оборотного водоснабжения.

10. В каких зонах морей самоочищение нефти происходит быстрее:

- в холодных водах;
- в тёплых водах;
- в арктических водах.

11. Что не является конструктивной частью бунового заграждения:

- плавучая часть;
- нефтесборщики;
- экранирующая и балластная части.

12. Наиболее надёжными методами ликвидации нефтяного загрязнения в морях являются:

- биологические методы;
- механические;
- химические.

13. При бурении и эксплуатации геотехнологических скважин наибольшее загрязнение оказывает:

- подземное растворение солей;
- подземное выщелачивание металлов;
- подземная выплавка серы.

14. Какие наиболее дисперсные загрязнители содержатся в буровых сточных водах:

- взвеси в виде тонкодисперсных суспензий и эмульсий;
- растворимые минеральные соли;
- коллоидные и высокомолекулярные соединения.

15. К механическим методам очистки буровых сточных вод не относятся:

- центрифугирование;
- адсорбция;
- отстаивание.

16. Для обезвреживания и утилизации отработанного бурового раствора и шлама не применяется следующий метод:

- отверждение;
- электрокоагуляция;
- физико-химическая нейтрализация.

17. Когда должны разрабатываться профилактические мероприятия по минимизации вредного воздействия объектов недропользования на окружающую среду?

1. – в процессе строительства и эксплуатации объекта
2.- при проектировании объекта
3. – после завершения эксплуатации объекта

18. Что контролирует, учитывает и прогнозирует горно-геологический мониторинг на объектах недропользования?

1. – климатические изменения
2. – загрязнение воздушного и водного бассейнов

3. – изменение ландшафта

4. - движение разведанных запасов полезных ископаемых, их погашение, потери и разубоживание.

19. Назовите один из приоритетных принципов геоэкологической экспертизы.

1.– производственная необходимость

2. – экономическая целесообразность

3.- соблюдение технологических норм проектирования и экологии недропользования

4.– корпоративные интересы недропользователей

20.Укажите супертоксичную геохимическую группу элементов:

1.– Cu, Zn, S, Bi, Ag

2. - Ti, Na, K, Ta, Rb, Ca, Si, Nb

3.– Hg, Cd, Tl, Be, U, Rn, радионуклиды Sr и др.

4. – Pb, Se, Te, As, Sb

21. Какая взаимозависимость (корреляции) между величинами потерь и разубоживания?

1. – прямая

2. – обратная

3. – неопределенная

22. Какими показателями выражается регламентация санитарно – защитных зон предприятий при добыче полезных ископаемых?

1. – расстояние, м

2. – площадь, м2

3. – объем, м3

23. Укажите группу минерального сырья с наибольшим размером платежа на ее добычу.

1. – горно-химическое сырье

2.– радиоактивное сырье

3. – нефть, природный газ

4. – черные металлы

5. – цветные и редкие металлы

24. Укажите загрязняющее вещество за сброс, которого в поверхностные и подземные воды плата наиболее высокая:

1. – нефть и нефтепродукты

2. – ртуть

3. – железо

25. Соотнести группы нормативов качества атмосферного воздуха с определениями:

1.	(ПДКр.з.)	А.	Среднесуточная предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия в условиях неопределенного долгого круглосуточного вдыхания
2.	(ПДКс.с.)	Б.	Временный гигиенический норматив сроком на три года, по истечении которого он должен быть пересмотрен или заменен значениями ПДК
3.	(ПДКм.р.)	В.	Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны, которая не должна вызывать у работающего при ежедневном вдыхании в пределах 8 часов в течение всего рабочего стажа заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования

			непосредственно в процессе работы или в отдельные сроки
	ОБУВ	Г.	Максимальная разовая концентрация загрязняющих веществ в воздухе населенных мест, которая не должна вызывать в течение 30 минут рефлекторных реакций в организме человека

26. Дайте определение санитарно-защитной зоне (СЗЗ)….

27. При введении предприятия в эксплуатацию требуются расчеты ПДВ:

а) Для всех компонентов выбросов, входящих в выброс

б) Для веществ, составляющих основную часть выброса

в) Для веществ, опасность которых для жизни и здоровья человека не установлена

г) Верно все

д) Верно б, в.

28. В целях определения критериев безопасности и (или) безвредности воздействия химических, физических и биологических факторов на людей, растения, животных и т.д., а также в целях оценки состояния атмосферного воздуха устанавливаются:

а) Гигиенические нормативы качества атмосферного воздуха;
б) Экологические нормативы качества атмосферного воздуха
в) Предельно допустимые уровни физических воздействий
г) Временно согласованные сбросы
д) Качественные показатели сбросов

29. В соответствии с федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды” под нормированием в области охраны окружающей среды понимается:
а) установление нормативов на эксплуатацию природных ресурсов, вовлечение их в хозяйственный оборот
б) установление нормативов качества окружающей среды
в) установление нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности
г) разработка нормативных правовых документов в области охраны окружающей среды

30. В соответствии с федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды” под мониторингом окружающей среды (экологическим мониторингом) понимается:
а) независимая, комплексная, документированная оценка соблюдения субъектом хозяйственной и иной деятельности требований в области охраны окружающей среды
б) система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушений законодательства в области охраны окружающей среды
в) вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности
г) комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Тема 7. Горное производство как источник образования отходов, экологические аспекты обращения с отходами, учёт и отчетность при обращении с отходами.

Цель: закрепление и систематизация знаний по теме, разработка навыков работы с литературой.

Задания

Домашнее устное задание:

1. Повторение материала лекций:

– прочитать раздел 6 учебного пособия: Обеспечение экологической безопасности в промышленности: учебно-методическое пособие/ А.В.Хохряков, А.Г.Студенок, И.В.Медведева, А.М.Ольховский, В.Г.Альбрехт, Е.А.Летучая, А.Ф.Фадеичев, О.А. Москвина, Е.М. Цейтлин, Г.А. Студенок; Институт инженерной экологии УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017.

– прочитать главу 6 учебного пособия: Промышленная экология : учебное пособие / В. А. Зайцев. - Москва: БИНОМосква Лаборатория знаний, 2013. - 382 с

2. Вопросы для самоконтроля и для подготовки к устному опросу:

1. Какие существуют источники образования и виды деятельности с отходами производства и потребления?

2. Какие основные отходы образуются в результате горного производства?

3. Какие предъявляются требования к обеспечению экологической безопасности при обращении с опасными отходами?

4. Какие существуют классы опасности отходов?

5. Что такое нормативы образования отходов и лимиты на их размещение?

Задания для тестирования:

*Инструкция***.** Внимательно прочитайте вопрос и варианты ответов. Из предложенных ответов правильный только один.

На листе бумаги напишите тему, номера вопросов и проставьте рядом номер правильного ответа или впишите словами.

1.Отходы, которые после соответствующей обработки могут быть снова использованы в производстве, называются:

1. Возобновимыми ресурсами.
2. Вторичными ресурсами.
3. Невозобновимыми ресурсами.
4. Оборотными ресурсами.
5. Сбереженными ресурсами.

2. Показатель качества окружающей среды, определяющий максимально допустимое содержание вредного вещества, которое на протяжении длительного времени не оказывает отрицательного влияния на здоровье организма и его потомства, называется:

1. Государственный стандартом.
2. ОБУВ (ориентировочный безопасный уровень воздействия).
3. ГОСТом.
4. ПДК.
5. Нет верного ответа.

3. Разновидность малоотходных процессов - это... , при котором использованная в производстве вода очищается, охлаждается и снова пускается на производственные нужды.

1. Оборотное водоснабжение.
2. Реутилизация.
3. Экономичное водоснабжение.
4. Минимальное водоснабжение.
5. Оптимальное водоснабжение.

4. Какой из источников вносит наибольший вклад в антропогенное повышение в атмосфере концентрации углекислого газа?

1. Извержение вулканов.
2. ТЭЦ.
3. Автотранспорт.
4. Разложение органических веществ почвы.
5. Котельные жилых домов.

5. Ресурсосберегающие технологии – это:

1. Строго фиксированная оплата труда.
2. Использование новых технологических разработок.

3. Минимальные затраты труда и энергии.
4. Строго фиксированные ежемесячные затраты.
5. Нет верного ответа.

6. Сероулавливающие установки в крупных городах позволяют использовать до 90% сернистого газа для производства серной кислоты. Какой принцип учтен в таком производстве?

1. Принцип сверхточных технологий.
2. Принцип исключения.
3. Принцип взаимоприспособляемости.
4. Принцип рециклизации.
5. Принцип неопределенности.

7. Остатки сырья, материалов, полуфабрикатов химических соединений, образующиеся при производстве продукции или выполнении работ, утратившие полностью или частично свои потребительские свойства:

а) основные отходы;
б) вторичные материальные отходы;
в) отходы потребления;
г) отходы производства;
д) отходы предприятия

8. Складирование твёрдых отходов горного производства осуществляется в качестве:

А) потенциального минерально-сырьевого ресурса
Б) отходов предприятия

9. Рециркуляция, это…

10. Системы классификации отходов подразделены:

а) по отраслевому принципу;
б) по агрегатному состоянию;
в) направлениям использования;
г) все перечисленное

Тема 8. Экономические аспекты воздействия горного производства на окружающую среду.

Цель: закрепление и систематизация знаний по теме, разработка навыков работы с литературой.

Задания

Домашнее устное задание:

1. Повторение материала лекций:

– прочитать раздел 9 учебного пособия: Обеспечение экологической безопасности в промышленности: учебно-методическое пособие/ А.В.Хохряков, А.Г.Студенок, И.В.Медведева, А.М.Ольховский, В.Г.Альбрехт, Е.А.Летучая, А.Ф.Фадеичев, О.А. Москвина, Е.М. Цейтлин, Г.А. Студенок; Институт инженерной экологии УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017.

– прочитать главы 10,12,13, 15 учебного пособия: Промышленная экология : учебное пособие / В. А. Зайцев. - Москва: БИНОМосква Лаборатория знаний, 2013. - 382 с

2. Вопросы для самоконтроля и для подготовки к устному опросу:

1. Как рассчитывается плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу?
2. Что входит в плату за сброс загрязняющих веществ в водные объекты?
3. Какие экологические проблемы проявляются от горного производства?
4. Как рассчитывается плата за размещение отходов?

Задания для тестирования:

*Инструкция***.** Внимательно прочитайте вопрос и варианты ответов. Из предложенных ответов правильный может быть один или несколько.

На листе бумаги напишите тему, номера вопросов и проставьте рядом номер правильного ответа или впишите словами.

1. Как соотносятся экология и экономика по затратным статьям:

- прямая корреляционная связь;
- обратная корреляционная связь;
- отсутствие связи (взаимозависимости).

2. Куда поступает плата за пользование недрами?

- на производственные нужды предприятия – недропользователя;
- в бюджет административных управленческих структур;
- на статью соцкультбыта населения.

3. Какое структурное подразделение выдает лицензию на право недропользования, на выбросы, сбросы и размещение твердых отходов?

- Министерство сельского хозяйства РФ;
- Росгортехнадзор;
- Министерство природных ресурсов РФ;
- Министерство образования и науки РФ.

4. С каким понятием связано случайное вредное воздействие на окружающую среду объектами недропользования?

- «парникового эффекта»;
- технического риска;
- роялти.

5. Какие причины конфликтов между бизнесом и охраной окружающей среды?

6. Для чего создается система экологических отходов?

7. Государственное управление в области промышленной безопасности осуществляется через:

А. Лицензирование деятельности;

Б. Платежи за эксплуатацию технических систем повышенной опасности;

В. Систему административной и уголовной ответственности за нарушение правил эксплуатации опасных технологий

8. Декларация безопасности промышленного объекта должна включать следующие сведения (выберите неправильный ответ):

А. Основные характеристики технологических процессов;

Б. Перечень мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

В. Перечень мероприятий по предупреждению и ликвидации экологических последствий чрезвычайных ситуаций;

Г. Сведения о природно-климатических особенностях района размещения объекта.

9. Экологическая экспертиза устанавливает соответствие между:

а) намечаемой хозяйственной деятельностью и экологическими требованиями;

б) существующей деятельностью человека и экологическими требованиями;

в) результатами деятельности человека и экологическими требованиями

10. Как называется предельное количество вещества, разрешаемое к выбросу от данного источника, которое не создает приземную атмосферную концентрацию, опасную для людей, растительного и животного мира?

Для проведения контроля самостоятельной работы студентов применяются: доклад, тестирование; экзамен.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ
(уровень творческой деятельности)

Написать Доклад – подготовить доклад на определенную тему.

Доклад должен включать 3 раздела: 1 - проблемный - практический (анализ, обзор, творческое изложение статей ученых на выбранную тему в научных журналах за два года (текущий и предшествующий), 2 - собственное мнение на выделенную проблему; 3 - список научной литературы по выбранной теме.

Выбор темы осуществляется студентом самостоятельно.

1. Экологические факторы и их действие
2. Экосистемы: структура и динамика
3. Круговорот веществ в биосфере
4. Законы экологии
5. Источники воздействия на природную среду на горнодобывающих предприятиях.
6. Характеристика источников загрязнения литосферы, гидросферы, воздушного бассейна
7. Задачи органов управления охраной и регулированием использования природных ресурсов
8. Технико-эколого-экономическая оценка эффективности использования и охраны минеральных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых
9. Оценка эффективности использования и охраны земель при добыче и переработке полезных ископаемых
10. Охрана и рациональное использование земель при добыче и переработке полезных ископаемых
11. Рекультивация карьерных выемок, мульд сдвижения и зон обрушения.
12. Водоснабжение горных предприятий. Водопотребление при добыче и переработке полезных ископаемых. Способы подачи воды.
13. Охрана воздушного бассейна от пылегазовых выбросов предприятий. Планирование достижений предельно допустимых выбросов.
14. Утилизация отходов производства.
15. Использование подземного пространства земных недр.
16. Технология экологически замкнутого производства.
17. Принципы утилизации и использования шахтного метана.
18. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выброса.
19. Способы складирования углесодержащих и радиоактивных горных пород.
20. Влияние газопылеобразных отходов на биосферу и климат планеты. 25.Извлечение металлов и других полезных соединений из отходов.

Объем Доклада не более 25 листов. Оформление работы должно отвечать общим требованиям, установленным в университете.

Результат работы представляется на практическом (семинарском) занятии по соответствующей теме.

Требования к докладу на практическом (семинарском) занятии

Студенту предоставляется время для выступления на практическом (семинарском) занятии продолжительностью не более 15 минут: 10 минут - доклад, 5 минут - ответы на вопросы.

Студент представляет доклад в форме компьютерной презентации, выполненной в MS PowerPoint.

Презентация должна иметь:

слайд, содержащий полное название доклада, ФИО автора;

слайд, содержащий четко сформулированную решаемую задачу;

несколько слайдов, описывающих решение задачи;

слайд, содержащий краткие выводы из работы.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Оформление самостоятельной работы студента должно отвечать общим требованиям, установленным в университете Положением о требованиях к оформлению Докладов, отчетов по практике, контрольных, курсовых, дипломных работ и магистерских диссертаций.

ОЦЕНКА ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Критерии оценки Доклада – новизна текста, степень раскрытия сущности вопроса, соблюдение требований к оформлению.

Новизна текста - актуальность темы Доклада; новизна и самостоятельность в постановке проблемы, формулирование нового аспекта известной проблемы; умение работать с литературой, нормативными правовыми актами, систематизировать и структурировать материал; наличие авторской позиции, самостоятельность оценок и суждений.

Степень раскрытия сущности вопроса - соответствие содержания доклада его теме; полнота и глубина знаний по теме; умение обобщать, делать выводы, сопоставлять различные точки зрения по вопросу (проблеме); оценка использованной литературы (привлечены ли наиболее известные работы по теме доклада статистические данные, справки и т.д.).

Соблюдение требований к оформлению - правильность оформления ссылок на источники, списка использованных источников; грамотное изложение текста (орфографическая, пунктуационная, стилистическая культура); владение терминологией; соблюдение требований к объёму доклада.

Критерии оценки публичного выступления (защита Доклада) - логичность построения выступления; грамотность речи; глубина выводов; умение отвечать на вопросы; оригинальность формы представления результата; поведение при защите работы *(*манера говорить, отстаивать свою точку зрения, привлекать внимание к важным моментам в докладе или ответах на вопросы и т.д.).

Критерии оценки презентации - эстетическое оформление; использование эффектов анимации.

Выполнение Доклада и доклад его результатов на занятии оценивается по четырёхбалльной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

Оценка *«отлично»* **-** Доклад полностью соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки).

Оценка «*хорошо*» - Доклад в основном соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки).

Оценка *«удовлетворительно*» - Доклад частично соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки).

Оценка *«неудовлетворительно*» - Доклад не соответствует предъявляемым требованиям (критериям оценки).

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор УГГУ
по учебно-методическому комплексу

_____ С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4
«Маркшейдерское дело»

форма обучения: очная, заочная

Автор: ст. преподаватель Мухин Д.В.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Безопасность горного производства	Горно-технологического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Елохин В.А.	Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта) 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 8
Подготовка к зачёту 8
Подготовка к экзамену 8

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы – закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

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

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- выполнение и написание курсовой работы (проекта);

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

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

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

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

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

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

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса:

для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям:

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

– рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям:

для овладения знаниями:

– изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
– изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– составление плана проведения эксперимента;
– составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
– аналитическая обработка результатов экспериментов.

для формирования навыков и умений:

– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе:

для овладения знаниями:

– чтение основной и дополнительной литературы;
– работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

– работа с конспектом лекций;
– ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

– решение задач по образцу и вариативных задач;
– выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
– оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией – это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя:

для овладения знаниями:

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Подготовка к выполнению и написанию курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) – форма контроля для демонстрации обучающимся умений работать с объектами изучения, критическими источниками, справочной и энциклопедической литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать и строить априорную модель изучаемого объекта или процесса, создавать содержательную презентацию выполненной работы.

При выполнении и защите курсовой работы (проекта) оценивается умение самостоятельной работы с объектами изучения, справочной литературой, логично и грамотно излагать собственные умозаключения и выводы, обосновывать выбранную технологическую схему и принятый тип и количество оборудования, создавать содержательную презентацию выполненной работы (пояснительную записку и графический материал).

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту):

для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа учебно-методическими материалами по выполнению курсовой работы (проекта);
- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;
- подготовка тезисов ответов на вопросы по тематике курсовой работы (проекта).

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

Тематика курсовых работ (проектов) приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест – это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте, продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов, выбрать правильные (их может быть несколько), на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам.

В процессе выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Подготовка к экзамену

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме экзамена.

Билет на экзамен включает в себя теоретические вопросы и практико- ориентированные задания.

Теоретический вопрос – индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность

одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

Практико-ориентированное задание – средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по определенной теме.

При самостоятельной подготовке к экзамену студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов к экзамену;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения экзамена: количество теоретических вопросов и практико-ориентированных заданий в экзаменационном билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с экзаменационным билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;
- при условии проведения устного экзамена составить план и тезисы ответов на теоретические вопросы, кратко изложить ход решения практико-ориентированного задания;
- при условии проведения письменного экзамена дать полные письменные ответы на теоретические вопросы; изложить ход решения практико-ориентированного задания с численным расчётом искомых величин.

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



Голубко Б.П.

Маркшейдерское дело

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург – 2019

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»

Голубко Б.П., Гордеев В.А., Яковлев В.Н.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 6
2. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ 10
2.1. Государственный надзор за использованием и охраной недр 10
2.2. Оформление представления горного и земельного отводов 15
3. ОПОРНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 18
4. СЪЕМОЧНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЕТИ НА КАРЬЕРАХ И РАЗРЕЗАХ 25
4.1. Классические способы создания съемочных сетей 27
4.1.1. Плановое съемочное обоснование 27
4.1.2. Высотное съемочное обоснование 45
4.2. Применение спутниковой геодезии на карьерах и разрезах 48
4.2.1. Основные положения спутниковой геодезии 48
4.2.2. Технологии съемок комплексами глобальных спутниковых систем 68
4.2.3. Приборное и программное обеспечение спутниковых съёмок 80
4.2.4. Создание и реконструкция маркшейдерского опорного обоснования 86
4.3. Анализ точности и проектирование маркшейдерских сетей на карьерах 98
4.3.1. Общие положения 98
4.3.2. Накопление ошибок в линейно-угловых ходах 101
4.3.3. Накопление ошибок в высотных ходах 111
4.3.4. Оценка точности геодезических засечек 119
4.3.5. Точность спутниковых геодезических технологий 136
4.3.6. Проектирование и уравнивание маркшейдерских сетей 142
5. СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ НА КАРЬЕРАХ И РАЗРЕЗАХ 150
5.1. Способ перпендикуляров (ординарный способ съемки) 151
5.2. Тахеометрическая съемка 152
5.3. Стереофотограмметрическая съемка 156
5.3.1. Аэрофотограмметрическая съемка карьеров (аэросъемка) . . . 158
5.3.2. Наземная фотограмметрическая съемка 163
5.4. Лазерное сканирование в карьерах и разрезах 175
5.4.1. Основные положения и технология лазерного сканирования 175
5.4.2. Приборное обеспечение технологии лазерного сканирования 183
5.4.3. Практическое применение систем лазерного сканирования . 196
6. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ 201
6.1. Основные положения 201

6.2. Перенос в натуру проектных данных горнотехнических объектов . 206
6.3. Маркшейдерские работы при проходке траншей 210
6.4. Маркшейдерские работы при разбивке и съемке транспортных путей 215
6.5. Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ 217
6.6. Маркшейдерские работы при рекультивации нарушенных земель .222
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 225
Библиографический список 231

ВВЕДЕНИЕ

Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых по сравнению с подземным имеет преимущества, которые обусловлены специфическими условиями производства. К их числу относятся: системы разработки, позволяющие одновременно проводить горные работы на больших площадях с перемещением значительных объемов горной массы; высокая степень механизации трудоемких работ с использованием высокопроизводительного оборудования; интенсивное подвигание горных выработок; высокая производительность и безопасность труда; низкая себестоимость добычи.

В связи с этим, маркшейдерские работы на карьерах имеют свои особенности. Прежде всего, становится возможным применять высокоэффективные современные методы съемки с использованием геодезических спутниковых систем, проводить съемку при естественном освещении. В то же время, все виды съемок находятся в зависимости от внешних факторов – рельефа местности, метеоусловий. При выборе методики маркшейдерских работ на карьере указанные факторы имеют существенное, а иногда и основополагающее значение.

Маркшейдерские работы на карьере по значимости, трудоемкости и характеру работ подразделяются на три вида: капитальные, основные и текущие. К капитальным относятся крупные работы разового характера, например, создание или реконструкция опорной сети. К основным относятся систематически повторяющиеся работы: построение съемочных сетей; наблюдения за устойчивостью откосов уступов и бортов карьера. К текущим относятся постоянно выполняемые работы: съемка горных выработок (уступов), буровзрывных работ и транспортных путей; определение и учет объемов вскрыши и полезного ископаемого; обеспечение направления проходки траншей; контроль за выполнением плана ведения горных работ.

Маркшейдерские опорные сети на карьерах являются маркшейдерским обоснованием, т. е. геометрической основой, обеспечивающей все виды съемки на территории карьерного поля. По мере строительства и эксплуатации карьера пункты маркшейдерского обоснования утрачиваются из-за нарушения види-

мости между смежными знаками или уничтожения их горными разработками. Работы по созданию, реконструкции и пополнению утраченных пунктов опорных сетей проводятся по техническому проекту, в котором определяется их количество, схема расположения, методика измерений и вычислений. Известно, что данный вид работ требует тщательного анализа фактического состояния маркшейдерских сетей, знания существующих способов их создания применительно к условиям карьера, соответствующего технического и финансового обеспечения.

Данные работы выполняются маркшейдерами предприятия, или по их заданию для выполнения работ привлекаются специализированные организации. Маркшейдер должен овладеть теорией и практикой ведения этих работ, используя учебную и справочную литературу.

Маркшейдерские съемки на карьерах включает определение положения горных выработок и инженерных сооружений относительно пунктов опорных и съемочных сетей с целью нанесения их на план горных работ с точностью и подробностью, обусловленной масштабом съемки.

В предлагаемом учебном пособии обобщен основной материал по организации и выполнению работ, связанных с маркшейдерско-геодезическим обоснованием и производством маркшейдерской съемки при разработке месторождений открытым способом.

Изложены требования, предъявляемые к опорным съемочным сетям и маркшейдерским съемкам, даны схемы, методика измерений и вычислений, а также новые методы спутниковой геодезии. Спутниковые системы находят все большее применение в отечественном геодезическом и маркшейдерском производстве и требуют постоянного информационного и методического обеспечения.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Открытый способ разработки месторождений в России сохраняется как генеральное направление горнодобывающей промышленности для обеспечения топливом и минеральным сырьем потребностей энергетики, металлургии, строительства, сельского хозяйства и др.

Развитие открытых горных работ на основе их интенсификации и повышения производительности осуществляется при создании проектов уникальных карьеров с глубиной разработки до 800 м.

Горные работы в карьерах характеризуются определенным порядком выемки и последующего перемещения полезного ископаемого, вскрышных и вмещающих пород, что определяет конфигурацию и размеры карьерного поля.

Карьер (рис. 1.1) – совокупность открытых горных выработок, посредством которых производят разработку месторождения, одновременно это административно-хозяйственное производственное подразделение, производящее добычу полезного ископаемого открытым способом.

Разрез – название открытых горных работ при разработке угольных месторождений.

Геометрическими элементами карьера (разреза) являются:

уступы - слой толщи пустых пород или руды, разрабатываемый самостоятельными техническими средствами отбойки, погрузки и транспорта;

траншея (капитальная, разрезная) - открытая горная выработка трапецеидального поперечного сечения, обеспечивающая доступ с поверхности к рабочим горизонтам (капитальная), с горизонта на горизонт (разрезная);

откос уступа - наклонная поверхность, ограничивающая уступ со стороны выработанного пространства;

угол откоса уступа – угол наклона поверхности уступа в плоскости, нормальной к простиранию уступа;

бровка уступа (верхняя и нижняя) – линии пересечения откоса уступа с верхней и нижней площадками (бермами) уступа;

борт карьера - боковая поверхность, ограничивающая выработанное пространство карьера. Различают борта рабочие и постоянные, поставленные в предельное (проектное) положение.

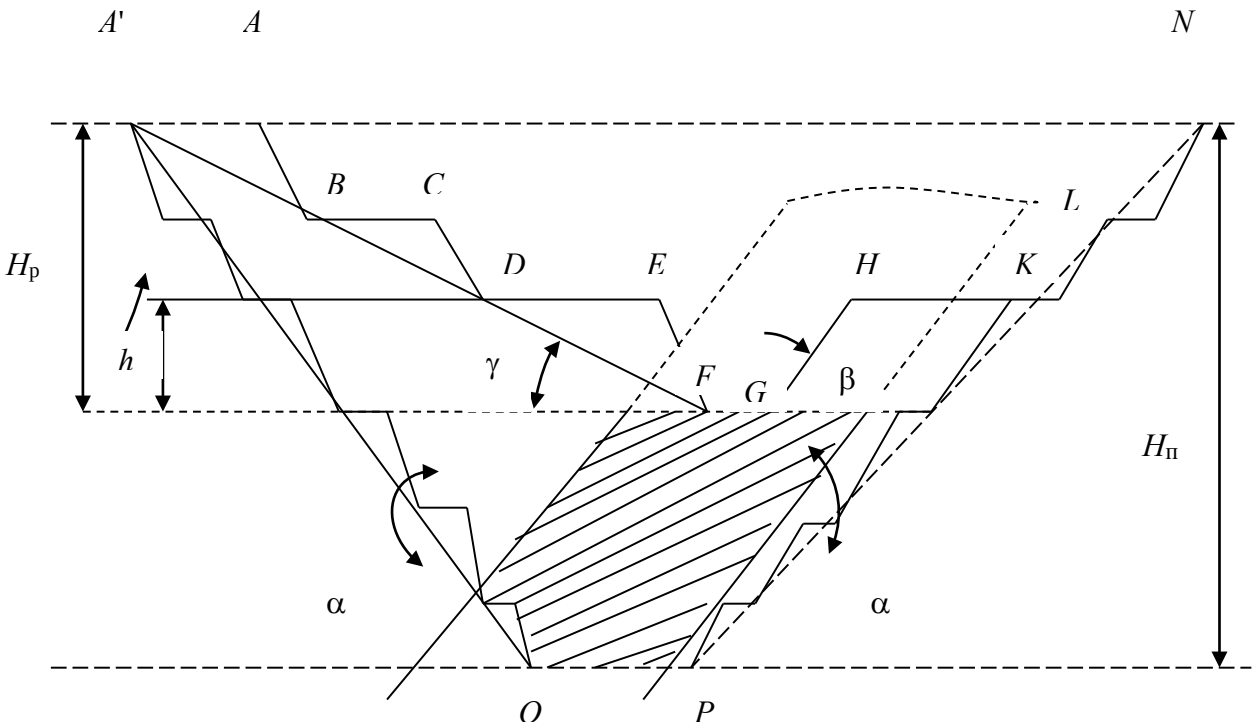


Рис. 1.1. Карьер и его элементы:
A'ABC, BCDE, DEFG – уступы; *EFGH* – разрезная траншея;
AB, CD, EF – откосы уступов; β - угол откоса уступа; *A, B, C, D* – бровки уступов; *BC, DE* – рабочие горизонты; *L* – предохранительная берма;
A'O и *NP* – борта карьера; γ - угол разгона или угол эксплуатации;
α - угол погашения бортов карьера; *h* – высота уступа;
$H_р$ – рабочая глубина карьера; $H_п$ – предельная глубина карьера

Показателем оценки пригодности месторождения к разработке открытым способом, определения экономически целесообразной глубины и планирования горных работ, расчета себестоимости полезного ископаемого служит коэффициент вскрыши.

Под коэффициентом вскрыши понимают количество вскрышных пород, исчисляемое на единицу полезного ископаемого. Коэффициент вскрыши называют "весовым" (т/т) и "объемным" ($м^3/м^3$). Различают следующие виды коэффициента вскрыши: граничный - максимально допустимый по условию экономичности открытых разработок; средний - в пределах конечных контуров карьера или его участка; контурный - в пределах прирезаемого к карьеру одного слоя при увеличении его глубины; текущий - по месяцам, кварталам и годам; слоевой - в границах горизонтального слоя; эксплуатационный - за определенный период эксплуатационных работ в карьере; первоначальный - отношение объема вскрыши за период строительства карьера к

общему объему полезного ископаемого в конечных контурах; текущий (стоимостной) - при текущем планировании объемов вскрыши и производственной себестоимости.

Вскрытие карьерного поля и разработка месторождения - два взаимосвязанных процесса. В зависимости от инженерно-геологических и горнотехнических условий вскрытие карьерного поля осуществляется проведением открытых или подземных горных выработок (табл. 1.1, 1.2).

Таблица 1.1

Элементы системы горных выработок для вскрытия карьерных полей

Горная выработка	Назначение
1	2
Наклонная траншея (внешняя траншея)	Обеспечение связи горизонтов в рабочей зоне карьера с поверхностью или нижележащим горизонтом
Горизонтальная траншея (разрезная траншея)	Создание фронта горных работ на горизонте
Наклонная транспортная берма (внутренняя траншея, съезд, насыпь)	Обеспечение связи между горизонтами внутри эксплуатационного пространства карьера
1	2
Горизонтальная транспортная берма	Связь в пределах горизонта, размещение пунктов примыкания к наклонной трассе транспортных коммуникаций рабочих горизонтов, тупиков и петлевых соединений транспортных путей
Крутая траншея	Связь концентрационного горизонта с поверхностью
Ствол	Связь рабочей зоны глубоких карьеров с поверхностью
Штольня	Связь эксплуатационного пространства нагорных карьеров с поверхностью, на равнинах - со стволом
Рудоспуск	Гравитационная доставка полезного ископаемого на рабочей зоне карьера на транспортный горизонт

Окончание таблицы 1.1

Рудоскат	Гравитационная доставка полезного ископаемого из рабочей зоны карьера к пункту погрузки

Таблица 1.2

Связи систем разработки с вскрытием карьерных полей

Система разработки	Система вскрытия основных горных выработок
Бестранспортная, транспортно-отвальная	Наклонные траншеи и горизонтальные бермы для грузопотоков полезного ископаемого
Экскаватор-карьер	Вскрывающие выработки не требуются
Транспортная: с перевозкой вскрышных пород в выработанное пространство с перевозкой вскрышных пород на внешние отвалы	Наклонные траншеи и горизонтальные бермы для грузопотоков полезного ископаемого, горизонтальные транспортные бермы и насыпи для грузопотоков вскрышных пород Наклонные траншеи и наклонные бермы для грузопотоков вскрышных пород и полезного ископаемого
Комбинированная	Наклонные траншеи, горизонтальные и наклонные бермы для грузопотока вскрышных пород и полезного ископаемого

На карьере может быть два - вскрышной и добычной - или несколько технологических потоков, которые отличаются между собой числом забоев в разрабатываемой зоне карьера и количеством пунктов приема горной массы, а также по их связи между собой.

Главными параметрами карьера являются: границы открытых разработок (геометрические размеры карьера - длина, ширина, глубина); производительность карьера; схема вскрытия карьера; система разработки; геомеханика карьерного поля (устойчивость откосов уступов, бортов карьера, отвалов).

Основным критерием при определении границ открытых разработок является граничный коэффициент вскрыши, на основе сравнения которого с другими видами коэффициента вскрыши определяется предельная глубина и производится оконтуривание карьерного поля.

2. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

2.1. Государственный надзор за использованием и охраной недр

Маркшейдерская служба горного предприятия является одной из ведущих структур, обеспечивающих эффективную и безопасную работу по добыче полезного ископаемого. На каждом горном предприятии маркшейдерские работы ведутся в строгом исполнении действующих федеральных законов, инструкций, приказов и правил, на базе которых дополнительно разрабатываются и вводятся внутренние распорядительные документы. Нормативно-правовое маркшейдерское обеспечение недропользования основано на новом законодательстве Российской Федерации, в котором сформулированы основные права и обязанности пользователей недр, требования по рациональному использованию и охране недр, безопасному ведению работ, связанных с пользованием недрами [1, 2].

В основном Законе нашего государства Конституции РФ (статья 9) указано, что «земля и другие природные ресурсы используются и охраняются в Российской Федерации как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории». Недра, среди природных ресурсов, занимают главенствующее место. Недра обладают огромным количеством ценных и весьма ценных ресурсов.

В законе РФ «О недрах», под недрами понимается «часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности и дна водоемов и водостоков, и простирающаяся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения». Ресурсы недр (гидроресурсы) – это твердые, жидкие и газообразные полезные ископаемые, энергоресурсы и полости естественного и техногенного происхождения в массиве горных пород. Недропользование – это деятельность человека по изучению, использованию и охране ресурсов недр.

В соответствии с общеправовым классификатором отраслей законодательства РФ законодательство о недрах выделено в

самостоятельную отрасль, с включением в ее состав следующих разделов [1]:

общие вопросы охраны и использования недр;

управление в области использования и охраны недр, контроль за охраной и использованием недр;

государственный фонд недр, государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых;

собственность на недра;

пользование недрами, виды пользования недрами, основные права и обязанности пользователей недр, плата при пользовании недрами, конкурсы и аукционы на пользование недрами;

охрана недр;

государственная экспертиза запасов полезных ископаемых;

ответственность за нарушение законодательства о недрах.

Законодательство о недрах основывается на Конституции РФ и состоит из федеральных законов «О недрах» (1992 г.); «О континентальном шельфе» (1995 г); «О соглашениях о разделе продукции» (1995 г.); «О государственном регулировании в области добычи и использовании угля, об особенностях социальной защиты работников организаций угольной промышленности» (1996 г.), а также Положения о порядке лицензирования пользования недрами (1992 г.).

Дополнительно к этому имеется большое число подзаконных нормативных правовых актов исполнительной власти субъектов РФ. Для выполнения требований указанных выше законов и актов с целью эффективного и безопасного недропользования необходимо обеспечить [1]:

государственный контроль и надзор за рациональным использованием и охраной недр;

государственный контроль и надзор за промышленной безопасностью недропользования;

государственный контроль и надзор за экологической безопасностью недропользования;

правовое регулирование условий предоставления геологического, горного и земельного отводов.

На маркшейдерскую службу горного предприятия возлагаются ответственные государственные задачи:

строгое соблюдение государственных интересов при пользовании недрами, предупреждение всякого рода проявлений хищнического подхода к использованию недр. В соответствии с законодательством РФ недра и содержащие в них ресурсы являются государственной собственностью;

высококачественное и своевременное выполнение маркшейдерских работ, обеспечивающих полное и комплексное освоение месторождений на всех этапах его развития от поиска и разведки до ликвидации (консервации) горного предприятия, а также эффективного и безопасного ведения горных работ.

Уже более 30 лет существует Международное общество по маркшейдерскому делу (ИСМ), которое является объединением специалистов маркшейдеров в рамках негосударственной организации ЮНЕСКО и постоянным членом Всемирного горного конгресса, осуществляющее свою деятельность, как самостоятельная международная организация в соответствии с утвержденным Уставом ИСМ. В Уставе ИСМ дано определение понятия «маркшейдерское дело» как отрасль горной науки и техники, занимающаяся комплексом измерений, вычислений и геометрических построений всех видов для сбора и документирования данных, выполненных на всех стадиях поиска, разведки МПИ, их добычи открытым и подземным способами, а также строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых. На современном уровне развития горного производства маркшейдерию следует считать главной составляющей системы недропользования, при этом развитие непосредственно маркшейдерии как науки следует рассматривать в двух направлениях:

качественное изменение в технике и методике производства маркшейдерских работ с внедрением новейших приборов, оборудования и ГИС технологий;

разработка и внедрение нормативных правовых и инструктивных документов, обеспечивающих эффективную деятельность маркшейдерской службы горных предприятий.

Все это должно обеспечить полное и комплексное использование недр, промышленную и экологическую безопасность недропользования.

Правовое положение маркшейдерской службы в Российской Федерации (права, обязанности, ответственность) определено Законами РФ «О недрах», «О лицензировании отдельных видов деятельности» (2001 г.), «Положением о лицензировании Деятельности по производству», утвержденным постановлением Правительства РФ от 04.06.2002 № 382 и «Правилами охраны недр» ПБ 07-601-03 (2003 г.), утвержденными Госгортехнадзором России, введенными с 29.06.2003. Постановлением Госгортехнадзора России от 22 мая 2001 г. № 18 утверждено «Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр» (РД 07-408-01).

В этом положении определены:

требования к осуществлению маркшейдерского обеспечения промышленной безопасности и охраны недр;

функции служб главного маркшейдера;

требования к составлению положений о маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охране недр.

Производство маркшейдерских работ и раньше, и в настоящее время регламентируется Инструкцией по производству маркшейдерских работ, утвержденной постановлением Госгортехнадзора России от 06.06.03 г. № 73, к введенной в действие с 29.06.03 г.

Инструкция является обязательной для всех организаций, независимо от их организационно – правовых форм и форм собственности, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих проектирование, строительство, эксплуатацию, консервацию и ликвидацию объектов по добыче и переработке полезных ископаемых, а также объектов пользования недрами в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых, на территории Российской федерации и в пределах ее континентального шельфа и исключительной экономической зоны Российской федерации [3].

В инструкции изложены технические требования и указания:

по производству маркшейдерских работ на земной поверхности (на территории производственно – хозяйственной деятельности предприятия);

при открытом и подземном способах разработки месторождений;

при разработке месторождений углеводородного сырья;

при строительстве горных предприятий;

по составлению и ведению маркшейдерской документации.

Составление и ведение маркшейдерской документации регламентируется Федеральными законами: «О недрах» и «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» (2006 г.). По первому закону пользователь обязан обеспечить ведение маркшейдерской и иной документации в процессе всех видов пользования недрами и ее сохранность; по второму – маркшейдерская документация является информационным ресурсом. В Законе указано, что информационные ресурсы могут быть государственными и негосударственными и как элемент состава имущества находится в собственности граждан, органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и общественных объединений. Этот Закон способствует значительному повышению ценности маркшейдерской документации, придавая ей в определенных условиях статус товара [1].

Все вышесказанное раскрывает нормативно – правовую основу маркшейдерского обеспечения недропользования и рационального использования недр. В тоже время рациональное использование недр это комплексная проблема и ее решение возможно в совместном изучении следующих направлений: геологического, горнотехнологического, экономического, экологического и организационного.

Законом РФ «О недрах» (раздел V) предусмотрено платное пользование ресурсами недр. Порядок и условия взимания платежей за пользование недрами с учетом вида полезного ископаемого, количества и качества запасов, природно-географических, горно-технологических и экономических условий освоения месторождения устанавливаются Правительством РФ.

Для горнодобывающего предприятия окончательные размеры этих платежей устанавливаются при предоставлении лицензии на пользование недрами.

В Законе РЭ «О недрах» (ст. 51) указан ряд правовых норм, предусматривающих уголовную и административную ответственность за нарушение законодательства и возмещения вреда,

причиненного пользователю недр или государству в процессу недропользования. Возмещение вреда подлежит за счет собственных средств пользователя недрами.

2.2. Оформление представления горного и земельного отводов

В соответствии с лицензией на право добычи полезных ископаемых на основании Закона РФ «О недрах» горному предприятию предоставляется участок недр в виде горного отвода.

Министерством природных ресурсов РФ (07.02.1998) и Госгортехнадзором РФ (31.12.1997) утверждена «Инструкция по оформлению горных отводов для разработки месторождений полезных ископаемых». Субъекты РФ могут устанавливать иной порядок предоставления горных отводов для разработки общераспространенных полезных ископаемых. Порядок предоставления горных отводов нефтегазовых месторождений устанавливается «Инструкцией о порядке предоставления горных отводов для разработки газовых и нефтяных месторождений» утвержденной Госгортехнадзором РФ 11.09.1996 г.

Согласно закону РФ «О недрах» под горным отводом понимается участок недр, представленный в виде геометризированного блока недр в соответствии с лицензией для добычи полезных ископаемых, строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых и образования особо охраняемых геологических объектов.

При получении лицензии на пользовании недрами устанавливаются предварительные границы горного отвода. После разработки технического проекта, согласования его с органами государственного горного надзора, охраны окружающей среды документы, определяющие уточненные границы горного отвода с ведомостью координат угловых точек, включаются в лицензию в качестве неотъемлемой составной части.

Проекты горного отвода для разработки месторождений полезных ископаемых составляют организации, имеющие лицензию на проектирование горных производств. Проект горного отвода включается в состав технического проекта разработки ме-

сторождения специальным разделом «Обоснование границ горного отвода».

Проект горного отвода и прилагаемые к нему документы подписывает руководитель, главный маркшейдер и главный геолог горного предприятия, испрашивающий горный отвод, главный инженер проекта и руководитель проектной организации. Органы государственного надзора пользования недр рассматривают проект горного отвода и выносят соответствующее решение. При положительном решении границы горного отвода считаются уточненными.

В состав документов, подтверждающих уточненные границы горного отвода входят: горно-отводной акт и графическая документация, включающая топографический план с ведомостью координат угловых точек границы горного отвода, структурные карты и разрезы.

Лицензии на пользование недрами представляются только после получения предварительного согласования органа управления земельными ресурсами, либо собственника земли на отвод соответствующего земельного участка для целей недропользования.

Получение земельных участков во временное пользование или их изъятие осуществляется в соответствии с земельным законодательством РФ и республик в состав РФ, а также правовыми актами краев, областей, автономных образований.

Под земельным отводам понимается земельный участок, предоставляемый после получения горного отвода для проведения работ, связанных с пользованием недрами.

Для получения земельного отвода горное предприятие обращается в органы исполнительной власти, в чьем ведении находится данный земельный участок. Величина земельного отвода может изменяться как в сторону увеличения при получении в пользование новых земель в период эксплуатации и реконструкции предприятия, так и в сторону уменьшения при возвращении неиспользованных и рекультивированных земель.

В общей площади земельного отвода выделяют группы участков земли в зависимости от их предназначения (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Подразделение участков земли в зависимости от их предназначения

Предназначение участка земли	Форма пользования земельным участком
Производство горных работ	временное
Внешние отвалы, хвостохранилища	долгосрочное
Размещение основных технологических и вспомогательных промсооружений: водозаборных, складов ВВ, внутриплощадных коммуникаций и т. д.	постоянное или временное долгосрочное
Строительство поселков горных предприятий, зданий и сооружений для нужд горных предприятий	постоянное
Размещение различных коммуникаций линейного типа: железных и автомобильных дорог, линий электропередач, связи, водопроводов, канализации, отопления и др.	постоянное или временное в зависимости от сроков эксплуатации

3. ОПОРНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Геометрической основой для производства всех видов съемки (маркшейдерской, геологической, геодезической и топографической) на земной поверхности и в карьере служат: государственные геодезические сети (триангуляция, полигонометрия, трилатерация 1-го, 2-го, 3-го и 4-го классов); сети сгущения (триангуляция, полигонометрия 1-го и 2-го разрядов) и высотные сети I, II, III и IV классов [3].

Государственная геодезическая сеть обеспечивает распределение координат на территории государства и является исходной для построения других сетей.

Работы по созданию маркшейдерских опорных геодезических сетей на карьере выполняются по согласованию и разреше-

нию Госгеонадзора. В качестве исходных пунктов для построения опорных сетей служат пункты государственной геодезической сети и сети сгущения.

Координаты и высоты всех видов опорных сетей вычисляются в принятых в стране системах координат в проекции Гаусса и в Балтийской системе высот.

Наибольшее распространение на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия в качестве опорных сетей находят сети 4-го класса, сети сгущения 1-го и 2-го разрядов и нивелирование III и IV классов, создаваемые на основе пунктов государственной геодезической сети путем перехода от общего к частному (от высшего разряда к низшему). В табл. 3.1 приведены характеристики опорных сетей 4-го класса и сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов.

В случаях, когда привязка ходов полигонометрии к пунктам государственной геодезической сети выполняется с использованием светодальномеров, длины примычных сторон хода могут быть увеличены на 30 %.

Таблица 3.1

Характеристики опорных сетей 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов

Элементы характеристики	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
1	2	3	4
Триангуляция			
Длина стороны треугольника, км, не более	5	5	3
Минимально допустимая величина угла, град:	20	20	20
- в сплошной сети			
- связующего в цепочке треугольников	-	30	30
- во вставке	-	30	20
Число треугольников между исходными сторонами или исходным пунктом и исходной стороной, не более	-	10	10
Минимальная длина исходной стороны, км			

	-	1	1
Средняя квадратическая погрешность измерения углов, вычисленная по невязкам треугольников, с	2	5	1
Предельная невязка в треугольнике, с	8	20	40
Относительная погрешность исходной (базисной) стороны, не более	1:200000	1:50000	1:20000
Относительная средняя квадратическая погрешность определения длины стороны в наиболее слабом месте, не более	-	1:20000	1:10000
Полигонометрия			
Предельная длина хода, км:	10	5	3
- относительного			
- между исходной и узловой точками	7	3	2
- между узловыми точками	5	2	1,5
Предельный периметр хода, км	30	15	9
Длина сторон хода, км			
- наибольшая	2	0,8	0,35
- наименьшая	0,25	0,12	0,08
- средняя расчетная	0,50	0,30	0,20
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Предельная относительная невязка хода	1:25000	1:10000	1:5000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), с	2	5	10

Окончание табл. 3.1

Угловая невязка хода или полигона, не более, с, где n – число углов в ходе или полигоне	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$
Полигонометрия с использованием электронных тахеометров и светодальномеров			
Предельная длина отдельных полигонометрических ходов в зависимости от числа сторон (n) в ходе, км:	8 при n=30 10 при n=20 12 при n=15 15 при n=10 20 при n=6	10 при n=50 12 при n=40 15 при n=25 20 при n=15 25 при n=10	6 при n=30 8 при n=20 10 при n=10 12 при n=8 14 при n=6
Наименьшая длина сторон хода, км:	0,25	0,12	0,08

Средняя квадратическая погрешность измерения длины стороны	До 500 м-2 см от 500 до 1000 м – 3 см свыше 1000 м 1:40000	До 1000–3 см свыше 1000 м 1:3000	До 1000 м – 5 см

Число угловых и линейных невязок, близких к предельным во всех видах сетей, не должно превышать 10 %. Допускается увеличение длин ходов полигонометрии 1-го и 2-го разрядов на 30 % при условии определения дирекционных углов сторон хода с точностью 5 - 7" не реже чем через 15 сторон и не реже чем через 3 км.

Расстояние между пунктами параллельных полигонометрических ходов 1-го разряда, по длине близких к предельным, не должно быть менее 1,5 км. При меньших расстояниях ближайшие пункты связываются ходом того же разряда.

Предельная длина хода для всех сетей, прокладываемых с использованием электронных тахеометров и светодальномеров, должна быть равна:

для ходов между исходным и узловым пунктами 2/3 отдельного хода, определенного от числа сторон (*n*);

для ходов между узловыми пунктами 1/2 отдельного хода;

при уменьшении числа сторон (*n*) отдельного хода соответственно 2/3 и 1/2.

Предельная длина сторон при измерении электронными тахеометрами и светодальномерами не устанавливается, но необходимо избегать перехода от наименьших сторон к максимальным.

Опорные сети обеспечивают распространение геометрической основы на территории карьерного поля и являются исходными для построения съемочных сетей и маркшейдерской съемки всех видов работ на земной поверхности и в карьере.

Плотность опорных сетей определяется количеством пунктов на 1 км^2 и должна быть доведена сетями сгущения не менее чем до 4-х пунктов на застроенных территориях, а на незастроенных - до 1 пункта. Исходными пунктами для сетей сгущения 1-

го разряда служат пункты государственной геодезической сети 1-4-го классов, а для сетей 2-го разряда - пункты 1-4-го классов и сети сгущения 1-го разряда (рис.3.1).

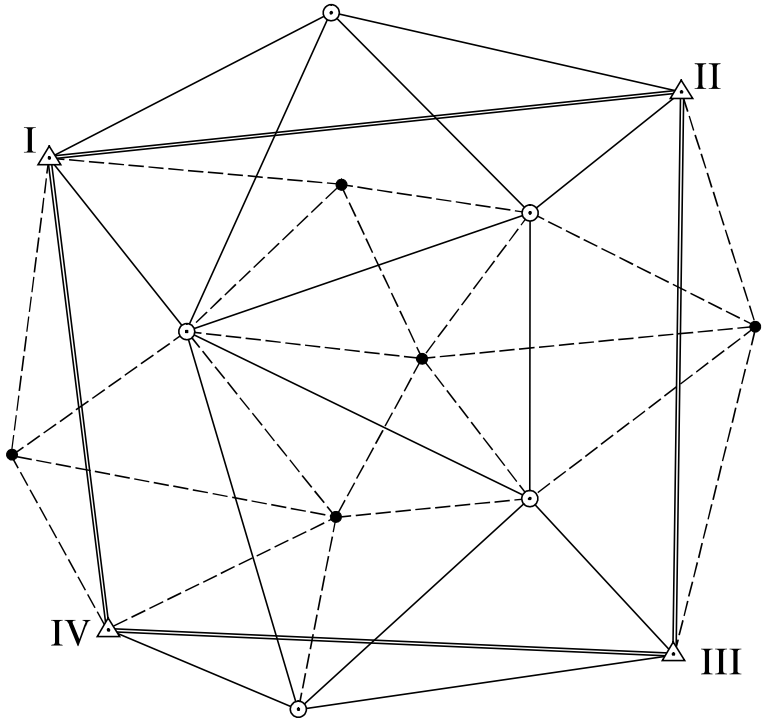


Рис. 3.1. Схема опорных сетей на карьере:

△ - пункты государственной геодезической сети 1-4-го классов,
⊙ - пункты опорных сетей 1-го разряда,
● - пункты опорных сетей 2-го разряда

Порядок и производство работ сетей 4-го класса изложены в инструкции по их производству. Измерение углов в триангуляции 1-го и 2-го разрядов производится круговыми приемами теодолитами класса Т2, Т5 с соблюдением допусков, приведенных в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Допуски измерения углов в триангуляции 1-го и 2-го разрядов

Показатели	Теодолит Т2		Теодолит Т5	
	1-й разряд	2-й разряд	1-й разряд	2-й разряд
Число приемов	3	2	4	3
Предельная невязка при замыкании горизонта, сек	8	8	12	12
Предельная невязка в направ-				

лениях из разных приемов, сек	8	8	12	12

Опорные сети, создаваемые методом полигонометрии, строятся в виде замкнутых, разомкнутых и висячих, а по форме вытянутых и ломаных ходов, опирающихся на исходные пункты (пункты с известными координатами). Группа ходов одного разряда точности, пересекающихся в узловых точках и уравниваемых совместно, называется системой. Система замкнутых ходов называется системой полигонов: свободной при наличии одного исходного пункта и одной исходной стороны и несвободной при наличии нескольких исходных пунктов и сторон. Система незамкнутых ходов называется системой с узловыми точками (пунктами) с одной, двумя и большим числом узловых точек.

Полигонометрия 4-го класса определяется относительно пунктов сетей высших классов в виде одиночных ходов или систем с узловыми точками. Сети 4-го класса как самостоятельные строятся для обоснования на застроенных территориях площадью 5-50 км^2. Сети 1-го и 2-го разрядов строятся в виде сетей сгущения относительно пунктов 1-4-го классов (отдельные ходы и системы с узловыми точками) и самостоятельно на застроенных территориях площадью 2,5-5 км^2.

Пункты опорных сетей 4-го класса, 1-го и 2-го разряда закрепляются долговременными и частично временными знаками. Долговременные знаки закрепляются на отдельных участках группами не менее трех подряд и в местах узловых точек. Временные пункты в виде железных труб и стержней длиной 0,5-1,0 м забиваются в твердый грунт и окапываются канавкой. На пунктах 4-го класса и 1-го разряда устанавливаются наружные геодезические знаки в виде простых пирамид и сигналов. На пунктах 2-го разряда допускается устанавливать вехи. Конструкции наиболее распространенных центров и знаков приведены в справочной литературе и представляют собой, как правило, забетонированный металлический штырь диаметром 25-30 мм, зазубренный или загнутый в нижней части в виде крючка. В головке штыря высверливается отверстие, наносится керн или крестообразная насечка, фиксирующие центр пункта. Допускается керн зачеканивать медной проволокой.

С учетом разнообразия маркшейдерских работ на карьере и их объемов на территории каждого из них, в зависимости от размеров и глубины разработки, должно быть не менее двух пунктов опорной сети, а на крупных - трех пунктов.

Создание опорных сетей проводится на стадиях разведки месторождения, проектирования и строительства карьера. В период эксплуатации, по мере развития горных работ, часть пунктов уничтожается и требуется периодическое пополнение опорной сети.

При построении опорных сетей, при планировании работ по ее пополнению и реконструкции руководствуются следующими требованиями:

пункты должны располагаться в таких местах, откуда видна большая часть территории, на которой ведутся горные работы;

число пунктов должно обеспечивать определение в любом месте карьера пунктов съемочной сети;

место заложения пунктов выбирается с учетом наиболее длительного срока их сохранности, наиболее близкого расположения от неподвижных бортов, перспектив развития горных работ и рекультивации земель;

наружные знаки пунктов, как правило, не должны иметь редукций, чтобы не вводить поправки в измеренные направления.

Высотные опорные сети на карьерах, как было сказано выше, создаются нивелированием III и IV классов, отметки которых определяются от сетей I и II классов соответственно в единой Балтийской системе высот на всей территории страны [2].

Сети нивелирования III и IV классов прокладываются для высотного обеспечения маркшейдерских съемок и решения инженерных задач внутри полигонов высшего класса в виде отдельных ходов или полигонов, опирающихся на исходные реперы, или в виде систем (линий) с узловыми пунктами.

Нивелирование III класса выполняется в прямом и обратном направлениях. Нивелирование IV класса производится в одном направлении. Программа и порядок наблюдений на станции проводится с соблюдением требований инструкции по нивелиро-

ванию данного класса. Основные показатели нивелирования III и IV классов приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Характеристика высотных опорных сетей, нивелирование III и IV классов

Показатели	III класс	IV класс
Периметр полигона, длина линий, не более, км	150	50
Допустимая невязка в полигонах и по линиям, мм	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
Увеличение трубы нивелира, не менее, крат	30	25
Тип нивелира	Н3, Н3К	Н3, Н3К
Тип рейки	Штриховые, шашечные 3-метровые двухсторонние	Шашечные, 3-метровые, двухсторонние
Длина визирного луча, м	75 - 100	100 - 150
Допустимое неравенство плечей визирных лучей, м	2	5
Высота визирного луча над земной поверхностью, не менее, м	0,3	0,2
Допустимое расхождение превышений $\alpha_{доп} \le h_{пр}$ -$\eta_{обр}$, мм, где α - периметр полигона или длина линии, км.	$10\sqrt{\alpha}$	$20\sqrt{\alpha}$

При решении инженерных задач на промышленных и строительных площадках нивелирование III и IV классов проводится по особой программе. В этом случае уменьшается длина хода и увеличивается частота установки знаков. Длина линий нивелирования III класса не должна превышать 10 км на застроенных и 15 км на незастроенных участках. Длина линий нивелирования IV класса не должна превышать 4 км между пунктами высшего класса и 2 км - между узловыми точками. Периметры полигонов в сетях нивелирования IV класса в этом случае не должны превышать 12 км. Линии нивелирования закрепляются на местности постоянными знаками (грунтовыми, скальными и стенными реперами), конструкции которых выбираются в соответствии с требованиями инструкции по нивелированию. В качестве временных знаков нивелирования могут быть включены пункты плановой сети.

Опорные сети на карьерах (плановое и высотное обоснование) следует выполнять так, чтобы их результаты могли быть использованы по возможности на всех стадиях разработки месторождения. Целесообразно для выполнения этих работ привлекать специализированные организации или подразделения. Работы по созданию и реконструкции опорных сетей ведутся в соответствии с проектом, который составляется на картах масштабов 1:10000 - 1:25000. Проект на эти работы согласовывается с главным маркшейдером предприятия - заказчика, который осуществляет приемку работ. Заказчику передается каталог координат и высот пунктов. Маркшейдерская служба карьера обязана вести журнал учета состояния опорной сети. Контроль за своевременным выполнением и качеством работ возлагается на маркшейдерскую службу вышестоящей организации. Государственный надзор осуществляют органы Ростехнадзора.

4. СЪЕМОЧНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЕТИ НА КАРЬЕРАХ И РАЗРЕЗАХ

Съемочными маркшейдерскими сетями на карьерах называют сети пунктов, равномерно расположенных на поверхности и внутри карьера, используемых для съемки горных выработок и решения различных горнотехнических задач. Съемочные сети создают на основе пунктов опорных сетей. Число пунктов съемочных сетей состоит из основных пунктов и определяемых в дополнение к ним съемочных точек. Определение пунктов и точек съемочного обоснования в пространстве включает расчет плановых координат и высотных отметок. Как правило, решение этих двух независимых задач осуществляется одновременно.

Выбор способа и схемы расположения пунктов и точек съемочного обоснования зависит от размеров, конфигурации, глубины карьера, системы разработки и рельефа местности. Количество пунктов съемочного обоснования, включая и пункты опорных сетей, на карьере может быть различным, и число их определяется исходя из методов и масштаба съемки. Количество основных пунктов определяется в процессе рекогносцировки, съемочных точек в процессе съемки, в зависимости от способа и масштаба съемки и сложности контуров, но во всех случаях

должно быть обеспечено соблюдение оптимальных параметров применяемого метода съемки, например, удаленность прибора до снимаемого объекта (пикета) при тахеометрическом методе съемки.

Средние квадратические погрешности положения пунктов съемочного обоснования относительно ближайших пунктов опорных сетей не должны превышать 0,4 мм на плане в принятом масштабе съемки при определении плановых координат и 0,2 м по высоте [3].

Съемочная сеть на карьерах закрепляется постоянными и временными центрами. Постоянные центры (основные пункты) закрепляются в местах, обеспечивающих длительную их сохранность для многократной съемки. К таким местам относятся нерабочие уступы, старые устоявшиеся внутренние и внешние отвалы. Временные центры (съемочные точки) закрепляются в границах рабочей части карьера, в том числе на рабочих уступах и на новых отвалах, и используются для небольшого количества съемок. Конструкция постоянных знаков представляет собой металлический центр (труба, рельс, стержень), забетонированный в скважину или в котлован на глубину, превышающую глубину промерзания на 0,5 м, но не менее 1 м. Центры временных знаков - забивные из металла или деревянных кольев - в зависимости от крепости пород забиваются вровень с поверхностью земли на глубину 0,2 - 0,5 м.

4.1. Классические способы создания съемочных сетей

4.1.1. Плановое съемочное обоснование

Для определения плановых координат постоянных и временных центров съемочного обоснования на карьерах существует несколько способов, которые можно разделить на две группы. Первая - широко распространенные способы, применяемые практически для любых горнотехнических условий: аналитические сети (в виде цепочки треугольников триангуляции, трилатерации), теодолитные ходы, геодезические засечки, полярный способ. Вторая группа для специфических условий, применение которых ограничено рельефом местности, геометрическими разме-

рами и формой карьера: разбивка прямоугольной сетки и профильных линий, аналитическая пространственная фототриангуляция. В ряде случаев применяют комбинацию из нескольких способов.

Аналитические сети при использовании методов триангуляции, трилатерации представляют или цепочку треугольников (рис. 4.1 пункты: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), опирающихся на пункты маркшейдерской опорной сети 1 и 2, или построение центральных систем, геодезических четырехугольников, вставок в углы, в треугольники и других типовых фигур.

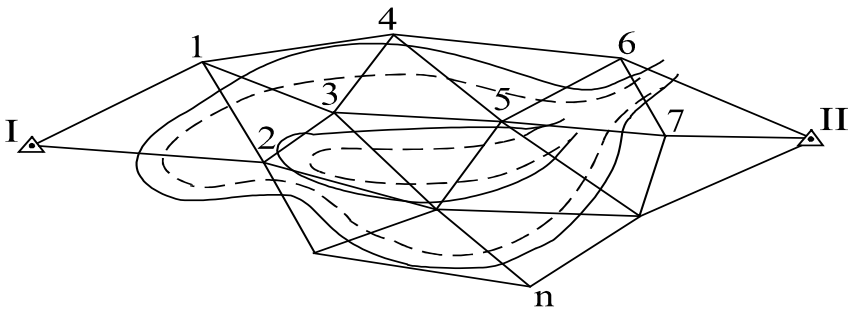


Рис. 4.1. Схема аналитической сети съемочного обоснования:
I, II – пункты опорных сетей; 1, 2,…, *n* – пункты съемочного обоснования

Предельная длина цепочки треугольников между исходными пунктами не должна превышать 1,5; 3,6 и 6,0 км при съемке в масштабах 1:1000, 1:2000, 1:5000 соответственно [3]. В цепочках треугольников допускается определять не более 7 пунктов, сторона треугольника принимается не более 1000 м.

Треугольники должны быть по возможности равносторонними с углами не менее 30^{o} и не более 150^{o}, длиной сторон от 150 до 1000 м.

Углы в треугольниках измеряются теодолитами Т30 двумя круговыми приемами, Т5 - одним круговым приемом. Допустимая угловая невязка в треугольниках 1′. Длина базисной стороны измеряется с относительной ошибкой 1:40000. При трилатерационном способе построения длины сторон измеряют с относительной ошибкой 1:10000. Уравнивание результатов измерений допускается упрощенными способами.

В целях упрощения уравнивания рекомендуется производить измерение углов с повышенной точностью, используя высокоточные инструменты или увеличивая число приемов. В этом случае, вследствие незначительных по величине невязок, уравнивание можно свести к распределению их в каждом треугольнике поровну на каждый угол. Невязки в координатах, вычисленных по предварительно уравненным углам, распределяют пропорционально длинам сторон.

Решение аналитических сетей проводится по способам триангуляции и трилатерации, описанным в курсе геодезии.

Теодолитные ходы прокладывают от пунктов опорных сетей в виде замкнутых полигонов или между пунктами в виде разомкнутых ходов (рис. 4.2).

В необходимых случаях допускается определять положение одного пункта висячим ходом из одной стороны длиной не более 400 м. На исходных пунктах измеряют примычные углы на два направления опорной сети. Их сумма не должна отличаться от значения жесткого угла больше чем на 1'.

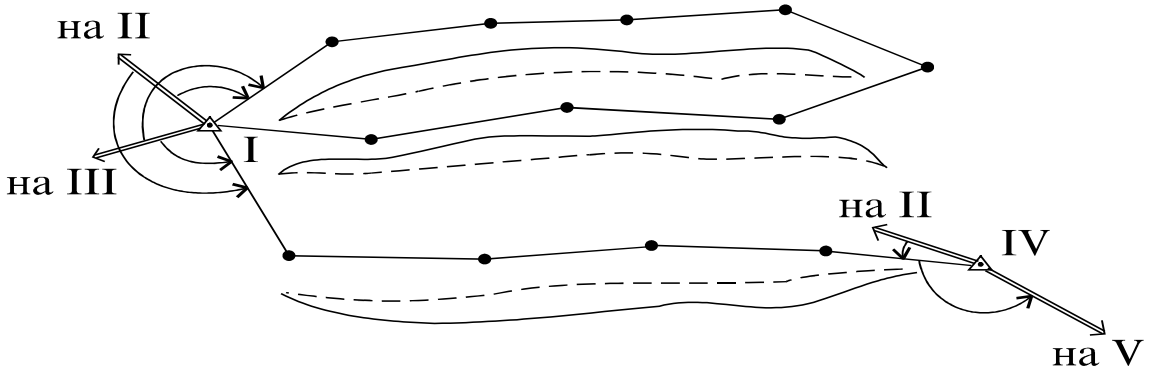


Рис. 4.2. Схема теодолитных ходов съемочного обоснования

Предельная угловая невязка теодолитного хода $45''\sqrt{n}$, где n - число измеренных углов в ходе.

Длины сторон теодолитного хода выбираются, как правило, не менее 100 м и не более 400 м. Длина теодолитного хода в целом не должна быть более 1,8; 2,5 и 6,0 км при съемке в масштабе 1:1000; 1:2000; 1:5000 [2]. Стороны измеряются дважды с

относительной ошибкой 1:1500. Допустимая линейная невязка всего хода 1:3000.

При необходимости длины сторон теодолитного хода разрешается определять косвенно или аналитически.

Данный способ определения длин линий при прокладке теодолитного хода удобен, когда применение рулетки затруднительно, а порой и невозможно при наличии на участке механизмов, транспортных средств, навалов пород и т. п. Использование светодальномеров для решения частных задач не всегда рационально, или просто они отсутствуют.

Применение этого способа сводится к измерению только углов, что на практике не вызывает затруднений. Известны два варианта прокладки теодолитных ходов.

Первый вариант. Теодолитный ход прокладывается между сторонами опорной сети в виде разомкнутого полигона (рис. 4.3).

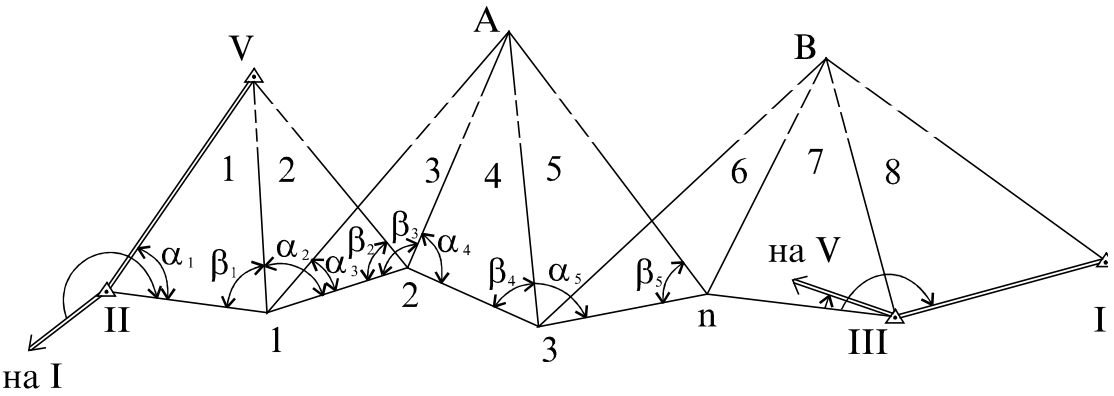


Рис. 4.3. Схема теодолитного хода с определением длин линий косвенным способом

На поверхности карьера (на нерабочем борту карьера) выбирают ориентиры (мачты ЛЭП, шпили труб и т. п.). В точках теодолитного хода начиная от пункта II до пункта III кроме измерения горизонтальных углов, необходимых для расчета дирекционных углов сторон, в каждом треугольнике измеряются углы (α_1, β_1, α_2, β_2, ...) на выбранные ориентиры (*V*, *A*, *B*).

Вычисление длин сторон теодолитного хода производится по формуле синусов. Для расчета стороны $l_{\text{II–1}}$ первый треугольник выбирается с включением известной стороны $l_{\text{II–V}}$:

$$l_{II-1} = l_{II-V} \frac{\sin(\alpha_1 + \beta_1)}{\sin\beta_1}.$$

Для вычисления второй стороны l_{1-2} определяют длину смежной стороны 1-го и 2-го треугольников:

$$l_{V-1} = l_{II-V} \frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1};$$

$$l_{1-2} = l_{V-1} \frac{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}{\sin\beta_2} \quad \text{и т. д.,}$$

переходя от одного треугольника к другому и заканчивая стороной l_{III-IV}. Поскольку значение этой стороны известно и длина ее вычислена аналитически, то представляется возможным определить линейную невязку и проконтролировать результаты измерений и вычислений.

Второй вариант. Измерение углов теодолитного хода может вестись по азимутальной схеме. В точке II установлен теодолит, на лимбе которого ставится отсчет, равный обратному дирекционному углу исходной стороны α_{II-V}. Визируем на точку 1, сделав отсчет, получим дирекционный угол α_{II-1} при одном положении вертикального круга теодолита. Измерения повторяются при втором положении вертикального круга, получаем $\alpha_{1\text{-}II}$ и при соответствующем допуске между полуприемами вычисляем среднее значение α_{II-1}.

Таким же образом определяют дирекционные углы всех сторон теодолитного хода, заканчивая измерения в пункте III, определив известный угол α_{III-IY} и вычислив угловую невязку:

$f_\beta = \alpha_{III-IV,изм} - \alpha_{III-IV,изв}$.

Одновременно с измерением основных углов теодолитного хода ведется по этой же схеме определение дирекционных углов α_{1-V}, α_{I-A}, α_{2-V}, α_{2-A} и т. д. По разности дирекционных углов в треугольниках определяют горизонтальные углы в треугольниках α_1, β_1, α_2, β_2, и т.д. между всеми направлениями и по формуле синусов вычисляют горизонтальные длины сторон.

Недостатком способа является большой объем вычислений, но они однотипны. Этот недостаток легко устраним при использовании вычислительной техники.

При прокладке ходов необходимо следить за тем, чтобы углы в треугольниках были не менее 30° и не более 150°.

Геодезические засечки - способ определения координат отдельных пунктов по необходимому числу измеренных угловых и линейных величин [4, 5, 6].

Основными элементами вычисления засечек является решение треугольника. В зависимости от методики измерений и вычислений геодезические засечки называются: прямая, обратная (задача Потенота), обратная по известным пунктам и вспомогательной точке (задача Ганзена), линейная.

Расчет координат определяемых пунктов ведется из двух треугольников в прямой засечке и из двух вариантов в обратной засечке. За окончательные координаты принимаются средние их значения. Допустимое расхождение из двух решений не должно превышать 0,6 мм на плане в масштабе съемки. Углы между линиями при определяемом пункте на исходные не должны быть менее 30° и более 150°.

Расстояния между исходными пунктами и определяемым не должны превышать 1, 2, 3 км соответственно для масштабов съемки 1:1000, 1:2000, 1:5000.

Для решения прямой геодезической засечки необходимо в карьере на исходных пунктах *A, B* и *C* (рис. 4.4) измерить два угла- α_1, β_1 в одном треугольнике и два угла α_2, β_2 - во втором.

Сущность способа заключается в том, что для определения координат пункта Р прямой засечкой достаточно решения одного треугольника по известной стороне *AB* (X_A, $У_A$, X_B, $У_B$ - известны) и двум углам - α_1, β_1. Решение второго треугольника по известной стороне *BC* и двум углам - α_2, β_2 необходимо для контроля.

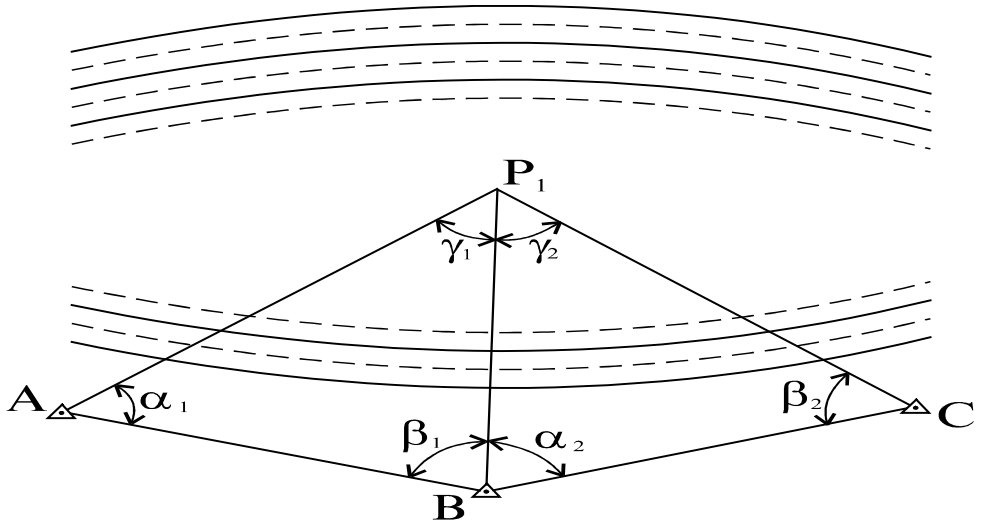


Рис. 4.4. Прямая геодезическая засечка

Для повышения точности вычисления координат пункта *P* дополнительно могут быть измерены углы γ_1 и γ_2 . В этом случае имеем

$$\alpha + \beta + \gamma - 180^\circ = f_\beta,$$

где f_β - угловая невязка треугольника, которая при равноточном измерении углов распределяется на все три угла с обратным знаком. Тогда средняя квадратическая погрешность угла уравненного треугольника

$$m_\alpha = m_\beta = m_\gamma = m_\beta \sqrt{\frac{2}{3}} = 0{,}82\, m_\beta.$$

Известны несколько способов решения прямой засечки. Наиболее распространенные из них два.

Первый способ решения прямой засечки по формулам тангенсов дирекционных углов. Исходные данные (см. рис. 4.4) X_A, Y_A, X_B, Y_B - координаты исходных точек; α_1, β_1 - измеренные углы. По известным координатам и измеренным углам определяются:

$$\mathrm{tg}\alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\ ;\ \alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \alpha_1;\ \alpha_{BP} = \alpha_{AB} + \beta_1 - 180^\circ;$$

$$\gamma_1 = 180^\circ - \alpha_1 + \beta_1 \text{ или } \gamma_1 = \alpha_{PA} - \alpha_{PB};$$

$$X_P = \frac{X_A \cdot \operatorname{ctg}\alpha_A - X_B \operatorname{ctg}\beta_B + Y_B - Y_A}{\operatorname{ctg}\alpha_A - \operatorname{ctg}\beta_B};$$

$$Y_p = Y_A + (X_P - X_A)\operatorname{ctg}\alpha_A .$$

Контроль:

$$X_A = \frac{X_B \cdot \operatorname{ctg}\beta_B - X_P \operatorname{ctg}\alpha_P + Y_P - Y_B}{\operatorname{ctg}\beta_B - \operatorname{ctg}\alpha_P};$$

$$Y_A = Y_B + (X_A - X_B)\operatorname{ctg}\beta_B .$$

Аналогичное решение осуществляется по второму треугольнику.

Второй способ решения прямой засечки по формулам котангенсов измеренных углов (см. рис. 4.4).

$$X_P = \frac{X_A \cdot \operatorname{ctg}\beta_1 + X_B \operatorname{ctg}\alpha_1 + Y_B - Y_A}{\operatorname{ctg}\alpha_1 - \operatorname{ctg}\beta_1};$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cdot \operatorname{ctg}\beta_1 + Y_B \operatorname{ctg}\alpha_1 - X_B + X_A}{\operatorname{ctg}\alpha_1 + \operatorname{ctg}\beta_1}.$$

Контроль:

$$X_A = \frac{X_B \cdot \operatorname{ctg}\gamma_1 - X_P \operatorname{ctg}\beta_1 + Y_P - Y_B}{\operatorname{ctg}\beta_1 - \operatorname{ctg}\gamma_1};$$

$$Y_A = \frac{Y_B \cdot \operatorname{ctg}\gamma_1 + Y_P \operatorname{ctg}\beta_1 - X_P + X_B}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\gamma_1}.$$

Окончательный контроль при любом способе решения проводится сравнением координат точки *P*, полученных из двух треугольников. Допустимое расхождение, как было указано вы-

ше, из двух решений не должно превышать 0,6 мм на плане в масштабе съемки.

Азимутальная засечка как вариант решения прямой засечки в случае, если есть возможность с определяемого пункта *P* вычислить азимут (дирекционный угол) направлений на исходные точки (рис. 4.5)

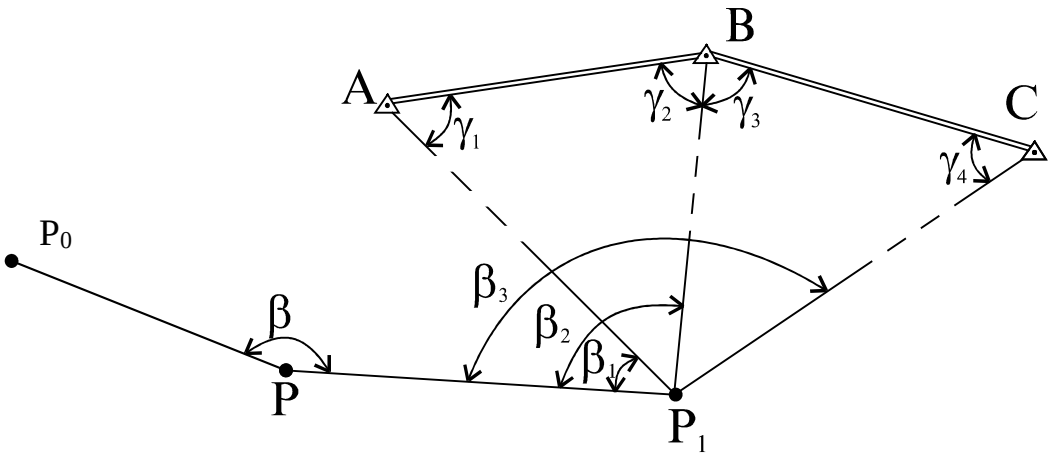


Рис. 4.5. Азимутальная засечка

С ранее определенного пункта съемочного обоснования P_1 передается дирекционный угол на направление P_1P, (α_{P_1P}):

$$\alpha_{P_1P} = \alpha_{P_0P_1} + \beta - 1 \quad 8$$

В пункте P_1 измеряются горизонтальные углы β_1, β_2, β_3 на известные точки *A*, *B*, *C* и вычисляются дирекционные углы:

$$\alpha_{PA} = \alpha_{P_1P} + \beta_1 - 1 \quad 8;$$

$$\alpha_{PB} = \alpha_{P_1P} + \beta_2 - 1 \quad 8;$$

$$\alpha_{Pc} = \alpha_{P_1P} + \beta_3 - 1 \quad 8.$$

По разности дирекционных углов вычисляются:

$$\gamma_1 = \alpha_{AP} - \alpha_{AB};$$

$$\gamma_2 = \alpha_{BA} - \alpha_{BP};$$

$$\gamma_3 = \alpha_{BP} - \alpha_{BC};$$

$$\gamma_4 = \alpha_{CB} - \alpha_{CP}$$

Определение координат $X_P\,\acute{O}_P$ выполняют, решая прямую засечку из двух треугольников.

Измерение углов в точке *P* может быть выполнено и по азимутальной схеме, описанной выше.

Обратная засечка - способ определения координат пункта съемочного обоснования $\tilde{O}_P;\acute{O}_P$ по трем исходным пунктам (задача Потенота) (рис. 4.6).

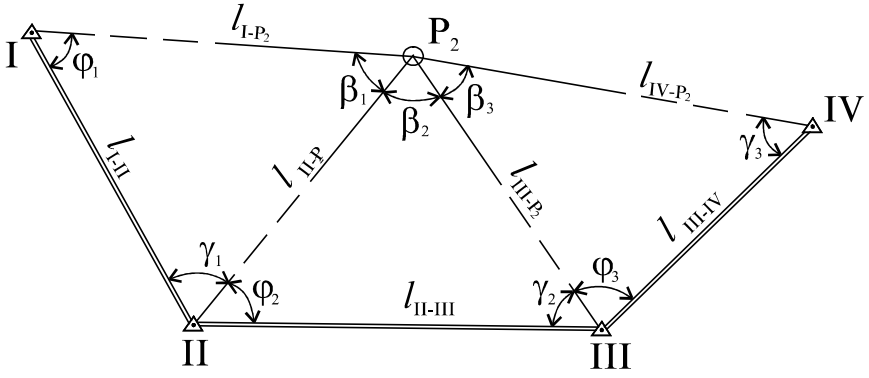


Рис. 4.6. Обратная геодезическая засечка

Обратная засечка значительно сокращает объем полевых работ по сравнению с прямой, т. к. измерение углов β_1, β_2, β_3 проводится непосредственно в определяемом пункте *P* на исходные I, II, III, IV.

Расчет обратной засечки начинается с определения средней квадратической погрешности положения пункта *P* относительно исходных [3] с целью выбора наиболее выгодной формы треугольников. Для этого используют сводный план карьера в наиболее мелком масштабе, например 1:5000. На плане отмечают предполагаемое положение определяемого пункта *P* и проводят направления на исходные опорные пункты, видимые с определяемого.

Из всех возможных вариантов предполагаемых треугольников обратных засечек выбирают те, у которых сумма углов $\varphi + \gamma$ отличается от 0° или 180° не менее чем на 30°.

По каждому варианту засечки, включающему три исходных пункта (два треугольника), среднюю квадратическую по-

грешность положения определяемого пункта вычисляют по формуле, м

$$M_{P2} = \frac{m_\beta \cdot l_{I-P}}{2 \cdot \sin(\varphi_1 + \gamma_2)} \sqrt{\left(\frac{l_{I-P}}{l_{I-I}}\right)^2 + \left(\frac{l_{I-P}}{l_{I-II}}\right)^2} \quad ,$$

где m_β - средняя квадратическая погрешность измерения углов β, $(m_\beta \le 1'5)$; l - длины соответствующих сторон, км.

Формула составлена для первого варианта из двух треугольников, включающих пункты I, II, III.

Значение углов φ_1, γ_2 берется с плана с точностью до 1°, длины сторон - до 0,1 км.

Вычисление координат пункта *P* проводится по двум вариантам засечек, имеющих M_P не более 0,3 мм на плане.

Для схемы, приведенной на рис. 4.6, может быть составлено четыре варианта засечек: 1-й - на пункты I, II, III, 2-й - на пункты II, III, IV, 3-й - на пункты I, II, IV, 4-й на пункты I, III, IV.

Решение обратной засечки может быть выполнено двумя вариантами. Ниже приводится пример для треугольников I P II и II P III.

Первый вариант:

$$\operatorname{tg}Q = \frac{(Y_{II} - Y_I)\operatorname{ctg}\beta_1 - (Y_{III} - Y_{II})\operatorname{ctg}\beta_2 + X_I - X_{III}}{(X_{II} - X_I)\operatorname{ctg}\beta_1 - (X_{III} - X_{II})\operatorname{ctg}\beta_2 - Y_I + Y_{III}};$$

$$N_1 = (Y_{II} - Y_I)(\operatorname{ctg}\beta_1 - \operatorname{tg}Q) - (X_{II} - X_I)(1 + \operatorname{ctg}\beta_1\operatorname{tg}Q);$$

$$N_2 = (Y_{III} - Y_{II})(\operatorname{ctg}\beta_2 + \operatorname{tg}Q) + (X_{III} - X_{II})(1 - \operatorname{ctg}\beta_1\operatorname{tg}Q);$$

$$N_1 = N_2 = N;$$

$$\Delta X_{II} = \frac{N}{1 + \operatorname{tg}^2 Q}; \quad X_P = X_{II} + \Delta X_{II};$$

$$\Delta Y_{II} = \Delta X_{II} \cdot \operatorname{tg}Q; \quad Y_P = Y_{II} + \Delta Y_{II};$$

$$(X_{II} - X_I) + (X_{III} - X_{II}) + (X_I - X_{III}) = 0;$$

$$(Y_{II} - Y_I) + (Y_{III} - Y_{II}) + (Y_I - Y_{III}) = 0.$$

Второй вариант:

$$\varepsilon_1 = 180^\circ - 0\frac{\beta_1 + \beta_2 + (\gamma_1 + \varphi_2)}{2}; \eta = \operatorname{arc}\operatorname{tg}\left(\frac{l_{I-II}\sin\beta_1}{l_{I-II}\sin\beta_2}\right)$$

$$\varepsilon_2 = \operatorname{arc}(\operatorname{tg}\operatorname{ctg}(45^\circ + \eta)); \gamma_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2; \varphi_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2;$$

$$l_{I-P} = l_{I-II}\frac{\sin\gamma_2}{\sin\beta_2} = l_{I-II}\frac{\sin\varphi_1}{\sin\beta_1};$$

$$\alpha_{I-P} = \alpha_{I-I} - \varphi_1 - \beta_1 \pm 180^\circ; \alpha_{I-P} = \alpha_{I-III} + \gamma_2 + \beta_2 \pm 180^\circ;$$

$$X_P = X_{II} + l_{I-P}\cos\alpha_{I-P}; Y_P = Y_{II} + l_{I-P}\sin\alpha_{I-P}.$$

Третий вариант (М.В. Пащенков):

$$K = \frac{l_{I-II}\cdot\sin\beta_1}{l_{I-II}\sin\beta_2};$$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sin(\alpha_{I-I} - \alpha_{I-II} - \beta_1)K_I\cdot\sin\beta_2}{K\cdot\cos\beta_2 - \cos(\alpha_{I-I} - \alpha_{I-II} - \beta_1)};$$

$$l_{P-I} = \frac{l_{I-II}\sin(\beta_2 + \gamma)}{\sin\beta_2};$$

$$\alpha_{I-P} = \alpha_{I-II} + \varphi_2;$$

$$\Delta X = l_{P-I} \cos \alpha_{I-P}; \quad X_P = X_I + \Delta X$$

$$\Delta Y = l_{P-I} \sin \alpha_{I-P}; \quad Y_P = Y_I + \Delta Y$$

Значение угла $(\gamma_1 + \varphi_2)$ вычисляют по разности дирекционных углов известных сторон $\alpha_{II-III} + \alpha_{II-I}$, длины сторон l_{I-II}, l_{II-III} определяют, решив обратную геодезическую задачу.

Что касается аналитического обоснования решения прямой и обратной геодезических засечек, то существует несколько способов их решения. В качестве примера получим для прямой засечки формулы котангенсов.

Из рис. 4.7 имеем

$$X_P - X_A = l_{AP} \cos \alpha_{AP} = l_{AP} \cos(\alpha_{AB} - \alpha) =$$

$$= l_{AP} \cos \alpha_{AB} \cos \alpha + l_{AP} \sin \alpha_{AB} \sin \alpha,$$

$$\cos \alpha_{AB} = \frac{X_B - X_A}{l_{AB}}; \ \sin \alpha_{AB} = \frac{Y_e - Y_A}{l_{Ae}}.$$

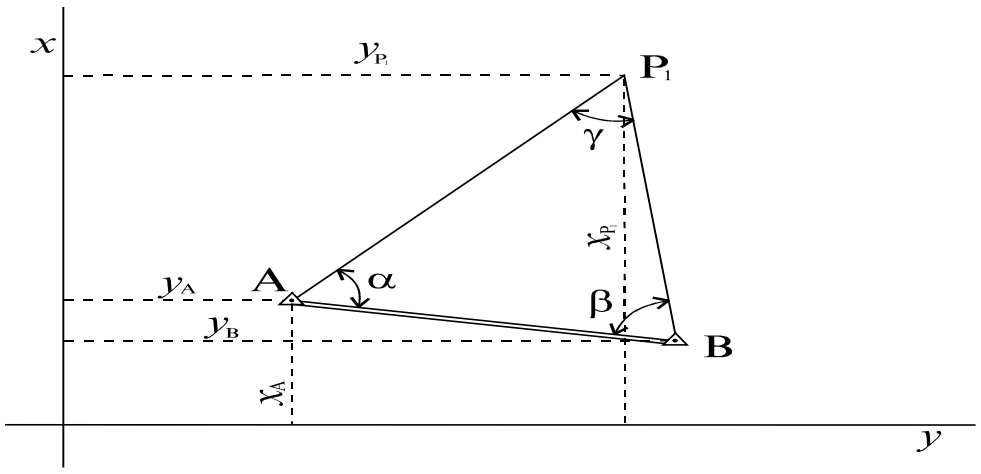


Рис. 4.7. Решение прямой геодезической засечки

Подставляя полученные выражения в уравнение, получаем:

$$X_P - X_A = \frac{l_{AP}}{l_{AB}}(X_B - X_A)\cos\alpha + \frac{l_{AP}}{l_{AB}}(Y_B - Y_A)\sin\alpha =$$

$$= \frac{l_{AP}}{l_{AB}}\left((X_B - X_A)\operatorname{ctg}\alpha + (Y_B - Y_A)\right)\sin\alpha;$$

$$\frac{l_{AP}}{l_{AB}} = \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)};\ \frac{l_{AP}}{l_{AB}}\sin\alpha = \frac{\sin\beta\cdot\sin\alpha}{\sin(\alpha+\beta)} = \frac{1}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta};$$

$$X_P - X_A = \frac{(X_B - X_A)\operatorname{ctg}\alpha + (Y_B - Y_A)}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta};\ X_P = \frac{X_A\operatorname{ctg}\beta + X_B\operatorname{ctg}\alpha + Y_B - Y_A}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}.$$

Аналогично

$$Y_P - Y_A = \frac{(Y_B - Y_A)\operatorname{ctg}\alpha - (X_B - X_A)}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta};$$

$$Y_P = \frac{Y_A\operatorname{ctg}\beta + Y_B\operatorname{ctg}\alpha - X_B + X_A}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}.$$

Решение обратной геодезической засечки состоит в определении четвертой точки по трем известным. При определяемой точке измеряются все направления, в том числе и замыкающее. Измеренные направления уравниваются.

Схемы обратной геодезической засечки не равнозначны. Наилучшим вариантом являются так называемые образцовые засечки с углами 120°, 60°, 45° при определяемом пункте и относительно равных расстояниях до исходных пунктов.

Точность определения координат пункта съемочного обоснования в этом случае зависит от точности измерения углов, расположения пунктов (формы треугольника) и расстояний от определяемого пункта до исходных. Обратная засечка не имеет решения, когда определяемый пункт лежит на одной окружности с тремя исходными пунктами.

Линейная засечка - способ определения координат пункта съемочного обоснования по известным координатам двух пунктов опорных сетей и измеренным расстояниям от исходных пунктов до определяемого (рис. 4.8).

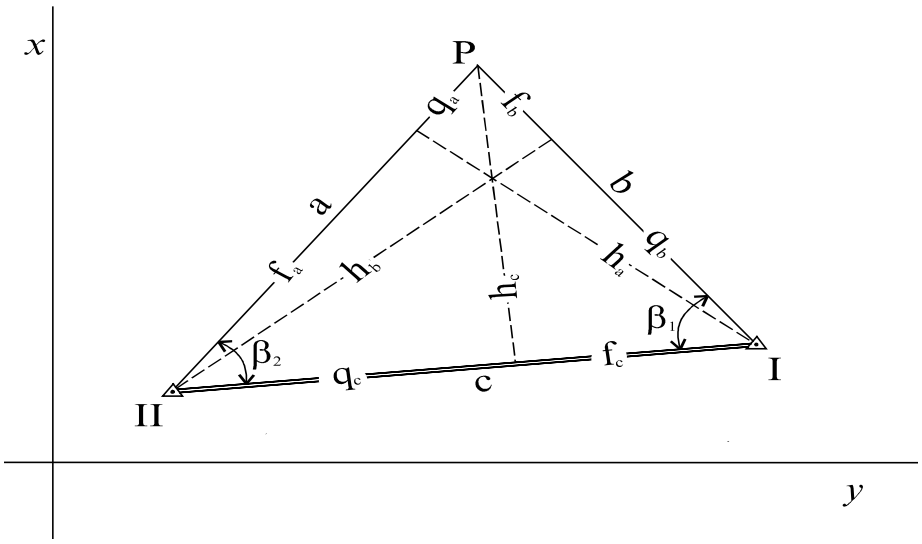


Рис. 4.8. Линейная засечка

Принятые обозначения: *a*, *b* – измеренные расстояния; *c* – известная (исходная) сторона треугольника; *h* - высота треугольника; *f* и *q* - проекции двух сторон треугольника на третью сторону; p - полусумма квадратов длин сторон

($p = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2}$).

Вычисление координат определяемого пункта может проводиться в двух вариантах.

Первый вариант: решают линейный треугольник, определяя углы: $\beta_1 = \frac{p - a^2}{b}$; $\beta_2 = \frac{p - b^2}{a}$; затем вычисляют координаты пункта *P*, решая прямую засечку.

Второй вариант: координаты пункта *P* вычисляют:

исходя из пункта I

$$X_P = X_I + f_c \cos \alpha_{I-II} - h_c \sin \alpha_{I-II},$$
$$Y_P = Y_I + f_c \sin \alpha_{I-II} + h_c \cos \alpha_{I-II};$$

исходя из пункта II

$$X_P = X_{II} - q_c \cos\alpha_{I-II} - h_c \sin\alpha_{I-II};$$

$$Y_P = Y_{II} - q_c \sin\alpha_{I-II} + h_c \cos\alpha_{I-II};$$

$$f_c = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2c}; q_c = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2c} = c - f_c;$$

$$h_c = \sqrt{b^2 - f_c^2} = \sqrt{a^2 - q_c^2};$$

$$\sin\alpha_{I-II} = \frac{Y_{II} - Y_I}{c}; \cos\alpha_{I-II} = \frac{X_{II} - X_I}{c}.$$

Высота треугольника h_C принимается с соответствующим знаком: знак плюс, если точка P расположена справа по отношению к линии I–II, и знак минус, - если слева.

Полярный способ определения координат пункта съемочного обоснования по измеренным горизонтальным углам (β_1, β_2), вертикальному углу δ_1 и расстоянию l_1 от исходного опорного пункта I до определяемого P_1 (рис. 4.9). Способ достаточно эффективный на карьерах со значительным удалением участков ведения горных работ от пунктов опорных сетей.

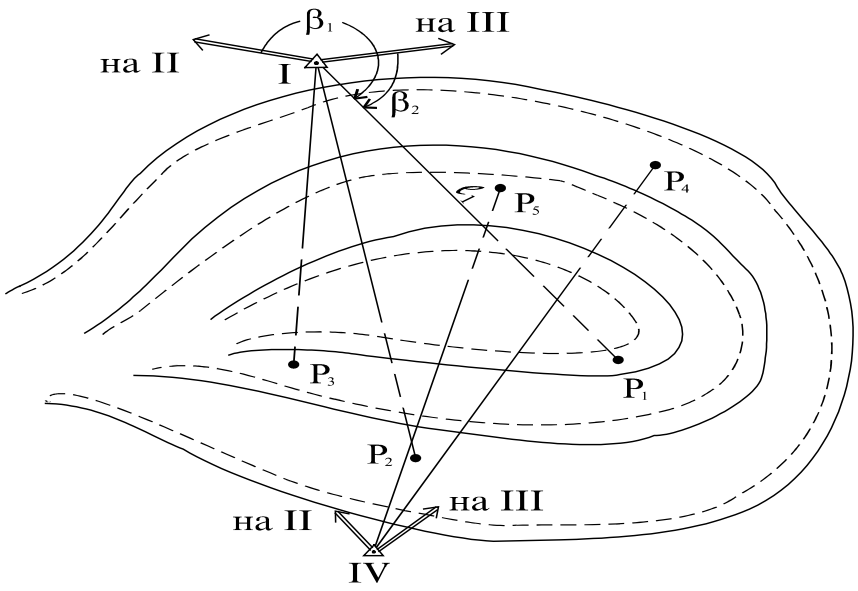


Рис. 4.9. Полярный способ определения координат

Для производства работ на нерабочих бортах карьера закладывается необходимое количество опорных пунктов, обеспечивающих видимость на все рабочие участки карьера.

Горизонтальные и вертикальные углы измеряются теодолитами класса Т1, Т2, наклонные расстояния - светодальномерами, соблюдая следующие требования [3]: расстояние до определяемого пункта не должно превышать 3 км, средняя квадратичная погрешность измеренного расстояния не более 0,1 м, горизонтальные углы измеряются круговыми приемами не менее чем от двух исходных направлений с расхождением в дирекционных углах от каждого направления на определяемый пункт не более 45".

Необходимо стремиться, чтобы длины исходных направлений превышали длины направлений до определяемых пунктов съемочного обоснования.

Координаты определяемого пункта вычисляют по формулам:

$$X_{P_1} = X_I + d_1 \cos \alpha_{I-P_1}; \quad Y_{P_1} = Y_I + d_1 \sin \alpha_{I-P_1},$$

где $d_1 = l_1 \cdot \cos \delta_1$; $\alpha_{I-P_1} = \alpha_{I-1} + \beta_1 - 180° = \alpha_{I-2} + \beta_2 - 180°$.

Погрешность положения определяемого пункта вычисляют по формуле

$$M_{P_1} = \sqrt{\left(\frac{m_\alpha \cdot l}{\rho''}\right)^2 + m_l^2},$$

где m_α - погрешность определения дирекционного угла из двух направлений; m_l - погрешность измерения расстояния.

Прямоугольные (эксплуатационные) сетки как способ съемочного обоснования представляют собой условную систему прямоугольных координат. Съемочными пунктами являются точки пересечения сторон квадратов, закрепляемых постоянными и временными знаками по всей поверхности карьера (рис. 4.10).

Применение данного способа целесообразно в условиях относительно ровного рельефа поверхности карьерного поля, небольшой глубины карьера, но при значительных площадях разработки (как правило, при горизонтальном залегании пластовых месторождений).

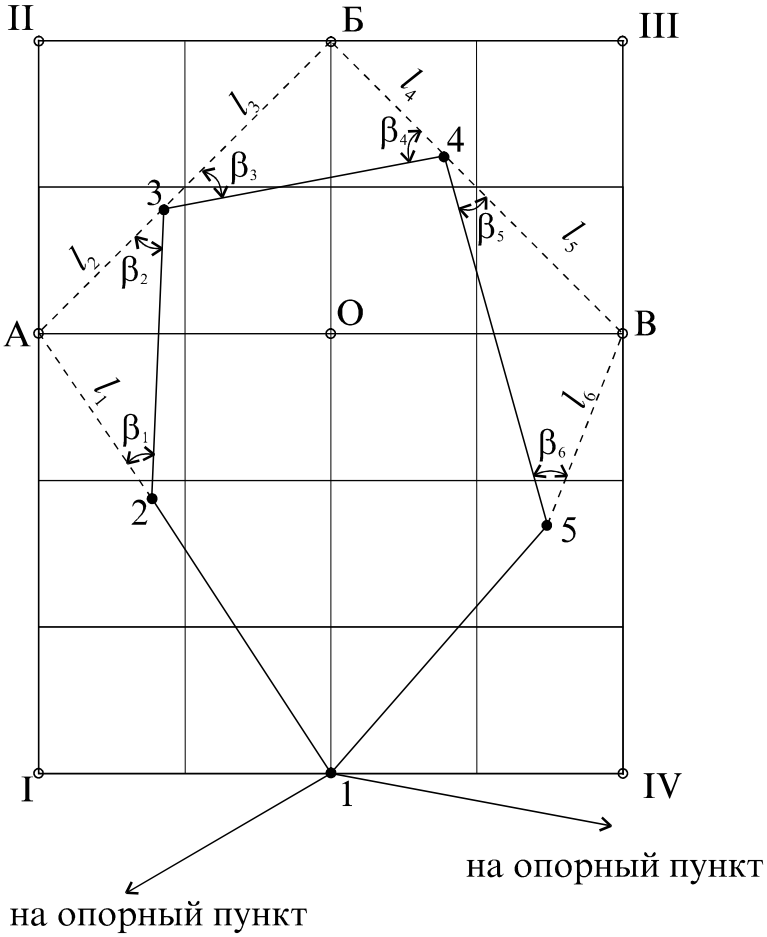


Рис. 4.10. Прямоугольные (эксплуатационные) сетки

Линии сетки ориентируют по направлению фронта горных работ (или совпадающими с направлениями сетки координат). На поверхности карьерного поля вершины основных прямоугольников сетки определяют от пунктов опорной сети и закрепляют постоянными знаками. Дальнейшее сгущение сетки до прямоугольников с проектными размерами сторон проводят методом створов. Максимальная длина визирного луча не должна превышать 800 м. Прямоугольность разбивки проверяют контрольным провешиванием диагоналей. Длины сторон отдельных квадратов принимают от 50 до 200 м в зависимости от масштаба съемки и скорости подвигания горных работ.

Для разбивки сетки на местности, на топографическом плане составляется ее проект расположения и привязки к пунктам опорной сети. В пределах проектного контура карьера проходят теодолитный ход, включая одну из вершин квадрата. Теодолитный ход наносится на топографический план, и с плана

определяются разбивочные элементы β_1, β_2, ... , β_6, l_1, l_2, ... , l_6 основных вершин сетки *А*, *Б*, *В*.

Аналитическая фототриангуляция как способ создания съемочного обоснования используется в случаях применения фотограмметрической съемки на карьере. Координаты и высоты пунктов съемочной сети вычисляются на ЭВМ по специальным программам, предусматривающим уравнивание и оценку точности положения пунктов. Погрешности координат определяемых пунктов не должны превышать основных требований, предъявляемых к съемочным сетям [3]. Масштаб снимков, высоту фотографирования, местоположение и количество опорных пунктов на снимке определяют также с учетом выполнения основных требований по точности определения пунктов съемочного обоснования. Методика выполнения полевых работ и вычислений изучается в курсе фотограмметрии.

При применении на карьере наземной стереофотограмметрической съемки положение съемочных пунктов может быть определено графическим способом - решением фотограмметрической прямой засечки непосредственно на плане. Для этого используют стереопары фотоснимков, снятые с двух или трех базисов фотографирования (рис. 4.11). Базисы $Б_1$, $Б_2$, $Б_3$ выбираются таким образом, чтобы соответствующие направления от левых концов каждого из них (H_1, H_2, H_3) на определяемые пункты пересекались под углом от 30 до 120°.

В качестве определяемых пунктов P_1, P_2, P_3 могут быть использованы любые неподвижные, хорошо видимые на снимках предметы или специально установленные в нужных местах сигналы.

На стереоавтограф устанавливают поочередно стереопару каждого базиса. Каждую из них ориентируют обычным порядком, вводят базис фотографирования, устанавливают высотную отметку станции (левого конца базиса) и ориентируют планшет. Ориентирование планшета может проводиться по 2-3 точкам, по одной удаленной точке с известными координатами, по известному направлению или дирекционному углу нормальной оптической оси фотокамеры.

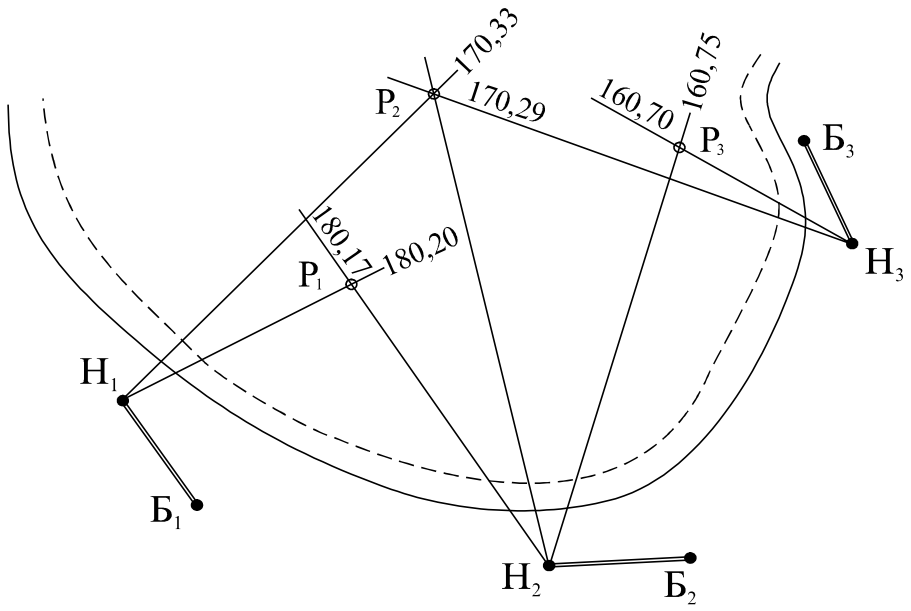


Рис. 4.11. Схема прямой фотограмметрической засечки

Затем с каждого базиса, наводя марку бинокуляра стереоавтографа на определяемые пункты (сигналы), на планшете карандашом координатографа прочерчивают направления на соответствующие пункты, записывают их высотные отметки, снятые со счетчика высот прибора. Точки пересечения, полученные по соответствующим направлениям из двух или трех базисов на плане, определяют координаты и высотные отметки новых пунктов.

4.1.2. Высотное съемочное обоснование

Высотное обоснование маркшейдерских съемок в карьере создается одновременно с плановым. Исходными пунктами по определению высотных отметок пунктов съемочного обоснования являются пункты опорных высотных сетей III, IV классов.

Высотные отметки пунктов съемочного обоснования в карьере определяются геометрическим нивелированием IV класса, техническим нивелированием или тригонометрическим способом.

Для технического нивелирования применяются нивелиры класса точности Н10 и выше. Нивелирные ходы прокладываются между исходными пунктами в одном направлении, висячие ходы - от исходного пункта в прямом и обратном направлениях. Расстояния до реек на связующих точках по возможности должны

быть равными и не превышать 150 м. Допустимая разность в превышениях, определенных при двух горизонтах инструмента или по черной и красной сторонам рейки - 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 [3].

Производство тригонометрического нивелирования включает измерение вертикального угла δ, наклонного расстояния l, высоты инструмента i, высоты сигнала ν (рис. 4.12).

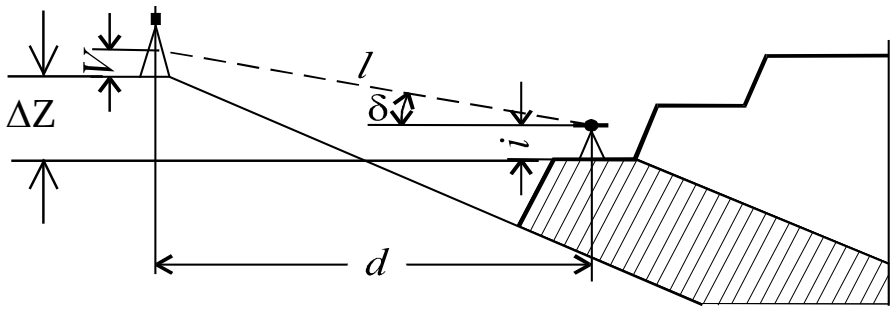


Рис. 4.12. Тригонометрическое нивелирование в карьере

Превышение определяется по формуле

$$\Delta Z = d\sin\delta + f + i - \nu = l\sin\delta + f + i - \nu,$$

где d - горизонтальное, l - 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.

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 по-

правка за кривизну Земли и рефракцию $f = k + r = \frac{d^2}{2R} - 0{,}1\ \frac{d^2}{2R} = 0{,}4\ \frac{d^2}{R}$.

В табл. 4.1 приведены суммарные поправки *f* для различных расстояний.

Таблица 4.1

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
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* примет вид:

$$\Delta = d\operatorname{t}\ \delta + 0{,}4\ \frac{d^2}{R} + i - v = l\operatorname{s}\ \delta + 0{,}4\ \frac{d^2}{R} + i - v.$$

Вертикальные углы измеряются теодолитом класса точности Т30 двумя приемами, Т15 и выше - одним приемом. Высота инструмента и сигнала определяется рулеткой с округлением до миллиметров, длины - светодальномером. Ходы тригонометрического нивелирования опираются на пункты опорных сетей не ниже IV класса общей протяженностью не более 2,5 км.

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

4.2. Применение спутниковой геодезии на карьерах и разре-

зах

4.2.1. Основные положения спутниковой геодезии

Появление искусственных спутников Земли произвело переворот в методах геодезии и значительно повысило точность навигации и определения положения точек и объектов на поверхности Земли.

С созданием радиолокационных станций стало возможным измерять параметры движения и относительное местоположение спутника по отражённому от его поверхности лучу радиолокатора. Появилась возможность измерения параметров движения спутника по излучаемому сигналу. В 1957 году в СССР группа учёных под руководством В.А. Котельникова экспериментально подтвердила возможность определения параметров движения искусственного спутника Земли (ИСЗ) по результатам измерений доплеровского сдвига частоты сигнала, излучаемого этим спутником. При этом была установлена возможность решения обратной задачи – нахождения координат приёмника по измеренному доплеровскому сдвигу сигнала, излучаемого с ИСЗ, если параметры движения и координаты этого спутника известны.

Эффект Доплера заключается в том, что при относительном перемещении приёмника или передатчика частота принимаемого сигнала изменяется [7]:

$$f_D = f(1 \pm v_b / c)\sqrt{1 - \frac{v_b^2}{c^2}},$$

где v_b - относительная скорость перемещения; c - средняя скорость электромагнитных волн.

При измерении разностей расстояний на основе эффекта Доплера по разностной частоте определяется относительная скорость v_b, которая интегрируется по времени, в результате находят пройденный путь.

Появление атомных часов в 1960 году позволило создать для целей навигации сеть точно синхронизированных передатчиков, предающих кодированные сигналы. Координаты приёмника определялись по временным задержкам сигнала.

В 1964 году в США началось исследование возможностей использования для целей местоопределения широкополосных сигналов, модулированных псевдослучайными шумовыми кодами, что на основе корреляционного разделения таких сигналов давало возможность использования несколькими передатчиками одной несущей частоты.

Основной принцип спутниковой геодезии – это использование трилатерации, т. е. измеряются расстояния до спутников, являющихся точками отсчёта для вычисления координат на Земле. Для определения местоположения на земной поверхности измеряют расстояние между наземным пунктом и спутником, а также скорость изменения этого расстояния при прохождении спутника. Расстояния рассчитывают, исходя из времени, которое затрачивает электромагнитный сигнал (лазерная вспышка или радиоимпульс) на прохождение пути от спутника до принимаемой станции при условии, что скорость распространения сигнала известна. Скорость изменения расстояния между спутником и принимающей станцией определяется по величине наблюдаемого доплеровского сдвига частоты – изменения частоты сигнала, поступающего со спутника. Вводятся поправки за атмосферную задержку сигнала и рефракцию [7].

В настоящее время наиболее прогрессивными средствами навигационно-геодезического обеспечения являются глобальные навигационные спутниковые системы **(ГНСС)** среднеорбитального типа **ГЛОНАСС** (Россия) и **GPS NAVSTAR** (США). Основные сравнительные характеристики ГЛОНАСС и GPS приведены в табл. 4.2 [8] .

В дополнение к ГНСС ГЛОНАСС (Россия) и GPS NAVSTAR (США) Европейский Союз с 1999 г. приступил к разработке спутниковой радионавигационной системы Galileo (ЕС). Опытное использование системы Galileo было начато в 2005 г. запуском космического аппарата GIOVE-A (Galileo In-Orbit Validation Element). Проектное число спутников составляет 30 (из них 3 в резерве), расположенных на высоте 23200 км в трёх орбитальных плоскостях, наклонённых на 56^0 к плоскости экватора. С учётом спутников ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR в распоряжении пользователей будет 80 космических аппаратов, опоясыва-

ющих весь земной шар [10].

Таблица 4.2

Основные технические характеристики глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR

ПАРАМЕТРЫ	ГЛОНАСС	GPS
Проектное/фактическое число спутников	24/20*	24/31*
Число орбитальных плоскостей	3	6
Высота орбит относительно центра масс, км	25 500	26 600
Способ разделения сигналов	частотный	кодовый
Несущая частота L1, МГц L2, МГц	 1602,6-1615,5 1246,4-1256,5	 1575,4 1227,6
Система пространственных координат	ПЗ-90	WGS-84
Тип эфемерид	Геоцентрические координаты и их производные	Модифицированные Кеплеровы элементы
Период вращения вокруг Земли, час	12	12

Примечание. * - Состав группировки космических навигационных спутников на 1.03.2009 г. по данным Федерального космического агентства «Информационно-аналитический центр» [14].

В соответствии с действующими правилами по терминологии в области спутниковых технологий геодезических работ РТМ 68 - 14 – 01 [11] глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) - система, состоящая из созвездия навигационных спутников, службы контроля и управления и аппаратуры пользователей, позволяющая определять местоположение (координаты) антенны приемника потребителя.

Созвездие спутников – совокупность, расположенных в пространстве всех спутников входящих в ГНСС, которые излучают радиосигналы, содержащие навигационную информацию,

приём которой необходим для определения местоположения приемника потребителя. Часть ГНСС, состоящая из созвездия навигационных спутников является *космическим сегментом*.

Орбитальные группировки ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR состоят из спутников, которые вращаются вокруг Земли по практически круговым орбитам. Спутники в GPS NAVSTAR расположены в шести, а в ГЛОНАСС – в трёх плоскостях развёрнутых соответственно через 60^0 и через 120^0 по долготе восходящего узла (рис. 4.13).

а) *б*)

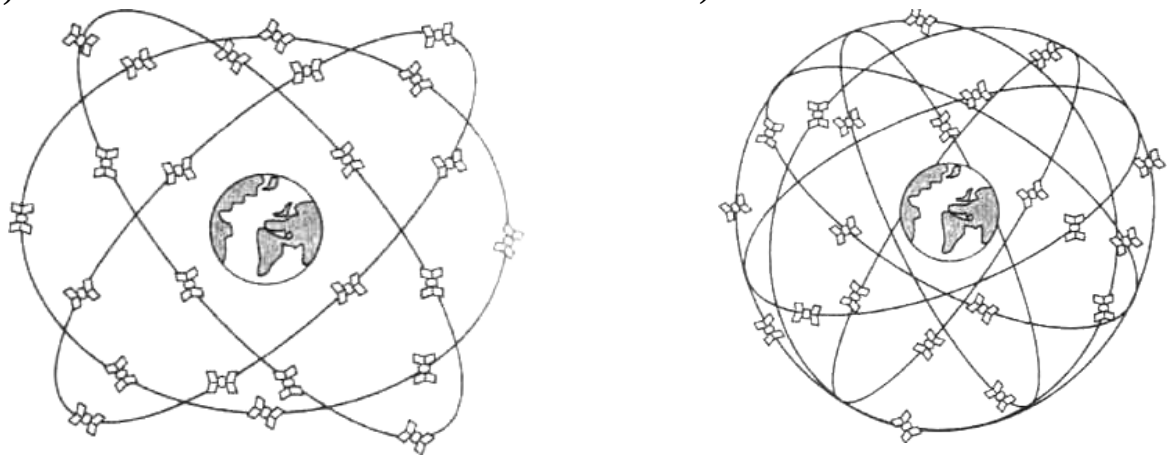


Рис. 4.13. Созвездия искусственных спутников:
а) ГЛОНАСС; *б*) NAVSTAR GPS

Если все спутники системы перевести в одну плоскость, то они расположатся равномерно через 15^0 [10]. Такое количество спутников и их расположение обеспечивают одновременный прием сигналов как минимум от четырех спутников в любой точке Земли в любое время. На каждом спутнике GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС установлены солнечные батареи питания, приемно-передающая аппаратура, эталоны частоты и времени, бортовые компьютеры и уголковые отражатели для лазерной дальнометрии.

Внешний вид навигационных спутников показан на рис. 4.14 [12].

а *б*

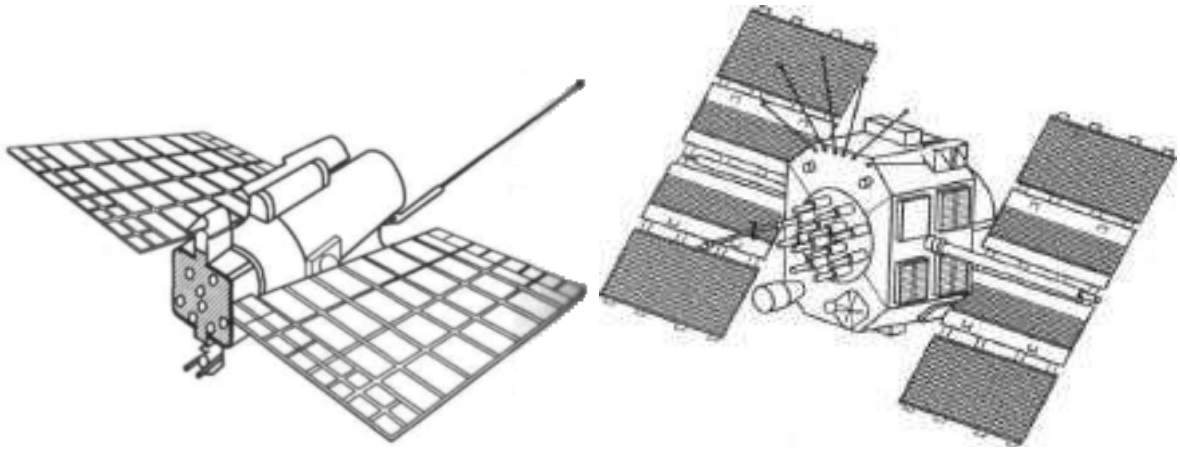


Рис. 4.14. Навигационный спутник
а) ГЛОНАСС; б) NAVSTAR GPS

Питание всех подсистем производится от солнечных батарей, ширина которых в раскрытом виде составляет 7,23 метра. Служебные системы и специальная аппаратура спутника расположены в цилиндрическом гермоконтейнере диаметром 1,35 метра. Если рассматривать навигационный спутник в положении штатной ориентации, то в нижней части находится платформа с антенно-фидерными устройствами и уголковыми отражателями, а в верхней – топливные баки и штанга магнитометра [13].

Навигационный спутник снабжен кварцевым стандартом частоты, двумя цезиевыми и двумя рубидиевыми стандартами частоты, которые поддерживают стабильность часов спутника в пределах $1 \cdot 10^{-12} \ldots 1 \cdot 10^{-13}$. Цезиевые и рубидиевые стандарты частоты координируют и управляют основной частотой – кварцевым стандартом частоты, генерирующим 10,23 МГц. Из основной частоты формируют две частоты *L*-диапазона, МГц [6]:

$$L_1 = 10{,}23 \cdot 154 = 1575{,}42 \text{ (длина волны 19,05 см);}$$

$$L_2 = 10{,}23 \cdot 120 = 1227{,}60 \text{ (длина волны 24,45 см).}$$

Эти две частоты (называемые несущими) через модуляторы поступают на антенну и передают на Землю информацию. Для измерения расстояний формируют специальные дальномерные коды, представляющие собой псевдослучайные чередования нулей и единиц. Такие коды вырабатывают на спутниках и в приёмнике пользователя. Со спутника их передают на Землю. Для переноса на Землю их встраивают в колебания высокой частоты,

излучаемые космическим аппаратом и называемые несущими. Информация накладывается на несущую частоту методом импульсно-фазовой модуляции [10]. *Модуляция сигнала* – это изменение какого-либо параметра электрического сигнала (при амплитудной модуляции изменяется амплитуда сигнала, а при частотной – частота сигнала). При импульсно-фазовой модуляции фаза сигнала изменяется скачком на 180^0 (рис. 4.15).

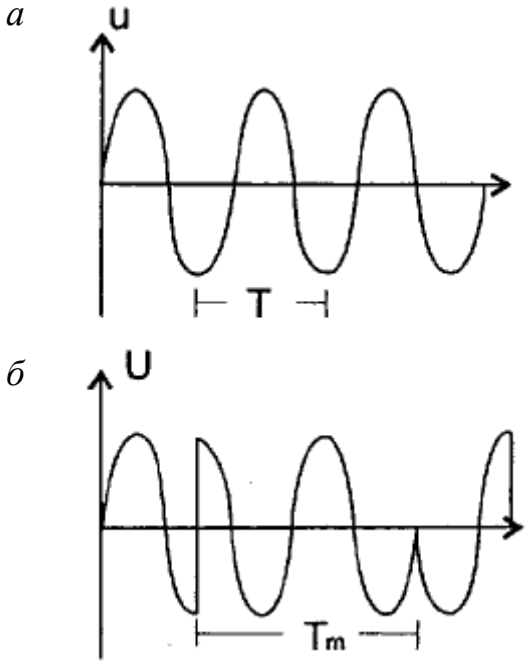


Рис. 4.15. Импульсно-фазовая модуляция:
а – несущий сигнал с периодом колебаний *T* (*сигнал до модуляции*);
б – модулированный сигнал, T_m промежуток времени между смежными пребросами фазы на 180° (*сигнал после модуляции*).

На частотах L_1 и L_2 передаются навигационные сигналы (коды), а также другая навигационная и системная информация посредством предварительного её преобразования в двоичный код и в моменты смены в кодах 0 на 1 или 1 на 0 фаза несущего колебания перебрасывается на 180^0.

В системе NAVSTAR GPS все спутники излучают на двух одинаковых частотах *L* - диапазона (L_1 и L_2), но каждый спутник излучает свой личный код (индивидуальная последовательность переключения фазы на 180°), по которому ведется распознавание спутников.

В российской системе ГЛОНАСС спутник излучает на своей частоте, а код общий для всех спутников. Российские спутни-

ки передают информацию на двух частотах:

$$L_1=f_{01}+k\Delta f_1; \quad L_2=f_{02}+k\Delta f_2 ,$$

где f_{01} = 1602 МГц; f_{02} = 1246 МГц; k – номер спутника (k = 0,1,2...); Δf_1 = 0,4375 МГц; Δf_2 = 0,5625 МГц.

Отношение частот L_1 и L_2 равно 9/7.

В системе NAVSTAR GPS частота $L1$ (1575.42 MHz) модулируется двумя видами кодов [7]: C/A кодом (кодом свободного доступа) и P - кодом (кодом санкционированного доступа). Частота $L2$ (1227.60 MHz) модулируется только P-кодом. В российской системе ГЛОНАСС аналогичные коды получили название узкополосной (СТ - код) и широкополосной (ВТ - код) псевдослучайной последовательности. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются специальным навигационным сообщением. Схема модуляции спутникового радиосигнала представлена на рис. 4.16.

В настоящее время производится модернизация системы GPS, в результате проведения которой гражданские пользователи смогут принимать дополнительные сигналы: C/A код на частоте $L2$ и новый сигнал на частоте $L5$, что улучшит работу пользователей в приложениях, связанных с высокоточными измерениями на длинных и коротких базовых линиях – таких как обеспечение точного захода самолетов на посадку и автоматическое приземление, картографирование, геодезические и геофизические измерения и многих других.

Согласно календарному плану выполнения работ по модернизации системы NAVSTAR GPS ожидается трансляция сигнала $L5$ с 18 спутников ориентировочно в 2012 году. Средства передачи третьего гражданского сигнала на частоте 1176.45 МГц ($L5$) будут установлены на первом спутнике серии Block IIF, производства фирмы Боинг (Boeing), так же как и для передачи C/A-кода на частоте L2 и M-кода на частотах $L1$ и $L2$, как показано на рис. 4.17 [14].

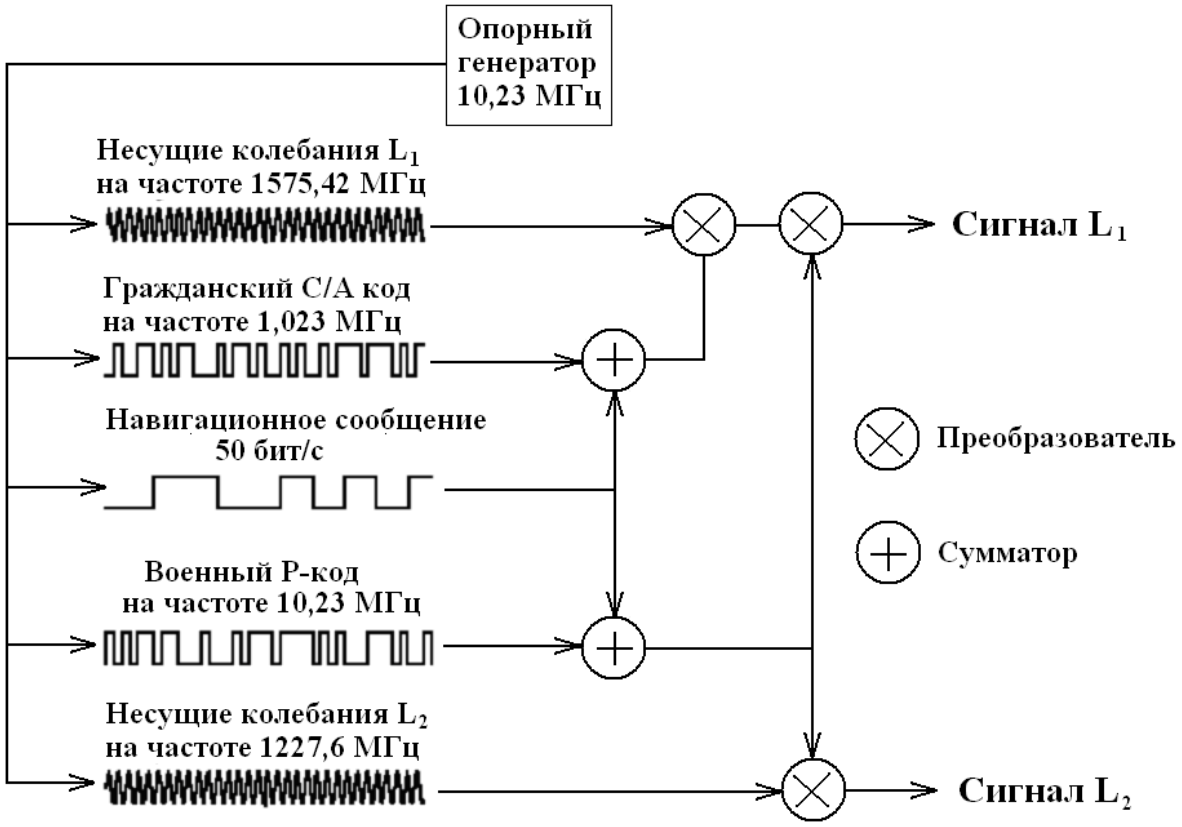


Рис. 4.16. Схема модуляции спутникового радиосигнала в системе NAVSTAR GPS

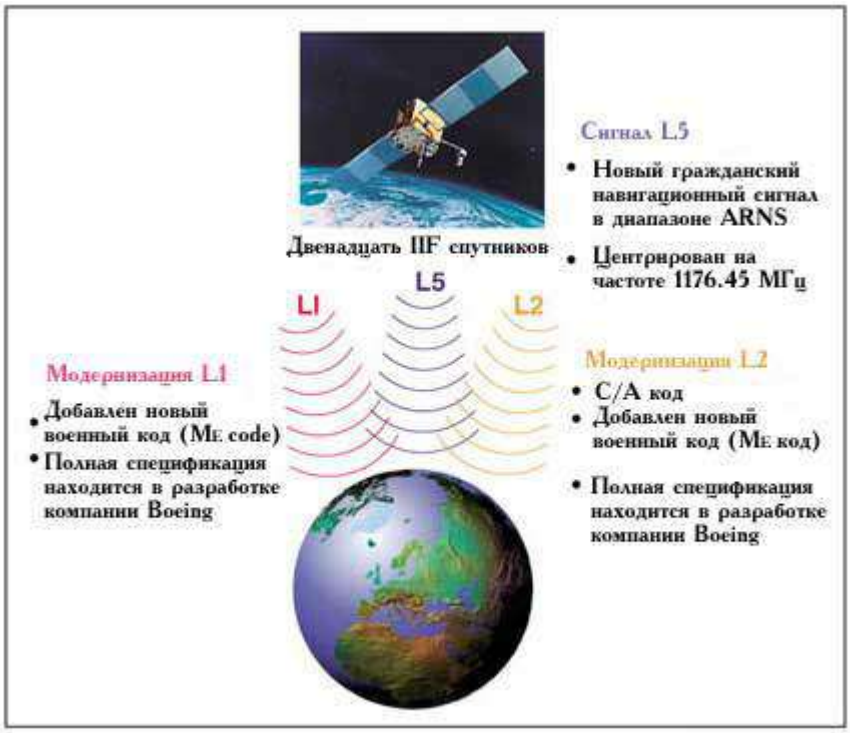


Рис. 4.17. Модернизация системы NAVSTAR GPS

Всего на частотах *L*1 и *L*2 передаются три вида кодовых данных:

Гражданский Р код это псевдослучайный радиошум (PRN), который передается на частоте 1,023 MHz. Этот код повторяется каждую миллисекунду. Уравнения для раскодирования С/А кода известны и общедоступны, поэтому С/А код доступен для гражданского применения. Этот код используется большинством гражданских приемников для целей навигации, геодезии и картографии. Гражданский С/А код модулируется на частоте *L*1.

Военный Р - код это второй псевдослучайный радиошум (PRN), который модулируется в GPS сигнал и передается на частоте 10.23 MHz. Этот сигнал повторяется каждые 267 дней. Этот циклический период делится на 38 семидневных сегментов. Шесть из них зарезервированы для целей управления и не используются. Оставшиеся семидневные сегменты присвоены различным спутникам, поэтому каждый спутник имеет уникальный код, ассоциированный только с ним. Так как Р - код одновременно передается на частотах *L*1 и *L*2, то этим частично компенсируется ошибка задержки радиосигнала в ионосфере, поэтому точность определения координат с использованием Р - кода на порядок выше. До недавнего времени уравнения для декодирования Р - кода были засекречены, однако в результате утечки секретной информации уравнения для расшифровки Р-кода стали доступны широкому кругу специалистов. В связи с этим американское оборонной ведомство приняло меры дополнительной защиты Р - кода: в любой момент времени без предупреждения может быть включен режим AS (Anti Spoofing). При этом выполняется дополнительное кодирование Р - кода, и он превращается в Y - код. Расшифровка Y - кода возможна только аппаратно, с использованием специальной микросхемы (криптографического ключа).

Спутниковое навигационное сообщение это особый низкочастотный радиосигнал, который передается 50 раз в секунду. Навигационное сообщение содержит описание GPS спутниковых орбит, коэффициенты коррекции бортовых часов спутников, информацию о параметрах атмосферы и другие системные параметры. Эти декодированные данные также называют эфемеридами спутников. Эфемериды используются при планировании работ с применением GPS оборудования и для определения про-

странственных координат. Спутниковое навигационное сообщение передается на частотах $L1$ и $L2$.

Созвездия ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS полного состава обеспечат непрерывную глобальную навигацию военных и гражданских потребителей за счёт использования двух типов сигналов: стандартной точности для гражданских потребителей и высокой точности для военных потребителей.

Сегмент наземного контроля и управления – часть Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), состоящая из расположенной на земле сети станций слежения за спутниками, равномерно размещенных по территории страны, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и станцией загрузки данных на борт спутников. С пунктов слежения дважды в сутки лазерным дальномером измеряются расстояния до каждого из спутников. Собранную информацию о положении спутников на орбитах (эфемеридах) передают на бортовой компьютер каждого спутника. Наземные передающие антенны расположены так, что каждый спутник ежедневно имеет, по крайней мере, три сеанса связи с системой слежения. Схема обновления бортовых эфемерид спутников приведена на рис. 4.18.

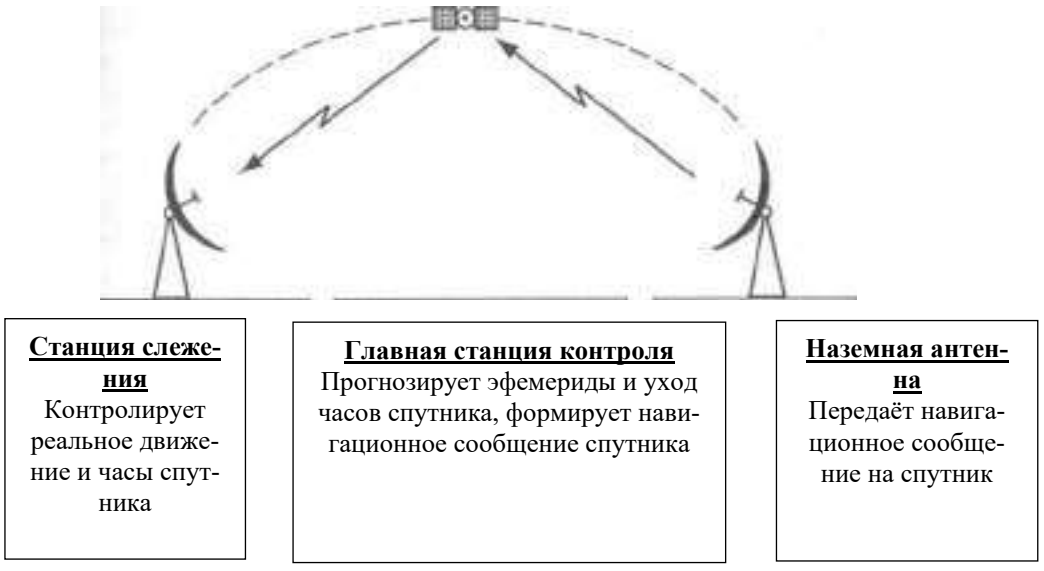


Рис. 4.18. Измерение, прогнозирование и обновление эфемерид спутника

Спутники непрерывно излучают для пользователей измерительные радиосигналы, данные о системном времени, свои ко-

ординаты и другие сведения. Расположение мониторинговых станций приведено на рисунках 4.19 и 4.20 [15].

Сегмент пользователя – часть ГНСС, состоящая из аппаратуры пользователей [16]: большого числа гражданских и военных GPS - приемников, в которых полученный со спутников сигнал декодируется, из него выделяются кодовые последовательности, а также служебная информация. Полученный со спутников код сравнивается с внутренним кодом приемника, по этим данным определяется задержка прохождения радиосигнала и расстояния от спутников до приемника.



Рис. 4.19. Размещение станций контроля и управления системой NAVSTAR GPS:
• — станции слежения; ■ — главные станции контроля; ▲ — наземные антенны

Координаты приёмника пользователя в системе определяются посредством их расчёта по псевдодальностям до спутника. Псевдодальности рассчитываются по временным задержкам T_i сигнала по трассе «i-ый спутник – приёмник» и известной скорости распространения радиоволн c без учёта поправки за расхождение часов спутника и приемника [17]:

$$D_i = c\, T_i\,.$$

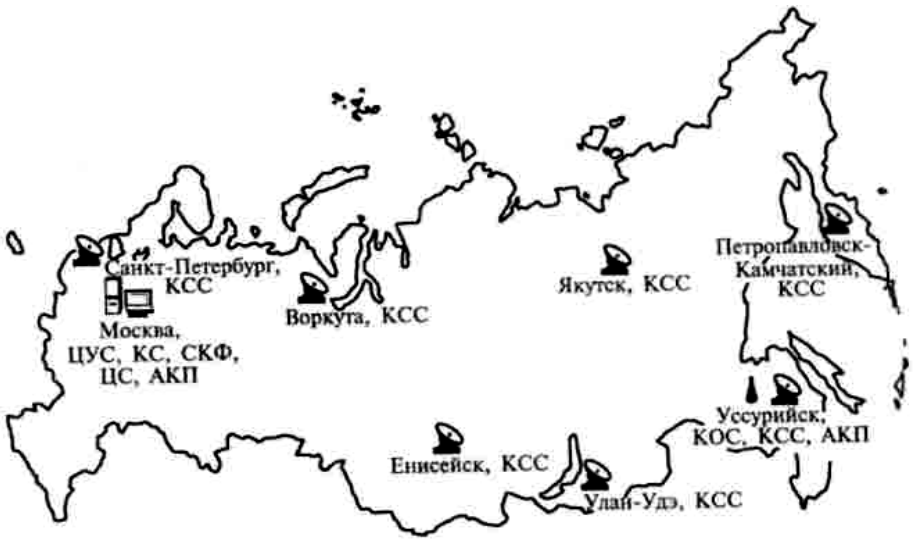


Рис. 4.20. Размещение станций контроля и управления системы ГЛОНАСС:
ЦУС – центр управления системой ГЛОНАСС; ЦС – центральный синхронизатор;
КС – контрольная станция; СКФ – система контроля фаз; КОС – квантово-оптическая станция;
АКП – аппаратура контроля параметров; КСС – контрольная станция слежения

T_i измеряются в результате сопоставления принятых псевдослучайных кодов и генерируемых в приёмнике копий этих кодов с учётом априори известных моментов излучений сигналов спутника. При этом могут использоваться также соответствующие измерения разностей фаз несущих частот. Предварительно для определения координат проводится компенсация эффекта вращения Земли, тропосферных и ионосферных ошибок.

Для решения задачи определения места и коррекции временной шкалы образуется система уравнений, неизвестными которой являются три координаты X, Y, Z и ошибка шкалы времени потребителя T’, проявляющаяся при априорном определении момента излучения сигнала навигационного космического аппарата [17]:

$$D_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + c\ ',i = 1,T\ \ N.,$$

где $X,\ Y,\ Z$ – прямоугольные координаты определяющегося объекта, на котором размещена навигационная аппаратура пользователя в геоцентрической системе координат; $X_i,\ Y_i,\ Z_i$ – такие же координаты і-го навигационного космического аппарата;

T' – расхождение шкал времени навигационных космических аппаратов и приёмников пользователя; *i=1,..., N* – число навигационных космических аппаратов

Учитывая, что неизвестных оказывается 4, поэтому для расчета четырехмерной координаты местоположения приемника (*X, Y, Z*, Time) требуется принять радиосигнал как минимум от четырех спутников. GPS-приемники используются для целей навигации, определения пространственных координат, определения точного времени и для других исследований. Обеспечение навигации в трехмерном пространстве является основной функцией GPS, для этой цели созданы приемники для самолетов, кораблей, автомобилей, индивидуальные ручные приемники. GPS сигналы используются также для определения точных координат (геодезические приемники), для астрономических наблюдений, для измерения параметров атмосферы и др.

Каждый спутник и приемник имеет встроенные часы, которые точно синхронизированы с всемирным навигационным временем. Это позволяет и спутнику и приемнику в один и тот же момент времени генерировать одинаковый псевдослучайный код, как показано на рис. 4.21.



Рис. 4.21. Определение расстояния от GPS спутника до приемника

Когда приемник получает и расшифровывает код от спутника, он просматривает в обратном направлении свой собственный код и определяет промежуток времени, который прошел с того момента, когда приемник генерировал тот же код, который он принял от спутника. По известному времени прохождения радиосигнала от фазового центра передающей антенны спутника до фазового центра антенны приемника, определяется расстояние между ними. Аналогичным образом измеряются расстояния и до других спутников, попадающих в поле зрения GPS приемника.

В геодезических целях для обеспечения сантиметрового уровня точности измерений необходимо синхронизировать ход часов на спутнике и в приёмнике с ошибкой не более нескольких сотых долей наносекунды (1 нс = $1 \cdot 10^{-9}$с), так как электромагнитное излучение проходит за одну наносекунду расстояние, равное 30 см [18].

Опорные генераторы являются основой устройств, с помощью которых отсчитывается время на спутнике и на земной станции. Несинхронность работы этих генераторов, следовательно, несинхронность хода часов на спутнике и на земной станции, приводит к существенному различию между истинным и измеренным значениями расстояния между спутником и точкой на Земле.

Пространственные координаты фазового центра GPS приемника определяются пространственной линейной геодезической засечкой (методом пространственной трилатерации) от спутников с известными координатами, как показано на рис. 4.22. Для случая трехмерного пространства, измеренные расстояния до трех спутников дадут только две точки пересечения в пространстве, одна из которых может быть проигнорирована, так как она будет находиться далеко за пределами земного шара.

Теоретически радиус - векторы, соответствующие измеренным расстояниям от спутников до приемника, отложенные от спутников с известными координатами, должны пересечься в одной точке, но на самом же деле этого не происходит. Это вызвано тем, что кварцевые часы приемника имеют гораздо меньшую точность, чем высокоточные атомные часы спутников. Так, если в схему, показанную на рис. 4.20, ввести измерение дальности до четвертого спутника, то в результате в трехмерном пространстве

вместо одной точки пересечения получатся четыре точки, удовлетворяющие условию пространственной геодезической засечки.

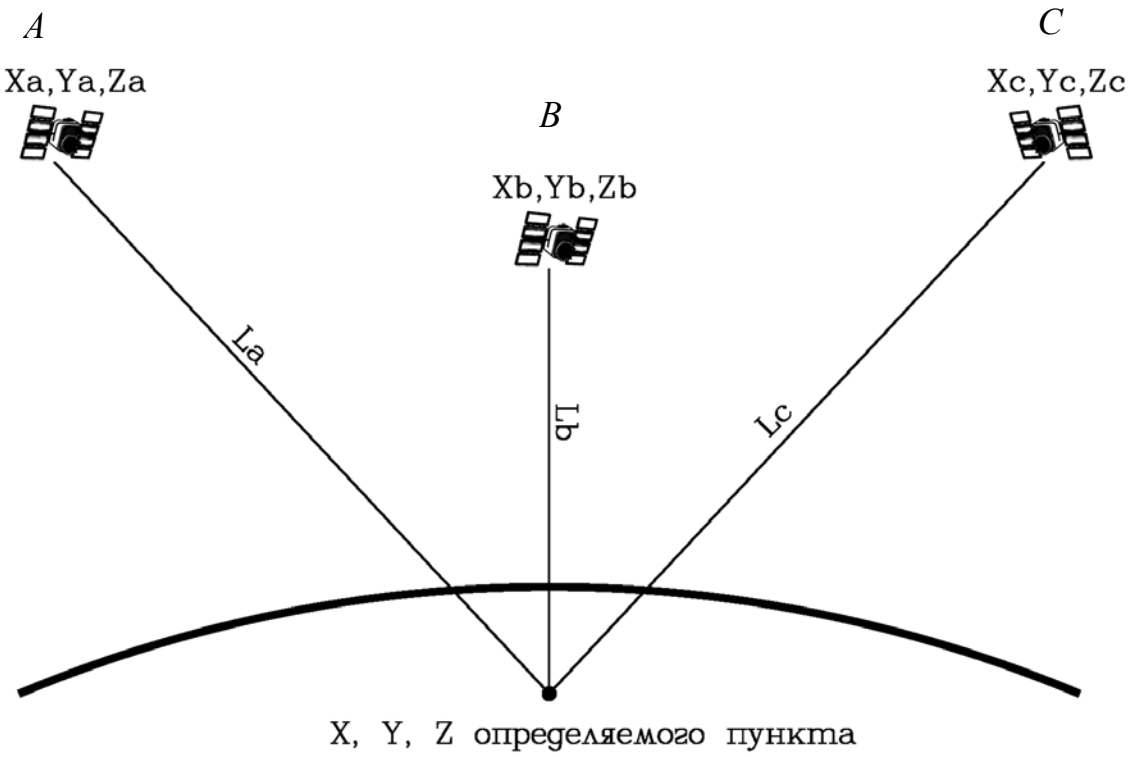


Рис. 4.22. Схема определения пространственных координат точки комплексом спутниковой геодезии

Возникающая неоднозначность в определении координаты искомой точки устраняется использованием алгоритма обработки псевдодальностей. Для упрощения этот алгоритм представлен на рис. 4.23 для случая плоской двухмерной засечки, в случае же реального трехмерного пространства добавится только одно измерение дальности до четвертого спутника.

В данном случае приемник находится в точке *X*, равноудаленной от спутников *A*, *B* и *C* на расстояние, эквивалентное 5 - секундному времени прохождения радиосигнала. В случае абсолютно точного измерения расстояний, все три радиус - вектора должны пересечься в точке *X*.

На самом деле измеренное приемником расстояние до спутников эквивалентно 6-секундному интервалу времени прохождения радиосигнала. В этом случае пересечение радиус - век-

торов, отложенных от спутников *A* и *B* даст точку пересечения *XX*, а введение в схему третьего измерения до спутника С даст дополнительно еще две точки пересечения.

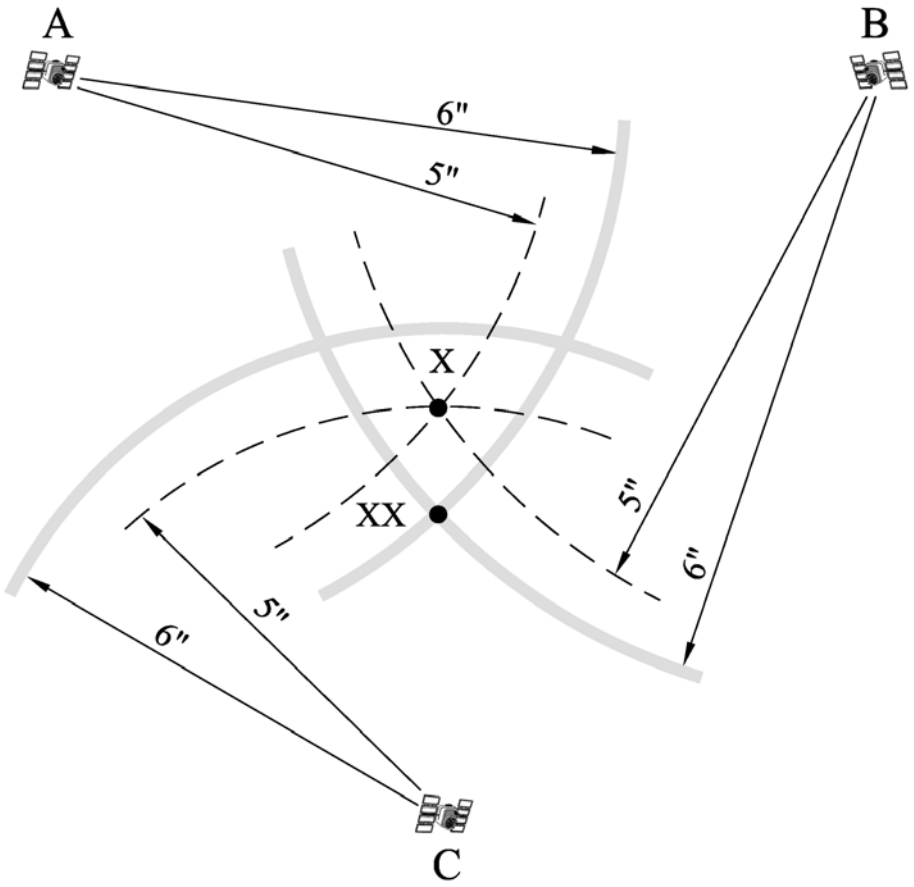


Рис. 4.23. Схема алгоритма обработки псевдодальностей

Зная причину этого явления – неверный ход внутренних часов GPS приемника, легко найти точку истинного местоположения фазового центра приемника. В данном случае встроенный микрокомпьютер приемника начинает прибавлять и вычитать одно и то же время от произведенных измерений дальностей до спутников. Так, в вышеописанном случае, компьютер определит, что вычитание одной секунды из всех трех измерений дальностей даст пересечение радиус-векторов в одной точке *X*, это также позволит сделать вывод, что внутренние часы приемника спешат на одну секунду. В случае двухмерного пространства – плоской задачи необходимо произвести минимум три измерения дальности до спутников, в случае же реального трехмерного пространства необходимо произвести четыре измерения расстояний до че-

тырех спутников. Этим объясняется одно из основных требований определения координат комплексами спутниковой геодезии – необходимость производить измерение расстояний как минимум до четырех спутников с известными пространственными координатами.

Точность вышеописанного способа определения координат одиночным приемником, использующего только гражданский Р код будет составлять около 5 - 10 метров, что является неприемлемым для применения таких измерений в геодезической и маркшейдерской практике. Причина такой низкой точности определения координат обусловлена тем, что при прохождении через атмосферу Земли спутниковый радиосигнал претерпевает искажения, основное из которых – ионосферная задержка радиосигнала. Исключить влияние ионосферных задержек радиосигнала и других неблагоприятных факторов можно применением технологии «дифференциальной GPS» (рис. 4.24), которая позволяет получать координаты определяемой точки с миллиметровой точностью.

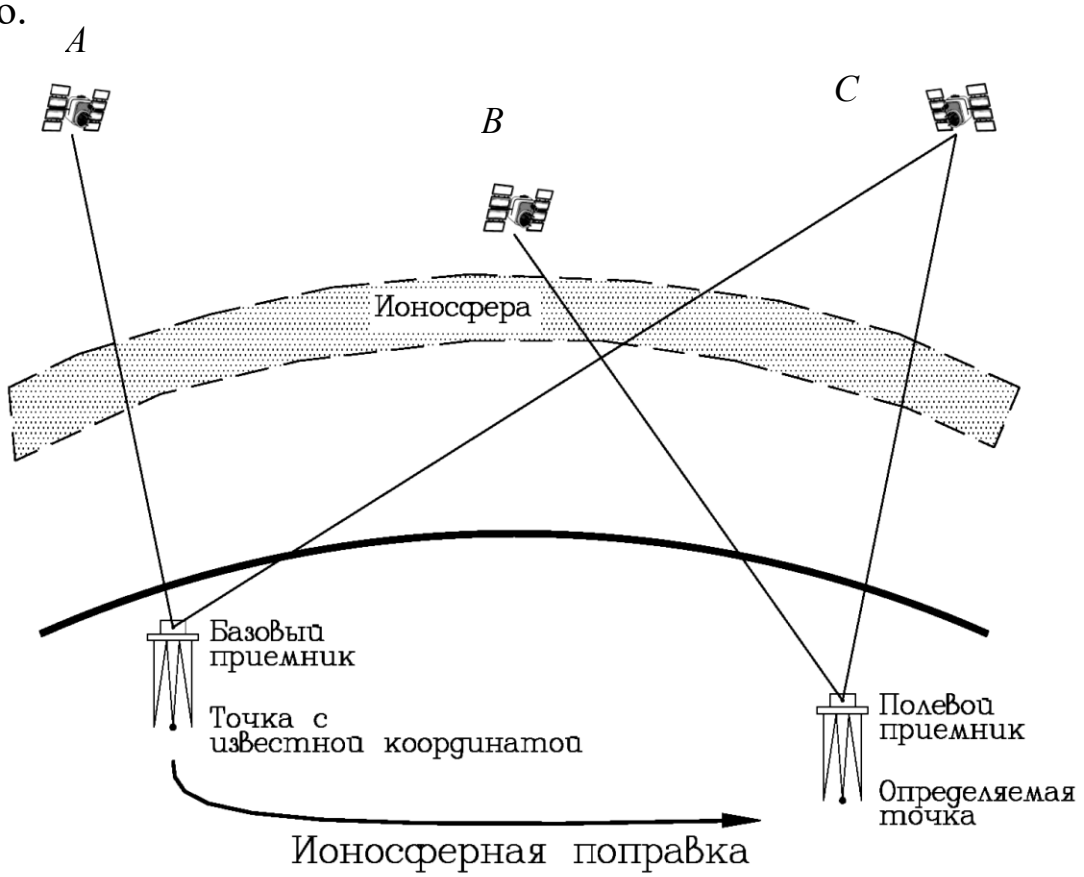


Рис. 4.24. Применение технологии дифференциальной GPS для определения точных координат точки

Основная идея этой технологии состоит в том, что один из приемников (базовый приемник) помещается на точку с заранее известными координатами, так называемую базовую станцию, и ведет непрерывные спутниковые наблюдения весь сеанс GPS съемки. В результате такого наблюдения определяется величина ионосферной поправки, равная разнице заранее известных координат точки и ее координат, полученных в результате сеанса спутниковых наблюдений. Полученная величина ионосферной поправки вводится в результаты спутниковых наблюдений на определяемых точках. При этом главным условием работы в режиме дифференциальной GPS является обеспечение одновременного приема сигнала от общих спутников базовым и полевым приемниками. Так как величина ионосферной поправки является постоянной на довольно обширных территориях, то технологию дифференциальной GPS возможно использовать без снижения точности определения координат для наблюдения базовых линий длиной от 1 метра до 1000 км.

Ионосферная поправка может вноситься в результаты измерений двумя способами. В первом случае величина поправки передается на приемник, определяющий координаты точки либо по радиомодему с использованием выделенного радиоканала, либо через систему специальных радиомаяков в режиме реального времени. Во втором случае ионосферная поправка учитывается во время обработки результатов измерений в камеральных условиях. Выбор способа передачи величины ионосферной поправки целиком зависит от задач съемки.

В случае необходимости получения определяемых координат с точностью 3-5 см прямо в поле, целесообразно получение ионосферных поправок по радиоканалу. В случае, когда существует необходимость в выполнении высокоточных геодезических работ, ионосферная поправка будет учитываться при камеральной обработке данных полевых измерений.

Основным режимом сбора данных для всех дифференциальных GPS съемок является наблюдение базовых линий (векторов). В простейшем случае один из приемников помещается на точку с известными координатами, а другой помещается на точку, пространственное положение которой необходимо определить. В течение определенного периода времени, зависящего от

конкретного вида съемки и количества спутников, от которых идет прием радиосигнала, производится наблюдение базовой линии, после чего приемник перемещается на следующую точку.

Одним из наибольших отличий GPS съемок по сравнению с традиционными видами геодезических съемок заключается в том, что приращения координат между станциями вычисляются на математическом эллипсоиде WGS-84 (World Geodetic System) в геоцентрической системе координат, а не в принятой плановой системе координат. При этом вычисляется положение определяемых станций относительно базовых, которые затем трансформируются на используемую модель эллипсоида в принятой картографической проекции, например на эллипсоид Красовского в прямоугольной проекции Гаусса. Существует несколько способов трансформации координат с эллипсоида WGS-84 в пользовательские системы координат. Среди них наиболее распространенными являются способы «3 параметра» (Молоденского), способ «7 параметров», способ пространственного вращения сети и полиномиальная регрессия.

Все вычисления в GPS производятся в геоцентрической системе координат с использованием параметров математического эллипсоида WGS - 84, центр которого совпадает с центром тяжести Земли. В отличие от применяемых в традиционной геодезии линий по земной поверхности (задачи землеустройства) и проекции линии на поверхность эллипсоида (геодезическая линия), вектор, также называемый базовой линией (BaseLine), есть результат обработки GPS данных, представляющий собой линию между базовой и определяемой станциями относительно центра Земли в математическом эллипсоиде WGS - 84, как это показано на рис. 4.25.

Несколько векторов в совокупности представляют собой геодезическую GPS сеть, натянутую на поверхность математического эллипсоида. При помощи соответствующих программ обработки данных сеть строго уравнивается, причем в некоторых программах обработки предусмотрена возможность совместного уравнивания GPS измерений и геодезических измерений, выполненных с использованием традиционных технологий, координаты определяемых пунктов трансформируются на эллипсоид Красовского в принятой картографической проекции.

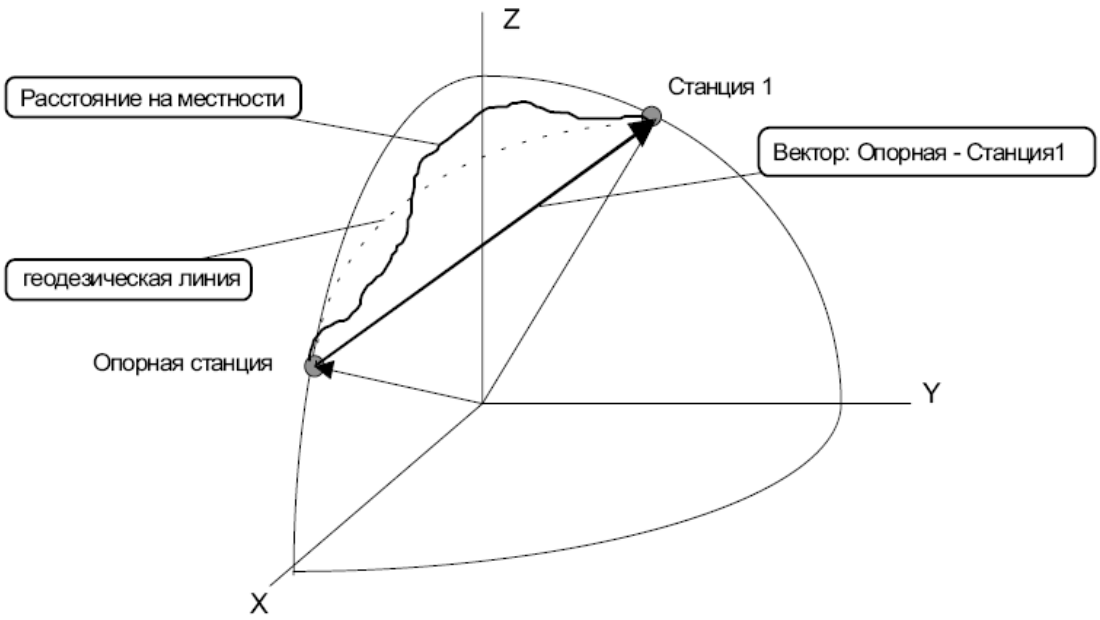


Рис. 4.25. Вектор и геодезическая линия на эллипсоиде WGS-84

Несколько более сложно при спутниковых геодезических измерениях определить нормальную высоту точки наблюдений – «отметку в Балтийской системе высот». Дело в том, что при трансформации координат из геоцентрической системы вычисляется эллиптическая высота точки наблюдения *h*, отсчитываемая от поверхности принятого эллипсоида, как показано на рис. 4.26.

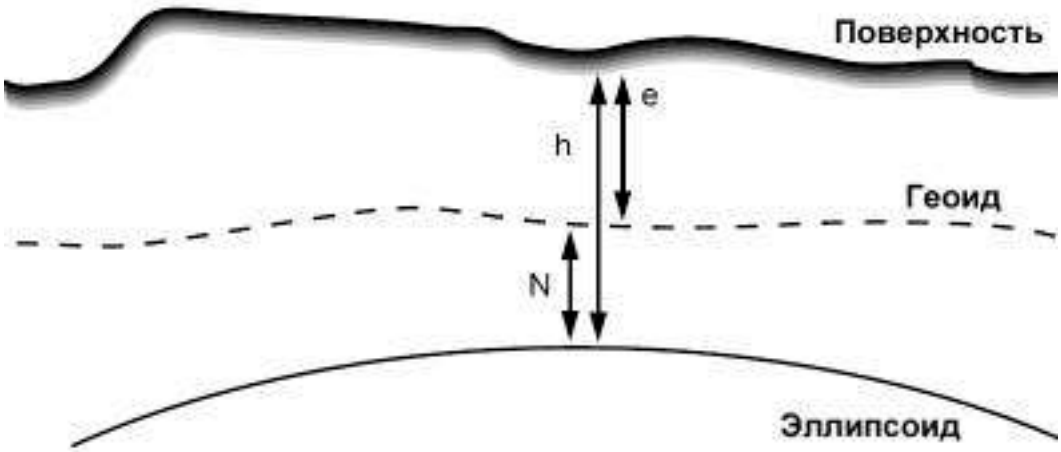


Рис. 4.26. Системы высот, применяемые в геодезии

На территории Российской Федерации принята система нормальных высот, которые отсчитываются по отвесной линии от поверхности геоида, поэтому на самом деле наблюдаемая точ-

ка должна иметь высоту *e*, а не *h*. Задача перевода высот решается с использованием карт аномалий высот или моделей геопотенциалов, таких как EGM - 96 или РГГ - 2000, когда все геодезические высоты WGS – 84 приводятся к нормальным. Поскольку для небольших участков земной поверхности геоид является относительно плавной поверхностью, наклоненной к поверхности эллипсоида, то использование математических моделей геопотенциала в большинстве случаев позволяет получить корректный результат трансформации высот. В случае, когда на участке ведения геодезических работ имеются существенные аномалии гравитационного поля, целесообразно дополнительно использовать при уравнивании сети достаточно большое количество исходных пунктов с известными нормальными высотами. Такие пункты включаются в геодезические построения и используются в качестве исходных для фиксации геодезической сети в вертикальной плоскости.

4.2.2. Технологии съемок комплексами глобальных спутниковых систем

Технологическая схема производства глобальных навигационных спутниковых систем в общем виде включает [19]:

- подготовительные работы;
- полевые измерения;
- камеральную обработку полевых измерений;
- оценку точности измерений.

В состав подготовительных работ входят:

- составление прогноза видимости спутников на участке работ;

- предварительный расчет геометрического фактора;

- определение рационального времени проведения съемочных работ;

- составление схемы передвижения между определяемыми точками маршрута;

- подготовка каталога координат точек маршрутов с занесением их в накопитель данных (контроллер).

Составление прогноза видимости спутников позволяет

определить интервалы времени непрерывной видимости заданного числа спутников на участке съемочных работ.

Составление прогноза видимости спутников и расчет геометрического фактора производится на основе альманаха, принимаемого навигационной аппаратурой пользователя. Также альманах может быть загружен с использованием ресурсов глобальной сети Интернет, например, с официального сайта фирмы «Trimble» (http://www.trimble.com/gpsdataresources.shtml).

Расчет видимости спутников и параметров геометрического фактора производится в вычислительном устройстве самого приемника или на персональном компьютере.

Выполнение расчета на компьютере предпочтительнее, так как позволяет быстро выявить все необходимые сведения о состоянии созвездия навигационных спутников с распечаткой (при необходимости) этих сведений на принтере.

Для расчета видимости спутников и геометрического фактора кроме альманаха в память вычислительного устройства приемника должны быть занесены: дата и время выполнения работ, приблизительные географические координаты района работ, высота, маска по возвышению спутников.

Большое значение при планировании спутниковых съёмок имеет правильный выбор минимального значения маски угла возвышения. При установленной маске угла возвышения приемник начинает вести приём радиосигнала не от всех спутников, а только от тех, угол возвышения которых больше или равен маске угла возвышения. Это позволяет избежать влияния атмосферных эффектов и интерференции радиоволн, вызванной близко расположенными объектами. В соответствии с инструктивно-норматив-ными документами [8, 20] не рекомендуется наблюдать спутники, возвышение которых над горизонтом составляет менее 15º. т. к. в противном случае полученные данные будут значительно искажаться влиянием атмосферной рефракции. В работе [16] указывается, что для рядовых работ маска угла возвышения обычно принимается равной 15º, а для особо ответственных - 17-21º.

Например, планирование полевых работ с применением аппаратуры фирмы «Trimble» выполняется в программном паке-

те «Trimble Geomatics Office» с использованием утилиты «Planning». Выбор времени наблюдений осуществляется на основе графиков «Количество наблюдаемых спутников» (рис. 4.27) и «Показатели точности наблюдений» (рис. 4.28).

Показатель DOP является индикатором качества GPS-определений координат точек, учитывающий расположение каждого спутника относительно других спутников созвездия и их расположение относительно GPS - приёмника.

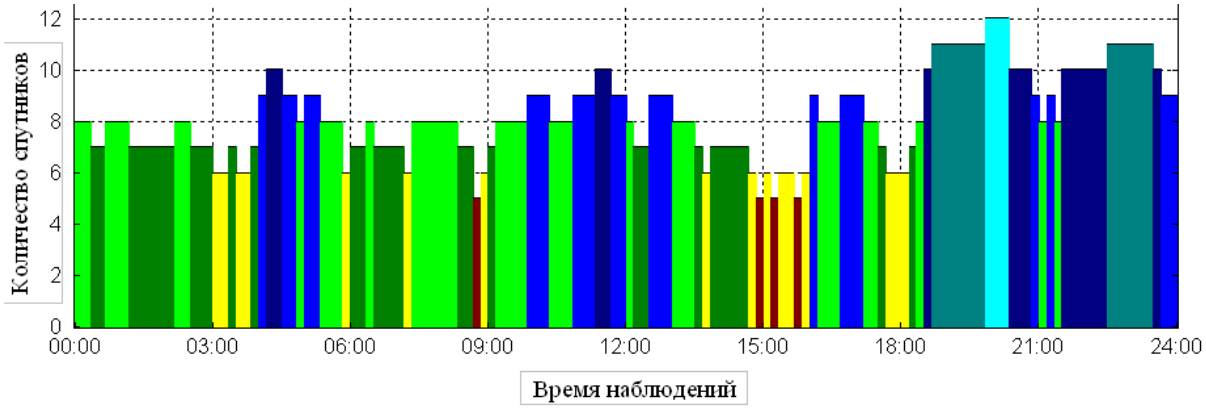


Рис. 4.27. Количество наблюдаемых спутников

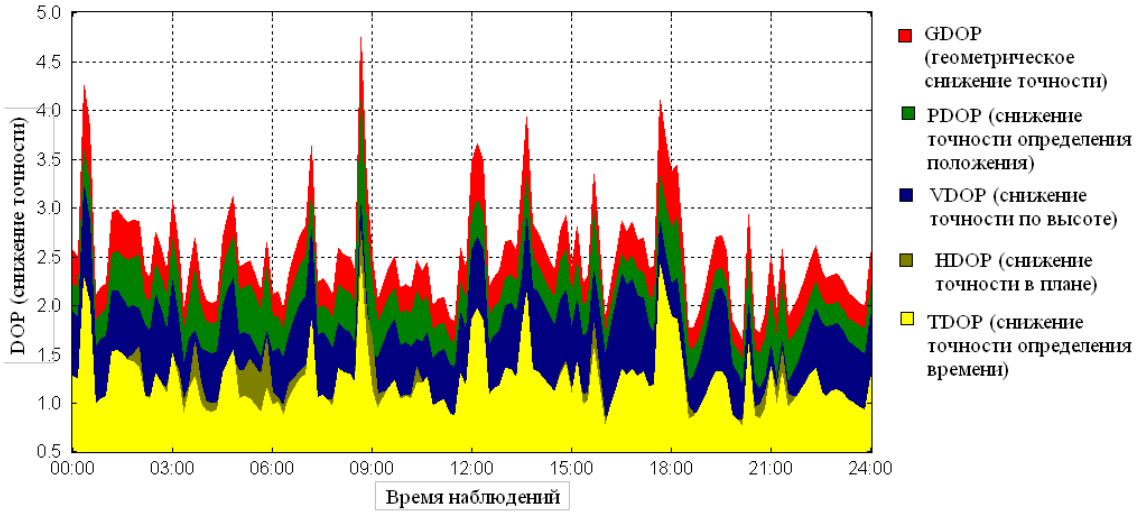


Рис. 4.28. Показатели точности наблюдений

Низкое значение DOP указывает на более высокую вероятность получения результатов с высокой точностью. Различают следующие коэффициенты потери точности в определении координат и времени, связанные с конфигурацией (геометрией расположения) наблюдаемых спутников [2]:

PDOP − коэффициент потери точности совокупного определения местоположения;

GDOP − коэффициент потери точности геометрического (по вектору положения) местоположения;

HDOP − коэффициент потери точности определения горизонтального (планового) местоположения;

VDOP − коэффициент потери точности определения вертикального (высотного) местоположения;

TDOP − коэффициент потери точности определения времени.

Одним из основных показателей точности является критерий точности определения положения точки PDOP. Геометрически величина PDOP обратно пропорциональна объёму пирамиды, образованной линиями, исходящими из приёмника до четырёх наблюдаемых спутников.

Численно считается, что значения PDOP лежащие в пределах от 1 до 7 являются хорошими для производства топографо-геодезических работ, в эти интервалы времени рекомендуется производить спутниковые определения координат, а значения PDOP большие 7 - плохие, и в этот период времени необходимо воздержаться от выполнения спутниковых измерений. При выполнении высокоточных геодезических работ значения PDOP на должны превышать 3 - 4. Предельное значение фактора PDOP, принятое для определенного вида работ, называется маской PDOP, приемник спутниковых сигналов постоянно вычисляет значение фактора PDOP, и если его значение начинает превышать заранее установленное значение маски, то приемник прекращает запись спутникового радиосигнала во внутреннюю память до тех пор, пока значение PDOP не снизится до допустимых значений [16].

Подготовка координат заключается в выборке их значений из каталогов или снятии с топографических карт масштабов 1:10000 - 1:50000 (в зависимости от требуемой точности), перевычислений координат в рабочую систему координат приемника, занесении в библиотеку путевых точек приемника.

Занесение координат точек в память приемника производят вручную с использованием контролера или из компьютера через порт связи. В последнем случае координаты должны быть

записаны в файле в соответствующем формате.

Типичная последовательность действий в рамках проекта по выполнению полевых измерений, камеральной их обработки и оценки точности показана на рис. 4.29 [21].

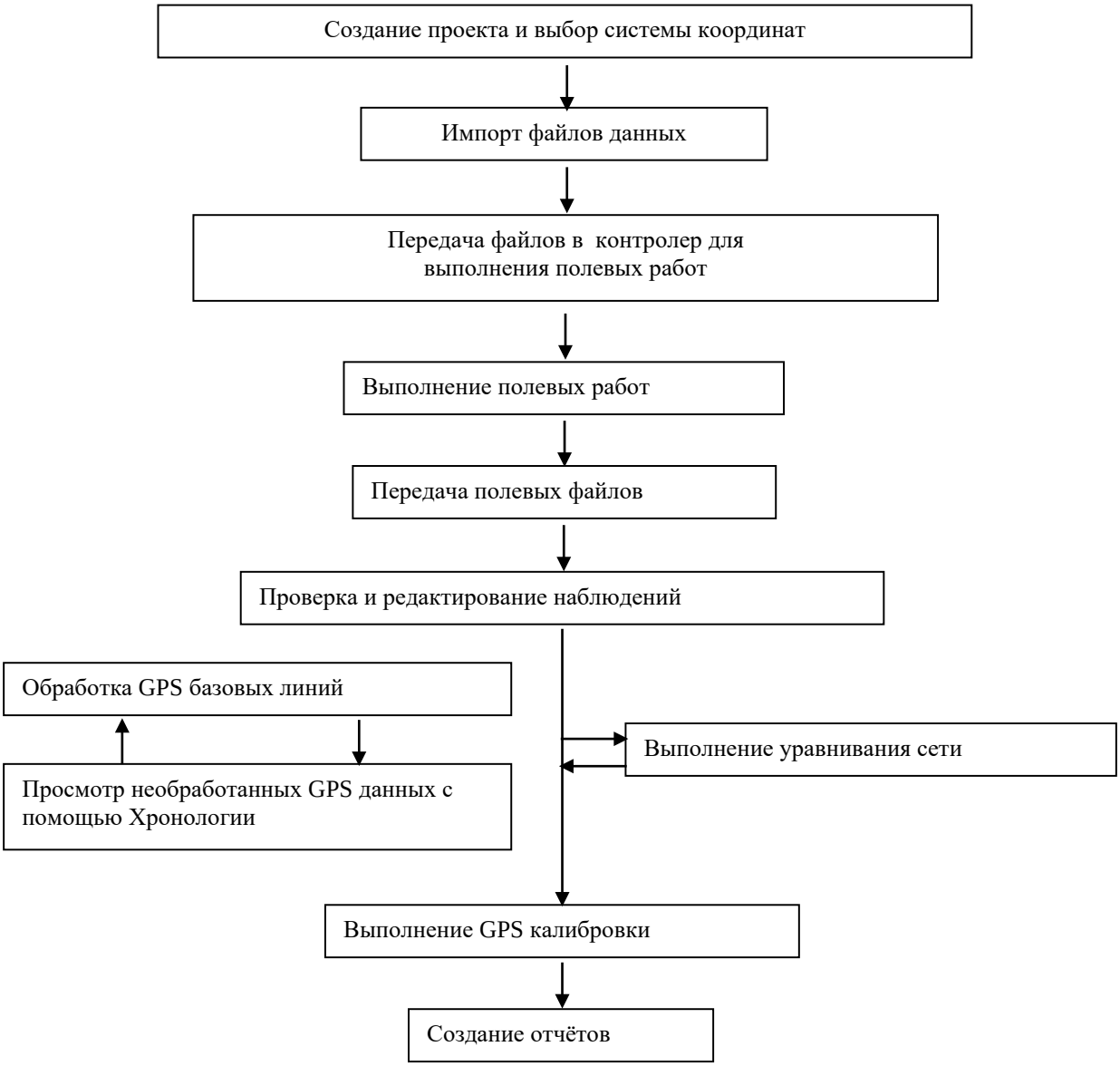


Рис. 4.29. Методика GPS-обработки

При спутниковых наблюдениях, например в режиме статики, как правило, используются следующие стандартные установки приёмников: интервал записи измерений 5 секунд, ограничения по возвышению спутников 15 градусов, время сбора данных при приёме с 6 и более спутников 8 минут.

Существенное влияние на точность спутниковых определений оказывают: время накопления информации на точке, вы-

бор времени измерений в соответствии с расчетом видимости достаточного количества спутников и параметров геометрического фактора, закрытие видимости на отдельные спутники деревьями или искусственными сооружениями.

В работе [10] приводится следующая классификация способов определения координат объектов посредством спутниковых навигационных систем:

- абсолютные (безотносительные) способы определения геоцентрических координат:

- *автономный* (autonomous);

- *дифференциальные* (кодовые DGPS и фазовые PDGPS определения);

- относительные способы определения пространственных векторов – базовых линий (relative, baselines):

- *статические*:

✓ ускоренная статика (fast, rapid statics);

✓ псевдостатика (pseudostatics, reoccupation);

- *кинематические* (kinematics):

✓ непрерывная (continuous), постобработка;

✓ «стой и иди» (Stop and Go»), постобработка;

✓ реального времени (Real Time K – RTK).

Метод абсолютных определений предполагает получение координат в единой системе, носителем которой является комплекс станций наземной подсистемы контроля и управления.

Автономные определения выполняются по принципу пространственной обратной линейной засечки, образованной измеренными псевдодальностями до 4-х и более спутников с одной точки, на которой размещён спутниковый приёмник. Точность автономных определений местоположения ограничена рядом факторов, среди которых основным является влияние погрешностей эфемерид спутников и в среднем составляет 5 м [10, 20].

В *дифференциальном способе* измерения одновременно выполняются двумя приёмниками. Один приёмник (базовый - base) ставится на пункте с известными координатами, а другой приёмник (подвижный - rover), размещается над определяемой точкой. Поскольку координаты базовой станции известны, то их можно использовать для сравнения с вновь определяемыми и

находить на этой основе поправки для подвижной станции.

При выполнении коррекции координат (координатный способ) непосредственно корректируются координаты мобильной станции. Поправки получают на базовой станции как разности между истинными (эталонными) и определяемыми спутниковым приёмником координаты. Необходимым условием реализации координатного способа является использование идентичных созвездий навигационных спутников для вычисления местоположения на опорном и определяемом пунктах. При полном развертывании орбитальных группировок спутниковых систем (когда одновременно в зоне видимости СП могут находиться более четырех НИСЗ), выполнение условия относительно продолжительного совпадения рабочих созвездий НИСЗ на опорном и определяемом пунктах становится затруднительным из-за довольно частой смены НИСЗ в созвездии (при заданном геометрическом факторе). Поэтому реализация координатного способа относительных определений трудновыполнима.

При выполнении коррекции первичных навигационных параметров (псевдодальностей, псевдоскоростей) на базовой станции вычисляются поправки к измеренным навигационным параметрам по всем видимым НИСЗ. Для этого одновременно с измерениями навигационных параметров находят их расчетные значения, используя данные эфемерид и истинные координаты базовой станции. Разности между измеренными и расчетными значениями используются в качестве дифференциальных поправок.

При *кодовых измерениях* поправки дифференциальной коррекции вычисляются как разности между истинными и определяемыми значениями координат базовой (опорной) станции или как разности псевдодальностей, вычисленных по координатам и измеренных на базовой станции.

Дифференциальные поправки передаются на подвижный приёмник при помощи радио или сотовой связи и вводятся в координаты или псевдодальности, полученные на определяемом пункте. Поправки могут вводиться и в режиме постобработки – окончательной обработке данных в камеральных условиях с целью получения координат пунктов. Точность дифференциального позиционирования на основе кодовых измерений составляет 5 - 7 м.

Дифференциальные коррекции применяют и к *фазовым измерениям*. Существует два варианта передачи поправок: в форме необработанных измерений фазы и в форме поправок к фазе несущей. Коррекции к фазовым дальностям повышают точность до уровня 1-5 см (PDGPS) [3].

Геодезические приёмники обычно имеют вход, позволяющий принимать в форматах RTCM (Radio Technical Comission for Maritime Services) SC - 104 поправки в псевдодальности по каждому спутнику. Наличие RTCM - выхода, в свою очередь, даёт возможность использовать приёмник в качестве базового для генерирования и трансляции по дополнительному цифровому радиоканалу поправок на другие приёмники. Для передачи дифференциальных поправок используется средневолновый (275-2000 кГц) и УКВ (390-1550 МГц и 3-300 ГГц) радиоканалы.

Существуют сотни базовых станций, расположенных в разных странах мира, передающие дифференциальные коррекции в стандартном международном формате RTCM SC - 104. Например, работают в Германии 5, Нидерландах 5, Финляндии 11, Швеции 21 станция. С 1998 г. действует бесплатная открытого пользования DGPS станция под Санкт-Петербургом. Она передаёт дифференциальные поправки в международном формате на частоте 298,5 кГц на расстояния до 150 км на суше и до 300 км на море. Опытная базовая станция действует в Москве на территории ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова.

В настоящее время широкое развитие в мире получили различные *навигационные дифференциальные подсистемы*. Их условно подразделяют [10]:

- локальные;
- региональные;
- широкозонные или глобальные.

Локальные навигационные дифференциальные подсистемы имеют зону действия в радиусе 50-200 км от контрольно-корректирующей станции. В ряде стран созданы специальные активные сети базовых станций. Так, на территории Германии действует 260 базовых станций службы SAPOS, расстояния между станциями от 10 до 50 км. С 2004 г. в Москве и Московской области функционирует спутниковая система межевания земель (ССМЗ) в составе 22 базовых (референцных) станций и вычисли-

тельного центра (ВЦ). Базовые станции располагаются на расстоянии от 30 до 80 км. В сети ССМЗ дифференциальные поправки получают с ВЦ системы, которые программное обеспечение интерполирует по нескольким базовым пунктам, т.е. применяется сетевая структура коррекции данных [13]. ССМЗ обеспечивает определение координат объектов в режиме реального времени со средней квадратической ошибкой 2 - 3 см в пределах Московской области на площади свыше 50 тыс. кв. км. С использованием режима постобработки на территории Московской области достигается миллиметровая точность определения координат, а для областей, прилегающих к Московской, на расстоянии 150 - 200 км от ближайших референцных станций – сантиметровая точность [22].

Аналогичные спутниковые системы межевания земель создаются в северо-западном регионе (Санкт - Петербург, Ленинградская и Новгородская области), Красноярском крае и других областях.

Рабочая зона *региональных навигационных дифференциальных подсистем* простирается от 400-500 до 2000 км. Они могут иметь одну или несколько контрольно-корректирующих станций. В европейских странах созданы подсистемы, формирующие дифференциальные поправки: LandSTAR, EuroFix, Startfix и другие. В качестве примера можно привести спутниковую дифференциальную подсистему Startfix с дальностью действия свыше 2000 км, с 60 наземными контрольно-корректирующими станциями и четырьмя геостационарными спутниками, расположенными на высоте около 36000 км над уровнем моря. Геостационарная орбита – круговая орбита, расположенная над экватором Земли (0^0 широты), находясь на которой искусственный спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси, и постоянно находится над одной и той же точкой на земной поверхности. Заявленная точность 1 - 2 м на дальностях до 1000 км и 3м на дальностях свыше 2000 км [10].

В 2004 г. в Харькове и Баку введены в действие региональные навигационные дифференциальные подсистемы. При удалении от дифференциальных станций до 1000 км точность определения координат составляет 0,5 - 2 м. Однако на большин-

стве территорий действия системы обеспечивается дециметровая точность даже при использовании кодовых приёмников [5].

Основой *широкозонных навигационных дифференциальных подсистем* является сеть наземных контрольно-корректирующих станций, ведущих мониторинг за состоянием сигналов навигационных спутников. С них проводятся двухчастотные измерения псевдодальностей для всех навигационных спутников систем. Информация передаётся на главную станцию, где обрабатывается, определяются дифференциальные поправки к эфемеридным данным, шкалам времени, параметрам ионосферной модели. Эти поправки через станции передачи данных передаются на геостационарные космические аппараты, которые передают данные дифференциальные поправки, а также GPS-подобный сигнал пользователям (в диапазоне L1 на частоте 1575,42 МГц). Дополнительные измерения псевдодальностей до геостационарных космических аппаратов повышает точность и надёжность навигационных определений. Размер зоны действия широкозонных навигационных дифференциальных подсистем составляет около 5000 км.

Существуют следующие широкозонные навигационные дифференциальные подсистемы [13]:

- WAAS (Wide Area Augmentation System) – американская дифференциальная подсистема, обеспечивающая северо-американский континент и Северную Атлантику;
- EGNOS (Europen Geostationary Navigation Overlay System) – европейская дифференциальная подсистема, охватывающая европейскую и часть азиатской зоны России;
- MAAS (Multi-Transport Satellite based Augmentation System) – многофункциональная широкозонная дифференциальная подсистема Японии, обеспечивающая регион Японии и Тихого океана между Азией и Америкой, большую часть азиатской территории Российской Федерации;
- GNSS

Примером глобальной *навигационной дифференциальной подсистемы* может служить система OmniSTAR. Она использует распределённую по всему миру сеть станций для сбора информации со спутников GPS. Собранные данные предаются в три цен-

тра управления, откуда транслируются на борт одного из семи геостационарных спутников. Каждый спутник в пределах своей зоны обслуживания передаёт дифференциальные поправки пользователям. Зона действия OmniSTAR охватывает весь мир, за исключением Гренландии, Канады и большей части России [10].

Методы относительных определений основаны на принципе компенсации сильно коррелированных погрешностей (к которым относятся и эфемеридные погрешности) при одновременном определении кодовых и фазовых псевдодальностей до спутников одного и того же созвездия с двух точек. Данные методы выполняются посредством навигационных спутников и минимум двух приемников сигналов, один из которых совмещен с определяемым объектом, а второй устанавливается на опорном пункте с известными координатами, например А и В. Дифференциальные коррекции не определяют, а формируют разности из наблюдений на станциях, на основе которых вычисляют соединяющий эти станции пространственный вектор [10]:

$$D = (X_B - X_A, Y_B - Y_A, Z_B - Z_A)^T .$$

Базовая станция должна иметь точные координаты, чтобы по измеренным приращениям можно было бы вычислить координаты остальных пунктов геодезической сети.

Спутниковые определения относительными методами обеспечивают определение плановых координат и высот в системе координат и высот пунктов геодезической основы.

В *статическом режиме* определение координат производится на неподвижном основании в течение некоторого времени (от минут до часов) с последующей математической обработкой многократных измерений.

Кинематический режим предполагает выполнение спутниковых определений в движении. В этом режиме необходима точная привязка определяемых координат к шкале единого времени.

Динамический режим отличается от кинематического тем, что спутниковый приёмник синхронно работает в комплексе с другой навигационной аппаратурой, например, использующей информацию от инерциальных датчиков.

В зависимости от времени получения дифференциальных

поправок при использовании относительного метода различают два основных способа спутниковых определений: получение скорректированных координат в процессе совместной камеральной обработки (постобработки) измерений на опорном и определяемом пунктах (*псевдодифференциальный*) и в реальном масштабе времени.

При псевдодифференциальном способе следует записать измеренные данные в накопитель и затем при камеральной обработке скорректировать ранее накопленные измерения.

Если точные координаты необходимы на данный момент, то следует использовать дифференциальный режим в реальном времени. В этом случае поправки непрерывно вычисляются на опорной станции и передаются на мобильную станцию по каналу радиосвязи.

Если точное местоположение мобильной станции нужно знать на опорной станции, то применим инверсный дифференциальный режим в реальном времени. При этом координаты мобильной станции по радиоканалу передаются на опорную станцию, где уточняются.

Камеральная обработка спутниковых определений, выполненных абсолютным методом в статическом режиме, включает: осреднение накоплений на определяемых точках; перевычисление координат в систему относимости, принятую для данной съемки; оценку точности; формирование каталога координат, в том числе подготовку данных для программ последующей обработки.

Обработка определений, выполненных абсолютным методом в кинематическом режиме, включает: перевычисление координат; формирование каталогов для программ последующей обработки; вывод графической информации.

Обработка спутниковых определений, выполненных относительным методом с постобработкой информации, проводится в следующей последовательности: перезапись файлов полевых накоплений в директорию с файлами базовой станции для совместной обработки; определение варианта фильтрации измеренных величин и других параметров обработки; управление программами обработки; подготовка каталога координат для программ последующей обработки (при необходимости в комплексе

с геолого-геофизической информацией).

При оценке качества измерений и оптимизации результатов обработки GPS-определений используются следующие информационные показатели [21]:

- тип решения;
- отношение;
- коэффициент дисперсии;
- СКО (RMS);
- сводки отслеживания на станциях и объёдинённая сводка;
- графики поправок навигационных спутников.

Для оценки точности спутниковых определений выполняют контрольные измерения на геодезических пунктах с известными координатами, а также повторные измерения на тех же пунктах. По завершении полевых и камеральных работ сдаче подлежат: материалы полевых измерений; материалы камеральных работ; схема района работ; каталоги координат точек наблюдений; пояснительная записка.

4.2.3. Приборное и программное обеспечение спутниковых съёмок

Подсистема аппаратуры потребителей, представлена различными типами приемников и программного обеспечения обработки спутниковых измерений.

Навигационная аппаратура потребителей ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS начала разрабатываться практически с момента зарождения систем в середине 70 - х годов XX века и прошла в своём развитии ряд этапов, обусловленных главным образом развитием элементарной базы приёмных устройств и средств обработки сигналов и данных, а также соответствующего математического обеспечения [17]. Первые образцы аппаратуры, создавались в одноканальном исполнении, весили десятки килограмм. Современные многоканальные приёмные и процессорные устройства весят на порядок меньше и основную массу устройства в целом составляют элементы конструкции [20]: антенна, блок приёма радиосигналов, микропроцессор, блок управления, блока индикации с дисплеем, запоминающее устройство; устрой-

ство связи с внешней ЭВМ, блок питания. В конкретных конструкциях спутниковых приёмников перечисленные элементы могут быть скомпонованы в один или несколько блоков.

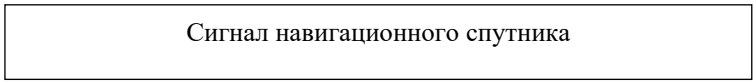
Схематично структура геодезического спутникового приёмника представлена на рисунке 4.30 [13].

Антенный блок принимает радионавигационные сообщения от навигационных спутников. Приёмник генерирует сигнал, который сравнивается с сигналом, полученным от спутника. В измерительном блоке определяются разность фаз этих двух сигналов и кодовая задержка. Вычислительный блок проводит первичную обработку полученной информации от всех навигационных спутников в течение всего времени позиционирования и записывает её в блок памяти прибора. Управление работой всех блоков приёмника осуществляется автоматически.

На рис. 4.30 представлены две блок схемы приёмников, которые различаются применяемым режимом обработки результатов измерений [13]:

а) Если приёмник работает в режиме постобработки, то результаты измерений заносятся в блок памяти приёмника, а по завершении наблюдений предаются в компьютер для постобработки. Для передачи в компьютер приёмник имеет специальные порты подключения и кабель. При полевых работах можно к приёмнику подключить контроллер, с клавиатуры которого вносится информация о пунктах, особенностях наблюдений, высоте антенны.

б) Если приёмник работает в режиме реального времени, то подключение контроллера обязательно. Кроме того, приёмник должен иметь блок связи, по которому передаётся необходимая для обработки информация с базового пункта на определяемый. Контроллер должен быть оснащён программным обеспечением обработки в режиме RTK. Для связи используют специальные радиомодемы или каналы мобильной связи.



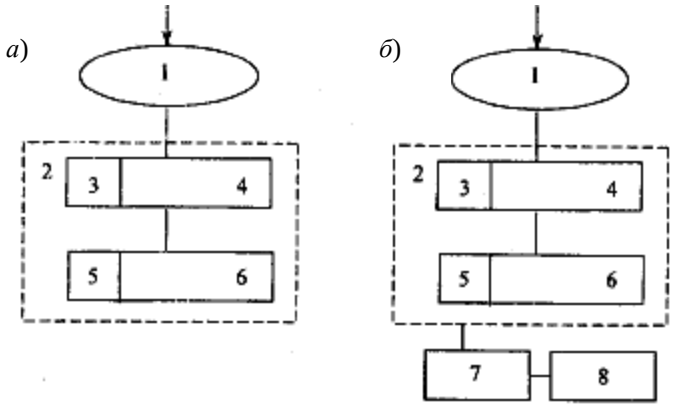


Рис. 4.30. Блок схемы приёмников:
а) режим постобработки; *б*) режим реального времени;
1 – антенный блок; 2 – приёмник; 3 – генератор опорного сигнала;
4 – измерительный блок; 5 – блок первичной обработки; 6 – блок памяти;
7 – контроллер с программным обеспечением режима RTK;
8 – блок связи с базовой станцией

В современной навигационной аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем осуществляется приём сигналов навигационных космических аппаратов и дополнений, измерение временных задержек по кодам и фазам несущих, а также доплеровских сдвигов, определение на этой основе псевдодальностей и псевдоскоростей, ввод необходимых поправок, расчёт координат, времени, составляющих скоростей и скорости ухода местной шкалы времени, а также характеристик точности навигационных определений.

Типы и группы геодезических спутниковых приемников приведены в табл. 4.3 [8]. Наиболее известными производителями навигационных спутниковых систем являются [23]:

Таблица 4.3

Типы и группы геодезических спутниковых приемников

Тип приемника	Группа	Число каналов не менее	Частоты	Точность
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2(GPS)+ L1/L2(ГЛОНАСС)	3 мм + $1*10^{-6}$D
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2(GPS) или L1/L2(ГЛОНАСС)	(3-5) мм+ $1*10^{-6}$D

Односистемные одночастотные	3	9	L1(GPS) или L1(ГЛОНАСС)	10 мм + $2*10^{-6}D$

К.Б. Навис (Россия); Российский институт радионавигации и времени (Россия); ФГУП НИИМА "ПРОГРЕСС" (Россия); DeLORME (США); Garmin (США); ITT Industries Aerospace/Communications Division (США); Hemisphere GPS (ранее CSI Wireless) (Канада); Javad Navigation Systems (США); Leica (Швейцария); Magellan Navigation (США -Франция); NavCom Technology Inc. (США); Novatel (Канада); Sokkia (Япония); Topcon Positioning Systems (США-Япония); Trimble (США).

К приёмникам 1-ой группы относятся: «TRIUMPH-1-G3T» (Javad Navigation Systems, США), «Trimble R8 GNSS» (Trimble, США) и др.

К приёмникам 2-ой группы относятся: «Trimble 5700/5800» (Trimble, США).

К приёмникам 3-ей группы относятся: Бриз-ГП (К.Б. Навис, Россия).

В настоящее время на горных предприятиях при выполнении маркшейдерско-геодезических работ, в основном, используются навигационные приёмники 1 - ой и 2 - ой групп (см. табл. 4.3).

Типичным представителем 1 - ой группы является навигационная система пользователя «Trimble R8 GNSS», в которой интегрированы в одном корпусе приемник, антенна, аккумуляторы и встроенный радиомодем. Для работы с приемником используется контроллер «Trimble TSC2», оснащённый операционной системой «Microsoft Windows Mobile» для «Pocket PC». Передача данных может осуществляться, используя технологию «Bluetooth» - беспроводной порт связи 2.44 Гц. Внешний вид закрепленного на вешке приемника и контроллера показан на рис. 4.31.



Рис. 4.31. Навигационная система пользователя «Trimble R8 GNSS» и контроллер «Trimble TSC2» на вехе

Типичным представителем 2-ой группы является навигационная система пользователя «Trimble 5700/5800». Внешний вид навигационных приёмников представлен на рис. 4.32.

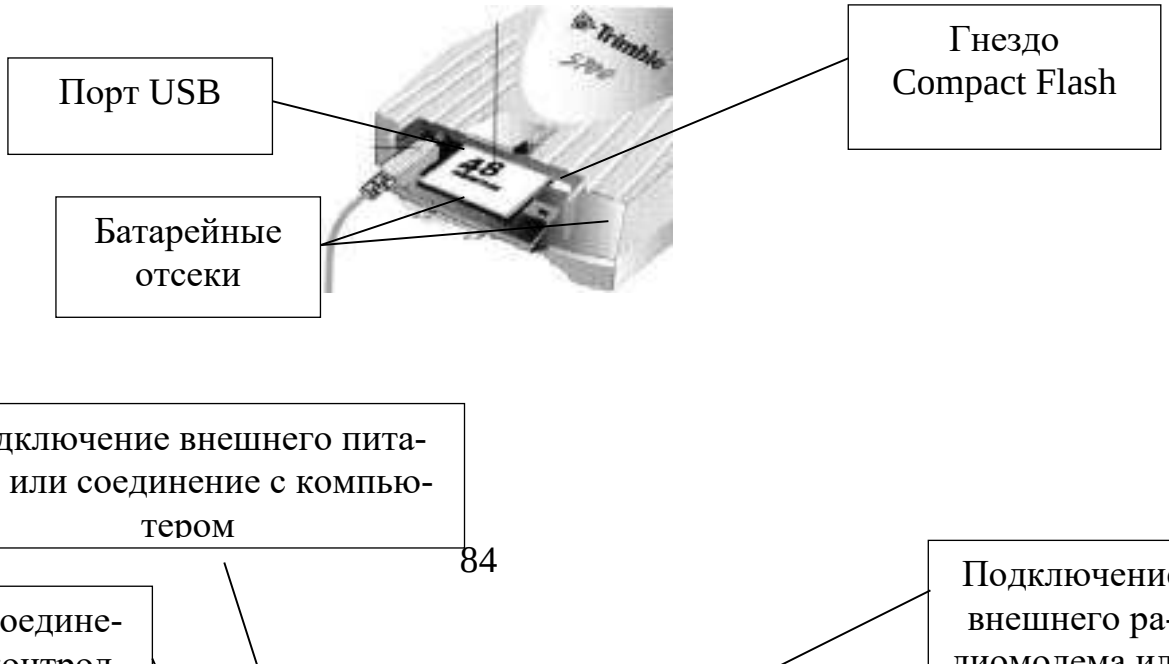




Рис. 4.32. Внешний вид навигационного приёмника «Trimble» 5700

опорного обоснования

Необходимость создания и реконструкции опорных и съемочных маркшейдерско-геодезических сетей на открытых горных разработках может быть обусловлена двумя причинами. Первая причина – ввод в эксплуатацию новых промышленных объектов, таких, как карьеры, отвалы пустых пород, россыпи, шламоотстойники и другие. Вторая причина – необходимость реконструкции существующей опорной сети, когда часть ее пунктов в результате хозяйственной деятельности горнодобыва-

ющего предприятия утрачена, а координаты сохранившихся пунктов в результате техногенного воздействия горных разработок на верхнюю часть земной коры претерпели значительные изменения [16].

Основными этапами создания и реконструкции маркшейдерского опорного обоснования являются [8]:

1. *Предпроектное обследование пунктов и контрольные измерения*

В процессе предпроектного обследования должны быть установлены сохранность исходных пунктов государственной геодезической сети и степень их утраты, пригодность этих пунктов для спутниковых определений. Контрольные измерения выполняются для определения реальной точности существующей государственной геодезической и маркшейдерской опорной сети. Контрольные измерения выполняются между исходными пунктами ранее созданной маркшейдерской опорной сети, исходными и узловыми пунктами полигонометрии, ближайшими пунктами государственной геодезической сети.

Материалы предпроектного обследования и контрольные измерения должны быть максимально получены из отчётов по ранее выполненным работам. Выполнение полевых работ осуществляется только в крайних случаях.

2. *Сбор и анализ геодезической обеспеченности*

Получение задания и сбор материалов ранее выполненных работ является первым этапом создания технического проекта, который является документом, определяющим содержание, объем, затраты, основные технические условия, сроки, организацию выполнения проектируемых работ и сметную стоимость работ.

Сбор материалов геодезической обеспеченности производится в подразделениях, выполнявших ранее геодезические работы на данном объекте, территориальной инспекции государственного геодезического надзора, городских отделах архитектуры, маркшейдерских отделах, земельных комитетах и др.

При этом собираются следующие материалы:

- топографические карты района работ;

- материалы геодезического обследования на данном объекте по ранее выполненным работам;

- выписки из каталогов координат и высот пунктов на объект работ;

- сведения о центрах исходных пунктов, их состоянии;

- сведения о центрах и состоянии пунктов ранее проложенных сетей;

- выписки из отчетов ранее выполненных геодезических работ (наименование работы, шифр объекта, инвентарный номер отчета, год выполнения, наименование организации-исполнителя работ, оценка точности работ, каталог пунктов, участвующих в работе, схема);

- справки о системах координат и высот, применяемых на объекте.

Все собранные материалы систематизируются для предварительного анализа и составления технического проекта.

На основе собранного материала выполняется анализ с целью установления:

1. Качественных характеристик и плотности существующей сети.

2. Возможности использования пунктов ранее выполненных работ, отвечающих требованиям к пунктам создаваемой сети взамен запроектированных.

3. Возможности построения проектируемой сети, связанные с различными технологиями спутниковых измерений (сетевой, лучевой и совмещенный методы).

3. *Проектирование геодезических работ*

Проектирование маркшейдерских опорных сетей включает следующие стадии работ:

- Выбор схемы проектируемой сети.

- Выбор метода построения сети в данном районе и его экономическое обоснование.

- Оформление технического проекта.

Выбор схемы проектируемой сети.

Предварительная графическая схема проектируемой сети составляется на топографических картах, масштаб которых позволяет выдержать угловые и линейные параметры создаваемой сети. По крупномасштабным картам и планам анализируется местоположение пунктов, включенных в городскую геодезическую сеть на предмет наличия вокруг них препятствий. Для каждого

пункта, на котором отмечаются ограничения обзора наблюдаемых спутников из-за наличия тех или иных препятствий, строится полярная диаграмма видимости небосвода с нанесением на нее экранирующих препятствий. Согласно выбранной схеме составляется графическая часть проекта создаваемой сети, при этом показываются все связи при наблюдениях на пунктах.

Выбор технологии выполнения работ.

При выборе технологии выполнения работ необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- Для достижения однородной высокой точности необходимо проектировать минимальное количество классов и разрядов при совмещении старой и новой сетей.

- При построении маркшейдерской опорной сети необходимо использовать максимальное количество одновременно работающих спутниковых приемников, что позволяет за счет избыточных измерений повысить точность и надежность результатов наблюдений.

- При проектировании сети, с использованием лучевого метода, предусмотреть выполнение спутниковых наблюдений на каждом определяемом пункте дважды с контролем сходимости получаемых результатов.

Для пунктов с ограниченным обзором небосвода из-за наличия тех или иных препятствий, время для проведения сеансов наблюдений выбирается на основе анализа полярной диаграммы препятствий, дополненной траекториями движения спутников с указанием времени их прохождения по нанесенной на диаграмму траектории. Для организации синхронных наблюдений это время согласуется со временем проведения спутниковых измерений на всех других пунктах, участвующих в планируемом сеансе наблюдений.

Оформление технического проекта.

Технический проект должен включать в себя пояснительную записку, графическую и сметную части.

Пояснительная записка должна включать следующие разделы:

- Обоснование технического проекта: нормативные документы, геодезическая изученность, краткая физико-географическая

характеристика объекта работ, проектируемые работы, объемы работ, системы координат и высот.

- Сведения о ранее выполненных работах: наименование пунктов геодезического обоснования, наименование работы, наименование организаций, выполнивших работу, год выполнения, оценка точности, системы координат и высот.

- Технология выполнения работ с обоснованием выбранной схемы и способов измерений.

- График выполнения работ с подробным изложением порядка и времени выполнения работ на пунктах.

- Критерии оценки точности полученных результатов.

- График выполнения работ и сдачи готовой продукции.

Графическая часть проекта оформляется на картах с указанием местоположения пунктов опорных и перемещаемых спутниковых приемников и связующих сторон проектируемой сети. Для нанесения графического проекта на карты используются условные обозначения и их цветовое соотношение.

В сметной части рассчитывается время работы на одном пункте во время одного сеанса включения с использованием действующих нормативов времени и общее время работы с учетом количества пунктов сети и проектируемого количества приемников. Стоимость работ определяется с использованием действующих сметных расценок.

4. *Рекогносцировка и закладка пунктов.*

В процессе рекогносцировки выполняют:

- уточнение проекта сети для максимального совмещения пунктов проектируемой сети с плановыми и высотными пунктами ранее созданных сетей;
- выбор места закладки новых пунктов;

- согласование выбранных мест закладки с учетом типов применяемых центров.

Закладка новых пунктов до необходимой плотности осуществляется на основании технического задания и рабочего проекта, уточненного по материалам рекогносцировки и обследования. Выбранные в натуре места закладки пунктов закрепляются в соответствии с требованиями «Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети» (ЦНИГАиК, 2001 г.) Центры закладываемых пунктов маркшейдерской опорной сети

должны быть типа 190 – для районов с сезонным промерзанием грунтов и типа 191 – для скальных грунтов.

Не следует размещать пункты внутри металлических ограждений, рядом с высокими зданиями, большими деревьями, а также другими сооружениями, способными экранировать прямое прохождение радиосигналов от спутников.

Наличие на существующих пунктах металлических или деревянных сигналов и пирамид нежелательно.

5. *Привязка исходного пункта к общеземной геоцентрической системе координат.*

Используемые в геодезии спутниковые координатные определения базируются на применении дифференциальных методов, позволяющих определять разности геоцентрических координат между пунктами. Вместе с тем конечными результатами создаваемой сети должны быть полные значения координат пунктов в той или иной координатной системе. Исходя из этого, возникает необходимость иметь в составе сети хотя бы один опорный пункт с заранее известными значениями геоцентрических координат. Оптимальным вариантом является наличие в составе сети не менее трех исходных пунктов.

Координаты исходного пункта определяются в геоцентрической системе координат (X, У, Z), (*B, L, H*). От точности знания этих координат зависит положение всей создаваемой маркшейдерской опорной сети в более общей координатной системе.

Для корректной математической обработки спутниковых наблюдений сети необходима привязка исходного пункта к геоцентрической системе координат, что обеспечит передачу координат в геоцентрической системе на пункты городской сети с максимально возможной точностью. Конструкции реперов показаны на рис. 4.33 и 4.34.

5. *Полевые наблюдения и камеральная обработка.*

До начала проведения работ в целях обеспечения преемственности геодезической информации должен быть выполнен анализ существующих на территории создания маркшейдерского опорного обоснования геодезических построений и установлена их точность. Реальная точность взаимного положения пунктов существующей сети и государственной геодезической сети определяется сравнением длин контрольных линий, полученных из

спутниковых измерений и вычисленных по значениям координат пунктов.

В государственной геодезической сети (ГГС) необходимо выделить каркас в объеме не менее 3 исходных пунктов для создания маркшейдерского опорного обоснования. На указанных пунктах должны быть выполнены спутниковые измерения, обеспечивающие их взаимное положение с повышенной точностью. Определение координат исходных пунктов производится с использованием статического режима.

При создании маркшейдерского опорного обоснования необходимо использовать максимальное количество одновременно работающих спутниковых приемников, что позволяет за счет избыточных измерений повысить точность и надежность результатов наблюдений.

Пункты маркшейдерского опорного обоснования должны быть максимально совмещены с сохранившимися пунктами триангуляции и полигонометрии. Закладка новых пунктов производится в необходимых случаях для обеспечения требуемой плотности сети. Центры пунктов маркшейдерского опорного обоснования по возможности должны быть глубокого заложения.

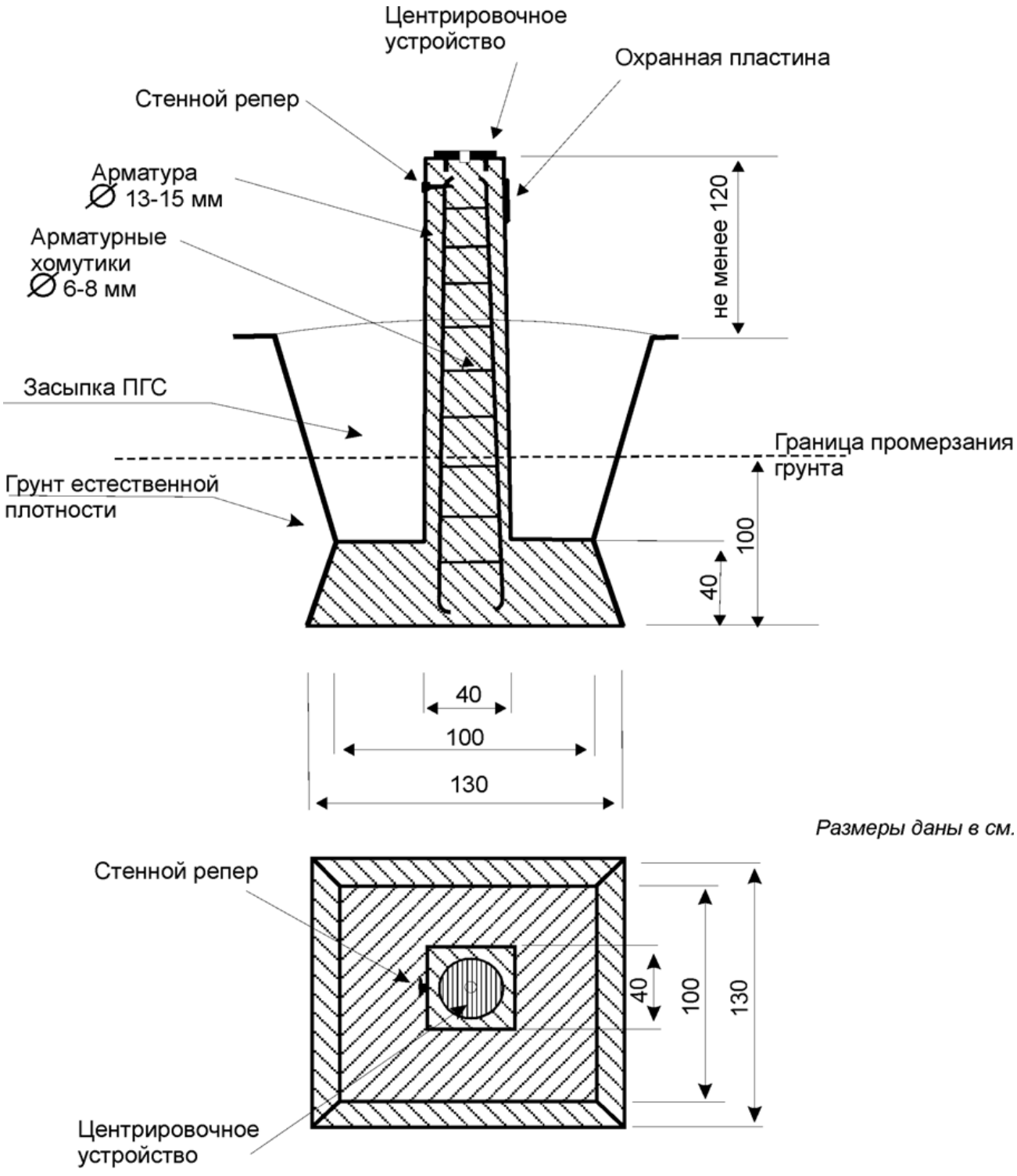


Рис. 4.33. Рабочий центр пункта маркшейдерской опорной сети для районов с сезонным промерзанием грунтов (тип 190)

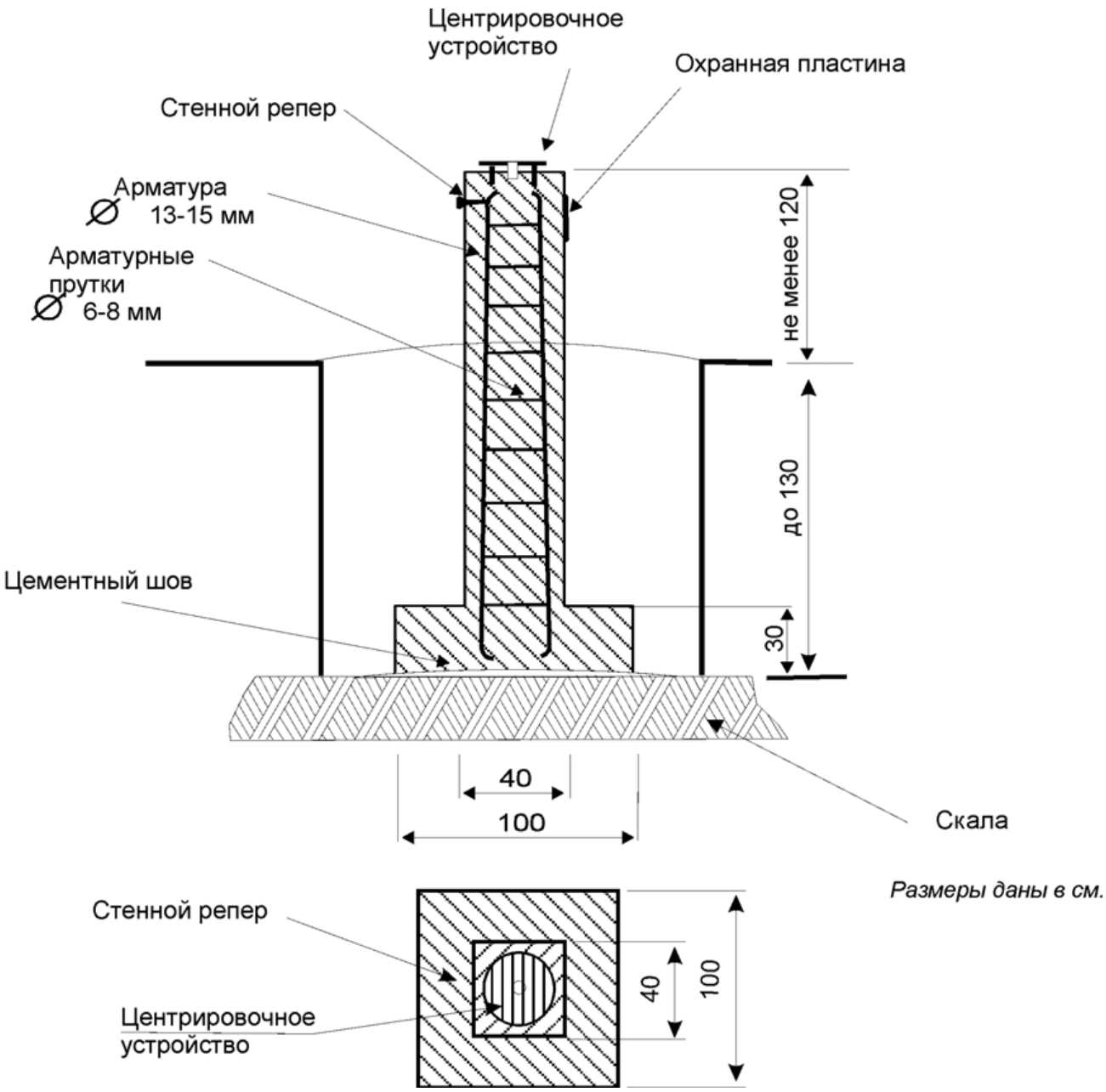


Рис. 4.34. Рабочий центр пункта маркшейдерской опорной сети для скальных грунтов (тип 191)

Для уравнивания маркшейдерской опорной сети в государственной системе координат используются координаты всех исходных пунктов ГГС. Производится строгая увязка государственной геодезической и опорной маркшейдерской сетей, как это показано на рис. 4.35.

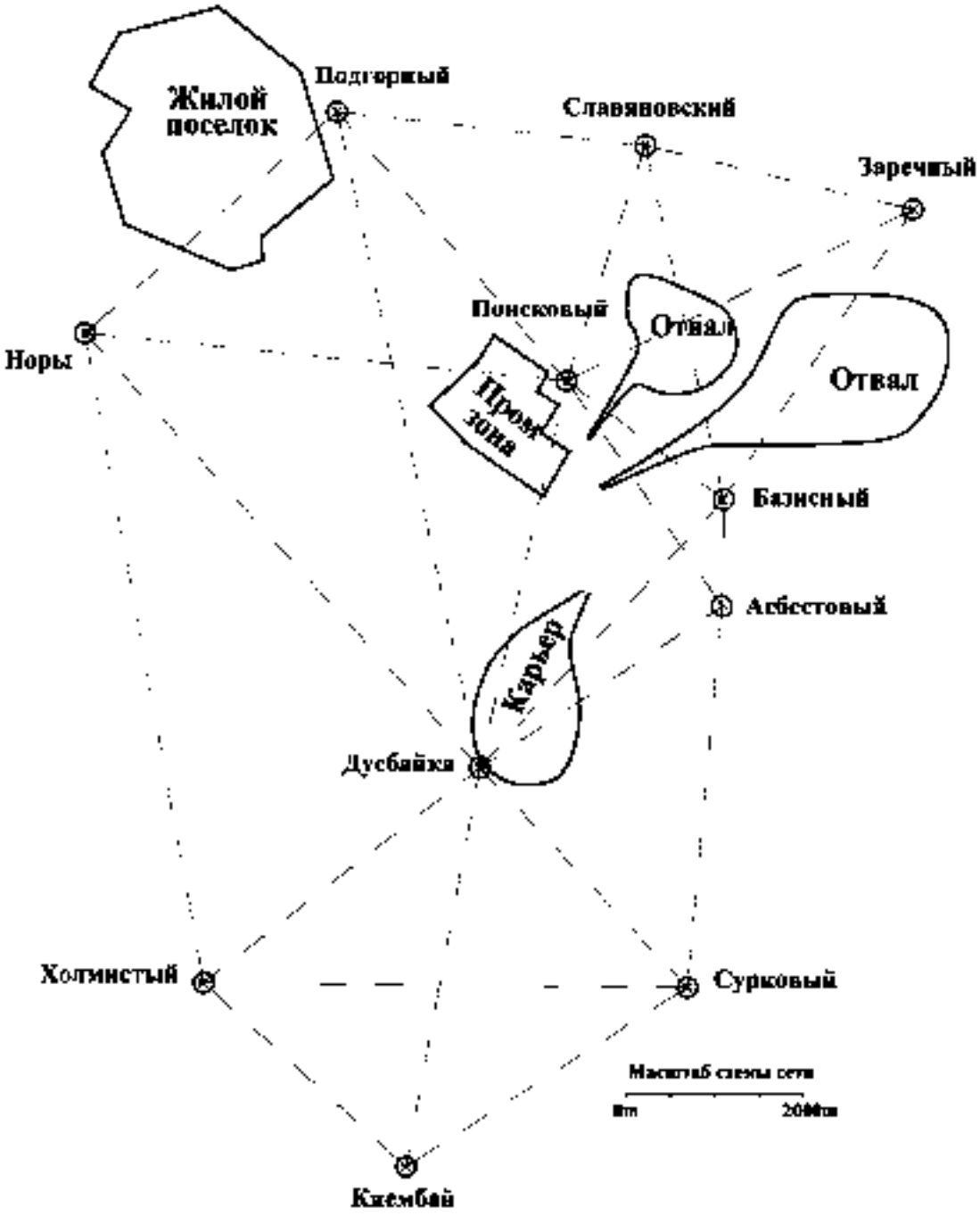


Рис. 4.35. Схема привязки опорной сети карьера к пунктам ГГС

В результате такой совместной увязки сетей с применением алгоритмов уравнивания выявляются пункты, координаты которых претерпели значительные изменения и должны быть переопределены, а также пункты, координаты которых изменения не претерпели и которые можно считать условно неподвижными. В данном случае за условно неподвижные пункты сети были при-

няты пункты государственной геодезической сети третьего класса «Подгорный» и «Норы», величины, изменения пространственных координат которых оказались сопоставимы с точностью GPS-измерений.

После дополнительных наблюдений совместная сеть строго уравнивается, и от условно неподвижных пунктов сети переопределяются координаты пунктов сети, расположенных в относительной близости от района работ. Дальнейшее определение координат новых пунктов опорной маркшейдерской сети и переопределение старых производится уже от вблизи расположенных пунктов государственной геодезической сети и пунктов маркшейдерской опорной сети, координаты которых были переопределены в предыдущем уравнивании.

В нашем случае планово-высотная привязка опорной сети карьера производилась от 4-х пунктов сети 2-го, 3-го и 4-го классов «Дусбайка», «Поисковый», «Асбестовый» и «Базисный». В результате выполнения данной работы были определены современные пространственные координаты пунктов опорной сети карьера, расположенных на верхней бровке по всему периметру карьера. Схема опорной сети карьера приведена на рис. 4.36. Приведенная технология выполнения геодезических работ позволяет существенно снизить затраты времени на определение координат пунктов маркшейдерской опорной сети и получить качественный результат.

GPS геодезическая сеть по сути своей представляет собой линейно-угловую сеть, в которой измеренными величинами являются длины линий, превышения между концами линий и азимуты линий. Для однозначного нахождения координаты определяемой точки необходимо измерить только один вектор от точки с известными координатами (рис. 4.37). Такая технология называется радиально-лучевой, а ее аналог в традиционной геодезии – методом полярной засечки. На рисунке треугольниками показаны точки с известными координатами, прямоугольниками – определяемые точки. В данном случае резко снижаются затраты времени на определение координат пунктов опорной сети.

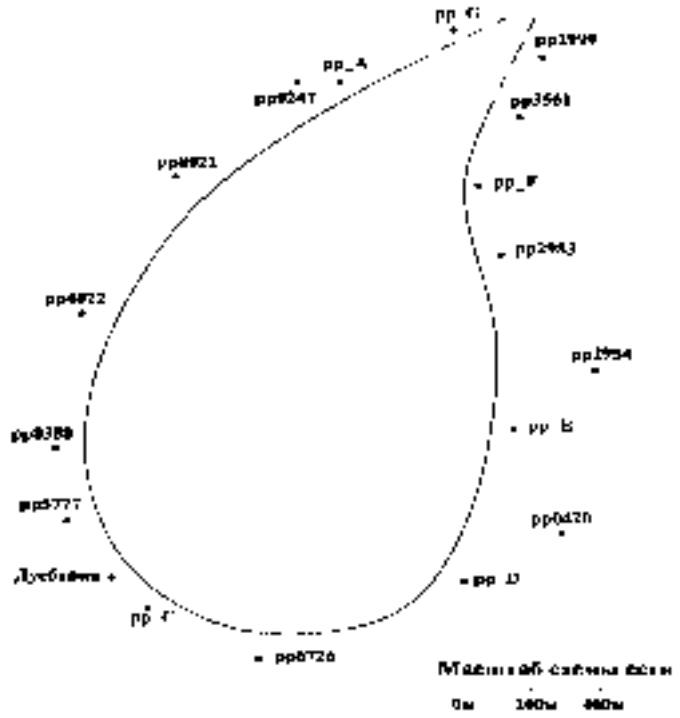


Рис. 4.36. Схема опорной сети карьера

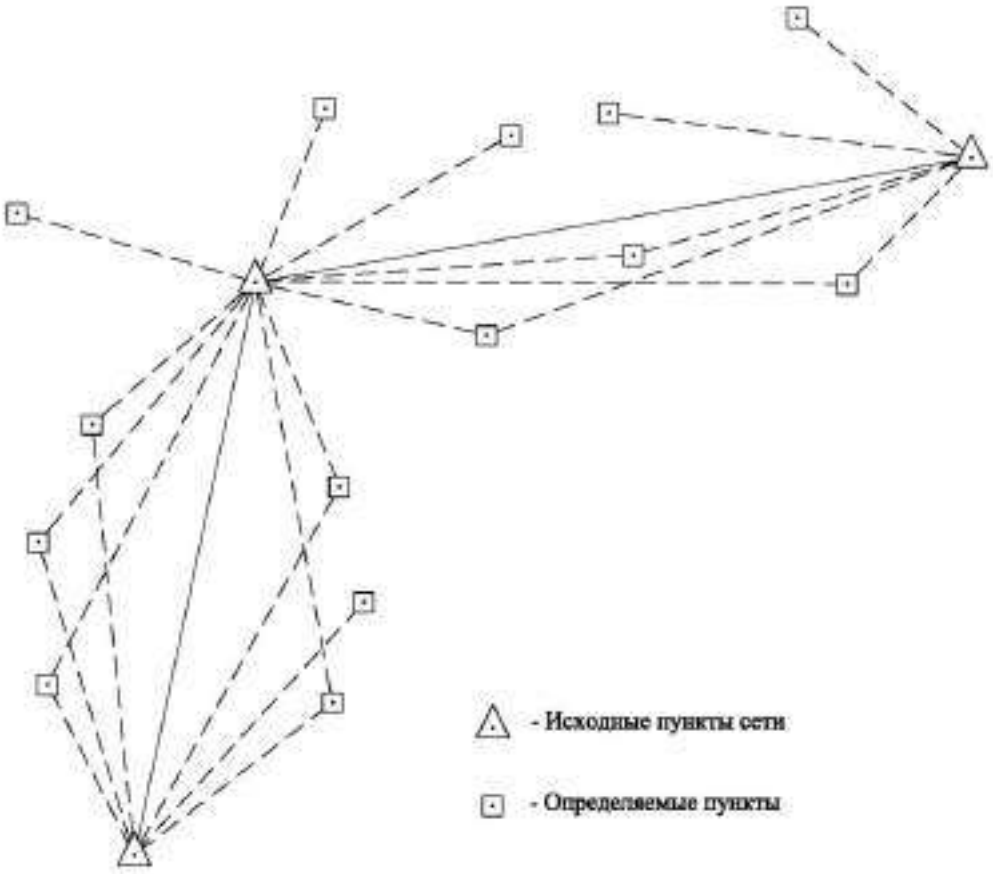


Рис. 4.37. Определение координат пунктов с использованием радиальной технологии наблюдений

Единственным недостатком этого способа является либо отсутствие какого-либо контроля определения координат, кроме внутреннего контроля вычислений, либо достаточно слабый контроль в случае, когда одновременно работают две базовые станции. Хотя, как показывает практика, по результатам внутреннего контроля вычислений можно гарантированно отбраковать недоброкачественные измерения и не возникает необходимости выполнения повторных полевых измерений.

Для выполнения же особо ответственных геодезических работ применяется другая технология, схематично представленная на рис. 4.38.

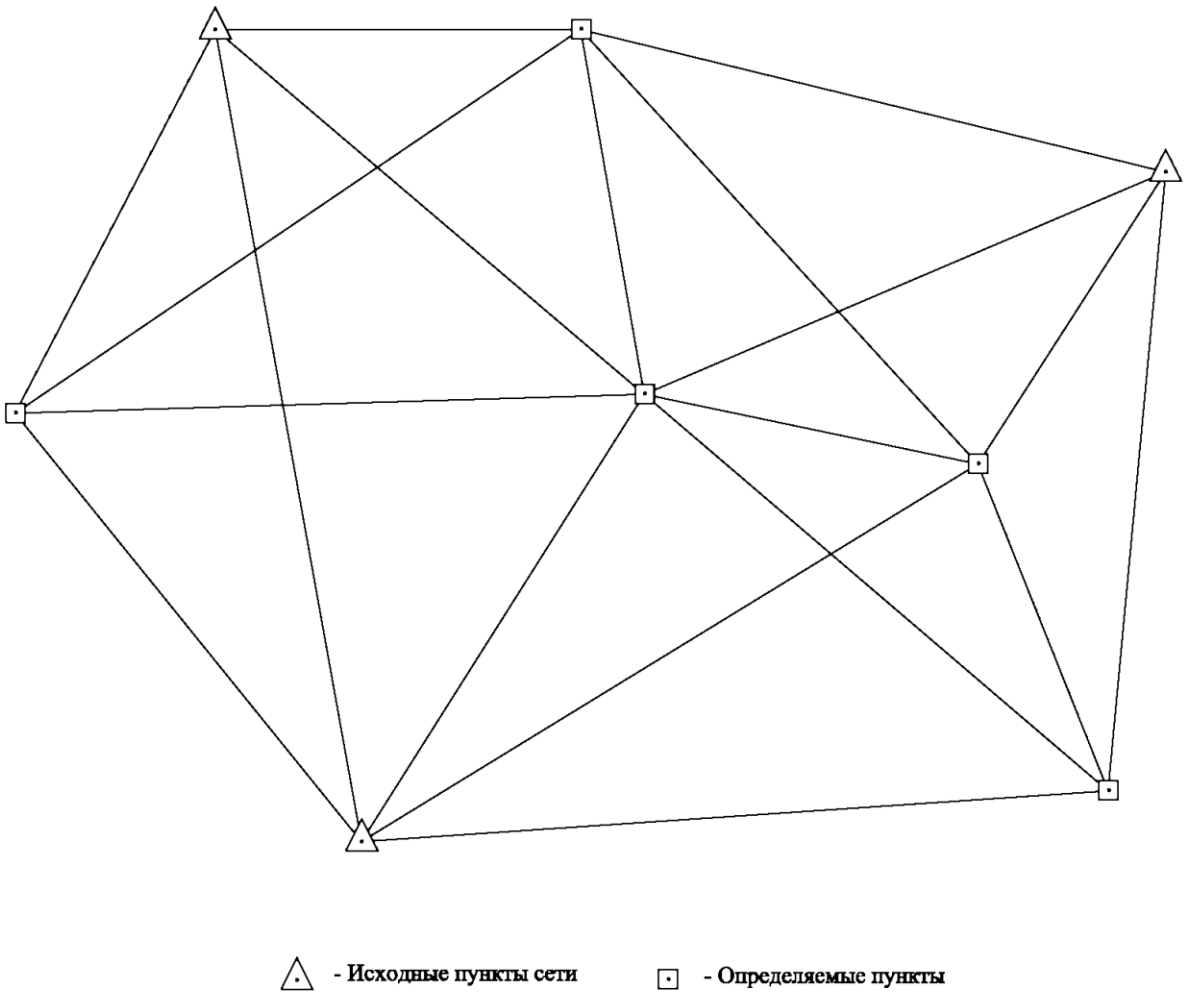


Рис. 4.38. Схема создания сети с контрольными измерениями

В этом случае на каждой определяемой точке наблюдаются как минимум три вектора. При таком способе спутниковых наблюдений возникают избыточные измерения в сети, что позво-

ляет уравнивать такую сеть методом наименьших квадратов. В случае выбраковки в такой сети некоторого количества векторов не возникает необходимости возвращаться в поле и выполнять повторные измерения. После отбраковки некачественных векторов, как правило, имеется возможность для дальнейшего уравнивания сети. При применении этой технологии наблюдений затраты времени на определение координат пункта сети увеличиваются как минимум в два раза, что компенсируется более надежными результатами всей работы.

Одним из самых часто задаваемых вопросов при создании и реконструкции опорных сетей методами спутниковой геодезии является вопрос о том, насколько эффективнее создавать маркшейдерско-геодезическую сеть с применением новых технологий по сравнению с методами традиционной геодезии. Практика показывает, что в зависимости от различных внешних факторов увеличение производительности труда может составлять от 25 до 100 % и более. Наибольшее увеличение эффективности использования комплексов спутниковой геодезии наблюдается при производстве работ на открытой местности, где характерны малые помехи прохождения спутникового радиосигнала. Однако следует иметь в виду, что при всех имеющихся неоспоримых достоинствах методы спутниковой геодезии имеют несколько ограниченные условия применения и ни в коей мере не могут полностью заменить традиционные методы создания и реконструкции опорных маркшейдерско-геодезических сетей на открытых горных разработках. Наиболее приемлемым в данном случае является совместное использование методов традиционной и спутниковой геодезии.

4.3. Анализ точности и проектирование маркшейдерских сетей на карьерах

4.3.1. Общие положения

Маркшейдерские сети – плановые и высотные – представляют собой совокупность закрепленных на земной поверхности и в горных выработках пунктов, пространственное положение которых определяется координатами x, y, z в единой системе координат. Как правило, пункты маркшейдерских сетей имеют пла-

новые *x*, *y* и высотные *z* координаты, и поэтому маркшейдерские сети можно называть планово-высотными сетями.

По назначению маркшейдерские сети делятся на *маркшейдерские опорные сети* и *маркшейдерские съемочные сети* [3, 24].

Маркшейдерские опорные сети создаются силами маркшейдерской службы горного предприятия или лицензированными на этот вид деятельности подрядными организациями. Они включают, при необходимости, имеющиеся на территории производственно-хозяйственной деятельности предприятия пункты государственной геодезической сети – триангуляции и полигонометрии 3-го и 4-го классов, 1-го и 2-го разрядов. Основными методами создания маркшейдерских опорных сетей являются – спутниковая геодезия, триангуляция, трилатерация и полигонометрия 4 классов, 1-го и 2-го разрядов, нивелирование III и IV класса в соответствии с установленными требованиями [3].

Таблица 4.4

Требования к маркшейдерским опорным сетям

Класс, разряд	Триангуляция	Полигонометрия и трилатерация	
	m_β	m_β	Предельная относительная невязка хода, $f_{доп}$
4 класс	2"	2"	1:25 000
1 разряд	5"	5"	1:10 000
2 разряд	10"	10"	1:5 000

Маркшейдерские съемочные сети создаются силами маркшейдерской службы горного предприятия на основе пунктов маркшейдерской опорной сети. Основными методами создания маркшейдерских съемочных сетей являются – спутниковая геодезия, теодолитные ходы, геодезические засечки.

Ошибки положения пунктов маркшейдерской съемочной сети относительно ближайших пунктов маркшейдерской опорной сети не должны превышать 0,4 мм на плане в принятом масштабе съемки и 0,2 м по высоте [3, п. 60]. Съемку карьеров и отвалов выполняют в масштабе 1:1000, 1:2000 и 1:5000 [3, п. 59], при съемке небольших по размерам карьеров допускается масштаб 1:500 [25]. Поэтому ошибки положения пунктов маркшейдерской съемочной сети в плане M_P не должны превышать: 0,2 м

(при масштабе съемки 1:500); 0,4 м (при масштабе съемки 1:1000) и т.д.

На различных стадиях построения и использования маркшейдерских сетей выполняется анализ точности – оценка погрешностей отдельных элементов сетей: координат пунктов сети; дирекционных углов, длин сторон и др. В зависимости от стадии построения и использования сети преследуются следующие цели [24]:

- при проектировании сети – выбор приборов и методов измерений;
- при создании сети – контроль качества выполненных измерений;
- в процессе эксплуатации сети – решение вопросов о возможности использования ее при выполнении инженерных работ с заданной точностью.

На стадии проектирования сети выполняется предварительный анализ (предрасчет) точности элементов сети, исходя из приборов, имеющихся в распоряжении исполнителя работ. В процессе проектирования маркшейдерских опорных сетей определяется геометрическая схема (геометрия) сети, при которой, с учетом принятого метода создания сети и точностных характеристик оборудования, погрешности элементов сети не превысят нормативных показателей. При проектировании маркшейдерских съемочных сетей обоснованию подлежит метод создания сети, обеспечивающий необходимую точность определения положения пунктов съемочной сети.

В процессе создания сети выполняются различные виды контроля качества выполненных измерений – полевой и заключительный.

Полевой контроль осуществляется по внутренней сходимости результатов измерений. Измерения одних и тех же элементов сети выполняются не менее двух раз – в полигонометрии и теодолитных ходах углы следует измерять двумя приемами, а длины сторон в прямом и обратном направлении. Для установления допуска можно задаться доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$ [26]. При этой доверительной вероятности допустимое расхождение для двойных равноточных измерений определяется по формуле:

$$R_{\text{п}} = 2{,}77\sigma, \qquad (4.1)$$

где σ – паспортная точность однократного измерения прибором.

Например, допустимое расхождение между двумя приемами при измерении горизонтального угла теодолитом типа Т5 составит 2,77×5" = 14", т. к. паспортная точность измерения угла одним приемом для этого теодолита составляет 5".

Заключительный контроль выполняется с помощью сравнения полученных невязок ходов с допустимыми невязками – угловыми, линейными, высотными и проч. В сложных маркшейдерских сетях, состоящих из нескольких взаимосвязанных ходов или геометрических фигур, оценка точности производится по результатам уравнивания.

В процессе эксплуатации сети ее стороны и пункты могут быть использованы в качестве исходных данных при решении производственных задач и проложении ходов специального назначения. Знание ошибок исходных данных необходимо для анализа точности этих работ.

4.3.2. Накопление ошибок в линейно-угловых ходах

В линейно-угловом ходе (полигонометрическом или теодолитном) измеряются горизонтальные углы на пунктах хода и длины сторон между соседними пунктами хода. Рассмотрим наиболее простой вид линейно-углового хода – разомкнутый свободный (висячий) полигон (рис. 4.39).

Координаты пункта *A* – последней точки хода – вычисляются по формулам:

$$x_{\text{A}} = x_1 + \sum_{s=1}^{n} l_s \cos\alpha_s = x_1 + \sum_{s=1}^{n} l_s \cos\left(\alpha_0 + \sum_{i=1}^{s} \beta_i - s \cdot 180^\circ\right);$$

$$y_{\text{A}} = y_1 + \sum_{s=1}^{n} l_s \sin\alpha_s = y_1 + \sum_{s=1}^{n} l_s \sin\left(\alpha_0 + \sum_{i=1}^{s} \beta_i - s \cdot 180^\circ\right), \qquad (4.2)$$

где x_1 и y_1 – координаты исходного пункта; l_s , β_i – измеренные значения длин сторон и левых углов хода; α_0 , α_s – дирекционные углы исходной и последующих сторон хода.

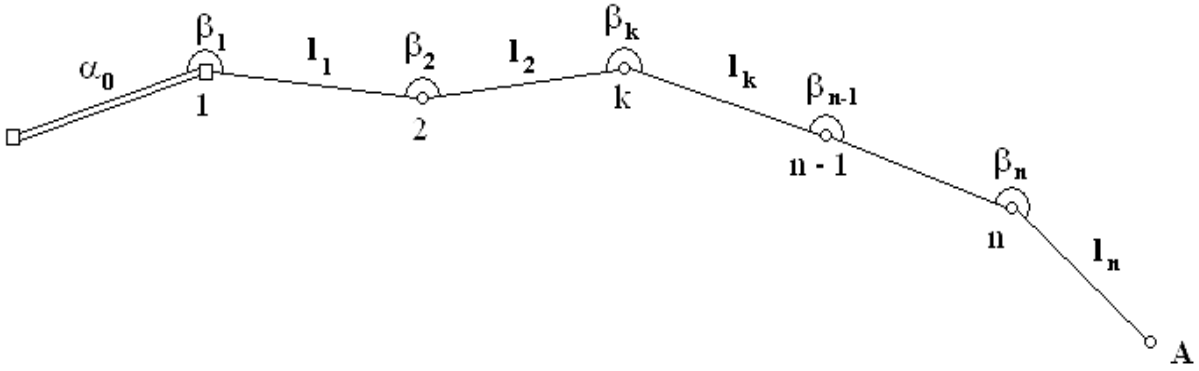


Рис. 4.39. Схема разомкнутого свободного полигона

Полные средние квадратические ошибки координат последней точки запишем в следующем виде:

$$M_{x_A}^2 = M_{x_1}^2 + M_{x_l}^2 + M_{x_\alpha}^2 + M_{x_\beta}^2;$$
$$M_{y_A}^2 = M_{y_1}^2 + M_{y_l}^2 + M_{y_\alpha}^2 + M_{y_\beta}^2, \qquad (4.3)$$

где $M_{x_1}, M_{x_l}, M_{x_\alpha}, M_{x_\beta}$ – составляющие полной ошибки координаты x точки A, обусловленные соответственно ошибками координаты x исходного пункта, ошибками линейных измерений, ошибками дирекционного угла исходной стороны и ошибками угловых измерений. Аналогичные обозначения приняты для M_{y_A}.

Для вычисления составляющей M_{x_l} дифференцируем выражение (4.2) по всем длинам l_s

$$\frac{\partial x_A}{\partial l_s} = \cos\alpha_s; \quad \frac{\partial y_A}{\partial l_s} = \sin\alpha_s.$$

Складывая произведения квадратов производных на квадраты средних квадратических ошибок линейных измерений, получим

$$M_{x_l}^2 = \sum_{s=1}^{n}\left(\frac{\partial x_A}{\partial l_s}\right)^2 m_{l_s}^2 = \sum_{s=1}^{n}(\cos\alpha_s m_{l_s})^2; \quad M_{y_l}^2 = \sum_{s=1}^{n}(\sin\alpha_s m_{l_s})^2, \qquad (4.4)$$

где m_{l_s} – средняя квадратическая ошибка измерения длины стороны хода.

Частные производные выражения (4.2) по исходному дирекционному углу α_0 имеют вид:

$$\frac{\partial x_A}{\partial \alpha_0} = -\sum_{s=1}^{n} l_s \sin \alpha_s = -\sum_{s=1}^{n} \Delta y_s = -(y_A - y_1) = y_1 - y_A;$$

$$\frac{\partial y_A}{\partial \alpha_0} = \sum_{s=1}^{n} l_s \cos \alpha_s = \sum_{s=1}^{n} \Delta x_s = x_A - y_1.$$

Таким образом, влияние ошибки дирекционного угла исходной стороны хода оценивается формулой

$$M_{x_\alpha}^2 = (y_A - y_1)^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2}; \quad M_{y_\alpha}^2 = (x_A - x_1)^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2}, \qquad (4.5)$$

где m_{α_0} – средняя квадратическая ошибка дирекционного угла исходной стороны.

Дифференцируем выражение (4.2) по всем углам β_i:

$$\frac{\partial x_A}{\partial \beta_1} = y_1 - y_A; \quad \frac{\partial x_A}{\partial \beta_2} = y_2 - y_A; \quad \ldots \frac{\partial x_A}{\partial \beta_n} = y_n - y_A;$$

$$\frac{\partial y_A}{\partial \beta_1} = x_A - x_1; \quad \frac{\partial y_A}{\partial \beta_2} = x_A - x_2; \quad \ldots \frac{\partial y_A}{\partial \beta_n} = x_A - x_n.$$

Складывая произведения квадратов производных на квадраты средних квадратических ошибок угловых измерений, получим

$$\begin{aligned} M_{x\beta}^2 &= \sum_{s=1}^{n} \left(\frac{\partial x_A}{\partial \beta_s}\right)^2 \left(\frac{m_{\beta_s}}{\rho}\right)^2 = \sum_{s=1}^{n} (y_A - y_s)^2 \left(\frac{m_{\beta_s}}{\rho}\right)^2; \\ M_{y\beta}^2 &= \sum_{s=1}^{n} (x_A - x_s)^2 \left(\frac{m_{\beta_s}}{\rho}\right)^2 \end{aligned}, \qquad (4.6)$$

где m_{β_s} – средняя квадратическая ошибка измерения углов в ходе.

Формулы (4.3) – (4.6) применяются при анализе точности ходов любой формы. Обычно ошибками координат исходного пункта пренебрегают $(M_{x_1} = M_{y_1} = 0)$, угловые измерения считают равноточными $(m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = \ldots = m_{\beta_s} = m_\beta)$, т. к. влиянием ошибок центрирования теодолита и сигналов на поверхности можно пренебречь, а ошибки линейных измерений представляют в относительном виде:

$$m_{l_S} = \frac{l_s}{T}, \tag{4.7}$$

где T – знаменатель формулы относительных ошибок линейных измерений (показатель точности линейных измерений – чем больше знаменатель T, тем точнее измерения).

При числе сторон хода $n > 5$ можно пренебречь ошибками исходного дирекционного угла. С учетом принятых допущений преобразуем формулы (4.3):

$$M_{x_A}^2 = \frac{1}{T^2}\sum_{s=1}^{n}(l_S \cos\alpha_S)^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}\sum_{s=1}^{n}(y_A - y_S)^2;$$
$$M_{y_A}^2 = \frac{1}{T^2}\sum_{s=1}^{n}(l_S \sin\alpha_S)^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}\sum_{s=1}^{n}(x_A - x_S)^2. \tag{4.8}$$

Теперь ошибку положения пункта A можно вычислить по формуле

$$M_A = \sqrt{M_{x_A}^2 + M_{y_A}^2} = \sqrt{\frac{1}{T^2}\sum_{s=1}^{n} l_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}\sum_{s=1}^{n} L_s^2}. \tag{4.9}$$

где L_s – расстояния между точками хода и конечной точкой А (рис. 4.40).

Формула (4.9) описывает закон накопления ошибок в линейно-угловом ходе.

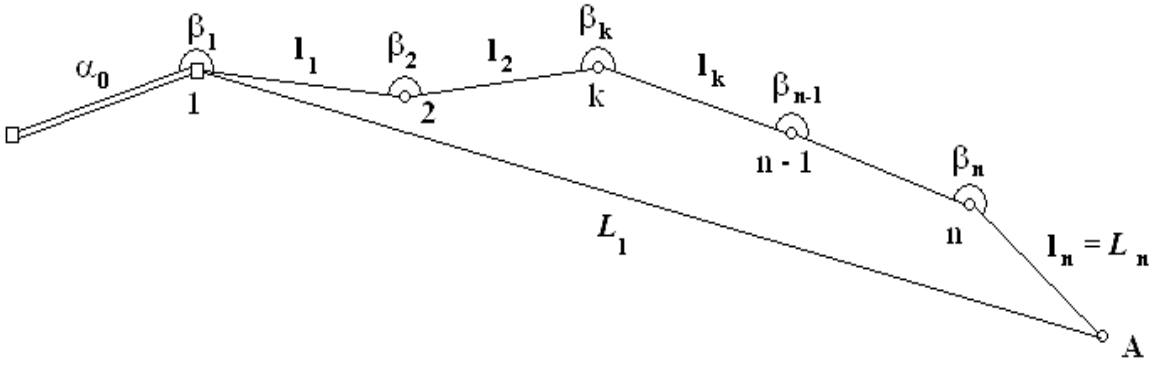


Рис. 4.40. Замыкающая изогнутого хода

Дальнейшие упрощения формулы (4.9) возможны при замене изогнутого хода на вытянутый равносторонний ход (рис. 4.41).

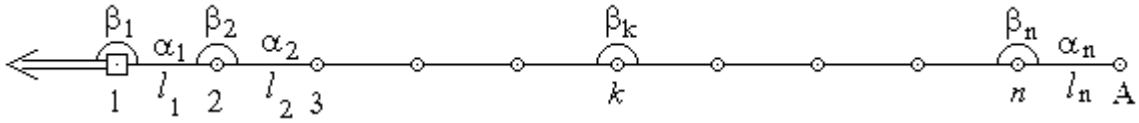


Рис. 4.41. Вытянутый равносторонний ход, проложенный от твердой стороны

Для этого случая очевидно:

$$\beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_n = 180^\circ; \quad l_1 = l_2 = \ldots = l_n = l; \quad L_s = s\,.$$

Перепишем формулу (9)

$$M_A = \sqrt{\frac{l^2}{T^2}\sum_{s=1}^{n} 1 + \frac{m_\beta^2 l^2}{\rho^2}\sum_{s=1}^{n} s^2} = \sqrt{\frac{n^2}{T^2} + \frac{m_\beta^2 l^2}{\rho^2}\,\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}. \qquad (4.10)$$

Заметим, что в подкоренном выражении первое слагаемое характеризует влияние ошибок линейных измерений на ошибку положения пункта, а второе слагаемое показывает вклад ошибок угловых измерений.

Формулу (4.10) можно еще упростить, если вынести из-под корня значение длины хода $L = n\,l$:

$$M_A = L\sqrt{\frac{1}{n^2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}\frac{2n+3+1/n}{6}} \cong L\sqrt{\frac{1}{n^2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}\frac{n+1{,}5}{3}}. \quad (4.11)$$

Из формул (4.9) – (4.11) можно заключить, что ошибка положения последней точки линейно-углового хода зависит от точности линейных и угловых измерений, длины и геометрии хода, количества сторон хода.

Предельная относительная линейная ошибка (невязка) хода определяется по формуле

$$f_{д\,\text{п}} = c_{2;P}\frac{M_A}{L} = c_{2;P}\sqrt{\frac{1}{n^2} + \frac{m_\beta^2}{T\rho^2}\frac{n+1{,}5}{3}}.$$

где $c_{2,P}$ – квантиль двумерного нормального распределения при доверительной вероятности P.

В геодезической нормативной литературе при назначении допусков для невязок принята доверительная вероятность P = 0,99. Вектор линейной невязки имеет двумерное нормальное распределение, поэтому $c_{2;\,0{,}99} = 3{,}03 \approx 3$ (табл. 9.2 в [4]), и допустимая невязка

$$f_{д\,\text{п}} = 3\sqrt{\frac{1}{n^2 T} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}\frac{n+1{,}5}{3}}. \quad (4.12)$$

При проектировании линейно-угловых сетей применяется **принцип равных относительных ошибок** [26], в соответствии с которым относительные ошибки линейных измерений приравниваются средним квадратическим ошибкам угловых измерений, выраженным в радианной мере

$$\frac{1}{T} = \frac{m_\beta}{\rho}. \quad (4.13)$$

Например, для ходов полигонометрии 4-го класса точность линейных измерений должна быть не ниже

$$\frac{1}{T} = \frac{2''}{2 \quad \text{Ø}\ 5''\mathbf{6}} \cong \frac{1}{1 \quad \text{Ø}\text{Ø}}.$$

Необходимая точность линейных измерений для линейно-угловых ходов, рассчитанная по формуле (4.13), приведена в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Показатели точности угловых и линейных измерений в полигонометрических и теодолитных ходах

	Класс, разряд	m_β	$f_{\beta_{доп}}$	1/T
Полигонометрия	4 класс	2"	$5''\sqrt{n}$	1:100 000
	1 разряд	5"	$10''\sqrt{n}$	1:40 000
	2 разряд	10"	$20''\sqrt{n}$	1:20 000
Теодолитные ходы		20"	$40''\sqrt{n}$	1:10 000
		30"	$60''\sqrt{n}$	1:7 000

С учетом формулы (4.13) закон накопления ошибок в вытянутом равностороннем ходе можно записать в двух формах:

$$M_A = \frac{L}{T}\sqrt{\frac{n+2}{3}}; \quad M_A = \frac{m_\beta L}{\rho}\sqrt{\frac{n+2}{3}}. \tag{4.14}$$

Формулы (4.14) можно применять для приближенного предварительного расчета точности и при проектировании линейно-угловых ходов.

Формулу (4.12) можно представить в виде

$$f_д \quad \overline{=} \frac{3}{T}\sqrt{\frac{n+2}{3}} = \frac{\sqrt{3(n+2)}}{T}. \tag{4.15}$$

Из формулы (4.15) следует, что предельная относительная невязка хода зависит от числа сторон в ходе n. В табл. 4.6 приведены значения $f_{доп}$ для различных нормативных значений n.

Анализ табл. 4.5 и сравнение ее с табл. 2 (п. 27 Инструкции [3]) и с табл. 3 (п. 28 Инструкции [3]) показывает:

значения предельных относительных невязок хода, приведенные в табл. 2 (п. 27 Инструкции [3]) справедливы при $n < 3$, а не при $n = 15$;

таблицы 2 и 3 Инструкции [3] не согласованны между собой по величине предельных относительных невязок.

Таблица 4.6

Значения предельных относительных невязок ходов при различном числе сторон хода

	Класс, разряд	m_β	1/T	$n = 3$	$n = 15$ п. 27	$n = 30$ п. 28
Полигонометрия	4 класс	2"	1:100 000	1:25 000	1: 14 000	1:10 000
	1 разряд	5"	1:40 000	1:10 000	1:5 600	1:4 000
	2 разряд	10"	1:20 000	1:5 000	1:2 800	1:2 000
Теодолитные ходы		20"	1:10 000	1:2 500	1:1 400	1:1 000
		30"	1:7 000	1:1 800	1:1 000	1:700

На практике при назначении предельной линейной невязки свободного хода можно руководствоваться табл. 4.6 в зависимости от фактического числа сторон в ходе.

Формулы (4.9) и (4.11) получены для свободных ходов. Ошибка положения любой k – ой точки хода определяется по этим же формулам, но с заменой $n = k$. Очевидно, что с увеличением номера точки будет возрастать ошибка положения точки. На практике часто ходы прокладываются между известными пунктами (пунктами более высокого разряда). Если полученные при этом линейные и угловые невязки не превысили допустимые значения, то выполняется уравнивание хода – приближенное (раздельное) или строгое. Для ходов полигонометрии 4-го класса требуется выполнять строгое уравнивание.

Если ход опирается с обеих сторон на пункты с известными координатами или дирекционными углами, то в результате избы-

точных измерений после уравнивания точность элементов хода (координат пунктов, дирекционных углов) повышается. Например, для хода, проложенного между сторонами с известными дирекционными углами (рис. 4.42), ошибка положения наиболее слабого пункта (также последнего в ходе) после разброса угловой невязки повысится в 2 раза.

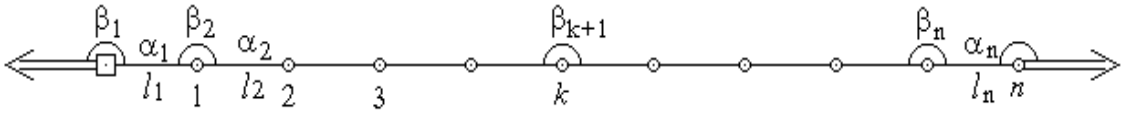


Рис. 4.42. Ход между сторонами с известными дирекционными углами

Возможны и другие варианты ходов (рис. 4.43).

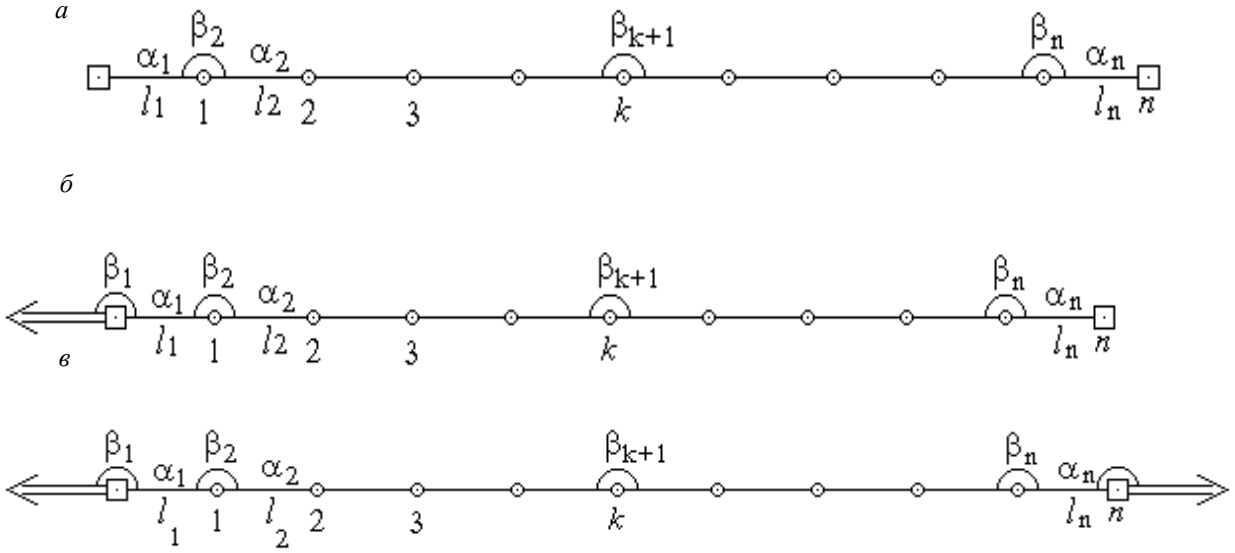


Рис. 4.43. Различные виды замыкания ходов:
а – ход между двумя пунктами; *б* – на твердый пункт; *в* – на твердую сторону

Ошибка положения *k*-го пункта определяется в основном ошибками угловых измерений. Наибольшую ошибку имеет пункт, расположенный в середине хода, а для случая замыкания на твердый пункт (рис. 4.36, *б*) – удаленный от начала хода на 0,58 *L*. Максимальные значения ошибки положения пунктов, обусловленные ошибками угловых измерений, рассчитываются для различных видов ходов по формулам [27]:

ход между двумя пунктами

$$M_{k=n/2} = \frac{m_\beta L}{\rho}\sqrt{\frac{n^2+2}{4\ n8}}; \qquad (4.16)$$

замыкание на твердый пункт

$$M_{k=0,5\ n} = \frac{m_\beta l}{8\rho}\sqrt{\frac{k(k+1)}{6}\left(2k+1-\frac{k(k+1)\ 3n-(k+1)^2}{n(n+1)\ 2n-(1)}\right)}; \qquad (4.17)$$

замыкание на твердую сторону

$$M_{k=n/2} = \frac{m_\beta L}{\rho}\sqrt{\frac{(n+2)\ n^2(+2n+4)}{1\quad n(9n+1)\ 2}}. \qquad (4.18)$$

Точность ходов повышается с каждым дополнительным условием – угловым, координатным и т. д. Для ходов, опирающихся на два пункта, она в 4 раза выше, а строгое уравнивание хода, опирающегося на две стороны, позволяет повысить точность ошибки положения наиболее слабого пункта в 8 раз по отношению к свободному ходу.

Таким образом, точность линейно-углового хода зависит от его геометрии, наличия избыточных исходных данных, точности угловых и линейных измерений.

Приведенные выше формулы для прямолинейных равносторонних ходов могут использоваться при анализе точности криволинейных ходов при соблюдении некоторых условий (критерии прямолинейности и равносторонности хода):

ход можно оценивать как прямолинейный, если направления его сторон отличаются от направления замыкающей не более чем на 30º;

ход можно считать равносторонним, если его стороны отличаются не более чем на 20 %.

4.3.3. Накопление ошибок в высотных ходах

Высотные отметки пунктов маркшейдерских опорных и съемочных сетей определяются, как правило, по результатам геометрического нивелирования. Маркшейдерская служба пред-

приятия может создавать сети III и IV классов, а также прокладывать ходы технического нивелирования. Требования к высотным сетям приведены в табл. 4.

Таблица 4.7

Характеристика точности ходов геометрического нивелирования [28], [3, п. 83]

Показатели	III класс	IV класс	Техническое нивелирование
СКО 1 км хода одинарного	5 мм	10 мм	20 мм
Допустимая невязка, $f_{\text{доп}}$	$10\text{ мм}\sqrt{L_{\text{км}}}$	$20\text{ мм}\sqrt{L_{\text{км}}}$	$50\text{ мм}\sqrt{L_{\text{км}}}$
Оптимальная длина визирного луча, м	75	100	125
Допустимая длина визирного луча, м	100	150	150
СКО на 1 км двойного хода, мм	3	6	15

Нивелирование III класса выполняют в прямом и обратном направлении [3, п. 29], ходы IV класса и технического нивелирования проходят между опорными реперами в одном направлении, допускается прокладывать висячие ходы технического нивелирования в прямом и обратном направлении.

Рассмотрим свободный (висячий) нивелирный ход от опорного (исходного) репера *A* (рис. 4.44).

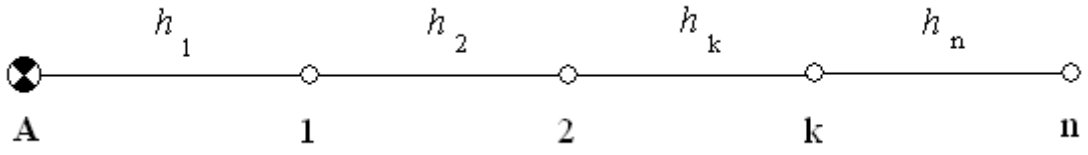


Рис. 4.44. Висячий нивелирный ход

Высотная отметка последней точки хода определяется через сумму превышений, определенных на каждой станции:

$$H_n = H_A + \sum_{i=1}^{n} h_i \,. \qquad (4.19)$$

По правилам теории ошибок средняя квадратическая ошибка высотной отметки последней точки вычисляется по формуле:

$$m_{H_n} = \sqrt{m_{H_A}^2 + \sum_{i=1}^{n} m_{h_i}^2} \,. \qquad (4.20)$$

Погрешностью исходных данных можно пренебречь, а средние квадратические ошибки превышений будем считать равными, т. е. $h_1 = h_2 = \ldots = h_n = h$. Тогда

$$m_H = m_h \sqrt{n} \,, \qquad (4.21)$$

где n – число стоянок хода.

Формула (4.21) используется при анализе точности нивелирных ходов в условиях гористой местности, когда точность зависит от числа стоянок в ходе. Преобразуем формулу (4.21):

$$m_H = m_h \sqrt{n} = m_h \sqrt{\frac{L_к}{2l}} = \frac{m_h}{\sqrt{2l}} \sqrt{L_к} = \mu_м \sqrt{L_к} \,, \qquad (4.22)$$

где l – расстояние от нивелира до рейки, км.

Формула (4.22) описывает закон накопления ошибок в нивелирном ходе для условий равнинной местности, когда точность зависит от длины хода. Предельные значения коэффициента μ для различного класса точности имеются в табл. 4.7. Так, для III-го класса нивелирования $\mu_{пред}$ = 10 мм, для технического нивелирования $\mu_{пред}$ = 50 мм. Переходя от предельных значений коэффициента μ (переходные коэффициенты: $k_з$ = 2 для III и IV классов; $k_з$ = 2,5 для технического нивелирования) при нормальных расстояниях от нивелира до рейки (см. табл. 4.7) можно рассчи-

тать для каждого класса нивелирования средние квадратические ошибки определения превышений на станции:

$$m_h = \frac{\mu_{\text{п р}} \sqrt{2l_{\text{дк м}}}}{k_з}. \qquad (4.23)$$

Для условий гористой местности длина визирного луча может быть уменьшена до 30 м. Рассчитанные по формуле (4.23) значения погрешностей превышений для различных условий приведены в табл. 4.8. Они могут быть использованы при проектировании и анализе точности ходов геометрического нивелирования.

Таблица 4.8

Дополнительные характеристики точности геометрического нивелирования

Показатели	III класс	IV класс	Техническое нивелирование
СКО превышения в равнинной местности, мм	2	5	10
СКО превышения в гористой местности, мм	1,2	2,5	5
Допустимая невязка в гористой местности, $f_{\text{доп}}$	2,5 мм$\sqrt{n}$	5 мм$\sqrt{n}$	10 мм$\sqrt{n}$

Важной характеристикой точности работ по геометрическому нивелированию является средняя квадратическая ошибка двойного нивелирования 1 км хода $m_{1\text{км мд.х}}$, или средняя квадратическая ошибка среднего из прямого и обратного ходов длиной 1 км. Именно эта характеристика является паспортной точностью нивелиров и служит для выбора нивелира при проектировании работ.

Для расчета СКО на 1 км двойного хода применяется формула

$$m_{1\text{к мд.}\bar{x}} \frac{\mu_{\text{п р}}}{k_з\sqrt{2}}. \qquad (4.24)$$

Для высотных маркшейдерских опорных и съемочных сетей получим:

III класс – $m_{1к\,мд\,.х}$= 3,5 мм (μ = 10 мм, $k_з$ = 2);

IV класс – $m_{1к\,мд\,.х}$= 7 мм (μ = 20 мм, $k_з$ = 2);

техническое нивелирование – $m_{1к\,мд\,.х}$= 14 мм (μ = 50 мм, $k_з$ = 2,5).

Эти значения хорошо согласуются с нормативными характеристиками (см. табл. 4.7). В табл. 4.9 приведены современные нивелиры, точность которых отвечает требованиям, предъявляемым к маркшейдерским высотным сетям.

Формула (4.21) получена для свободных ходов. Ошибка положения любой *k* – ой точки хода определяется по этой же формуле, но с заменой *n* = *k*. С увеличением номера точки возрастает ошибка положения точки.

Таблица 4.9

Современные нивелиры, точность которых отвечает требованиям, предъявляемым к маркшейдерским высотным сетям

Класс нивелирования	$m_{1к\,мд\,.х}$, мм		Нивелиры с компенсатором
	требуемая	приборная	
III	3,5	2,5 – 3	C410 (Sokkia) FG-040 (FPM) 4Н-3КЛ (Россия)
IV	7	5	3Н-5КЛ (Россия)
Техническое	14	10	3Н-10КЛ

На практике часто ходы прокладываются между реперами более высокого разряда. Если полученная при этом невязка не превысила допустимые значения, то выполняется уравнивание хода – невязка распределяется с обратным знаком поровну на все превышения. Погрешностями исходных реперов пренебрегают.

Рассмотрим нивелирный ход, проложенный между двумя реперами А и В (рис. 4.45).

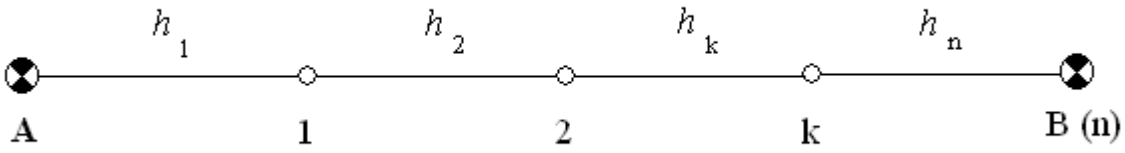


Рис. 4.45. Нивелирный ход между реперами *A* и *B*

Поправка в превышение вычисляется по формуле

$$v = -\frac{f_h}{n},$$

где невязка $f_h = \sum_{i=1}^{n} h_i - (H_B - H_A)$.

После введения поправок в превышения, высотная отметка k-ой точки хода равна

$$H_k = H_A + \sum_{i=1}^{k} h_i + k\ \ = H_A + \sum_{i=1}^{k} h_i - \frac{k}{n} h.$$

С учетом принятых допущений ($m_{H_A} = m_{H_B} = 0; \quad m_{h_i} = m_h$) найдем среднюю квадратическую ошибку высотной отметки k-ой точки хода

$$m_{H_k} = m_h \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial H_k}{\partial h_i} \right)^2}.$$

Заметим, что первые k производных равны $\frac{\partial H_k}{\partial h_i} = 1 - \frac{k}{n}$, а следующие $(n - k)$ производных равны $\frac{\partial H_k}{\partial h_i} = \frac{k}{n}$. Поэтому получим

$$m_{H_k} = m_h \sqrt{\left(1 - \frac{k}{n}\right)^2 k + \left(\frac{k}{n}\right)^2 (n-k)} = m_h \sqrt{\frac{k(n-k)}{n}}. \qquad (4.25)$$

Функция (4.25) достигает максимум при $k = 0{,}5\ n$, т. е. наибольшую ошибку имеет пункт, находящийся в середине хода. Причем, эта ошибка в 2 раза меньше ошибки последнего пункта свободного хода (при той же длине хода). На рис. 4.46 представлено распределение ошибок положения пунктов в высотных ходах – свободном и несвободном.

Расчеты выполнены по формулам (4.21) и (4.25) для $n = 10$, средние квадратические ошибки пунктов выражены в средних квадратических ошибках превышений m_h, т. е по оси ординат даны значения подкоренных выражений в расчетных формулах.

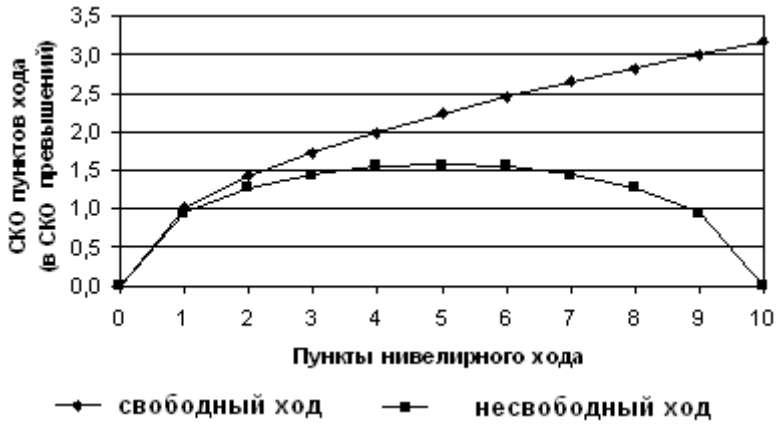


Рис. 4.46. Распределение ошибок положения пунктов в высотных ходах

Появление светодальномеров, а в последние годы электронных тахеометров способствовало широкому внедрению в практику построения планово-высотных сетей метода тригонометрического нивелирования.

Превышение между двумя пунктами при тригонометрическом нивелировании

$$h = l \sin\delta + i - v, \qquad (4.26)$$

где l – измеренная наклонная длина линии; δ – вертикальный угол (или зенитное расстояние); i и v – высоты инструмента и визирной цели.

Дифференцируем формулу (4.26) и найдем дисперсию превышения по правилам теории ошибок

$$m_h^2 = m_l^2 \sin^2\delta + l^2 \cos^2\delta \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_\delta^2.$$

Для хода, состоящего из n вершин, погрешность высотной отметки последнего пункта определится из формулы

$$m_H^2 = \sum_{i=1}^{n} m_l^2 \sin^2\delta_i + \frac{m_\delta^2}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} l^2 \cos^2\delta_i + n\, m_i^2 + m_v^2 .$$

Примем закон ошибок линейных измерений в форме $m_l = \dfrac{l}{T}$ и пусть $m_i = m_v$. Тогда

$$m_H^2 = \sum_{i=1}^{n} l^2 \left(\frac{\sin^2\delta_i}{T^2} + \frac{m_\delta^2}{\rho^2}\cos^2\delta_i \right) + 2m_i^2 . \qquad (4.27)$$

Приравняем в соответствии с принципом равных ошибок $\dfrac{1}{T} = \dfrac{m_\delta}{\rho}$ и пренебрежем вторым слагаемым. Для двойного равностороннего хода получим

$$m_H^2 = \frac{1}{2T^2}\sum_{i=1}^{n} l_i^2 = \frac{n}{2T^2} l\, m_l^2 = \frac{l}{2T^2},$$

или

$$m_H = \frac{1}{T}\, 0{,}6\ \text{мм} \sqrt{l_{\text{км}}/2\ \text{км}}\ \sqrt{L_{\text{к}}} . \qquad (4.28)$$

Опыт тригонометрического нивелирования с помощью электронных тахеометров показывает, что оптимальными можно считать длины сторон тригонометрического хода 300-400 м. При больших сторонах начинает сказываться ошибка наведения, и точность измерения вертикального угла снижается. Меньшие стороны приводят к росту числа стоянок.

Сравнивая формулы (4.22) и (4.28), найдем при l = 0,4 км и T = 100 000 (4-й класс полигонометрии) предельное значение для μ ($k_з$ = 2):

$$\mu_{\text{пред}} = \frac{2\cdot 1\ 0{,}6\ \text{мм} \sqrt{l_{\text{к}}/2\ \text{км}}}{T} = 9\ \text{мм},$$

что соответствует точности геометрического нивелирования III класса. Аналогично получится, что если приборы и методика обеспечивают точность полигонометрии 1-го разряда, то тригонометрическое нивелирование обеспечит точность геометрического нивелирования IV класса. Второму разряду полигонометрии будет соответствовать тригонометрическое нивелирование технической точности.

В табл. 7 приведены сведения о современных электронных тахеометрах, применяемых при создании маркшейдерских опорных сетей.

Таблица 4.10

Необходимая точность угловых и линейных измерений при тригонометрическом нивелировании

Класс полигонометрии	Класс тригонометрического нивелирования	Точность угловых измерений	Минимальная точность линейных измерений	Электронный тахеометр
4 класс	III	2"	3 мм + 3 мм/км	NTS-322
1 разряд	IV	5"	5 мм + 3 мм/км	3TA5
2 разряд	Техническое	10"	10 мм + 5 мм/км	TC 400

При выборе электронного тахеометра для производства тригонометрического нивелирования необходимо иметь в виду следующее:

для тригонометрического нивелирования и полигонометрических ходов целесообразно использовать прибор одного класса точности;

точность угловых и линейных измерений тахеометром должна соответствовать точности угловых и линейных измерений в полигонометрии.

Таким образом, получены соответствия между классами (разрядами) полигонометрии и классами нивелирования, между точностью тригонометрического и геометрического нивелирования. Последнее позволяет классифицировать тригонометрическое нивелирование по точности одинаково с геометрическим нивелированием – с теми же названиями и допусками.

4.3.4. Оценка точности геодезических засечек

Для определения координат пунктов маркшейдерских съемочных сетей широкое применение нашли геодезические засечки – прямые и обратные угловые, линейные и линейно-угловые.

На точность определения положения определяемого пункта *P* влияет вид засечки, количество исходных пунктов и геометрия треугольников, образующихся между определяемым и исходными пунктами.

Средняя квадратическая ошибка положения пункта *P* определяется по формуле

$$m_P = \mu\sqrt{\eta_1 + \eta_2}, \tag{4.29}$$

где η_1 и η_2 – диагональные элементы обратной весовой матрицы координат определяемого пункта $\mathbf{N^{-1}} = \left(\mathbf{A^T P\ \ }\right)\bar{\mathbf{A}}^{\mathbf{1}}$.

Матрица **N** выглядит следующим образом

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} n_1 & n_{1\ 2} \\ n_{1\ 2} & n_2 \end{pmatrix}, \tag{4.30}$$

поэтому

$$\eta_1 = \frac{n_2}{|\mathrm{N}|}, \quad \eta_2 = \frac{n_1}{|\mathrm{N}|},$$

где $|\mathrm{N}| = n_1 n_2 - n_1^2$ – определитель матрицы **N**.

Таким образом, подставляя в формулу (4.29) элементы матрицы **N**, получаем формулу определения средней квадратической ошибки положения пункта *P* в общем виде

$$m_P = \mu\sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2 - n_{1\ 2}^2}}, \tag{4.31}$$

где μ – ошибка единицы веса.

При оценке точности пунктов маркшейдерских съемочных сетей за ошибку единицы веса в формуле (4.31) принимается средняя квадратическая ошибка измерения горизонтальных углов $m_\beta = 20''$. В линейной засечке $\mu = m_l$ и значения m_P принимаются в метрах, поэтому необходимо произвести переход от угловых величин к линейным, воспользовавшись отношением (4.13)

$$\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{m_l}{l}, \qquad (4.32)$$

где m_l – средняя квадратическая ошибка линейных измерений, мм.

Подкоренное выражение формулы (4.31) зависит от вида и геометрии засечек.

Для вывода формул ошибки положения пункта P по каждой засечке приведем исходные данные к общему виду. При 3-х исходных пунктах засечки можно представить в виде двух треугольников (рис. 4.40).

Так как ошибка положения пункта не зависит от направления осей прямоугольной системы координат, направим ось x по линии 2-Р так, как это показано на рис. 4.47. Используем теорию параметрического уравнивания. Обозначим координаты пункта P через параметры:

$$X_P = T_1; \quad Y_P = T_2.$$

Рассмотрим сначала однократные засечки.

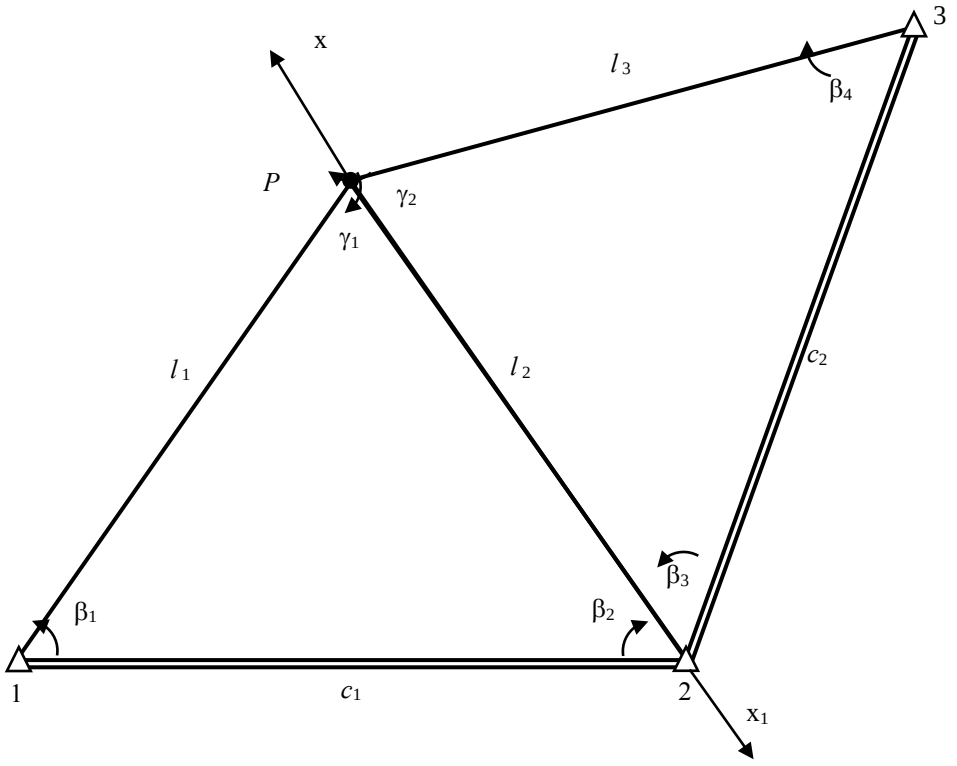


Рис. 4.47. Общая схема засечек

Прямая угловая засечка

При прямой угловой засечке измеряются углы β_1 и β_2. Выразим эти углы через координаты исходных пунктов и параметры:

$$\beta_1 = \operatorname{arctg}\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \operatorname{arctg}\frac{T_2 - y_1}{T_1 - x_1};$$
$$\beta_2 = \operatorname{arctg}\frac{T_2 - y_2}{T_1 - x_2} - \operatorname{arctg}\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}. \qquad (4.33)$$

Дифференцируя выражения (4.33) по параметрам, найдем элементы матрицы **A**:

$$a_1 = \frac{\partial\beta_1}{\partial T_1} = \rho\frac{\sin\alpha_{1P}}{l_1}; \quad a_1 = \frac{\partial\beta_1}{\partial T_2} = -\rho\frac{\cos\alpha_{1P}}{l_1};$$

$$a_2 = \frac{\partial\beta_2}{\partial T_1} = -\rho\frac{\sin\alpha_{2P}}{l_2}; \quad a_2 = \frac{\partial\beta_2}{\partial T_2} = \rho\frac{\cos\alpha_{2P}}{l_2}.$$

Введем обозначения: $\frac{\rho}{l_i} = r_i$ – ***градиенты направлений*** [30].

Учтем, что: $\alpha_{1P} = \gamma_1; \quad \alpha_{2P} = 0; \quad \alpha_{3P} = -\gamma_2$. Тогда для матрицы **A** получим:

$$a_1 = r_1\sin\gamma_1; \quad a_1 = -r_1\cos\gamma_1;$$
$$a_2 = 0; \qquad a_2 = r_2.$$

Так как углы измерены равноточно, матрица весов **P** – единичная, и элементы матрицы **N** вычислены по формулам:

$$n_1 = a_1^2 + a_2^2 = r_1^2\sin^2\gamma_1;$$

$$n_2 = a_1^2 + a_2^2 = r_1^2\cos^2\gamma_1 + r_2^2;$$

$$n_1 = a_{21}\, a_{11} + a_{22}\, a_{21} = -r_1^2 \sin\gamma_1 \cos\gamma_1 .$$

По формуле (4.31) получим ошибку положения пункта

$$m_P = \frac{m_\beta \sqrt{r_1^2 + r_2^2}}{r_1 r_2 \sin\gamma_1} = \frac{m_\beta \sqrt{l_1^2 + l_2^2}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2)}. \qquad (4.34)$$

Линейная засечка

При линейной засечке измеряются стороны l_1 и l_2. Выразим их через координаты исходных пунктов и параметры:

$$l_1 = \sqrt{(T_1 - x_1)^2 + (T_2 - y_1)^2}\ ;$$
$$l_2 = \sqrt{(T_1 - x_2)^2 + (T_2 - y_2)^2}\ . \qquad (4.35)$$

Дифференцируя выражения (4.35) по параметрам, найдем элементы матрицы **A**:

$$a_{11} = \frac{\partial l_1}{\partial T_1} = \cos\alpha_{1P} = \cos\gamma_1; \quad a_{12} = \frac{\partial l_1}{\partial T_2} = \sin\alpha_{1P} = \sin\gamma_1;$$

$$a_{21} = \frac{\partial l_2}{\partial T_1} = \cos\alpha_{2P} = 1; \quad a_{22} = \frac{\partial l_2}{\partial T_2} = \sin\alpha_{2P} = 0.$$

Матрица весов **P** – не единичная, т. к. линейные измерения – неравноточные. Примем за ошибку единицы веса $\mu = m_{l_1}$. Матрица весов измеренных длин

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_1 & 0 \\ 0 & p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \dfrac{m_{l_1}^2}{m_{l_2}^2} \end{pmatrix}.$$

Элементы матрицы **N** вычисляем по формулам:

$$n_1 = p_1 a_1^2 + p_2 a_2^2 = \text{[illegible]}^2 \gamma_1 + p_2 \text{s}$$

$$n_2 = p_1 a_1^2 + p_2 a_2^2 = \text{s}^2 \text{i} \gamma_1 \text{r}$$

$$n_1 = p_1 a_1 a_1 + p_2 a_2 a_2 = \text{s}_2 \gamma_1 \text{i} \text{c} \gamma_1 .$$

По формуле (4.31) получим ошибку положения пункта

$$m_P = \frac{\sqrt{m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2}}{\text{s} \gamma_1 \text{n}} = \frac{\sqrt{m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2}}{\text{s} \beta_1 \text{n} \beta_2)}. \qquad (4.36)$$

Если ошибки линейных измерений имеют вид

$$m_{l_1} = \frac{l_1}{T}; \quad m_{l_2} = \frac{l_2}{T}, \qquad (4.37)$$

то ошибка положения пункта P

$$m_P = \frac{\sqrt{l_1^2 + l_2^2}}{T \text{s i} \beta_1 + (\beta_2)}. \qquad (4.38)$$

Прямая линейно-угловая засечка.

Прямая линейно-угловая засечка заключается в измерении углов β_1, β_2 и сторон l_1, l_2 . Используя решения угловой и линейной засечек, запишем матрицы **A** и **P**:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} r_1 \sin\gamma & -r_1 \cos\gamma \\ 0 & r_2 \\ \cos\gamma & \sin\gamma \\ 1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & p_{l_1} & \\ & & & p_{l_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & \frac{m_\beta^2}{m_{l_1}^2} & \\ & & & \frac{m_\beta^2}{m_{l_2}^2} \end{pmatrix}.$$

После преобразований получим

$$m_P = m_\beta \sqrt{\frac{r_1^2 + r_2^2 + p_{l_1} + p_{l_2}}{(r_1^2 + r_2^2)\ p_{l_1}\ (+\ p_{l_2}) + \sin^2\gamma\ (r_1^2 - p_{l_1})\ r_2^2 - (p_{l_2})}}.$$

Обратная угловая засечка.

При обратной угловой засечке измеряются углы γ_1 и γ_2. Для обратных засечек при выводе формул удобно центр системы координат поместить в пункт *P*, а ось x направить вдоль стороны *P*2 (см. ось x_1 на рис. 4.46). Выразим углы γ_1 и γ_2 через координаты исходных пунктов и параметры:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \arctg \frac{y_1 - T_2}{x_1 - T_1} - \arctg \frac{y_2 - T_2}{x_2 - T_1}; \\ \gamma_2 &= \arctg \frac{y_2 - T_2}{x_2 - T_1} - \arctg \frac{y_3 - T_2}{x_3 - T_1}. \end{aligned} \qquad (4.39)$$

Дифференцируя выражения (4.39) по параметрам, найдем элементы матрицы **A**:

$$a_1 = \frac{\partial \gamma_1}{\partial T_1} = r_1 \sin \gamma_1; \quad a_1 = \frac{\partial \gamma_1}{\partial T_2} = r_2 - r_1 \cos \gamma_1;$$

$$a_2 = \frac{\partial \gamma_2}{\partial T_1} = r_3 \sin \gamma_2; \quad a_2 = r_3 \cos \gamma_2 - r_2.$$

Матрица весов **P** – единичная, ошибка единицы веса $\mu = m_\beta$. Далее получим:

$$\begin{aligned} n_1 + n_2 &= a_1^2 + a_2^2 + a_1^2 + a_2^2 = \\ &= (r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \gamma_1) + (r_2^2 + r_3^2 - 2r_2 r_3 \cos \gamma_2) \end{aligned}, \quad (4.40)$$

или

$$n_1 + n_2 = \frac{\rho^2}{l_2^2}\left(\frac{c_1^2}{l_1^2} + \frac{c_2^2}{l_3^2}\right);$$

$$\begin{aligned} N &= n_1 n_2 - n_1^2 = (a_1 a_2 - a_1 a_2)^2 = \\ &= \left[r_1 r_2 \sin \gamma_1 + r_2 r_3 \sin \gamma_2 - r_1 r_3 \sin (\gamma_1 + \gamma_2)\right]^2, \end{aligned} \quad (4.41)$$

или

$$N = n_1 n_2 - n_1^2 = \rho^4 \left[\frac{\sin \gamma_1}{l_1 l_2} + \frac{\sin \gamma_2}{l_2 l_3} - \frac{\sin (\gamma_1 + \gamma_2)}{l_1 l_3}\right]^2.$$

Ошибка положения определяемого пункта при однократной обратной угловой засечке (в случае измерения углов γ_1 и γ_2)

$$m_P = \frac{m_\beta}{\rho} \frac{l_2}{\sin (\beta_1 + \beta_4)} \sqrt{\frac{l_1^2}{c_1^2} + \frac{l_3^2}{c_2^2}}. \quad (4.42)$$

Обычно при точке P измеряются не углы γ_1 и γ_2 , а направления N_{P1}, N_{P2} и N_{P3} и $\mu = m_N = m_\beta / \sqrt{2}$ [29]. Уравнения связи для измеренных направлений будут иметь вид:

$$N_P = \operatorname{arctg}\frac{y_i - T_2}{x_i - T_1} - T_p, \qquad (4.43)$$

где T_p – третий параметр (ориентирный угол) [26].

Дифференцируя выражения (4.43) по параметрам, найдем элементы матрицы **A**:

$$a_1 = \frac{\partial N_{P1}}{\partial T_1} = r_1 \sin\gamma_1; \quad a_1 = \frac{\partial N_{P1}}{\partial T_2} = -r_1 \cos\gamma_1;$$

$$a_2 = \frac{\partial N_{P2}}{\partial T_1} = 0; \quad a_2 = \frac{\partial N_{P2}}{\partial T_2} = -r_2.$$

$$a_3 = \frac{\partial N_{P3}}{\partial T_1} = -r_3 \sin\gamma_2; \quad a_3 = \frac{\partial N_{P1}}{\partial T_2} = -r_3 \cos\gamma_2;$$

$$a_4 = a_{11} + a_{21} + a_{31} = r_{11}\sin\gamma_1 + r_3 \sin\gamma_2;$$
$$a_4 = a_{12} + a_{21} + a_{31} = -r_{11}\cos\gamma_1 - r_2 - r_3 \cos\gamma_2.$$

Последняя строка матрицы **A** (элементы a_{41} и a_{42}) вводится в связи с переходом к эквивалентной системе уравнений поправок для исключения третьего параметра T_p [26]. Матрица весов теперь не будет единичной, т. к. $p_4 = p_\Sigma = -1/3$:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & -\frac{1}{3} \end{pmatrix}.$$

Далее получим:

$$n_1 + n_2 = \frac{1}{3}[\,(r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos\gamma_1) + (r_2^2 + r_3^2 - 2r_2 r_3 \cos\gamma_2) + \\ + (r_1^2 + r_3^2 - 2r_1 r_3 \cos(\gamma_1 + \gamma_2))\,], \qquad (4.44)$$

или

$$n_1 + n_2 = \frac{\rho^2}{3}\left(\frac{c_1^2}{l_2^2 l_1^2} + \frac{c_2^2}{l_2^2 l_3^2} + \frac{c_1^2 + c_2^2 - 2c_1 c_2 \cos(\beta_2 + \beta_3)}{l_1^2 l_3^2}\right);$$

$$N = n_1 n_2 - n_1^2 = \frac{1}{3}\left[r_1 r_2 \sin\gamma_1 + r_2 r_3 \sin\gamma_2 - r_1 r_3 \sin(\gamma_1 + \gamma_2)\right]^2, \quad (4.45)$$

или

$$N = n_1 n_2 - n_1^2 = \frac{\rho^4}{3}\left[\frac{\sin\gamma_1}{l_1 l_2} + \frac{\sin\gamma_2}{l_2 l_3} - \frac{\sin(\gamma_1 + \gamma_2)}{l_1 l_3}\right]^2.$$

Ошибка положения определяемого пункта при однократной обратной угловой засечке (в случае измерения направлений N_{P1}, N_{P2} и N_{P3})

$$m_P = \frac{m_\beta}{\sqrt{2}\rho}\frac{l_2\sqrt{c_1^2 l_3^2 + c_2^2 l_1^2 + (c_1^2 + c_2^2 - 2c_1 c_2 \cos(\beta_2 + \beta_3))\, l_2^2}}{c_1 c_2 \sin(\beta_1 + \beta_4)}. \quad (4.46)$$

Формулы оценки точности обратной угловой засечки содержат некий графический смысл. Если отложить на направлениях *P*-1, *P*-2, *P*-3 (см. рис. 4.48) градиенты r_1, r_2, r_3, получим так называемый *обращенный треугольник ABC* [30] со сторонами c_{12}, c_{13}, c_{23}.

Используя тригонометрические соотношения, в формулах (4.40), (4.41), (4.44), (4.45) можно записать:

$$(r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos\gamma_1) + (r_2^2 + r_3^2 - 2r_2 r_3 \cos\gamma_2) + (r_1^2 + r_3^2 - 2r_1 r_3 \cos(\gamma_1 + \gamma_2)) =$$
$$= c_1^2 + c_2^2 + c_1^2;$$
$$r_1 r_2 \sin\gamma_1 + r_2 r_3 \sin\gamma_2 - r_1 r_3 \sin(\gamma_1 + \gamma_2) =$$
$$= 2S_{ABC} + 2S_{PBC} - 2S_{PAC} - 2S_{PAB},$$

где S – площадь обращенного треугольника.

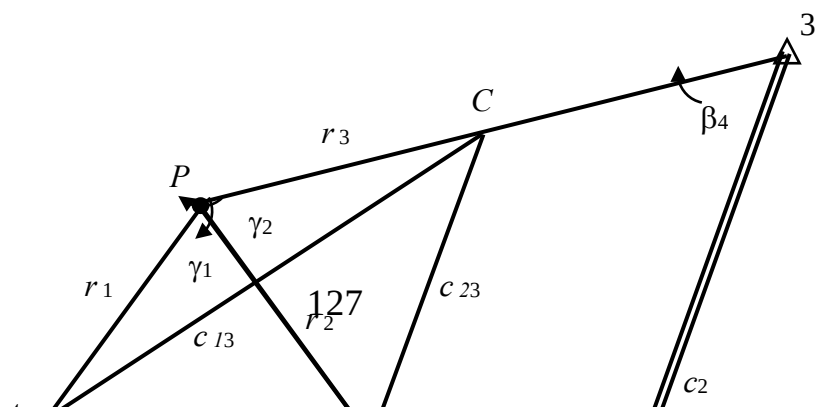


Рис. 4.48. Построение обращенного треугольника

Формулы для определения ошибки положения определяемого пункта через элементы обращенного треугольника имеют вид:

для засечек с измеренными углами

$$m_P = m_\beta \frac{\sqrt{c_1^2 + c_2^2}}{2S}; \qquad (4.47)$$

для засечек с измеренными направлениями

$$m_P = m_\beta \frac{\sqrt{c_1^2 + c_2^2 + c_1^2}}{2\sqrt{2}S}. \qquad (4.48)$$

Несмотря на простой вид формул (4.47) и (4.48) для расчетов они не удобны, и лучше пользоваться формулами (4.42) и (4.46).

Обратная линейно-угловая засечка

При обратной линейно-угловой засечке измеряются угол γ_1 и стороны l_1 и l_2 . Выразим их через координаты исходных пунктов и параметры:

$$\gamma_1 = \arctg\frac{y_1 - T_2}{x_1 - T_1} - \arctg\frac{y_2 - T_2}{x_2 - T_1};$$

$$l_1 = \sqrt{(x_1 - T_1)^2 + (y_1 - T_2)^2}; \qquad (4.49)$$

$$l_2 = \sqrt{(x_2 - T_1)^2 + (y_2 - T_2)^2}.$$

Дифференцируя выражения (4.49) по параметрам, найдем элементы матрицы **A**:

$$a_1 = \frac{\partial\gamma_1}{\partial T_1} = r_1 \sin\gamma_1; \quad a_1 = \frac{\partial\gamma_1}{\partial T_2} = r_2 - r_1\cos\gamma_1;$$

$$a_2 = \frac{\partial l_1}{\partial T_1} = -\cos\alpha_{P1} = -\cos\gamma_1; \quad a_2 = \frac{\partial l_1}{\partial T_2} = -\sin\alpha_{P1} = -\sin\gamma_1;$$

$$a_3 = \frac{\partial l_2}{\partial T_1} = -\cos\alpha_{P2} = -1; \quad a_3 = \frac{\partial l_2}{\partial T_2} = -\sin\alpha_{P2} = 0.$$

Матрица весов **P** – не единичная. Примем за ошибку единицы веса $\mu = m_\beta$. Тогда

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1 & & \\ & \frac{m_\beta^2}{m_{l_1}^2} & \\ & & \frac{m_\beta^2}{m_{l_2}^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & & \\ & p_{l_1} & \\ & & p_{l_2} \end{pmatrix}.$$

Далее получим:

$$n_1 + n_2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\gamma_1 + p_{l_1} + p_{l_2} = \frac{\rho^2 c_1^2}{l_1^2 l_2^2} + p_{l_1} + p_{l_2},$$

$$N = n_1n_2 - n_1^2 = p_{l_1}(r_1 - r_2\cos\gamma_1)^2 + p_{l_2}(r_2 - r_1\cos\gamma_1)^2 + p_{l_1}p_{l_2}\sin^2\gamma_1 =$$

$$= \frac{\rho^2}{l_1^2 l_2^2}[p_{l_1}(l_2 - l_1\cos\gamma_1)^2 + p_{l_2}(l_1 - l_2\cos\gamma_1)^2] + p_{l_1}p_{l_2}\sin^2\gamma_1.$$

Ошибка положения определяемого пункта

$$m_P = m_\beta \sqrt{\frac{\rho^2 c_1^2 + (p_{l_1} + p_{l_2}) l_1^2 l_2^2}{\rho^2 [p_{l_1} (l_2 - l_1 \cos\gamma_1)^2 + p_{l_2} (l_1 - l_2 \cos\gamma_1)^2] + p_{l_1} p_{l_2} l_1^2 l_2^2 \sin^2\gamma_1}}. \quad (4.50)$$

При линейно-угловой засечке минимальное количество исходных пунктов (два) обеспечивает получение координат определяемого пункта с контролем. Для надежного определения координат пункта *P* с помощью прямой угловой засечки и линейной засечки двух исходных пунктов мало, а для обратной угловой засечки мало и трех исходных пунктов – не обеспечиваются избыточные измерения.

Для контроля правильности определения координат, найденных из засечек, необходимо использовать избыточные пункты и произвести избыточные измерения. В таком случае засечки называют ***многократными***.

Двукратная прямая угловая засечка может быть выполнена в двух вариантах – с трех исходных пунктов (рис. 4.40) и с четырех исходных пунктов (независимые засечки). В случае независимых прямых засечек линейная невязка в координатах определяемого пункта

$$f_l = \sqrt{(x_{P_1} - x_{P_2})^2 + (y_{P_1} - y_{P_2})^2}$$

не должна превышать предельного значения

$$f_\partial = 3\sqrt{M_{P_1}^2 + M_{P_2}^2} = \frac{3m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{l_1^2 + l_2^2}{\sin^2\gamma_1} + \frac{l_3^2 + l_4^2}{\sin^2\gamma_2}}, \quad (4.51)$$

где $x_{P_1}, y_{P_1}, x_{P_2}, y_{P_2}$ – координаты вставляемого пункта, полученные в результате двух засечек; M_{P_1}, M_{P_2} – ошибки положения пункта *P*, вычисленные для каждой засечки.

Если невязка не превышает допустимого значения, то за окончательный результат можно принять средние взвешенные значения

$$x_P = \frac{x_1 M_{P_2}^2 + x_2 M_{P_1}^2}{M_{P_1}^2 + M_{P_2}^2}; \quad y_P = \frac{y_1 M_{P_2}^2 + y_2 M_{P_1}^2}{M_{P_1}^2 + M_{P_2}^2}.$$

Точность полученных координат можно оценить как

$$M_P = \frac{M_{P_1} M_{P_2}}{\sqrt{M_{P_1}^2 + M_{P_2}^2}}.$$

Анализ точности многократных засечек (обратной угловой и линейной) выполняется по результатам уравнительных вычислений. Наиболее эффективен параметрический способ уравнивания.

Для сравнения точности различных видов засечек примем равенство углов при исходных пунктах ($\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$) и равенство длин сторон между определяемым и исходными пунктами ($l = l_1 = l_2 = l_3$). Используем также условие (4.13).

Для приведения формул ошибки положения пункта *P* к общему виду производится переход от величин γ и *l* к горизонтальным углам β и базису *c*

$$\gamma = 1 \quad ° \; 8\,2\beta,\, 0 \quad l = \frac{c}{2\,\mathrm{c} \quad \beta\mathrm{o}}. \qquad (4.52)$$

Тогда подставляя полученные уравнения в отношение (4.13) получим

$$m_l = \frac{m_\beta}{\rho} l = \frac{m_\beta}{2\rho\,\mathrm{c} \quad \beta} c. \qquad (4.53)$$

В табл. 4.11 приведены формулы для определения СКО положения пункта Р при решении однократных засечек.

Таблица 4.11

Оценка точности однократных засечек

Вид засечки	Ошибка положения пункта

Прямая угловая	$m_P = \frac{m_\beta \cdot c}{\sqrt{2}\rho c \quad \beta s \; si2\beta}$
Линейная	$m_P = \frac{m_\beta \cdot c}{\sqrt{2}\rho c \quad \beta s \; si2\beta}$
Обратная по углам	$m_P = \frac{m_\beta \cdot c\sqrt{2}}{4\rho c \quad \delta\beta s \quad i2\beta}$
Обратная по направлениям	$m_P = \frac{m_\beta \cdot c\sqrt{2-c \quad a2\beta}}{4\rho c \quad \delta\beta ss \; i2\beta}$
Прямая линейно-угловая	$m_P = \frac{m_\beta \cdot c}{2\rho c \;\; o\beta s}$
Обратная линейно-угловая	$m_P = \frac{m_\beta c}{\rho c \quad \beta\delta}\sqrt{\frac{1+2c \quad ^2\beta\delta \quad s}{2(3+4c \quad 2\beta\delta + c \quad s^2 2\beta)}}$

Формулу для расчета ошибки положения пункта Р можно представить в виде [31]

$$m_{P_м} = k\, c_{к\ м}. \qquad (4.54)$$

где: k – коэффициент, определяющий вид засечки, ее геометрию и точность измерений; $c_{км}$ – среднее значение длин базисных сторон, км; $m_{P_м}$ – ошибка положения вставляемого пункта, м.

В табл. 4.12 приведены значения коэффициента k, полученные при $m_\beta = 20''$ и различных значениях горизонтальных углов β для различных видов засечек.

Таблица 4.12

Значения коэффициента *k* для однократных засечек

β, град.	10	20	30	40	50	60	70	80
Прямая угловая	0,204	0,114	0,091	0,091	0,108	0,158	0,312	1,154
Линейная	0,204	0,114	0,091	0,091	0,108	0,158	0,312	1,154
Обратная угловая по углам	0,103	0,060	0,053	0,059	0,084	0,158	0,456	3,324
Обратная угловая	0,075	0,047	0,046	0,057	0,088	0,177	0,536	4,030

по направлениям								
Прямая линейно-угловая	0,049	0,052	0,056	0,063	0,075	0,097	0,142	0,279
Обратная линейно-угловая	0,043	0,047	0,055	0,068	0,094	0,150	0,308	1,153

Из таблиц 4.11 и 4.12 можно заключить:

при равной относительной точности угловых и линейных измерений прямая угловая и линейная засечки обеспечивают равную точность;

ошибка положения пункта принимает наименьшее значение при следующих значениях угла γ – 110º (прямая угловая и линейная засечки), 120º (обратная угловая по углам), 128º (обратная угловая по направлениям);

точность обратной угловой засечки с измеренными направлениями выше точности засечки с измеренными углами лишь при $\gamma > 90^{\circ}$;

для линейно-угловых засечек при $\gamma > 120^{\circ}$ точность выше у обратной засечки, а при $\gamma < 120^{\circ}$ – у прямой засечки.

Распространяя выводы на двукратные засечки, получим формулы, представленные в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Оценка точности двукратных засечек

Вид засечки	Ошибка положения пункта
Прямая угловая	$m_P = \frac{m_\beta \cdot c}{2\rho \sin\frac{\beta}{2}\sqrt{1+\cos^2\frac{\beta}{2}}}$
Линейная	$m_P = \frac{\sqrt{3}m_\beta \cdot c}{2\rho \sin\frac{\beta}{2}\sqrt{2(1+2\cos^2\frac{\beta}{2})}}$
Обратная по углам	$m_P = \frac{\sqrt{3}m_\beta \cdot c}{4\rho \sin\frac{\beta}{2}\sqrt{(1+\cos\frac{2\beta}{3})\left(1+2\cos^2\frac{2\beta}{3}\right)}}$

Обратная по направлениям	$m_P = \frac{m_\beta c\sqrt{1-\sin^2\beta\cos^2 2\beta}\ \sin}{4\rho\cos^3\beta\sin 2\beta\sqrt{2(4\sin^4\beta+\cos^2 2\beta)}}$

В табл. 4.14 приведены значения коэффициента k, полученные при $m_\beta = 20''$ и различных значениях горизонтальных углов β.

Таблица 4.14

Значения коэффициента *k* для двукратных засечек

β, град.	10	20	30	40	50	60	70	80
Прямая угловая засечка	0,105	0,064	0,058	0,063	0,075	0,100	0,175	0,595
Линейная засечка	0,106	0,067	0,065	0,076	0,091	0,112	0,183	0,601
Обратная угловая по углам			0,037	0,050	0,071	0,112	0,268	1,731
Обратная угловая по направлениям			0,042	0,046	0,055	0,090	0,240	1,683

Из таблиц 4.13 и 4.14 можно заключить:

при равных условиях наиболее высокую точность обеспечивает обратная угловая засечка, уравненная по направлениям, а при $\gamma < 55^\circ$ – прямая угловая засечка;

ошибка положения пункта принимает наименьшее значение при следующих значениях угла γ – 122° и 128° (соответственно прямая угловая и линейная засечки);

точность обратной угловой засечки с измеренными направлениями выше точности засечки с измеренными углами (при $\gamma < 110^\circ$);

повышение точности двукратных засечек относительно точности однократных засечек происходит не просто в $\sqrt{2}$ раз, а зависит от геометрии засечки.

Точность засечек прямо пропорционально зависит от точности угловых (и линейных) измерений m_β и от длины базисной стороны c. Это позволяет с помощью таблиц 4.12 и 4.14 выполнять оценку точности засечек при других условиях измерений.

При этом значения коэффициента k будут пропорционально изменяться в зависимости от точности угловых измерений m_β.

Пример. Оценить ошибку положения пункта P, определяемого с помощью обратной угловой засечки по измеренным направлениям с 4-х исходных пунктов (двукратная засечка). Значения базисов $c_1 = 0{,}2$ км, $c_2 = 0{,}4$ км, $c_3 = 0{,}6$ км. Среднее значение горизонтального угла при исходных пунктах $\bar{\beta} = \sum_1^6 \beta_i / 6 = 4$ ч.

СКО угловых измерений $m_\beta = 5''$.

Значение коэффициента $k = 0{,}046$ (при $m_\beta = 20''$) определяется из таблицы 4.14 (для двукратных засечек) при $\beta = 40°$. Для заданных условий коэффициент k определяется из выражения

$$k_5 = \frac{k_2 \cdot 5''}{2'' \cdot 0} = \frac{0{,}0}{4} = 0{,}0\ 4\ 6.$$

Тогда

$$m_P = k_5 \cdot \bar{c}_к = 0{,}0 \cdot 0{,}4 = 0{,}0\ 2 \text{ м}$$

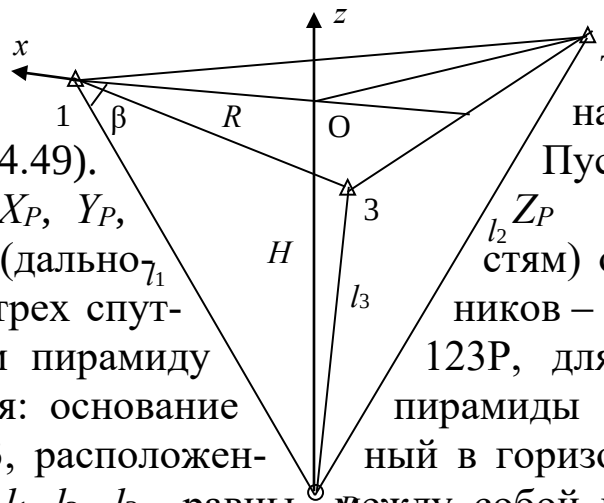
Ответы, получаемые по формулам (табл. 4.11 и табл. 4.13) имеют некоторую погрешность, обусловленную тем, что вместо точных значений геометрических элементов принимались средние их значения, и расчет формул выполнялся по упрощенному принципу ($\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$, $l = l_1 = l_2 = l_3$).

4.3.5. Точность спутниковых геодезических технологий

Наряду с традиционными методами создания маркшейдерских опорных и съемочных сетей, в последние десятилетия все более широкое применение на карьерах находят спутниковые геодезические технологии. В геодезическом смысле они реализуют принцип пространственной обратной линейной засечки – когда пространственные координаты (x, y, z) пункта наземной сети определяются по расстояниям, измеренным от этого пункта до четырех и более спутников, положение которых известно с достаточной точностью.

Основным достоинством спутниковых систем является их оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффек-

тивность. Для измерений не нужна видимость между определяемыми пунктами. Метод определения координат геодезических пунктов с помощью спутниковых систем называют *позиционированием*.



Анализ точности позиционирования начнем с простой схемы (рис. 4.49). Пусть определяются координаты X_P, Y_P, Z_P по измеренным расстояниям (дальностям) от определяемого пункта P до трех спутников – 1, 2 и 3.

Рассмотрим пирамиду 123P, для которой примем два условия: основание пирамиды равносторонний треугольник 123, расположенный в горизонтальной плоскости, а ребра – l_1, l_2 , l_3 – равны между собой и наклонены к горизонту (как и к основанию пирамиды) под углом δ.

Центр системы координат поместим в точку P, ось z направим по высоте пирамиды вверх к основанию, а ось x – через точку 1. В равностороннем треугольнике 123 точка O – место пересечения медиан – отстоит от вершин треугольника на расстояние R (радиус описанной окружности), а от сторон треугольника на расстояние $R/2$. Учитывая, что в равностороннем треугольнике медиана – и биссектриса, и высота треугольника – она делит внутренние углы треугольника (60º) пополам.

Рис. 4.49. Позиционирование от трех спутников

Запишем в принятой системе координаты вершин пирамиды:

Координаты	1	2	3	*P*
x	R	$-R/2$	$-R/2$	0
y	0	$R\sqrt{3}/2$	$-R\sqrt{3}/2$	0
z	H	H	H	0

Обозначим координаты определяемого пункта P через параметры:

$$X_P = T_1;\ \ Y_P = T_2;\ Z_P = T_3.$$

Выразим измеренные величины через координаты исходных пунктов и параметры:

$$l_1 = \sqrt{(x_1 - T_1)^2 + (y_1 - T_2)^2 + (z_1 - T_3)^2};$$

$$l_2 = \sqrt{(x_2 - T_1)^2 + (y_2 - T_2)^2 + (z_2 - T_3)^2}; \qquad (4.55)$$

$$l_3 = \sqrt{(x_3 - T_1)^2 + (y_3 - T_2)^2 + (z_3 - T_3)^2}.$$

Дифференцируя выражения (4.55) по параметрам, найдем элементы матрицы **A**:

$$a_1 = \frac{\partial l_1}{\partial T_1} = \frac{-(x_1 - T_1)}{l_1} = \frac{-R}{l_1} = -\cos\delta; \quad a_1 = \frac{\partial l_1}{\partial T_2} = 0; \quad a_1 = -\sin\delta;$$

$$a_2 = \frac{\partial l_2}{\partial T_1} = \frac{-(x_2 - T_1)}{l_2} = \frac{R}{2l_2} = \frac{\cos\delta}{2}; \quad a_2 = \frac{\partial l_2}{\partial T_2} = -\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\delta; \quad a_2 = -\sin\delta;$$

$$a_3 = \frac{\cos\delta}{2}; \quad a_3 = \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\delta; \quad a_3 = -\sin\delta.$$

Примем линейные измерения равноточными и матрицу весов **P** – единичной, примем за ошибку единицы веса $\mu = m_l$. Обратная весовая матрица координат определяемого пункта

$$\mathbf{Q}_P = (\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\ )^{-1} = \begin{pmatrix} 1{,}5c^{\,2}\delta & s\,0 & 0 \\ 0 & 1{,}5c^{\,2}\delta & s0 \\ 0 & 0 & 3s^{\,2}\delta \end{pmatrix}_{\mathrm{n}}^{-1} = \begin{pmatrix} \dfrac{2}{3c^{\,2}\delta} & s & \\ & \dfrac{2}{3c^{\,2}\delta} & s \\ & & \dfrac{1}{3s^{\,2}\delta} \end{pmatrix}$$

.

Диагональные элементы матрицы $\mathbf{Q}_P$ используются для расчета ошибки положения пункта P:

в плане	$m_{P_{x,y}} = \mu\sqrt{q_1 + q_2}$;
в пространстве	$m_{P_{x,y,z}} = \mu\sqrt{q_1 + q_2 + q_3}$;
по высоте	$m_{P_z} = \mu\sqrt{q_3}$

Элементы матрицы $\mathbf{Q}_P$ определяются только геометрией засечки. В теории анализа точности спутниковых геодезических измерений используется понятие геометрического фактора (ГФ) – отношение ошибки положения пункта к ошибке единицы веса [31]

$$\Gamma\Phi = \frac{m_P}{\mu}.$$

В зависимости от вида ошибки положения (в плане, по высоте или в пространстве) геометрический фактор имеет следующие обозначения:

$$H \quad D = \sqrt{q_1 + q_2}; \quad P \quad D = \sqrt{q_1 + q_2 + q_3}; \quad V \quad D \quad \sqrt{q_3} \qquad (4.56)$$

Из формулы (56) следует связь

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2.$$

Для нашего примера: $q_{11} = q_{22} = \frac{2}{3\cos^2\delta}$; $q_{33} = \frac{1}{3\sin^2\delta}$. В табл. 4.15 приведены значения геометрического фактора при различных углах возвышения спутников над горизонтом.

Таблица 4.15

Влияние угла возвышения δ на точность позиционирования

ГФ	Угол возвышения спутников над горизонтом δ							
	10º	20º	30º	40º	50º	60º	70º	80º
PDOP	3,53	2,09	1,76	1,75	1,95	2,40	3,43	6,68
HDOP	1,17	1,23	1,33	1,51	1,80	2,31	3,38	6,65
VDOP	3,32	1,69	1,15	0,90	0,75	0,67	0,61	0,59

Из таблицы следует, что хорошие результаты получаются при небольших углах возвышения спутников – 30º… 40º. Вообще геометрический фактор зависит также от широты местности, количества наблюдаемых спутников и других факторов. ГФ становится меньше при наблюдении более 4 спутников, достаточно хорошим считается наблюдение шести спутников.

Основным показателем ГФ является *PDOP*. Для оценки качества засечки пользуются следующей шкалой:

PDOP	Вербальная оценка
<4	Хорошо
5-7	Удовлетворительно
>7	Плохо

Геометрический фактор – не единственный источник ошибок при спутниковых геодезических измерениях. Источниками формирования ошибки определения расстояния от приемника до спутника являются также [32, 33]:

оборудование космического аппарата и наземный контрольно-измерительный комплекс;

среда распространения сигнала от спутника к приемнику станции наблюдения;

приемная станция;

методика наблюдений и обработки результатов измерений.

Ошибки от первого источника обусловлены неидеальностью частотно-временного и эфемероидного обеспечения спутников. Погрешности частотно-временного обеспечения возникают при сверке и хранении бортовой шкалы времени. Наблюдение и корректировку часов на спутнике ведут наземные контрольно-измерительные комплексы. Эфемериды (координаты) спутника в момент отправки сигнала содержат ошибки вследствие влияния внешних факторов – Солнца, Земли, Луны и проч. Корректировка координат спутника производится также контрольно-измерительными комплексами. Перечисленные ошибки практически исключаются при дифференциальных наблюдениях.

При распространении радиосигнала от спутника к приемной станции скорость его не остается постоянной, а меняется на различных участках атмосферы – особенно в ионосфере и тропосфере. Снижение влияния ионосферы на результаты позиционирования происходит за счет использования двух несущих частот и работы на двухчастотных приемных станциях. Задержка радиосигналов в тропосфере наиболее сказывается при наблюдениях за спутниками, имеющими угол возвышения над горизонтом $\delta < 10^{\circ}$ - 15°. Поэтому спутники с малым углом возвышения не отслеживаются. Эта мера направлена и на снижение влияния ошибок за счет изменения пути радиосигнала вследствие отражения от поверхности земли, зданий и других объектов, находящихся поблизости от приемной станции. Для снижения влияния многолучевости (многопутности) радиосигнала рекомендуется: выбирать место наблюдений вдали от отражающих объектов; устанавливать дополнительные экранирующие приспособления; увеличивать время работы на станции.

Инструментальные ошибки, или ошибки работы на приемной станции в большинстве своем исключаются при дифференциальных наблюдениях. К таким ошибкам относятся погрешности хода часов в приемнике, временные задержки в многоканальных приемниках. Неустраняемыми являются ошибки измерения высоты и центрирования прибора и антенны. Их значения составляют первые миллиметры и входят в составляющую a средней квадратической ошибки GPS-измерений. Общая ошибка спутникового позиционирования описывается линейной функцией

$$m_l = a + b\ l,$$

где для высокоточных моделей приемников и методов измерений, а составляет 2…5 мм, а b – 1 … 3 мм/км. При этом точность координаты z в 2-3 раза ниже точности определения плановых координат.

Тип приемника, методика наблюдений и последующей обработки результатов измерений (постобработка) являются определяющими при оценке точности позиционирования. Современные кодово-фазовые многоканальные двухчастотные приемники позволяют работать как в кодовом, так и в более точном – фазовом режиме.

Кодовым методом проводят абсолютные наблюдения – определяют непосредственно координаты пункта, на котором установлен приемник. Фазовый метод применяют при относительных (дифференциальных) измерениях, когда определяют приращения координат между пунктами-станциями, на которых одновременно работают GPS-приемники, причем одна из этих станций – базовая, с известными координатами. Из этих относительных измерений образуют разности трех типов: простые, сдвоенные и строенные. Разности практически свободны от большинства погрешностей.

Так первые или простые разности (разности измерений между приемниками) не содержат искажений аппаратуры спутника, ослаблены влияния атмосферных воздействий и погрешности эфемерид. Чем ближе расположены станции А и В, тем полнее компенсированы искажения. Вторые разности (разности измерений между спутниками) свободны как от искажений на спутнике, так и от искажений на наземных станциях.

Вторые и третьи разности используются в постобработке и уравнительных вычислениях, для оценки фактической точности измерений.

4.3.6. Проектирование и уравнивание маркшейдерских сетей

Построение маркшейдерских опорных и съемочных сетей выполняется по техническому проекту, разработанному на основе технического задания. Техническое задание составляется

главным маркшейдером предприятия и утверждается главным инженером.

В техническом задании указывается:

- цель проектируемых работ – создание или реконструкция сети (в т.ч. развитие существующей сети);
- тип проектируемой сети – маркшейдерская опорная сеть или маркшейдерская съемочная сеть;
- назначение сети;
- класс точности проектируемой сети или предельные ошибки положения новых пунктов сети относительно исходных;
- характеристика исходных пунктов государственной геодезической сети или маркшейдерской опорной сети на территории предприятия – их местоположение, каталог координат, класс точности, наружное оформление знаками.

При выполнении работ силами сторонних организаций согласовываются сроки и стоимость работ по проектированию и созданию сети.

Технический проект построения сети разрабатывается исполнителем работ. Технический проект может содержать текстовую, графическую и сметную части [33].

В текстовой части проекта отражаются следующие вопросы:

- тип и назначение проектируемой сети;
- краткая физико-географическая характеристика района работ;
- сведения о геодезической обеспеченности района работ;
- определение метода построения сети и выбор необходимых приборов;
- предварительный расчет ожидаемой точности плановых координат и высот пунктов сети;
- организация и сроки выполнения полевых работ, мероприятия по технике безопасности и охране труда;
- перечень материалов, подлежащих сдаче по окончании работ.

Графическая часть проекта составляется на плане масштаба принятого на горном предприятии. На план наносятся: исходные пункты и стороны, определяемые пункты и схема построения сети.

В сметной части проекта производится расчет необходимых затрат на выполнение проектируемых работ в соответствии с действующими нормами выработки (времени).

Выбор метода построения сети зависит: от имеющихся в распоряжении исполнителя работ приборов; от формы и размеров участка проектирования; рельефа местности и застроенности территории, условий видимости; наличия и расположения исходных пунктов.

Различают **необходимые** и **избыточные исходные данные**. Например, для центрирования, ориентирования и масштабирования сети триангуляции *необходимо* располагать четырьмя ($К_М$ = 4) исходными данными – плановыми координатами двух пунктов сети или координатами одного пункта, дирекционным углом и длиной одной стороны сети. В трилатерации и полигонометрии $К_М$ = 3 (координаты пункта и дирекционный угол стороны сети), в высотных сетях $К_М$ = 1 (высотная отметка одного из реперов сети). Все остальные исходные данные будут избыточными.

Если число исходных данных в сети равняется необходимому числу исходных данных, т. е. $L = К_М$, сеть называется **нульсвободной**. При $L < К_М$ сеть называется **свободной**, при $L > К_М$ – **несвободной сетью**.

При проектировании сети следует иметь в виду, что включаемые в сеть исходные пункты должны быть взаимно увязаны – координаты их должны быть вычислены в одной системе и не вызывать сомнений у работников маркшейдерской службы по результатам выполненных ранее работ. Класс точности исходных пунктов должен быть выше точности развиваемой сети. В этом случае координаты исходных пунктов можно принять безошибочными (истинными) и ошибки исходных данных не учитывать при предварительной оценке точности и при уравнивании результатов полевых работ.

К измеряемым величинам в маркшейдерско-геодезической практике относятся направления, углы, азимуты, длины сторон, приращения координат (при спутниковых наблюдениях) и т.д. В плановой сети для определения координат новых пунктов от исходных достаточно выполнить два измерения – двух сторон, двух углов или угла и стороны сети. В высотной сети достаточно одного измерения – превышения. Поэтому число необходимых из-

мерений в плановых сетях $K = 2p$, в высотных сетях $K = p$, где p – число определяемых пунктов.

При спутниковом позиционировании $K = 3p$, т. к. определяются координаты (приращения координат) по всем трем осям.

Если измерено N величин $X_1, \ldots, X_N$, то число избыточно измеренных величин

$$R = N - K.$$

Каждое избыточное измерение влечет появление математических отношений между измеренными или измеренными и исходными величинами. Избыточные исходные данные математических условий не образуют.

Геодезические и маркшейдерские сети обязательно должны содержать избыточные измерения. Они нужны для своевременного обнаружения грубых ошибок, а также для производства уравнительных вычислений и оценки качества выполненных работ. Кроме того, точность элементов сети после уравнивания повышается в среднем в $\sqrt{N/K} = \sqrt{1 + R/K}$ раз [4].

Избыточность измерений достигается:

в триангуляции, трилатерации и спутниковых наблюдениях – построением замкнутых геометрических фигур – треугольников и цепочек треугольников, многоугольников с диагоналями, центральных фигур и т. д., в вершинах которых должно быть не менее двух исходных пунктов;

в полигонометрии и высотных ходах – проложением замкнутых ходов, ходов между двумя исходными пунктами, ходов с узловыми точками и проч.

Схема проектируемой сети переносится на план местности для определения объемов работ и проверки выполнения требований инструкций к элементам сети – углам фигур, длинам сторон и ходов.

Выполняется предварительный расчет ожидаемой точности плановых координат и высот пунктов сети. Для простых фигур и несложных сетей – засечек, вытянутых полигонов и разомкнутых высотных ходов – можно применить формулы, рассмотренные в главе. Сложные построения анализируются при помощи специальных компьютерных программ.

При анализе проекта можно решать задачи двух основных типов:

прямая задача – по заданной точности измерений и геометрии сети находят ожидаемую точность элементов сети – ошибки положения новых пунктов относительно исходных; ошибки взаимного положения новых пунктов; линейные и угловые ошибки наиболее слабых сторон сети;

обратная задача – по нормативным значениям ошибок элементов сети и ее геометрии определяют необходимую точность измерений.

Для решения этих задач применяются формулы из теории параметрического уравнивания.

В случае проектирования плановых сетей обозначим координаты новых (определяемых) пунктов:

$$x_1 = T_1\ , y_1 = T_1\ ;\ \ldots\ ; x_{p1} = T_{p1}, y_{p1} = T_{p2}.$$

Для каждого из N запроектированных измерений составляется параметрическое уравнение связи $X_i = \varphi_i(T_{11}, \ldots, T_{p2})$. Затем формируется матрица коэффициентов системы нормальных уравнений поправок

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{1,1\,1} \ldots a_{1,p2} \\ \ldots\ldots\ldots \\ a_{N,1\,1} \ldots a_{N,p2} \end{pmatrix},$$

где $a_{ik} = \dfrac{\partial X_i}{\partial T_k}$, $I = 1 \ldots N$, $k = 1 \ldots 2p$. Для вычисления значений элементов матрицы **A** используются приближенные значения координат новых пунктов, дирекционных углов и длин сторон проектируемой сети, снимаемые с плана. Оценка точности элементов сети производится по формуле

$$m_F = \mu\sqrt{q_F}\ , \qquad (4.57)$$

где μ – априорное значение ошибки единицы веса (принимается $\mu = m_\beta$ при полигонометрии и триангуляции и $\mu = m_l$ при трилатерации и спутниковых наблюдениях). Априорная точность из-

мерений устанавливается в проекте в соответствии с применяемыми приборами и методиками измерений.

Обратный вес функции, описывающей оцениваемый элемент сети, определяется по формуле

$$q_F = \mathbf{s}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{s}^{\mathrm{T}},$$

где: матрица $\mathbf{N} = \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{A}$; $\mathbf{P}$ – матрица весов измеряемых величин; $\mathbf{s}$ – вектор-строка производных функции F по параметрам T_{11}, … , T_{p2}.

Если определяется ошибка положения i-го пункта сети ($x_i = T_{i1}$, $y_i = T_{i2}$), то

$$q_F = \eta_{i1} + \eta_{i2}, \qquad (4.58)$$

где η_{i1} и η_{i2} – диагональные элементы обратной весовой матрицы координат определяемого пункта $\mathbf{N}^{-1} = \left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{A}\right)^{-1}$.

Если определяется ошибка стороны l_{ij}, то

$$\mathbf{s} = \left(0.\ 0 \quad s_{i1} = -\cos\alpha_i \quad s_{i2} = -\sin\alpha_i \quad 0.\ 0 \quad s_{j1} = \cos\alpha_i \quad s_{j2} = \sin\alpha_i \quad 0.\ 0\right).$$

Если определяется ошибка взаимного положения i-го пункта сети ($x_i = T_{i1}$, $y_i = T_{i2}$) и j-го пункта сети ($x_j = T_{j1}$, $y_j = T_{j2}$), то

$$q_F = \omega_1 + \omega_2, \qquad (4.59)$$

где ω_1 и ω_2 – диагональные элементы матрицы

$$\Omega = \mathbf{S}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{S}^{\mathrm{T}},$$

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} 0.\ 0 & s_{1,i1} = -1 & s_{1,i2} = 0 & 0.\ 0 & s_{1,j1} = 1 & s_{1,j2} = 0 & 0.\ 0 \\ 0.\ 0 & s_{2,i1} = 0 & s_{2,i2} = -1 & 0.\ 0 & s_{2,j1} = 0 & s_{2,j2} = 1 & 0.\ 0 \end{pmatrix}.$$

Полученные значения ошибок сравниваются с нормативными значениями, приведенными в инструкциях по производству маркшейдерских и геодезических работ. При этом от предельных ошибок, указанных в инструкции, необходимо перейти к сред-

ним квадратическим ошибкам, разделив их на 3 (двумерный случай – ошибки положения на плоскости) или на 2,5 (одномерный случай). Если проект не обеспечивает необходимую точность элементов сети, следует повысить точность измерений или изменить геометрию сети.

В случае проектирования высотных сетей обозначим координаты новых (определяемых) пунктов:

$$z_1 = T_1,\ z_2 = T_2;\ \ldots;\ z_p = T_p.$$

Для каждого из N запроектированных ходов между реперами составляется параметрическое уравнение связи $X_i = \varphi_i(T_1, \ldots, T_p)$. Матрица коэффициентов системы нормальных уравнений поправок

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} \ldots a_{1p} \\ \ldots\ldots\ldots \\ a_{N1} \ldots a_{Np} \end{pmatrix},$$

где $a_{ik} = \dfrac{\partial X_i}{\partial T_k}$, $I = 1 \ldots N$, $k = 1 \ldots p$.

Априорное значение ошибки единицы веса принимается $\mu = m_{1\,км}$, а элементы весовой матрицы $p_i = 1/ L_{км}$, где $L_{км}$ – длины ходов, км.

Если определяется ошибка положения i-го пункта сети ($z_i = T_i$), то

$$q_F = \eta_{ii}, \qquad (4.60)$$

где η_{ii} – диагональный элемент обратной весовой матрицы $\mathbf{N^{-1}} = \left(\mathbf{A^T P\ A}\right)^{-1}$.

Если определяется ошибка превышения между пунктами – взаимного положения i-го пункта сети ($x_i = T_i$) и j-го пункта сети ($x_j = T_j$), то

$$\mathbf{s} = \left(0.\ 0\ .\ s_i = -1 \qquad 0.\ 0\ .\ s_j = 1 \qquad 0.\ 0\right).$$

При решении обратной задачи находят ошибку единицы веса

$$\mu = \frac{D_F}{k_з \sqrt{q_F}}, \tag{4.61}$$

где D_F – допуск, установленный инструкцией для точностной характеристики элемента сети; $k_з$ – коэффициент перехода от допуска к средней квадратической ошибке (3 или 2,5).

Точность любого проектируемого измерения в сети находят по формуле

$$m_i = \frac{\mu}{\sqrt{p_i}}. \tag{4.62}$$

По найденным значениям точности отдельных измерений подбираются приборы для выполнения работ по созданию сети.

После выполнения полевых работ и первичной обработки результатов измерений выполняется уравнивание сети. В зависимости от вида сети и числа избыточных измерений применяется коррелатный или параметрический способы уравнивания. Коррелатный способ уравнивания применяется при уравнивании полигонов, когда число избыточных измерений R много меньше числа достаточных измерений K. Сложные построения уравниваются параметрическим способом. Современный уровень вычислительной техники позволяет отказаться от приближенных способов уравнивания, который не обеспечивает строгий анализ точности сети.

Анализ точности по результатам параметрического уравнивания выполняется по формулам (57) – (60), но ошибка единицы веса рассчитывается по формуле

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{N} p_i v_i^2}{N - K}},$$

где μ_1 – апостериорная ошибка единицы веса, v_i – поправки в результаты измерений.

Качество работ оценивается близостью априорной и апостериорной ошибок единиц веса, чем меньше отличие, тем лучше качество. Результаты оценки точности выполненных работ по материалам уравнивания приводятся в отчете, передаваемом исполнителем работ предприятию, и являются основанием для приемки выполненных работ.

5. СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ НА КАРЬЕРАХ И РАЗРЕЗАХ

Маркшейдерская съемка карьеров - комплекс полевых и камеральных работ, проводимых с целью определения положения и изображения на планах в заданном масштабе горных выработок, инженерных сооружений и рельефа земной поверхности относительно пунктов опорных и съемочных сетей.

Маркшейдерские съемочные работы на карьерах выполняют способами: перпендикуляров, тахеометрическим, стереофотограмметрическим, нивелированием (геометрическим), тригонометрическим и их комбинациями. Съемка производится периодически через определенные Интервалы времени в пределах карьерного поля. Объектами съемки являются: уступы, траншеи, съезды, скважины, границы взорванных блоков и опасных зон, развалы, дренажные и геологоразведочные выработки, отвалы, склады полезного ископаемого, транспортные пути, линии электропередачи, постоянные и временные инженерные сооружения и т. п. Съемку карьеров выполняют в масштабах 1:1000, 1:2000, внешних отвалов - 1:2000, 1:5000.

В зависимости от сложности снимаемого контура и масштаба съемки маркшейдер определяет расстояния между точками съемки (пикетами), соблюдая следующие требования [3]:

- пикеты набирают на всех характерных точках;
- расстояния между пикетами на бровках уступов при съемке в масштабе 1:1000 не должны превышать 20 м, если контуры бровки уступов сложные, и 30 м, если контуры близкие к прямолинейным; при съемке в масштабе 1:2000 эти расстояния соответственно 30 и 40 м, при большой протяженности прямолинейных участков - 50 м;
- при съемке отвалов в масштабе 1:5000 расстояние между пикетами может достигать 100 м;
- при съемке участков взорванных горных пород в масштабе 1:1000 максимальное расстояние между пикетами 10 м; при съемке в масштабе 1:2000 - 20 м;
- съемка ведется с перекрытием пикетов на участках, снимаемых с разных пунктов съемочных сетей. Расхождения контуров на границах перекрытия не должны превышать 1 мм на плане для четких контуров и 1,5 мм - для нечетких;

- допустимые расхождения высот пикетов не должны превышать 0,4 м при наземных съемках и 0,8 м - при аэрофотограмметрической съемке.,

Периодичность съемки устанавливают исходя из производственной необходимости с учетом указаний вышестоящей организации, но не реже чем раз в квартал. В случае, если съемка предназначена для определения объемов с целью оплаты за экскавацию и транспортировку горной массы, то ее выполняют ежемесячно.

5.1. Способ перпендикуляров (ординарный способ съемки)

Способ перпендикуляров (ординарный способ съемки) может быть применен практически при любой сложности контуров, снимаемых в карьере. Съемка ведется с пунктов или точек съемочного обоснования путем измерения длины перпендикуляров (ординат), восстановленных от линий съемочного обоснования (рис. 5.1).

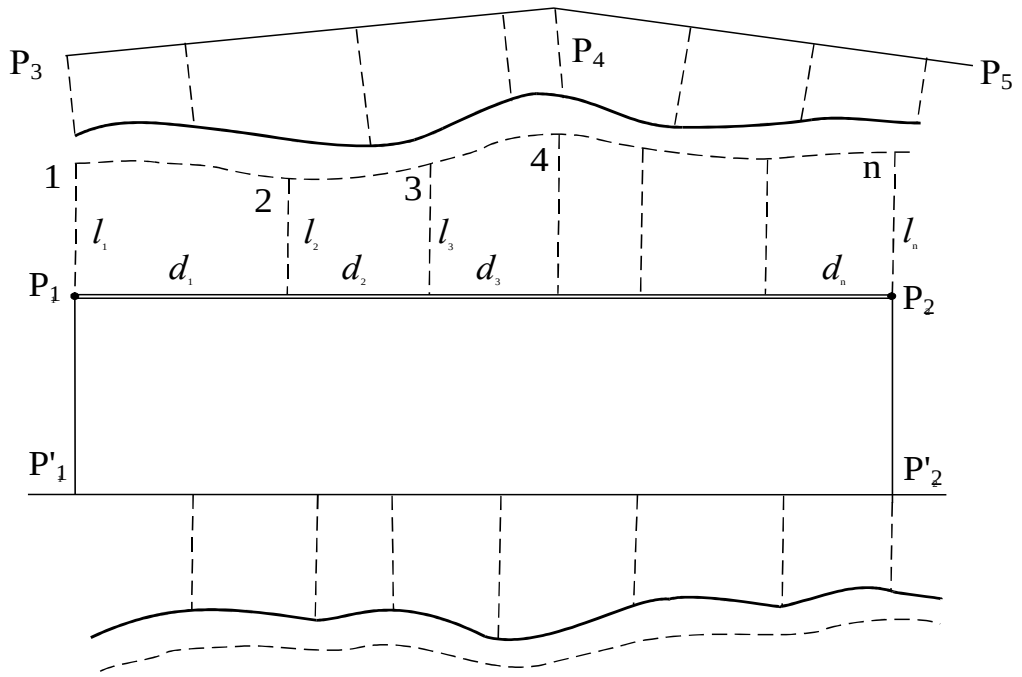


Рис. 5.1. Съемка уступа карьера способом перпендикуляров (ординат)

Методика съемки весьма проста и заключается в измерении перпендикуляров l_1, l_2, l_3, ..., l_n от линии съемочного обоснования P_1P_2 через интервалы d_1, d_2, d_3, ..., d_n. Набор количества

пикетов 1, 2, 3, ..., n и длину интервалов d_i определяет маркшейдер в зависимости от сложности снимаемого контура. Измерения проводят с помощью металлических рулеток с точностью отсчета до 0,1 м. Длину перпендикуляров, как правило, не допускают более 30 м. При длине более 15 м их восстанавливают с помощью эккера.

Результаты съемки заносят в полевой журнал, записывая номера пунктов или точек съемочного обоснования, длину интервалов d_i по линии P_1P_2 от начального пункта и длину перпендикуляров l_i. Одновременно ведутся зарисовки контуров и характерных мест, т. е. составляется абрис.

В случае удаления объекта съемки от линии P_1P_2 более чем на 30 м выносится дополнительная линия P_1', P_2' (см. рис. 5.1).

Высотные отметки пикетов 1, 2, 3, ..., n при необходимости, если они отличаются от высотных отметок точек съемочного обоснования более чем на 0,4 м, определяют геометрическим нивелированием.

Результаты съемки наносят на план от линии между точками съемочного обоснования (P_1P_2), используя абрис.

Недостатки способа:

- необходимо наличие правильной уступной системы ведения горных работ, когда берма уступа близка к горизонтальной;
- большое количество линейных измерений.

Достоинства: прост и точен.

Точность способа зависит от ошибок при измерении абсцисс, ординат и при построении прямых углов.

5.2. Тахеометрическая съемка

Тахеометрическая съемка - широко распространенный способ съемки в карьере, один из видов топографической съемки, выполняемой на отдельных участках. Пространственное положение точки при выполнении тахеометрической съемки определяется полярным способом с помощью тахеометра или теодолита, производя измерения горизонтального угла, расстояния и превышения методом тригонометрического нивелирования. Название «тахеометрическая съемка» в переводе с греческого слова

tachymetreo – означает быстрое измерение, т. е. при одном наведении зрительной трубы тахеометра или теодолита определяется положение каждой точки в пространстве. Тахеометрическая съемка выполняется по главному принципу от общего к частному, создавая в начале планово-высотную основу, с которой ведут съемку подробностей и по результатам последней в камеральных условиях составляют план горных выработок карьера. Плановой и высотной основой тахеометрической съемки служат пункты маркшейдерских съемочных сетей. В результате съемки по данным измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний производится определение положения в плане и по высоте точек (пикетов) снимаемого участка.

Тахеометрическая съемка выполняется теодолитами или авторедукционными тахеометрами.

Съемку теодолитами ведут с пунктов съемочного обоснования по схеме, указанной на рис.5.2.

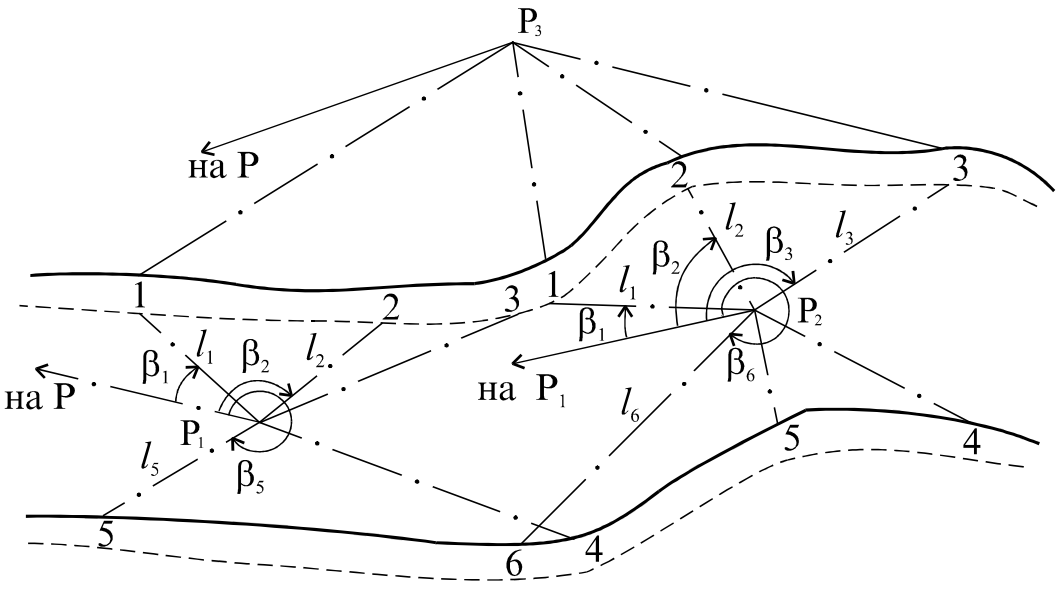


Рис. 5.2. Тахеометрическая съемка уступов

Первая стоянка на точке P_1. От начального направления P_1P на выбранные пикеты 1, 2,..., 5 измеряются горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \ldots \beta_5$, вертикальные углы и наклонные расстояния $l_1, l_2, \ldots l_5$. Аналогичные измерения проводятся на точках P_2, P_3. Наклонное расстояние l_i определяют по нивелирной рейке нитя-

ным дальномером теодолита, направление - β_i – теодолитом, превышение – тригонометрическим способом, т. е. измерением угла наклона (δ).

Измерение горизонтальных углов допускается при одном положении круга с точностью отсчитывания до десятков минут. Во избежание грубых ошибок рекомендуется в конце работы на каждой станции (стоянке инструмента) проводить замыкание на горизонт. Допустимое смещение не должно превышать $2'$. С помощью рулетки измеряется высота инструмента с точностью до 1 см и записывается в журнал.

Горизонтальное проложение наклонной длины линии d и превышение h определяют по формулам

$$d = l_i \cos\delta \; ; \; h = d\,\mathrm{tg}\delta ; \quad h = l \sin\delta ,$$

если наведение визирной оси трубы производится на точку рейки, высота которой от поверхности земли равна высоте инструмента.

Расстояния от прибора до пикета при съемках бровок уступов и других нечетких контуров в масштабах 1:1000, 1:2000, 1:5000 не должны превышать соответственно 150, 200, 300 м. При съемке четких контуров (здания, сооружения), для приведенных выше условий расстояния до пикетов, не должны быть больше соответственно 80, 100, 150 м.

На каждой стоянке тахеометрической съемки ведется абрис съемки с нанесением положений снимаемых контуров. Измерения заносятся в журнал тахеометрической съемки, в котором ведут вычисления горизонтальных проложений, превышений и высот пикетов. Пример записи в журнал приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Журнал тахеометрической съемки

Место съемки:

Инструмент: Исполнитель

Точки визирования	Отсчет по дальномеру l,	Отсчет по гориз. кругу,	Отсчет по верт. кругу	Угол наклона	Горизонт. пролож. d, м	Превышение h, м	Высоты точек, м	Примечание, абрис

	м	β		δ				
Станция точ. P_1								$МГ$=90 $К$=100 v=1,55 м i=1,55 м
Р		00°00′					320,20	
1	20,5	30°30′	90°28′	-0°28′	20,5	-0,17	320,03	
2	21,4	129°00′	91°10′	-1°10′	21,4	-0,43	319,76	
3	38,1	143°30'	91°00′	-1°00′	38,1	-0,66	319,53	
4	44,6	186°30′	89°30′	+0°30′	44,6	+0,39	320,59	
5	24,3	316°00′	89°00′	+1°00′	24,3	+0,42	320,62	
Р		00°01′						

Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки начинается с проверки полевых записей в журнале. После проверки журнала камеральную работу выполняют в следующей последовательности:

по координатам *x, y, z* наносят на план горных работ точки съемочного обоснования;

вычисляют горизонтальные проложения, превышения и высотные отметки пикетов;

наносят на план пикетные точки и все элементы и контуры участка съемки, используя абрис.

Для нанесения горизонтальных углов на план применяют простые тахеометрические транспортеры, длин линий - линейки с миллиметровыми делениями.

При съемке авторедукционными, электронными тахеометрами при наведении на пикет автоматически определяют наклонное или горизонтальное расстояние, горизонтальные и вертикальные углы. В зависимости от типа прибора в полевых условиях вычисляются приращения или координаты пикетов. Полученная информация вводится в блок памяти прибора и далее в камеральных условиях при использовании компьютера и программного обеспечения выполняется автоматический процесс составления плана горных выработок карьера.

5.3. Стереофотограмметрическая съемка

Стереофотограмметрическая съемка - способ съемки, позволяющий определять и графически изображать форму, размеры и пространственное положение земной поверхности и других

объектов по фотографическим снимкам методом измерения стереопар. Стереопару составляют два фотоснимка одного участка местности, полученные при разных положениях центра проекции (объектива фотоаппарата).

Различают монокулярное (одним глазом) и бинокулярное (двумя глазами) зрение. Бинокулярное зрение с устойчивым ощущением объемного восприятия объектов в пространстве называют стереоскопическим. Принцип стереоскопического зрения используется для получения стереомодели местности. Бинокулярное рассмотрение двух снимков, содержащих изображение одного и того же объекта, как и наблюдение невооруженным глазом, воссоздает объемное восприятие соответствующего объекта (участка местности), т. е. стереомодель. Поэтому в процессе преобразования фотоизображений в ортогональную проекцию (план) все измерения стереопар осуществляются не в натуре, а в камеральных условиях на специальных измерительных стереоскопических приборах.

Фотографирование местности может осуществляться с подвижных точек - аэрофотосъемка и с неподвижных базисов - наземная фотограмметрическая съемка.

В связи с различием технических приемов обработки стереопар при создании по ним плана различают три случая фотографирования (рис. 5.3):

с отвесным положением оптической оси фотокамеры - вертикальная съемка;

с наклонным положением оптической оси фотокамеры - перспективная съемка;

с горизонтальным положением оптической оси фотокамеры - горизонтальная съемка.

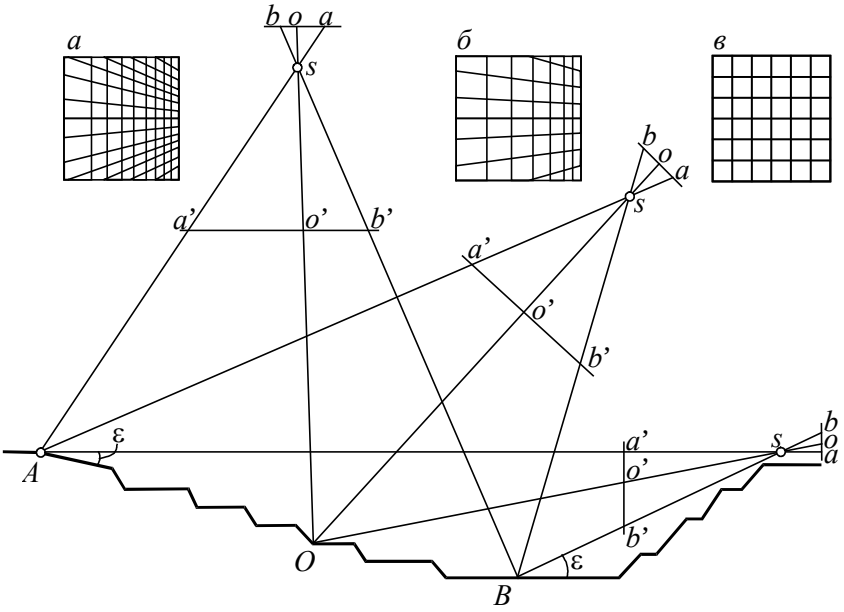


Рис. 5.3. Случаи фотографирования при различных съемках:
а - вертикальная (плановая); *б* – перспективная; *в* - горизонтальная,
so – центр проектирования (объектива), - главная точка снимка,
ε - угол встречи проектирующих лучей с поверхностями снимаемых участков карьера и земной поверхности (должен быть не менее 1-2)

В горном деле фотографическая съемка наиболее широкое распространение получила для съемки открытых горных разработок, включая аэро- или наземную фотограмметрическую съемку.

Основные достоинства фотограмметрической съемки заключаются в следующем:

- высокая точность измерений за счет использования прецизионных приборов и методов обработки на ЭВМ;
- получение в короткие сроки объективной и достоверной информации о состоянии всего объекта в целом или больших его частей;
- получение информации об объекте бесконтактным способом;
- высокая производительность труда;
- возможность изучения неподвижных, медленно или быстро протекающих процессов;
- возможность съёмки труднодоступных участков карьера;

- малый объём полевых работ, что особенно важно для зимнего периода;

- материалы съёмки могут быть использованы для составления геологической документации месторождения.

5.3.1. Аэрофотограмметрическая съемка карьеров (аэросъемка)

Аэрофотограмметрическая съемка карьеров (аэросъемка) основана на обработке (измерении) фотографических снимков (стереопары), полученных из разных точек фотографирования.

Аэросъемку выполняют с летательных аппаратов (самолет или вертолет) при помощи установленного на них аэрофотоаппарата (АФА). Летательный аппарат для этого оборудуется приборами, обеспечивающими операции фотографирования. АФА снабжены объективами с высокой разрешающей способностью и фокусным расстоянием.

Аэросъемка выполняется в более мелком масштабе по сравнению с масштабом плана карьера, и не должно быть меньше 1:10000 - при съемке горных выработок в масштабе 1:1000 и съемке для контрольного определения объема выемки за два года и более; 1:15000 - при съемке горных выработок в масштабе 1:2000 и 1:25000 при съемке складов полезного ископаемого, отвалов вскрышных работ в масштабе 1:5000.

Масштаб и высоту фотографирования определяют по формулам

$$\frac{f}{H} = \frac{1}{m}; \quad H = f \cdot m,$$

где f - фокусное расстояние АФА; H - высота фотографирования; m - масштаб снимка.

Аэросъемку карьера проводят по схеме маршрутов летательного аппарата (рис. 5.4) с соблюдением следующих технических требований:

заданное продольное перекрытие снимков 60 % или 80 %;

угол наклона снимков до 4^{o};

изменение высоты полета в пределах одного маршрута не более 50 м;

величина расчетного линейного смаза фотоизображения не более 0,05 мм.

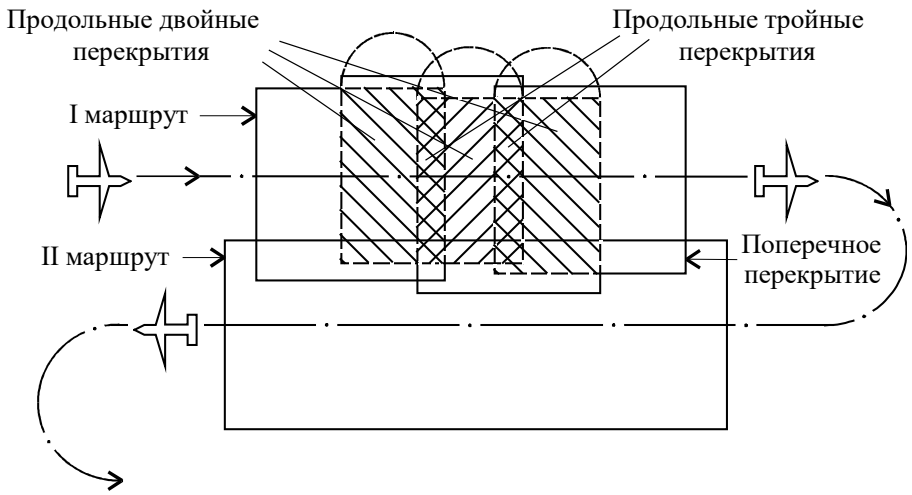


Рис. 5.4. Схема маршрутов аэросъемки

Для работы используют не весь снимок, а его центральную часть. Аэроснимок представляет центральную проекцию местности, полученную при помощи аэрофотоаппарата. Аэрофотоснимок подобен плану снимаемой местности, если местность представляет собой плоскость, а снимок горизонтален, т. е. оптическая ось АФА занимает вертикальное положение. Практически такие случаи невозможны. Поэтому для преобразования аэрофотоснимка в план используют элементы ориентирования, определяющие положение аэрофотоснимка в пространстве в момент фотографирования в заданной системе координат. Их подразделяют на внутренние и внешние элементы ориентирования.

Элементы внутреннего ориентирования позволяют определять положение центра проектирования *S* относительно аэроснимка (рис. 5.5) при помощи фокусного расстояния аэрофотоаппарата и прямоугольной системы координат аэрофотоснимка, образованной прямыми, соединяющими противоположные координатные метки прикладной рамки.

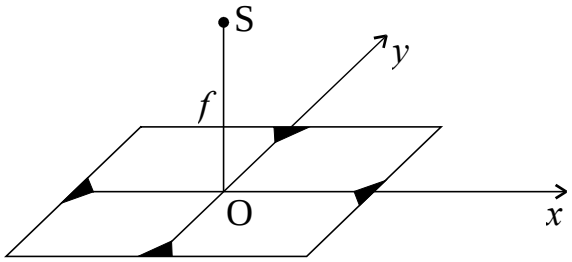


Рис. 5.5. Элементы внутреннего ориентирования
S - центр проектирования (объектив);
ƒ фокусное расстояние АФА;
O - главная точка (центр) аэроснимка

Элементы внешнего ориентирования определяют пространственное положение аэрофотоснимка в момент фотографирования (рис. 5.6). К ним относят:

координаты центра проекции (объектов) X_s, Y_s, $Z_s = H$ - высота фотографирования, при помощи которой определяют положение точки *S* (центра объектива) в принятой на местности системе координат (ось *X* параллельна направлению аэрофотосъемочного маршрута);

угол наклона аэрофотоснимка α, при помощи которого определяют угол отклонения главного луча проектирования *SO* от отвесной линии *Sn,* дирекционный угол направления снимка *A*. Дирекционный угол *A* определяет положение плоскости главного вертикала *W*, в которой находится главный луч *SO*;

угол поворота γ, составленный плоскостью главного вертикала n_o и определяющий поворот аэрофотоснимка в своей плоскости.

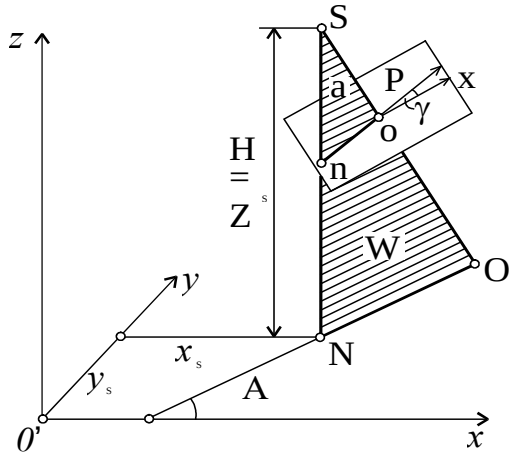


Рис. 5.6. Элементы внешнего ориентирования

Для внешнего ориентирования фотоснимков используют опорные точки, которые закладываются на местности. Плановое и высотное их положения определяют по методике, принятой для пунктов съемочного обоснования. Опорные точки располагают вдоль маршрута аэрофотосъемки. Для надежного опознания пунктов на снимках их маркируют в виде креста или окружностей. Размер знака на местности выбирается таким, чтобы на снимке длина штриха была не менее 0,2 мм, а толщина - 0,03 мм.

Количество опорных точек в карьере определяется с соблюдением следующих условий [3]:

при ежемесячной съемке карьеров глубиной до 200 м каждую стереопару снимков обеспечивают четырьмя планово-высотными опорными точками, расположенными в ее углах;

при съемке карьеров глубиной более 200 м, а также при съемке, выполняемой с целью контрольного определения объемов выемки за длительный период, необходимо дополнительно иметь высотную опорную точку в центре стереопары.

По окончании фотосъемки производится лабораторная обработка фотопленки и изготовляются контактные отпечатки на фотобумаге. Фотографии монтируются на общую основу (подложку) в таком порядке, чтобы в результате получился один общий аэрофотоснимок на весь участок съемки. По общему аэрофотоснимку производится оценка качества летно-съемочных работ, включающая проверку: допустимых отклонений продольного и поперечного перекрытий; сохранения направления и прямолинейности маршрутов; степени разномасштабности и углов наклона снимков и т. п.

Планы горных выработок составляют на универсальных фотограмметрических приборах, у которых средняя квадратическая погрешность определения координат точек модели не должна превышать для плановых координат 0,02 мм в плоскости снимка и для высоты - 0,01 % h, где h - высота проектирования на приборе, мм.

Приборы должны проверяться в соответствии с инструкциями по эксплуатации и юстироваться, если их точность не отвечает указанным требованиям.

Обработка материалов аэрофотосъемки выполняется с использованием ЭВМ для вычисления элементов геодезического

ориентирования модели местности, подсчета объемов выемки горной массы, складов полезных ископаемых и составления планов объектов съемки на графопостроителях.

5.3.2. Наземная фотограмметрическая съемка

Наземная фотограмметрическая съемка - метод изучения и регистрации формы, размеров и пространственного положения объектов по их фотограмметрическим изображениям, полученным с точек земной поверхности [6]. Наземную фотограмметрическую съемку применяют как самостоятельный вид съемки, так и совместно с тахеометрической съемкой. Главным ее преимуществом является значительное сокращение полевых работ и возможность съемки труднодоступных участков карьеров.

Идея метода состоит в том, что пространственное положение третьей точки определяется относительно двух других (базисных) прямой засечкой, причём эта засечка реализуется с помощью стереопары снимков, полученных с земли. В основе наземной фотограмметрии лежат общие математические зависимости между пространственным положением точек объекта и их фотографическими изображениями на фотоснимках.

Суть фотограмметрической съемки сводится к следующему. Фотографирование участка карьера выполняют с двух точек (S_1 и S_2) базисной линии $B_ф$. Полученные с разных точек базиса снимки - левый P_1 и правый P_2 являются стереопарой снимаемого участка (рис. 5.7).

В зависимости от используемой аппаратуры, фотоизображение получается либо в виде плоских фотоснимков (при съемке фототеодолитом), либо в цифровом виде (при съемке цифровой камерой). Элементами стереопары считают:

центры проекций S_1 и S_2 левого и правого фотоснимков, т. е. задние узловые точки объективов фотокамер;

базисную линию (базис фотографирования) $B_ф$, равную расстоянию между центрами проекций фотоснимков;

проектирующие лучи, создающие изображение соответственно a_1S_1A, c_1S_1C на левом, a_2S_2A, c_2S_2C - на правом снимках;

главные лучи, перпендикулярные к плоскостям левого S_1O_1 и правого S_2O_2 фотоснимков;

главные точки пересечения главных лучей с фотоснимками O_1 и O_2;

фокусные расстояния фотоснимков $f_1 = S_1O_1$, $f_2 = S_2O_2$.;

изображения одних и тех же точек снимаемого участка на каждом снимке (на двух снимках стереопары): идентичные точки a_1 и a_2, c_1 и c_2 по соответствующим лучам S_1a_1, S_2a_2, S_1c_1, S_2c_2.

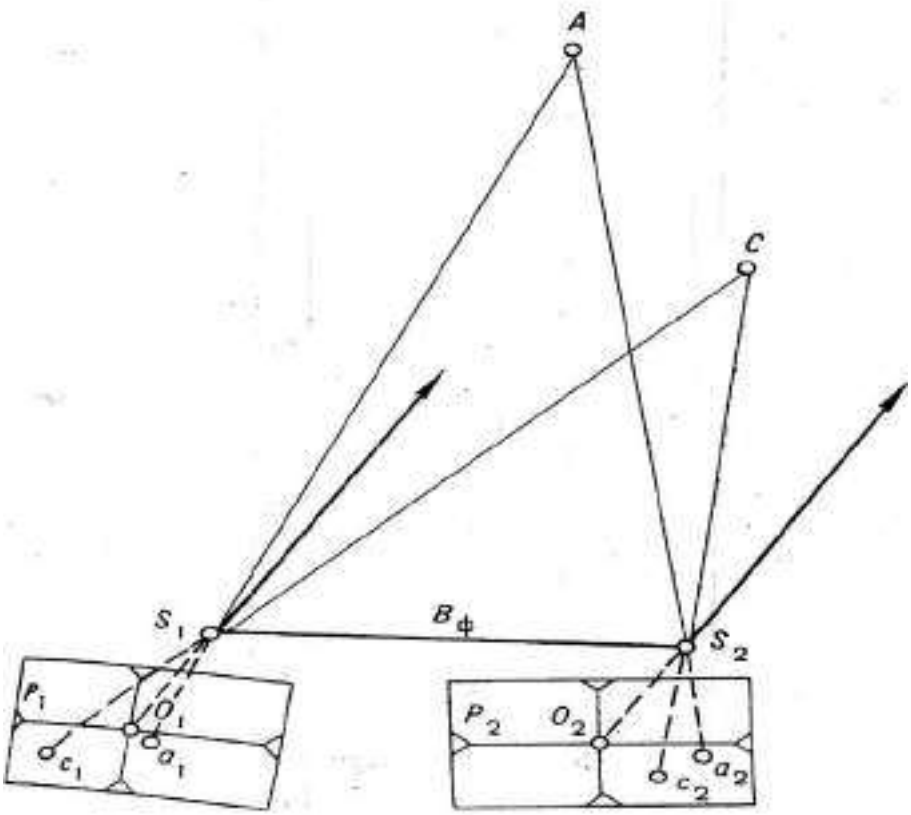


Рис. 5.7. Элементы стереопары снимаемого участка

Таким образом, в фотограмметрической съемке местоположение точки определяется прямой пространственной фотограмметрической засечкой, образующейся проектирующими лучами. Положение точки A (см. рис. 5.7) можно определить ,если известны направления проектирующих лучей a_1S_1A и a_2S_2A, точки C - c_1S_1C и c_2S_2C. Совокупность всех точек пересечения снимаемого участка, образующих поверхность, называется геометрической моделью или моделью участка.

Фотоизображение участка получают или с помощью фототеодолита, в котором конструктивно объединены фотокамера и теодолит, или с помощью цифровой камеры. Прибору обеспечи-

вается неподвижное и определенное положение в момент фотографирования.

Фототеодолитный комплект (Phototheo 19/1318) содержит следующие инструменты и оборудование: фотокамеру, оптический теодолит, двухметровую базисную рейку, три взаимозаменяемых трегера и три марки, три штатива, двадцать четыре деревянных кассеты, юстировочное устройство к фототеодолиту.

Фотокамера снабжена объективом «Ортопротар» с фокусным расстоянием 193 – 194 мм, постоянной диафрагмой с относительным отверстием 1 : 25 и постоянным желтым фильтром.

Полезные углы изображения по горизонтали ~ 47^0, по вертикали ~34. Для увеличения вертикального захвата местности объектив можно перемещать на 30 мм вверх и 45 мм вниз от среднего положения, что обеспечивает вертикальный захват вверх от горизонта ~ 26^0, вниз ~ 29^0.

Максимальная дисторсия объектива не превышает ± 5 мк. В фокальной плоскости его расположена металлическая фигурная прикладная рамка, к которой при съемке прижимается эмульсионный слой фотопластины.

Различают два вида съемки с земной поверхности: при горизонтальном положении оптической оси фотокамеры – горизонтальная съемка, при значительном отклонении оси фотокамеры от горизонтального положения – перспективная съемка. Съемку проводят в трех направлениях: перпендикулярно базисной линии и с отклонением влево или вправо до 35^0 (рис. 5.8). С каждой точки базисной линии фотографируют один и тот же участок карьера и получают стереоскопические пары фотоснимков.

Для обработки результатов фотограмметрической съемки с целью построения и пополнения плана горных работ карьера могут быть использованы оптико-механические приборы (при съемке фототеодолитом) и современные технологии, предназначенные для построения пространственных (фотограмметрических) моделей, цифровых моделей карьера, ортофотопланов, цифровых контурных планов и пространственных векторных объектов. В качестве исходных данных используется цифровая стереопара, которая получается при съемке цифровой камерой

или преобразуется в цифровую форму в процессе сканирования при съемке фототеодолитом.

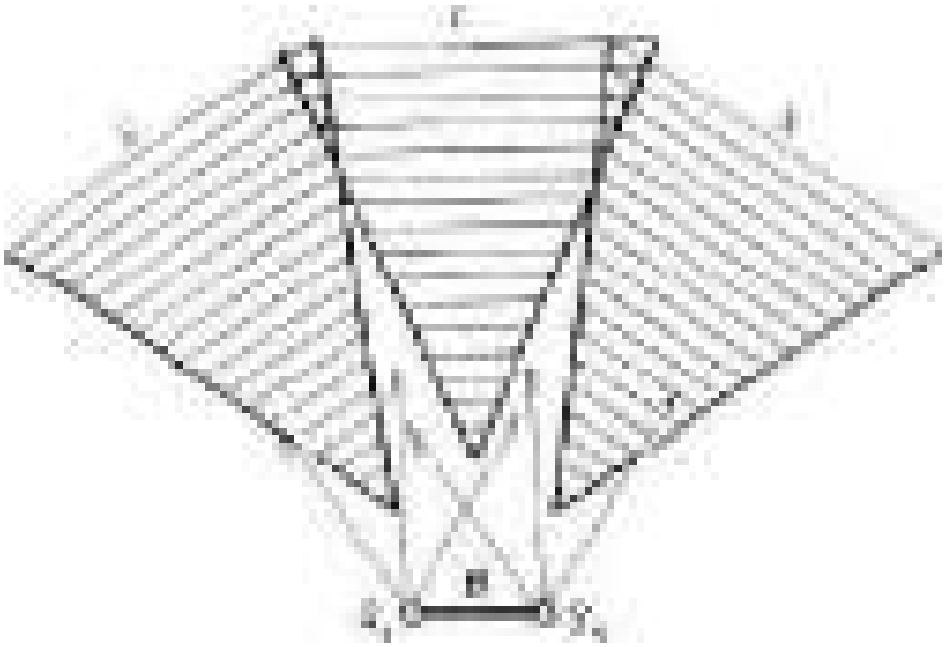


Рис. 5.8. Направление стереофотограмметрической съемки:
1 – перпендикулярно базисной линии;
2, 3 – отклонения от базисной линии влево, вправо

Построение пространственной модели позволяет производить пространственные измерения, т. е. определять и сохранять в специальном файле пространственные (трехмерные) координаты точек изображения и расстояния между точками; создавать, редактировать цифровую модель, измерять геометрические характеристики карьера, описывая их в реальной системе координат (рис. 5.9).

Общая организация наземной фотограмметрической съёмки при создании маркшейдерских планов местности включает ряд взаимосвязанных технологических процессов: подготовительные работы, полевые геодезические работы и фотографирование местности, камеральные фотограмметрические работы.

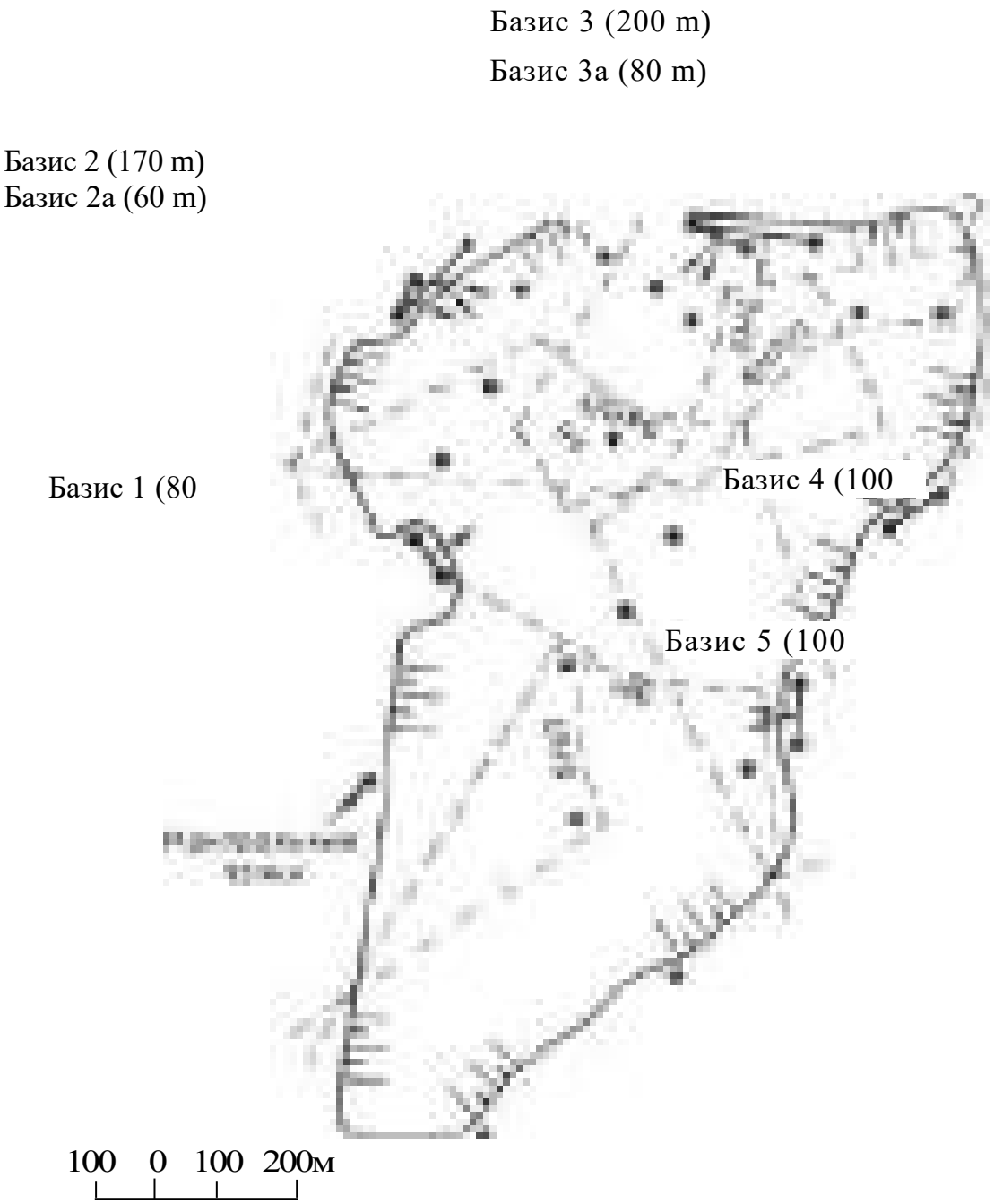


Рис. 5.9. Расположение базисных линий на карьере

Подготовительные работы предшествуют полевым съёмочным работам и включают: подготовку приборов и оборудования; сбор и изучение картографических материалов, имеющихся на район предстоящих работ; составление проекта полевых работ; рекогносцировка участка с целью уточнения проекта съём-

ки, выбора мест расположения базисов фотографирования, контрольных пунктов, точек сгущения опорной сети и уточнения схемы геодезической привязки всех этих точек; закрепление и маркирование выбранных точек на местности.

Подготовка приборов и оборудования состоит в выполнении поверок и юстировок фототеодолитного комплекта.

На основе собранных картматериалов, уточняют размеры и границы площади участка предстоящей съёмки и приступают к составлению предварительного технического проекта съёмки. Основная задача проектирования состоит в выборе мест расположения точек базисов фотографирования – фотостанций, направления осей съёмки, расположения контрольных пунктов и точек сгущения опорной сети.

В связи с тем, что пополнительные съёмки карьеров являются наиболее распространённым видом маркшейдерских съёмочных работ и представляют собой постоянно повторяемый процесс, составление проекта наземной стереофотограмметрической съёмки всего карьера носит преимущественно разовый характер, а в дальнейшем в этот проект вносятся уточнения и дополнения.

Основные требования, определяющие высокое качество проекта, сводятся к обеспечению максимальной полноты охвата участка съёмки наименьшим количеством базисом фотографирования при соблюдении минимального объёма геодезических работ по их привязке и необходимой точности построения плана в заданном масштабе, а также обеспечение необходимой точности определения пространственных координат отдельных точек карьера, удобство расположения базисов, с учётом обеспечения их длительной сохранности.

Проект съёмки состоит из графической части и пояснительной записки. Графическую часть проекта составляют в масштабе 1:5000 – 1:2000, начиная с размещения базисов фотографирования. При выборе мест расположения съёмочных базисов необходимо руководствоваться следующими правилами:

- съёмочные базисы должны располагаться выше снимаемых участков, так как только при этом условии можно обеспечить съёмку без «мёртвых пространств»;

- размещать базисы с таким расчётом, чтобы весь участок был заснят наименьшим количеством стереопар и проектировать по возможности на каждом базисе съёмку с нормальными и равноотклонёнными осями;
- располагать базисы группами, что заметно сокращает затраты времени на фотосъёмку, а также на геодезическую привязку фотостанций;
- соблюдать необходимое перекрытие смежных стереопар соседних базисов, которое в зависимости от сложности форм рельефа должно быть в пределах от 20 до 50%;
- размещать базисы в местах, где будет обеспечена их длительная сохранность.

Наметив на плане предполагаемое место расположения базиса, необходимо прежде всего определить границы участка, который может быть снят с этого базиса. Найдя предельное отстояние Y_{max}, на которое может быть выполнена съёмка с намеченного базиса, определяют его наименьшую длину B_{min}, которая может обеспечить заданную точность составляемого плана

$$B_{min} = \frac{Y_{max}^2 \cdot m_p}{m_y \cdot f \cdot t}$$

где m_p - погрешность измерения продольных параллаксов, принимаемая равной 0,01 мм.; m_y – погрешность планового положения определяемой контурной точки в м.; f – фокусное расстояние фотокамеры; t – коэффициент, учитывающий угол скоса. Если угол отклонения φ = 31,5□^{0}, □□то значение t принимают равным 0,70. при нормальном случае съёмки угол отклонения φ = 0□^{0}, □□поэтому t = 1.

При чрезмерном увеличении длины базиса сокращается площадь обработки стереопары за счёт увеличения минимального отстояния Y_{min} до ближней границы участка съёмки.

На стереопаре наземных снимков минимальное отстояние определяется из соотношения $Y_{min} < 3{,}5\ B$, то есть на отстояниях менее Y_{min} обработка наземной стереопары невозможна.

Необходимую длину базиса удобно находить при помощи номограммы, построенной по формуле нахождения B_{min}.

Полевые работы начинаются с рекогносцировки местности, основной задачей которой является выявление необходимых изменений и дополнений в предварительный технический проект съёмки, составленный в камеральных условиях. В процессе рекогносцировки определяют на местности границы участка съёмки, уточняют места расположения базисных точек и контрольных точек, уточняют схему геодезической привязки фотостанций и контрольных точек (см. рис. 5.9).

Вначале выбирают положение концов базиса, затем контрольные точки и дополнительные точки геодезического обоснования. Для выноса в натуру направления базиса намечают с его левой точки направление главного луча фотокамеры при нормальном случае съёмки, а затем по перпендикуляру к нему выносят правую точку с соблюдением условия прямой видимости между концами базиса.

Наиболее целесообразным является совмещение одной из базисных точек (предпочтительно левой) с точкой опорной геодезической сети, так как при этом резко сокращается объём привязочных работ.

Базисные точки закрепляют на местности постоянными или временными центрами, в зависимости от того, какая предусматривается с данного базиса съёмка – разовая или многократная.

Контрольные точки выбирают с таким расчётом, чтобы они были хорошо видны с обоих концов базиса. Для надёжного опознавания на снимках контрольных точек перед фотографированием их маркируют путём нанесения контрастной по отношению к фону краской правильных геометрических фигур (крест, круг и т.д.) с чётко обозначенным центром или установкой специальных марок.

В результате рекогносцировочных работ составляют рабочий проект съёмки, в котором показывают положение и нумерацию съёмочных базисов, границы и контуры участков съёмки с каждого базиса, положение пронумерованных контрольных точек и места возможного появления “мёртвых зон”.

В пояснительной записке отражают последовательность проведения съёмочных работ со всех базисов и порядок производства геодезических работ.

Полевые работы (фотографирование карьера) являются наиболее ответственным этапом, так как от качества негативов в значительной степени зависит успешное выполнение последующих работ и точность конечных результатов.

Последовательность фотографирования:

ориентируют фотокамеру относительно базиса съемки по меткам на ее корпусе;

на регистратуре устанавливают номер снимка и вид съемки;

горизонтируют фотокамеру и точно ориентируют ее относительно другой точки базиса;

выполняют экспонирование.

В аналогичной последовательности выполняют съёмку при другом положении главного луча камеры. Закончив фотосъёмку с одной точки базиса переходят на другую, где фотокамеру устанавливают в подставку вместо визирной марки.

После фотографирования с обоих точек базиса приступают к измерению его длины. Точность измерения базисов 1:2000 [3].

Измерение коротких базисов длиной до 130 м выполняют горизонтальной базисной двухметровой рейкой, входящей в фототеодолитный комплект.

Угол наклона базиса измеряют теодолитом с одной из базисных точек одним приёмом. Если известны высотные отметки обоих концов базиса, то угол наклона не измеряется.

Ориентирование базиса производят путём измерения теодолитом горизонтальных углов двумя полными приёмами в левой точке между направлениями базиса и направлениями на два пункта опорной геодезической сети.

Определение плановых координат базисных и контрольных точек, не совмещённых с пунктами съемочной сети, в зависимости от условий местности выполняют обратными, прямыми и комбинированными засечками или прокладкой теодолитных ходов. Высотные отметки вычисляют по результатам геометрического или тригонометрического нивелирования.

Камеральная обработка снимков выполняется с целью составления планов или карт, а также для определения пространственных координат отдельных точек сфотографированных участков карьера.

Методы камеральной обработки: аналитический, графический и графомеханический.

Аналитический метод основан на измерении фотокоординат и параллаксов соответственных точек на стереопаре снимков и последующем вычислении пространственных координат точек сфотографированного участка по формулам связи координат точек снимков и участка. Этот метод позволяет решить аналитические соотношения между координатами точек снимков и объекта с высокой точностью.

Обработка наземных снимков аналитическим методом состоит из двух этапов: измерения фотокоординат и параллаксов точек снимков, а затем решения соответствующих зависимостей между координатами соответственных точек сфотографированного участка.

По стереопаре снимков, полученных с базиса, положение которого известно, решается прямая фотограмметрическая засечка и определяются пространственные координаты точек объекта.

В ряде случаев решают обратную фотограмметрическую засечку, когда по нескольким изобразившимся на снимке опорным точкам с известными пространственными координатами определяют неизвестные элементы ориентирования снимка, в том числе и пространственные координаты центра фотографирования.

Для решения таких задач в фотограмметрии используют стереокомпаратор – высокоточный стереофотограмметрический прибор, предназначенный для измерения фотокоординат и параллаксов точек на фотоснимках способом мнимой марки.

Аналитический метод относится к самым точным методам обработки наземных снимков, поскольку в измеряемые фотокоординаты можно ввести поправки за погрешности элементов ориентирования. Благодаря этому можно максимально полностью использовать ту точность, которую дают фотоизображения. Погрешности аналитического метода обусловлены главным образом:

погрешностями полевых работ;

геометрическими искажениями самих снимков;

погрешностями измерений этих снимков.

Основным недостатком этого метода является то обстоятельство, что он представляет собой точечный метод обработки, то есть искомые координаты определяют по отдельным точкам.

Графический метод получения по снимкам координат точек местности основан на решении уравнений связи координат точек снимков и объекта путём графических построений.

В настоящее время графический метод на производстве не применяется, поскольку имеет существенные недостатки: невысокая точность и большая трудоёмкость.

Графомеханический метод позволяет составить план или карту сфотографированного участка местности по стереопаре наземных фотоснимков без непосредственного измерения фотокоординат и параллаксов точек снимков. От аналитического и графического методов он отличается тем, что объекты и контуры на плане наносятся непосредственным вычерчиванием, то есть не является точечным методам.

Графометрический метод позволяет составить план или карту сфотографированного участка местности по стереопаре без непосредственного измерения фотокоординат и параллаксов точек снимка.

Данный метод основан на использовании универсальных приборов: стереокомпаратора в комплексе с координатографом и современного аналитического фотограмметрического «стереоанаграфа» (рис. 5.10).



Рис. 5.10. Стереоанаграф-6

По техническим характеристикам (табл. 5.2) и трудозатратам «Стереоанаграф» превосходит стереокомпаратор.

Таблица 5.2

Техническая характеристика фотограмметрического прибора “Стереоанаграф-6”

Максимальный формат обработки снимков, мм	300 х 300
Фокусное расстояние снимков, мм	0 - 100
Перекрытие обрабатываемых снимков, %	0 – 100
Разрешение, мкм	1
Инструментальная ср. квадратическая погрешность определения координат, мкм не более	± 3
Плавное изменение увеличения наблюдательной системы, крат	7 - 21
Возможность переключения оптических осей	имеется
Размер измерительной марки, мкм	25 - 100
Разворот изображения, градусов	360
Управляющий компьютер	Intel Windows
Питающее напряжение	220В/50/60 Гц
Потребляемая мощность, без компьютера	150 Вт (Макс)
Масса, кг	250
Габаритные размеры, мм	1600х1400х1000

Прибор аналитический фотограмметрический “Стереоанаграф-6” предназначен для создания планов и карт всего масштабного ряда. Расширенный пакет программ обеспечивает дополнительные возможности прибора по обработке космических, архитектурных и маркшейдерских фототеодолитных снимков.

Прибор работает под управлением оператора персональной электронной вычислительной машины, укомплектованной пакетом прикладных программ, который позволяет автоматизировать процессы:

тестирование прибора;

подготовку исходных данных;

внутреннее, внешнее и взаимное ориентирование снимков;

оценку точности ориентирования снимков обрабатываемой стереопары;

выдачу информации на плоттер, принтер.

Стереоанаграф состоит из ПЭВМ, стереокомпаратора, координатографа.

ПЭВМ включает в себя программное обеспечение, модуль связи стереокомпаратора (МСС), модуль связи координатографа (МСК), предназначена для:

- выполнения совместно со стереокомпаратором и координатографом задач технологических операций, заложенных в программном обеспечении прибора;
- вычисления координат элементов снимков обрабатываемой стереопары и создаваемых планов;
- хранения результатов обработки снимков, выдачи их на печатающее устройство, дискету и координатограф;
- обмена информацией между стереокомпаратором, координатографом и программным обеспечением;
- управления работой стереокомпаратора и координатографа в процессе выполнения технологических операций, заложенных в программном обеспечении;

Стереокомпаратор может работать в трёх режимах: режиме комбинированного управления, при котором управление осуществляется оператором с применением ручных штурвалов, ножного штурвала и программным обеспечением; режиме программного управления (без применения ножного и ручных штурвалов); режиме ручного управления (без участия программного обеспечения).

Координатограф включает вместо снимкодержателя пишущее устройство, сервопривод и датчик. Как и стереокомпаратор работает в трёх режимах.

В основе графоаналитического метода лежит решение фотограмметрической засечки с использованием ПЭВМ. Метод является перспективным при построении планов и карт, а также при решении различных маркшейдерских задач при разработке открытым способом.

5.4. Лазерное сканирование в карьерах и разрезах

5.4.1. Основные положения и технология лазерного сканирования

Для построения точной масштабной модели какого-либо объекта, будь это карта местности, план карьера или отвала, план-схема расположения технологического оборудования, необходимо сначала провести геодезические измерения и получить пространственные координаты всех характерных точек, а затем представить их в графическом виде. Определение пространственных координат точек объекта, или съемка, составляет наиболее трудоемкую и затратную часть всей работы. Как правило, при производстве достаточно больших объемов полевых измерений геодезистами используется современное оборудование, в первую очередь электронные тахеометры, позволяющие получать координаты съемочных точек с миллиметровым уровнем точности.

Принцип работы электронного тахеометра основан на отражении узконаправленного лазерного пучка от отражающей цели и измерении расстояния до нее. Отражателем в общем случае служит специальная призма, установленная на вешке или закрепленная на поверхности объекта. Измерение двух углов – горизонтального и вертикального дает возможность вычислить трехмерные пространственные координаты точки отражения, а возможности полевого кодирования позволяют назначить съемочному пикету уникальный идентификационный код. Поскольку скорость измерения тахеометра относительно невысока – не более 2 измерений в секунду, то такой метод эффективен при съемке разреженной, не загруженной объектами площади. Кроме этого, при производстве съемки зачастую приходится сталкиваться со сложностями, связанными с координированием неприступных объектов либо участков, где нахождение человека либо невозможно, либо небезопасно, либо создает препятствия для нормальной работы технологического оборудования.

Появление в последние годы безотражательных электронных тахеометров, имеющих возможность работать без специальных призм, и их широкое использование в практике маркшейдерско-геодезических измерений, позволило не только эффективно производить тахеометрическую съемку неприступных объектов, объектов сложной конфигурации, для съемки которых приходи-

лось использовать шесты и лестницы, но и в ряде случаев полностью отказаться от рабочего с рейкой. Для координирования пикетной точки достаточно просто навестись на нее, и нажать одну клавишу на панели управления, лазерный луч отражается от любой достаточно ровной поверхности, находящейся на расстоянии до 500 метров от точки установки прибора.

Внедрение новых технологий в области традиционных геодезических и смежных с ними координатных измерений все же не в полной мере удовлетворяет качество и полноту получаемых данных для построения цифровых моделей измеряемых объектов. До недавнего времени еще оставался открытым вопрос о том, сколько времени потребуется на съемку достаточно крупных и динамично изменяющихся объектов, таких, как рабочий борт карьера, отвал пустых пород или склад руды; с какой плотностью будут получены измерения, с какой точностью и достоверностью; какие затраты времени потребуются для детальной съемки объекта площадью десятки и сотни гектаров. Использование безотражательного электронного тахеометра может значительно сократить сроки выполнения полевого этапа работ, однако, все равно придется провести за прибором долгие часы и дни. Специфика горных работ: постоянное изменение объекта съемки во времени и в пространстве предопределяет необходимость проведения все новых и новых измерений. К тому же дискретные и разреженные координатные данные не позволяют с максимальной точностью описать объект съемки: слишком мало информации.

Удовлетворить все потребности маркшейдера и геодезиста смог бы, пожалуй, безотражательный тахеометр, который ведет съемку автоматически, без участия оператора, со скоростью 5 тысяч измерений в секунду. Еще несколько лет назад такая технология проведения геодезических съемок представлялась абсолютно нереальной, однако сегодня она уже широко используется для выполнения различного рода съемочных работ. Название этой технологии – метод лазерного сканирования.

Лазерное сканирование – это метод, позволяющий создать цифровую модель окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Несмотря на принципиальную новизну данного метода, его можно рассматри-

вать как логическое продолжение развития безотражательных технологий и их использования в геодезических инструментах. Основное отличие метода лазерного сканирования от традиционных тахеометров – гораздо большая скорость измерений, сервопривод, автоматически поворачивающий измерительную головку инструмента в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а самое главное – скорость (5000 измерений в секунду) и плотность (десятки точек на 1 кв. сантиметр поверхности). Полученная в результате измерений цифровая модель объекта представляет собой набор от сотен тысяч до нескольких миллионов точек, имеющих пространственные координаты с высокой точностью. Кроме этого в большинстве современных сканеров имеется встроенная цифровая камера, позволяющая для каждой точки трехмерного растрового изображения определить показатели интенсивности отражения и истинного цвета, которые на этапе камеральной обработки используются не только для трансформации растрового изображения в векторный формат, но и для изучения геологического строения объекта.

С другой стороны, лазерное сканирование не позволяет решить все проблемы маркшейдера простым нажатием кнопки. Законы физики и теории электромагнитного излучения не позволяют производить измерения сквозь непрозрачные объекты, вынуждая производить несколько сканов с различных точек и их дальнейшую сшивку для получения полной и цельной картины, но, несмотря на это, на сегодняшний день это самый быстрый и информативный метод получения данных об объекте.

Принцип работы лазерного сканера тот же, что и у обычного электронного тахеометра, – измерение расстояния до объекта и двух углов – горизонтального и вертикального, что в конечном итоге дает возможность вычислить пространственные координаты точки. Лазерный излучатель с заранее определенным временным интервалом генерирует пучок электромагнитных волн, который отражается от поверхности снимаемого объекта и возвращается в приемник, как показано на рис. 5.10.

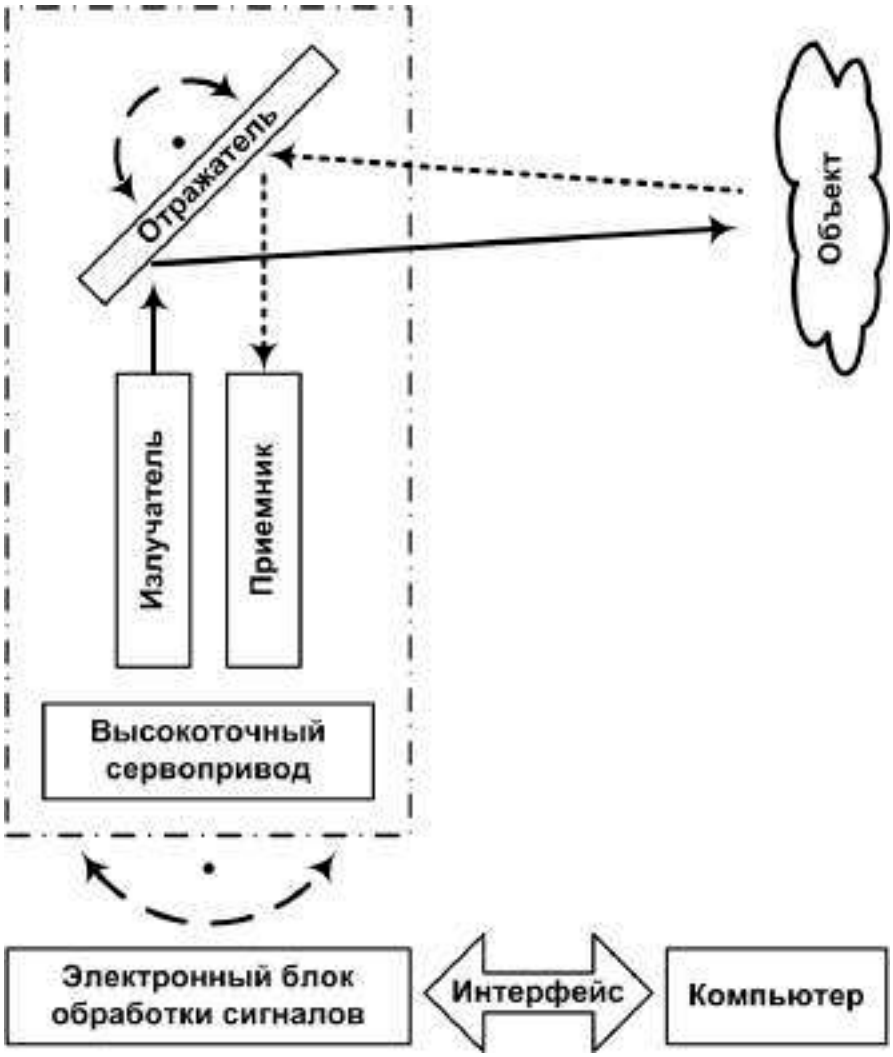


Рис. 5.10. Принцип работы лазерного сканера

Одновременно с генерацией сигнала излучатель посылает сигнал «старт», который поступает в электронный блок обработки сигналов; в этот же блок поступает сигнал «стоп» от приемника, когда он получает отраженный от объекта сигнал. Излученный и принятый сигналы сравниваются, и по времени прохождения вычисляется расстояние до объекта.

Вращающаяся призма, или зеркало, распределяет лазерный пучок по вертикали с заранее заданным шагом, например 0,1º. Таким образом, в отдельно взятом вертикальном скане будут измерены все точки с дискретностью 0,1º, что при вертикальном угле сканирования, равном 140º, даст 1400 съемочных точек. Затем высокоточный сервопривод поворачивает блок измерительной головки на угол, равный шагу измерения, и цикл измерений повторяется снова. При такой же дискретности 0,1º полный обо-

рот сканера состоит из 3600 отдельных вертикальных плоскостей.

Таким образом, полная цифровая картина пространства будет представлена в виде набора из более чем 5 миллионов (5040000) точек с известными пространственными координатами, для получения которой необходимо затратить около 30 минут времени. Как правило, весь процесс съемки полностью автоматизирован, оператору необходимо только ввести параметры съемки – граничные углы в вертикальной и горизонтальной плоскостях и дискретность съемки. Данные измерений в реальном времени записываются на внешний или внутренний накопитель, а встроенная система визуализации выдает изображение на дисплей специального компьютера.

Схематично любой лазерный сканер можно разделить на несколько основных блоков:

1. Измерительная головка, в которой расположены лазерный излучатель и приемник, обеспечивающие измерение расстояния до объекта.

2. Вращающееся зеркало, или призма, которое обеспечивает распределение лазерного пучка в вертикальной плоскости.

3. Высокоточный сервопривод горизонтального круга, который обеспечивает вращение измерительной головки в горизонтальной плоскости.

4. Электронно-вычислительный блок обработки сигналов со встроенным прецизионным таймером обеспечивает высокоточное измерение расстояний до объекта.

5. Внешний или внутренний компьютер, который предназначен для управления процессом съемки и записи данных на носитель.

Типовая система лазерного сканирования способна проводить работы по получению трехмерной цифровой модели с точностью от долей миллиметра до 5 см на расстоянии от нескольких десятков до 2500 метров за время от нескольких секунд до десятков минут. Лазерный сканер имеет поле зрения от 40ºx40º до 360ºx180º и подходит для съемки и моделирования местности и инженерных объектов.

После того, как произведены измерения в полевых условиях, начинается процесс обработки. Изначально «сырые измере-

ния» представляют собой набор – «облако» точек, имеющих трехмерные координаты и дополнительные характеристики, такие как цвет и интенсивность отраженного сигнала. Облако точек, полученное при лазерном сканировании участка трансформаторной подстанции, приведено на рис. 5.11.

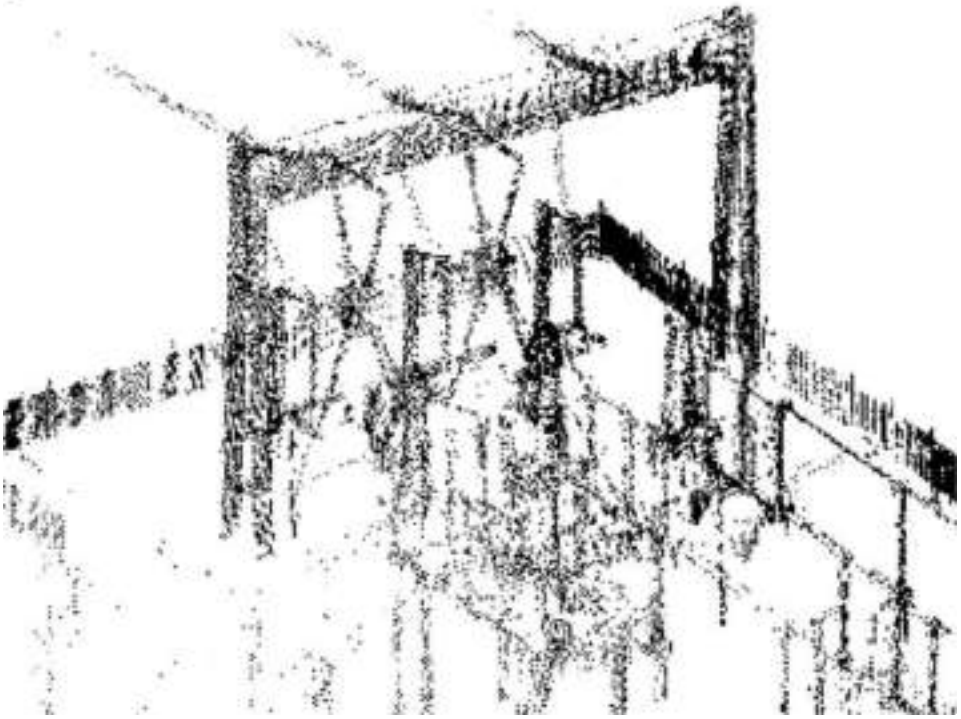


Рис. 5.11. Облако точек, полученное при лазерном сканировании объекта

Однако для практического применения результатов съемки облако точек необходимо представить в виде чертежей и схем в CAD-форматах и на твердых носителях. В настоящий момент времени никакое программное обеспечение не может успешно решить проблему распознавания образов в автоматическом режиме с той степенью достоверности, которая нужна пользователю, поэтому процесс обработки требует участия человека, и без кропотливого ручного труда в ближайшем будущем не обойтись.

Процесс обработки во многом зависит от желаемого результата, от того, что конкретно нужно получить. Это может быть само облако точек, пространственная сеть триангулированных ячеек (TIN), набор сечений, план, сложная 3D-модель либо просто набор измерений, таких, как длины, периметры, диаметры, площади, объемы. В целом камеральная обработка результа-

тов лазерного сканирования состоит из нескольких основных этапов:

1. *Предварительная обработка сырых сканов.* На этом этапе обработки определяется качество полученных пространственных сканов, удаляются некачественные измерения, шумы и «фантомные» объекты. Причиной шумов в большинстве случаев являются атмосферные условия измерений – осадки в виде дождя и снега, влияние которых можно исключить с использованием системы фильтрации помех. Фантомные объекты возникают при кратковременном нахождении в зоне сканирования людей, животных, работающих механизмов. Поскольку лазерный сканер на определенных установках съемки способен «пробивать» частично прозрачные объекты, например травянистую растительность до почвенного слоя, фантомные поверхности могут возникать при таких видах съемки.

2. *Объединение или «сшивка» сканов.* Как правило, во время съемки объекта проводится несколько сканов для полного покрытия поверхности. Для создания единого скана необходимо произвести объединение – «сшивку» единичных сканов. Существует множество методов сшивки сканов с различной степенью автоматизации. Наиболее часто используется метод совмещения сканов по опорным точкам, которые отображаются на смежных сканах. В качестве таких точек могут быть использованы четко идентифицируемые объекты местности, специальные марки, призмы, светоотражающие пластины или наклейки, имеющие более высокий коэффициент отражения и поэтому вполне однозначно определяемые.

3. *Трансформирование координат.* Для точного представление чертежа, плана или схемы необходимо задание определенной единой системы координат. Начало системы координат каждого отдельного скана, производимого с определенной точки, находится в центре измерительной головки сканера, и при каждой новой съемке (точки сканирования) происходит перемещение центра сканирования в пространственной системе координат. Для связи координат объекта, полученных из разных сканов, необходимо выбрать единую систему координат, определить в ней центр сканирования для каждого отдельного скана и трансформировать все полученные координаты в единую систему. Ес-

ли лазерное сканирование объекта выполняется с точек съемочного обоснования горного предприятия, особых проблем операция трансформирования координат не вызывает. В этом случае необходимо только указать в программе обработки координаты точек стояния прибора и высоту установки. В остальных случаях потребуется дополнительно закоординировать точки стояния прибора, например, при помощи электронного тахеометра.

4. *Создание поверхностей.* Основной и наиболее сложный процесс камеральной обработки заключается в представлении облаков точек математически описываемыми поверхностями. Как правило, математический аппарат прикладного программного обеспечения позволяет создавать простейшие правильные математические поверхности, такие, как плоскость, сфера, цилиндр и пр., либо аппроксимировать поверхность триангуляционным методом в виде TIN-поверхности. Созданные подобным образом поверхности вполне представимы в стандартных форматах типа DXF и могут быть экспортированы в любые CAD-приложения, в которых полученные поверхности можно трансформировать в планы и схемы, выделить характерные геометрические элементы, такие, как откосы, бровки уступов, назначить отдельным объектам условные знаки, построить изолинии, распечатать полученный чертеж на бумажном носителе. В случае, если сканирование сопровождается цифровой видео- или фотосъемкой, то на этапе обработки можно совместить сканированное изображение объекта с его видеоизображением, придав скану реальные цвета и структуру. Эта возможность позволяет попутно выполнять геологическое картирование при топографических съемках карьеров.

5.4.2. Приборное обеспечение технологии лазерного сканирования

Основой любой технологии производства геодезических съемок является ее приборное обеспечение. В настоящее время на рынке представлено несколько моделей лазерных сканеров, различающихся как по области их применения, так и по основным техническим характеристикам. Лазерные сканеры наземного сканирования по сфере их применения условно можно разделить на две большие группы:

1. Для работы в помещениях, внутри зданий, подземных выработок, для съемок резервуаров и насыпных объектов и еще целого ряда работ, где требуется высокая точность измерений, широкий диапазон сканирования и небольшая дальность измерений.

2. Для работы вне помещений, топографической съемки площадок, зданий, фасадов, дорог, мониторинга состояния сложных строительных объектов, создания 3D-моделей сложных технологических производств, где требуется большая дальность измерений.

Ниже будут рассмотрены две наиболее популярные системы лазерного сканирования, хорошо зарекомендовавшие себя при решении различных задач, с том числе в горной промышленности, в строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Лазерная сканирующая система "Callidus" (Германия)

Лазерная сканирующая система "Callidus" (рис. 5.12.) обладает рядом уникальных особенностей, позволивших ей занять лидирующее положение в нише сканеров для архитектуры, съемки зданий, промышленных цехов и небольших объектов.

Главная техническая особенность лазерного сканера "Callidus" - большой угол обзора: 360º в горизонтальной плоскости и 180º - в вертикальной. Такое широкое поле зрения позволяет сканеру при съемке замкнутого пространства сделать всего один скан, где другим моделям сканера необходимо сделать не менее 40-50 сканов. Высокая точность измерений до 5 мм – еще одна особенность сканера "Callidus", и лишь немногие сканирующие системы способны достичь такой точности в линейных измерениях. Специальная технология определения объемов, реализованная в данном сканере, позволяет определять объемы резервуаров и насыпных объектов с погрешностью 0,07 %. Эти особенности и определяют место сканера "Callidus" как идеального прибора для съемки небольших объектов, внутренних поверхностей, подземного строительства, съемки резервуаров и насыпных объектов.



Рис. 5.12. Лазерная сканирующая система "Callidus"

"Callidus" широко используется в горной промышленности, в частности в тоннелестроении, где требуется высокая точность и максимально полная информация об объекте. При открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых сканер успешно используется для детального структурно-геологического картирования бортов карьеров, мониторинга состояния бортов карьеров, определения объемов рудных складов, съемок технологического оборудования обогатительных фабрик, подкрановых путей и проч. Благодаря расширенному температурному диапазону работы (от -10 до +40 °С), сканер можно использовать зимой, а учитывая, что конструкция корпуса имеет повышенную пыле- и влагозащищенность, - и в сложных погодных условиях или в местах с высокой запыленностью (производственные цеха, подземные выработки, обогатительные фабрики). Просто реализован механизм сшивки сканов в единое облако, поддерживаемый на аппаратном уровне.

Прибор во время сканирования распознаёт стандартные геодезические отражатели и сохраняет в файле данных не только «облако» точек и цифровое растровое изображение, но и направление на область с высокой отражающей способностью. По известным координатам призмы и сканера, используя специализированное программное обеспечение, за считанные минуты можно не только сшить несколько сканов в единое облако, но и трансформировать координаты в любую систему. Сшивку сканов можно осуществить и вручную, по характерным точкам, находящимся в областях перекрытия, в том случае, если во время выполнения полевых работ не было возможности вычислить координаты.

Важной особенностью Callidus является встроенная в корпус цифровая видеокамера, получающая одновременно с процессом сканирования панорамные изображения объекта в формате RGB. Параметры камеры (18-кратное увеличение, изменяемое фокусное расстояние, возможность работы при освещённости в 1 люкс) позволяют в дальнейшем наложить на пространственную модель объекта высококачественную текстуру либо просто раскрасить все точки в реальные цвета, что позволяет использовать данную модель при геологическом картировании.

Основные технические характеристики лазерного сканера Callidus приведены ниже.

Общие характеристики

Метод измерения расстояний: измерение времени распространения лазерного луча.

Диапазон сканирования: горизонтальный 360º; вертикальный 180º.

Дискретность измерений (угловое разрешение): по горизонтали от 0,01º до 1º; по вертикали от 0,25º до 1º

Дальность измерения: до 150 м.

Скорость измерения: до 1750 точек/с.

Погрешность измерения расстояний: от 5 до 50 мм (зависит от дальности).

Особенности: вертикальное сканирование при помощи вращающейся призмы. Возможность многократного измерения координат одной точки. Лазер, безопасный для глаз. Встроенная цифровая камера с увеличением 18^x. Встроенный компас. Работа от сети и аккумуляторов

Физические характеристики

Размеры: сканер 460 (высота) х 300 мм. Компьютер 450х310х200 мм.

Вес системы: полный комплект – 42 кг, в т. ч. сканер – 13 кг, компьютер 13 кг.
Температура: рабочая от -10º до +40º. Хранения от -20º до +70º.

Лазерная сканирующая система "Mensi GS200" (Франция - США)

Лазерный сканер GS200 (рис. 5.13) французской фирмы "Mensi", вошедшей в состав компании "Trimble", предназначен в первую очередь для проведения работ на крупных объектах. Сканер может измерять расстояния до 350 м со скоростью до 5000 точек в секунду. При этом в зависимости от дальности, сохраняется уникальная точность измерений от 1,4 до 6,5 мм. Разрешающая способность сканера (0,0018°) наряду с малым угловым размером лазерного пятна (0,0036°) позволяет построить подробную 3D-модель объекта, находясь на значительном удалении от него.

Одним из главных достоинств GS200 является возможность фокусировки лазерного луча на объекте двумя способами - автоматическим и ручным. Первый способ позволяет сэкономить время, второй способ позволяет добиться минимального размера лазерного пятна. Для сканеров такого класса это крайне высокий показатель. Действительно, "Mensi GS200" способна различать довольно мелкие предметы на значительных расстояниях.



Рис 5.13. Лазерная сканирующая система "Mensi GS200"

Для повышения точности измерений дальности предусмотрен режим многократных измерений, когда значение дальности до объекта рассчитывается как среднее из набора. Повышение точности позволяет уменьшить рыхлость облака точек, что упрощает и ускоряет обработку точечного массива, открывая дополнительные возможности при обработке.

Сканер имеет встроенную видеокамеру, получающую RGB-информацию об объекте, что позволяет впоследствии раскрасить полученные точки в реальные цвета либо наложить текстуру на сетевую модель. Выбор сектора сканирования осуществляется при помощью камеры: необходимо выделить курсором на изображении объекта ту часть, которую нужно отсканировать, задать параметры, и сканер уже приступает к работе. "Mensi GS200" управляется программным обеспечением, устанавливаемым на обычный портативный компьютер, связь управляющей программы со сканером осуществляется либо по кабелю, либо по радиолинии. В последнем случае оператор во время работы может находиться за десятки и сотни метров от сканера. Поле зрения сканера ограничено только по вертикали - 60°. По горизонтали же сканер во время работы вращается вокруг собственной оси, делая полный оборот на 360°.

Лазерная сканирующая система "Mensi GS200" поддерживает несколько методов сшивки сканов в единое облако точек и привязки к системе координат. В первом способе используются стандартные отражатели в виде сфер диаметром 76 мм. Вокруг объекта расставляется, либо крепится на объект несколько сфер. Установка выполняется таким образом, чтобы сферы попали в сектора видимости с других точек установки прибора. В дальнейшем программное обеспечение позволяет автоматически распознать сферы, а затем вычислить координаты их центров и сшить сканы. Во втором способе используются пленочные отражатели. На объект наклеивается несколько марок-отражателей, координаты которых вычисляются с помощью тахеометра. При обработке задаются координаты каждой марки и с помощью программного обеспечения облака сшиваются в единый скан. Третий способ не требует ни сфер, ни отражателей, а при обработке дан-

ных сканы сшиваются вручную, по характерным точкам, попавшим в область перекрытия.

Основная область практического применения сканера "Mensi" - топографическая съемка достаточно крупных объектов, как площадных, так и со сложной застройкой, профилирование дорог и съемка мостов. Широко система используется при реконструкции, строительстве и обмере зданий, мониторинге технического состояния таких объектов как плотины и дамбы. В горной промышленности сканер используется для создания и мониторинга цифровых моделей карьеров и подземных выработок, причем для небольших карьеров возможна съемка рабочего борта с одной или двух точек, расположенных на нерабочем борту карьера. Использование системы лазерного сканирования для определения объемов горных выработок, рудных складов и отвалов позволяет не только в разы увеличить оперативность получения информации, но и производить работы с высокой степенью точности, а использование при замерах цифровых технологий, позволяет контролировать развитие горных работ в 3D-динамике.

Основные технические характеристики лазерного сканера "Mensi GS200" приведены ниже.

Общие характеристики

Метод измерения расстояний: измерение времени распространения лазерного луча.

Диапазон сканирования: горизонтальный 360º; вертикальный 60º.

Максимальное угловое разрешение: 0,0018º .

Дальность измерения: до 350 м.

Скорость измерения: до 5000 точек/с.

Погрешность измерения расстояний: от 1,4 до 3,5 мм (дальность до 150 м); от 6,5 мм (дальность свыше 200 м).

Особенности: вертикальное сканирование при помощи поворотного зеркала.

Возможность многократного измерения координат одной точки.

Имеется автофокус. Встроенная цифровая камера с увеличением 5х, разрешение 768х576. Координатная привязка к системе координат по отражателям. Работа от сети и аккумуляторов.

Физические характеристики

Размеры: сканер 420 (высота) х 300 мм. Блок питания 100 х 200 х 65 мм

Вес системы: полный комплект – 18 кг, в т.ч. сканер – 13,5 кг, блок питания 1,5 кг, дополнительное питание – 12-18 кг.
Температура: рабочая от -10º до +40º; хранения от -20º до +50º.

Лазерная сканирующая система Riegl

Основное предназначение и области применения лазерных сканеров RIEGL:

трехмерная съемка зданий, инженерных сооружений и сложных поверхностей;

геологическая и индустриальная съемка;

топографическая съемка открытых горных выработок, шахт, рудников, туннелей и т.п.;

определение размеров и объемов отвалов, котлованов, резервуаров, трубопроводов;

создание сцен виртуальной реальности для приложений трехмерного моделирования.

Сравнительные характеристики лазерных наземных сканеров RIEGL приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Сравнительные характеристики лазерных наземных сканеров RIEGL

Параметры	**LMS-Z620**	**LMS-Z420i**	**LMS-Z390i**	**LMS-Z210ii**	**LPM-321**
Максимальное измеряемое расстояние *для естественных целей,* ρ>80% *для естественных целей,* ρ>10%	2000 м 650 м	1000 м 350 м	400 м 140 м	650 м 200 м	6000 м 1500 м
Минимальное измеряемое расстояние	2 м	2 м	1 м	4 м	10 м
Точность измерения расстояний **- одиночного импульса** **- средняя повторяемость**	10 мм 5 мм	10 мм 4 мм	6 мм 2 мм	15 мм 10 мм	25 мм
Скорость сканирования	от 8000 до 11000	от 8000 до 11000	от 8000 до 11000	от 8000 до 10000	от 10 до 1000 (то-

	(точек/сек)	(точек/сек)	(точек/сек)	(точек/сек)	чек/сек)
Поле зрения сканирования	80 x 360 градусов	80 x 360 градусов	80x360 градусов	80 x 360 градусов	150 x 360 градусов
Расходимость лазерного луча	0,15 микрорадиан	0,25 микрорадиан	0,3 микрорадиан	0,27 микрорадиан	0,8 микрорадиан
Класс безопасности	1	1	1	1	1
Класс защиты	IP64	IP 64	IP 64	IP 64	IEC60825-1:1993+A1:1997+A2:2001
Рабочее напряжение (постоянного тока)	12-28 В	12-28 В	12-28 В	12-28 В	12-28 В
Потребляемая мощность	75 Вт	78 Вт	до 55 Вт	78 Вт	~ 60 Вт
Диапазон температур **- рабочий** **- при термостабилизации**	от 0° С до +40° С (работы) от -10° С до +50° С (хранение)	0°+40° С -25° +50° С	0 +40° С -20+ 50° С	-10° +50° С -25° +50° С	от 0° С до +45° С (работы) от -20° С до +70° С (хранение)
Основные размеры (диаметр х высота) (длина х ширина х высота)	463 x 210 мм (Длина х Диаметр)	210 x 463 мм	210x463 мм	210 x 437 мм	~315 x ~370 x ~450 мм
Вес	16 кг	16 кг	15 кг	13,5 кг	~ 16 кг

На рис. 5.14, 5.15 показан наземный лазерный сканер LMS-Z420i, в табл. 5.4 его технические характеристики.



Рис. 5.14. Наземный лазерный сканер LMS-Z420i

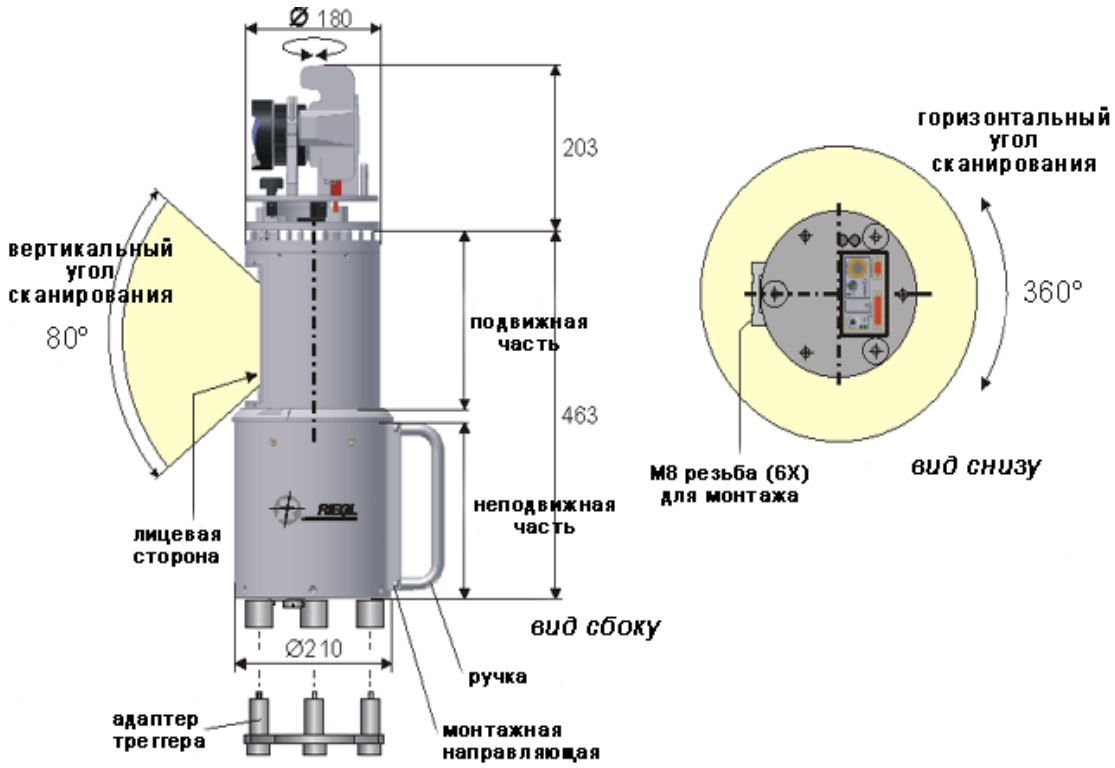


Рис. 5.15. Основные геометрические параметры лазерного сканера LMS-Z420i

Таблица 5.4

Технические характеристики лазерного сканера Riegl LMS-Z420i

Тип инструмента	Импульсный лазерный скенер
Интерфейс	Защищенный планшетный компьютер
Двигатель	Сервопривод
Накопитель данных	Защищенный планшетный компьютер
Камера	Цифровая фотокамера (дополнительная опция)
Тип	Импульсный
Класс лазера	класс лазера 1 (БЕЗОПАСЕН ДЛЯ ГЛАЗ)
Диапазон измерения расстояний	от 2 до 1000 метров
Скорость	от 8000 точек/сек до 11000 точек/сек
Расхождение лазерного луча	0.25 микрорадиан
Точность измерения расстояния	10 мм одиночного выстрела 4 мм средняя повторяемость
Поле зрения	
Диапазон сканирования	по горизонтали 360 °
	по вертикали 80 °
Передача данных	Интегрированный TCP/IP Ethernet-интерфейс
Хранение данных	Защищенный PC
Компенсатор	Встроенный компенсатор наклона
Установка	Геодезический штатив с треггером
Питание	12-28 В постоянного тока, 94 Вт;
Диапазон температур **- рабочий** **- при термостабилизации**	 0°C +50°C -25°C +50°C
Защищенность	Прочный корпус со степенью защиты IP64
Размер	210x463 мм (диаметр x высота)
Вес	16 кг

Лазерная сканирующая система Leica HDS4400

Импульсный сканер Leica HDS4400 – это полноценное решение для маркшейдерии и горного дела от Leica Geosystems (рис. 5.16). Система предназначена для проведения съемок горных выработок на карьерах и там, где предъявляются высокие требования к оборудованию, работающему в условиях повышенной запыленности и низких температур окружающей среды.

Дальность работы сканера Leica HDS4400 (максимальная дальность - 700 м, 150 м до угля) позволяет использовать его для работы на крупных площадках. При этом сканер производит измерения со скоростью 4 400 точек в секунду, позволяя быстро выполнять работы в поле.

Программное обеспечение для управления сканером позволяет легко и быстро производить съемку. Защищенный планшетный компьютер с установленной программой входит в комплект сканера.

Рабочий температурный диапазон сканера HDS4400 от -40°C до +50°C. Благодаря использованию специальных встроенных греющих батарей сканер Leica HDS4400 может работать при экстремально низких температурах. Это позволяет производить съемку в любое время года.

Встроенная цифровая фотокамера позволяет получать фотоизображения местности высокого качества. По полученной фотографической информации можно точно задать границы съемки и впоследствии анализировать отсканированное пространство выработки и накладывать фотоизображения на модели поверхностей. Нет необходимости использовать внешнюю фотокамеру, выполнять её калибровку и дальнейшую привязку фотоснимка к облаку точек в программном обеспечении.

Поле зрения сканера Leica HDS4400 составляет 80° по вертикали и 360° по горизонтали, что вполне достаточно для выполнения площадных съемок, которые являются основным видом работ в маркшейдерии.

Интегрированный двухосевой компенсатор наклона применяется для установки сканера в вертикальное положение и отслеживания этого положения в процессе съемки. Компенсатор имеет разрешение 20” и позволяет:

- устанавливать сканер над точкой съемочного обоснования методом известной станции;

- прокладывать тахеометрический ход, выполнять прямую, обратную засечки;
- визироваться с использованием встроенной оптики на отражатель.

Точность сканирования (20 мм на расстоянии до 50 м; 50 мм при максимальной дальности 700 м) позволяет получать модели поверхности земли с высокой достоверностью, осуществлять контроль объемов выемки и перевозки сырья, производить геологическое картирование, съемка горных выработок карьеров, складов руды и отвалов вскрыши.

Специализированное программное обеспечение для обработки данных сканирования I-Site Studio специально разработано для горных работ и маркшейдерии. Ключевые особенности программы I-Site Studio:

- интерфейс программы в стиле Windows™;
- трехмерное отображение данных съемки;
- представление данных в реальных цветах и градациях интенсивности;
- регистрация (объединение) сканов;
- анализ точности регистрации облаков точек;
- отрисовка контуров;
- построение профилей, сечений и горизонталей;
- построение триангуляционных поверхностей;
- 3D моделирование;
- расчет объемов и площадей поверхностей;
- возможность экспорта данных в различные форматы.



Рис. 5.16. Лазерная сканирующая система Leica HDS4400

Технические характеристики сканера Leica HDS4400 приведены в табл. 5.5

Таблица 5.5

Технические характеристики сканера Leica HDS4400

Тип инструмента	Импульсный лазерный сканер
Интерфейс	Защищенный планшетный компьютер
Двигатель	Сервопривод
Накопитель данных	Защищенный планшетный компьютер
Камера	Встроенная цифровая камера 37 Мп
Тип	Импульсный 905 нм
Класс лазера	3R (IEC 60825-1)
Диапазон измерения расстояний	от 5 м до 700 м 600 м при 40 % альбедо 150 м при 5 % альбедо (угол)
Скорость	4 400 точек в секунду
Расхождение лазерного луча	1.4 микрорадиан
Угловое разрешение	0.108 °
Точность измерения расстояния	20 мм на расстоянии до 50 м 50 мм при максимальной дальности
Точность измерения углов	+/- 0.04 °

Окончание табл. 5.5

Поле зрения	
Диапазон сканирования	по горизонтали 360 °
	по вертикали 80 °
Визирование	Встроенная, оптическая труба (16х), лазерный указатель 670 нм (класс лазера 2R)
Передача данных	Ethernet кабель
Хранение данных	Защищенный PC
Компенсатор	Встроенный компенсатор наклона (20”)
Индикатор уровня	Внешний уровень 30” шкала, 20’ пузырек
Установка	Геодезический штатив с треггером
Питание	24 В пост. ток; 90 – 260 В перем. ток
Батарея	Встроенная, сменная 3800 NiMH (3 часа)
Рабочая температура	-40°C - +50°C (с использованием специальных батарей 7600 NiMH Heated)
Защищенность	IP 65 (IEC 60529)
Размер	431 х 271 х 356 мм
Вес	14 кг (с батареей)

5.4.3. Практическое применение систем лазерного сканирования

Как многие технические новшества и технологии, недавно вышедшие из лабораторий ученых, лазерное сканирование находится только в начале пути освоения разнообразных приложений. Совершенно очевидно, что лазерное сканирование быстрее, точнее, информативнее, чем большинство существующих методов измерений. Однако следует учитывать, что материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съемки. Это обусловлено как достаточно высокой стоимостью сканера – от $150 тыс., так и наличием условно постоянных затрат, таких, как затраты на со-

здание опорной съемочной сети, организационных затрат, транспорт, накладные расходы и прочее. Преимущества систем лазерного сканирования в полной мере проявляются при съемочных работах на участках большой площади или протяженности, при съемке сложных объектов либо при выполнении мониторинговых измерений на объектах, динамически изменяющихся во времени.

Достаточно широкое применение систем лазерного сканирования в горной промышленности в основном обусловлено тем, что геометрические параметры объектов горного производства – карьеров, отвалов и рудных складов постоянно изменяются во времени, при этом существует необходимость в постоянном пополнении горно-графической документации, вычислении объемов горной массы и учете ее движения. В связи с этим основными сферами использования систем лазерного сканирования при открытом способе разработки являются топографо-геодезические съемки горных выработок, мониторинг геомеханического состояния бортов карьеров и отвалов и определение объемов.

Топографо-геодезическая съемка карьеров, отвалов и подъездных путей

Как известно, крупномасштабные съемки являются самыми трудоемкими, требующими немалого количества времени и ресурсов. При ведении горных работ съемке, как правило, подлежат не только геометрические элементы уступов, но и рельсовые пути, семафоры, здания, трубопроводы, линии электропередачи и другие объекты. Топографическую съемку зачастую приходится производить в то время, когда ведутся работы на объекте, активно перемещается технологический транспорт. К тому же специфика горного производства требует постоянного обновления горно-графической документации.

Использование для решения подобных задач систем лазерного сканирования позволяет во много раз снизить затраты труда на проведение съемки, получать полностью обновленную 3D-модель карьера или отвала за короткие промежутки времени (рис. 5.14).

Так, полная съемка карьера и вычисление объемов на площади около 20 га требует затрат времени 3 дня. Выполнение

полевых работ занимает 1 день, в течение которого производится рекогносцировка местности, геодезическая привязка четырех точек съемочного обоснования и выполнение с этих точек четырех лазерных сканов. На выполнение цикла камеральных работ, включающих в себя построение 3D-модели карьера, оформление графической документации и вычисление объемов, требуется 2 дня.

а ***б***

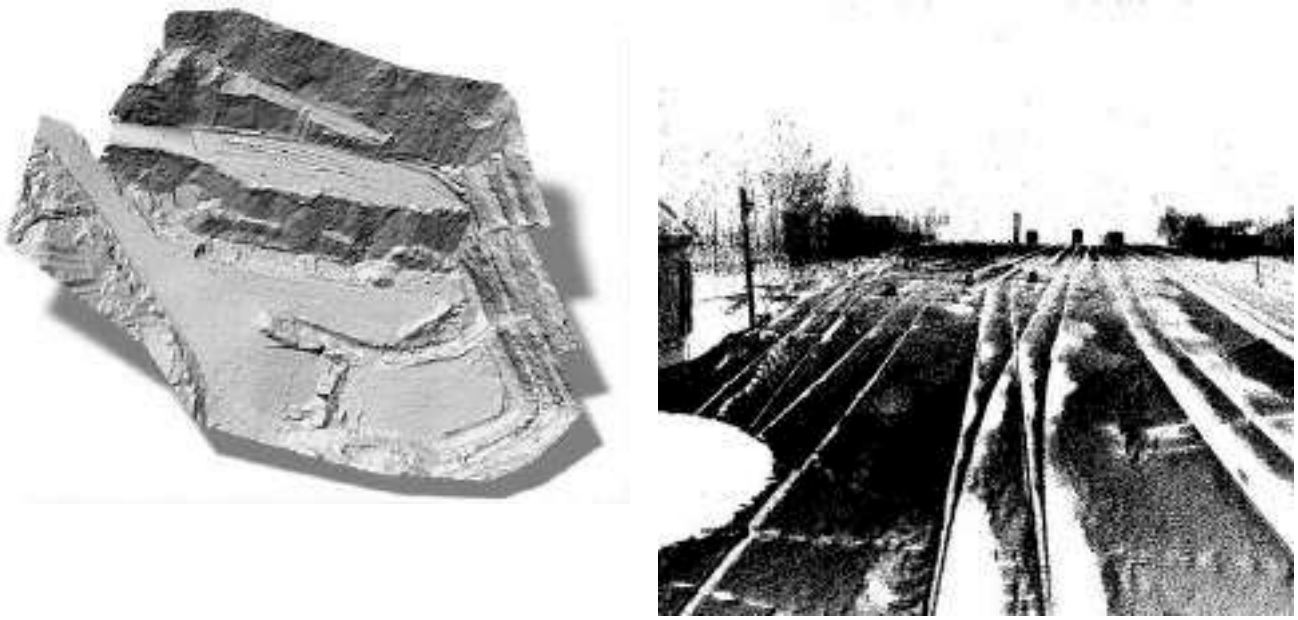


Рис. 5.14. Цифровая 3D-модель карьера (*а*) и облако точек съемки подъездных путей (*б*), полученные методом лазерного сканирования

Результаты съемок получаются сразу в цифровом виде, что позволяет, сравнив данные предшествующих съемок, проследить динамику развития горных работ на карьере. В зарубежной практике ведения открытых горных работ имеются случаи, когда один или несколько лазерных сканеров, установленных на постоянные наблюдательные пункты, в непрерывном режиме ведут сканирование участка карьера, результаты которого по кабельным системам передаются в диспетчерский пункт. Такая технология позволяет в режиме реального времени контролировать не только развитие горных работ, но и отслеживать передвижение технологического оборудования.

Мониторинг состояния и геологическое картирование откосов

В зарубежной практике системы лазерного сканирования широко используются для детального геологического картирования горных выработок. В этом случае для получения детальной 3D-модели борта сканер устанавливается на уступе, в непосредственной близости от объекта съемки, для уменьшения ошибок измерения длин линий и получения более качественного цифрового снимка поверхности (рис. 5.15).

В дальнейшем, при специальной обработке скана, выявляются структурно-тектонические особенности массива, контакты руды и породы, заполнитель контактов, типы руд и пород, слагающих массив.

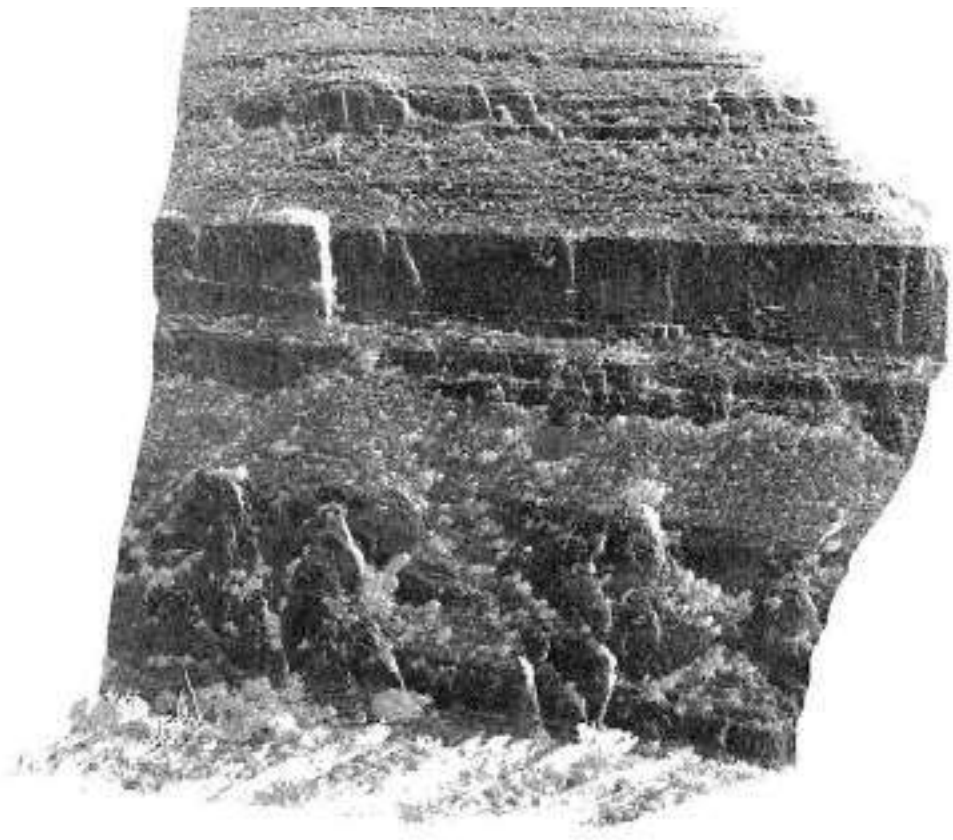


Рис. 5.15. Скан участка борта карьера с элементами геологической структуры

По результатам картирования отстраивается объемная геологическая модель участка месторождения, которая используется для подсчета запасов и выбора оптимальной технологии ведения горных работ. В случае, когда прибортовой массив находится в неустойчивом состоянии, совмещение сканов, выполненных в различные периоды времени, позволяет определить скорость и характер деформирования массива, раскрытие трещин и другие геомеханические особенности, что позволяет более обоснованно подходить к решению задач по обеспечению устойчивости бортов карьера.

Вычисление объемов рудных складов

Замеры и вычисление объемов горных масс, контроль за перемещением в пространстве и во времени – чрезвычайно трудоемкая задача, выполнять которую приходится в некоторых случаях несколько раз в месяц. При помощи технологии лазерного сканирования эта задача может быть решена с высокой степенью точности в течение нескольких десятков минут, а в некоторых случаях в режиме реального времени. Так как системы лазерного сканирования сами по себе являются объемно-ориентированными, поскольку промежуточным результатом измерений является трехмерное облако точек, вычисление объемов не вызывает особых проблем. Наиболее распространенный способ вычисления объема рудного склада - выполнение нескольких пространственных сканов объекта с различных точек, закрепленных на местности и заранее закоординированных, автоматическая сшивка единичных сканов в один пространственный объект по характерным точкам и вычисление объема этого объекта в программе обработки. Сканирование рудного склада с трех точек и вычисление его объема занимают 2-4 часа в зависимости от плотности сканирования. Для определения объема рудного склада в автоматическом режиме сканирующая головка устанавливается над рудным складом с таким расчетом, чтобы полное сканирование объекта осуществлялось за один проход сканера. В этом случае данные об изменении объема склада вычисляются автоматически, с дискретностью между замерами 20-30 минут (рис. 5.16).

Сфера применения технологий лазерного сканирования на открытых горных разработках не ограничивается вышеописанными примерами.

а *б*

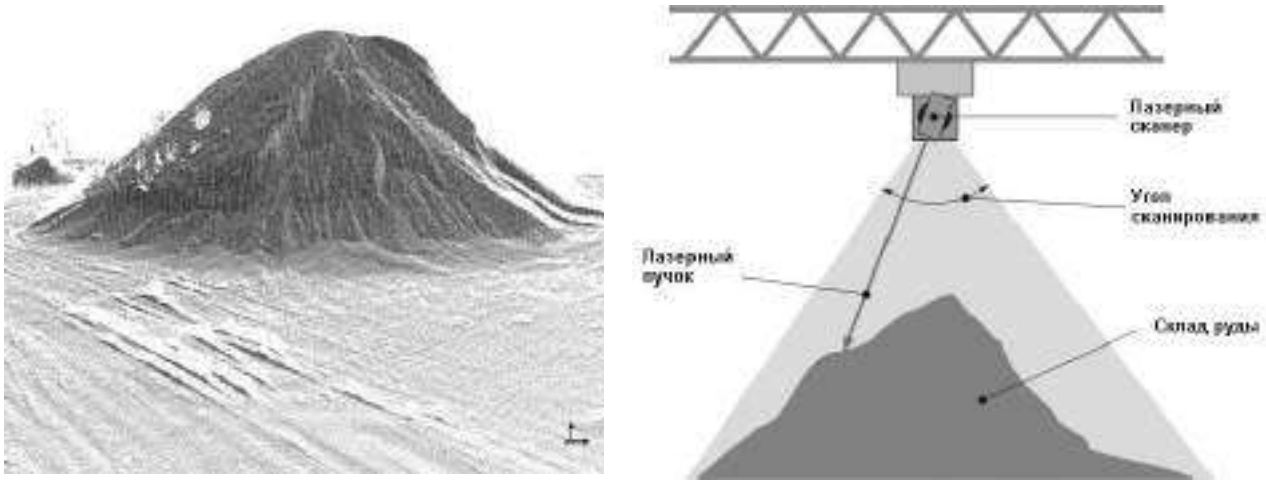


Рис. 5.16. Скан рудного склада с опорного пункта (*а*) и с галереи (*б*)

Лазерное сканирование применяется для контроля положения подкрановых путей, составления схем размещения и контроля исправности технологического оборудования на обогатительных фабриках, съемки мостов, галерей и других сложных объектов. А поскольку технология еще молодая, в ближайшее время сфера ее практического применения может значительно расшириться.

6. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ

6.1. Основные положения

К числу наиболее ответственных горно-строительных работ в карьере относятся: проходка траншей; укладка транспортных путей; буровзрывные работы; горно-техническая рекультивация нарушенных земель и др.

В общем случае задачами маркшейдерского обеспечения горно-строительных работ в карьере 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 и движения 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 всех размеров и числовых значений, а также согласованности всего 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 и съемочных сетей. Разбивочными элементами являются расстояния, углы и превышения (высотные отметки), выбор и расчет которых зависит 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:

значения координат 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, поряд-

ка 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 геометрических параметров объекта в нормативных документах и чертежах определяется предельно допустимыми отклонениями. По принципу равных влияний всех источников погрешностей (M) на каждых из них, в том числе и на маркшейдерские измерения ($m_{\text{М}}$), приходится доля от общей погрешности ($M_{общ}$):

$$m_M = \frac{M_{общ}}{\sqrt{n}}.$$

Переход от допуска к среднеквадратическому отклонению получают из выражения

$$\delta = \frac{m_M}{3}.$$

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. 6.1).

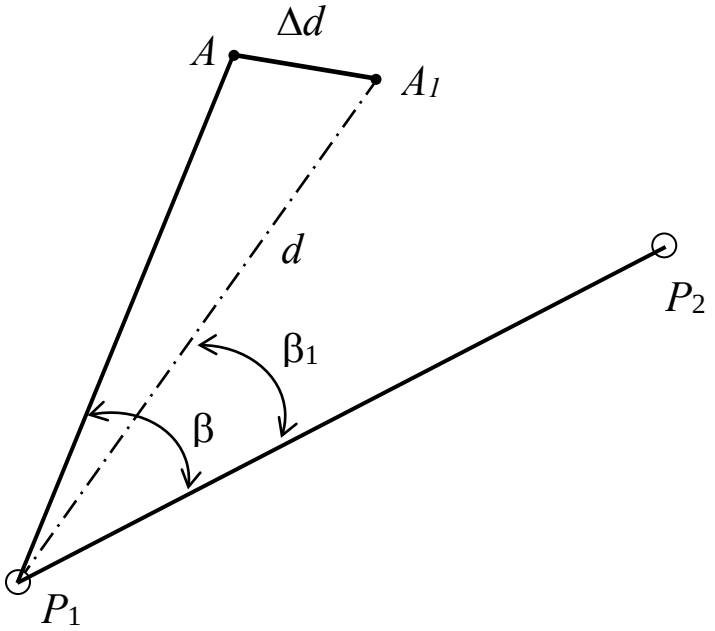


Рис. 6.1. Схема построения проектного угла на местности:
P_1P_2 – исходное направление, A – точка определяемого направления

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 $A_1\ P_1A_2$ 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, при угле наклоне земной поверхности менее $5 – 8^0$ или тригонометрическим нивелированием, при угле наклона более $5 – 8^0$.

Геометрическое нивелирование. Нивелир устанавливается примерно посередине между точкой съемочного обоснования с известной высотной отметкой ($Z_{изв}$) и выносимой точкой с проектной высотной отметкой ($Z_{пр}$). На точке с известной высотной отметкой устанавливают рейку и берут отчет (a). Вычисляют вначале горизонт инструмента

$$ГИ = Z_{изв} + a,$$

а затем значение отсчета по рейке которая будет установлена на выносимой точке ($в$)

$$в = ГИ - Z_{пр} = Z_{изв} + a - Z_{пр.}$$

Вычислив отсчет ($в$), в точке выноса проектной отметки поднимают или опускают рейку до тех пор, пока отсчет по ней не будет равен вычисленному значению ($в$). 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 устанавливается в точке съемного обоснования (P_1) с известной высотной отметкой ($Z_{изв}$), (рис. 6.2).

Измеряется высота инструмента (i) с точностью до 1 мм и вычисляется угол наклона визирного теодолита (δ)

$$\delta = a \quad (Z_{П} - Z_{ри} t) g d_{П}.$$

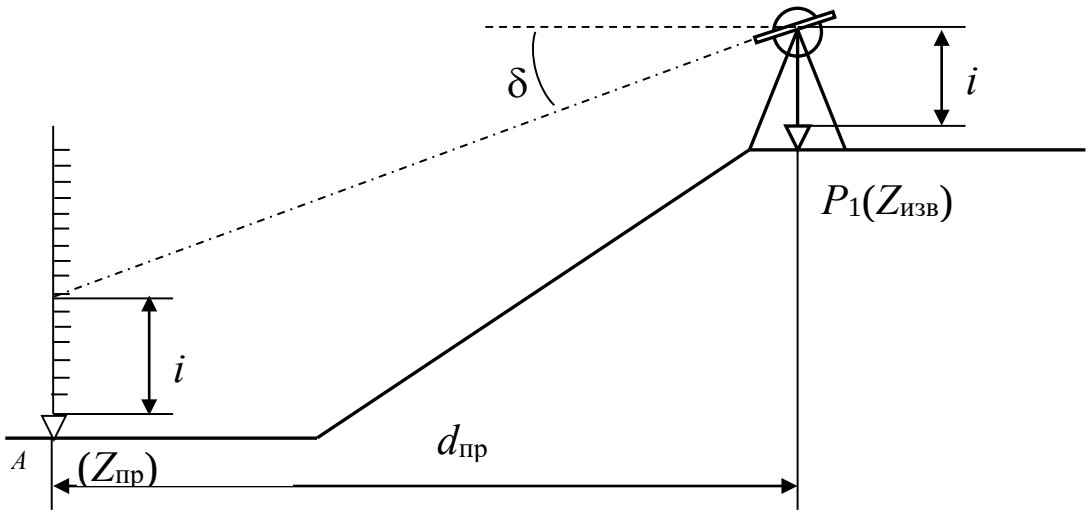


Рис. 6.2. Вынос проектной высотной отметки тригонометрическим нивелированием

Далее на вертикальном круге теодолита с учетом место нуля устанавливают вычисленный отсчет угла наклона (δ). В точке выноса проектной отметки (А) устанавливают нивелирную рейку и, поднимая или опуская фиксируют ее положение по горизонтальной нити зрительной трубы на высоте инструмента (*i*), отмеченной на рейке. Данное положение рейки (ее пятка) соответствует проектной отметки 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.

6.2. Перенос в натуру проектных данных горнотехнических объектов

Перенос элементов проекта в натуру выполняется следующими способами: полярный; 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 точка (*A*) на местности находят путем отложения от направления (P_1P_2) пунктов съемочного обоснования проектного угла (β) и расстояния (*d*) (рис. 6.3.).

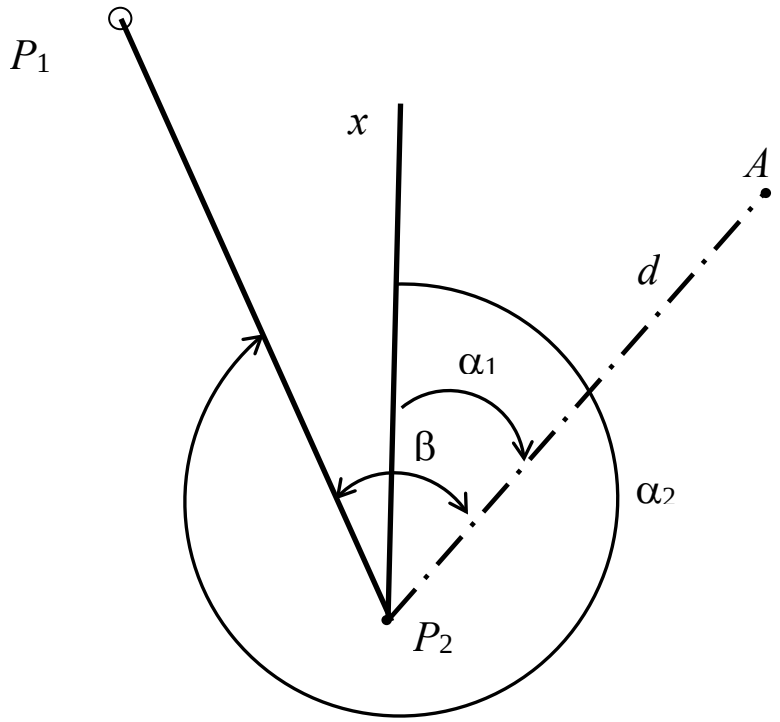


Рис. 6.3. Полярный способ разбивочных работ

Разбивочный угол (β) вычисляют по разности дирекционных углов $\alpha_1 = \alpha_{P_2A}$; $\alpha_2 = \alpha_{P_2P_1}$; $\beta = 3\quad 6 - (\alpha_2 - \alpha_1)$.

Дирекционные углы и расстояние (*d*) выполняются из решения обратной геодезической задачи 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 съемного обоснования (P_1 и P_2) и углов (β_1 и β_2) (рис. 6.4).

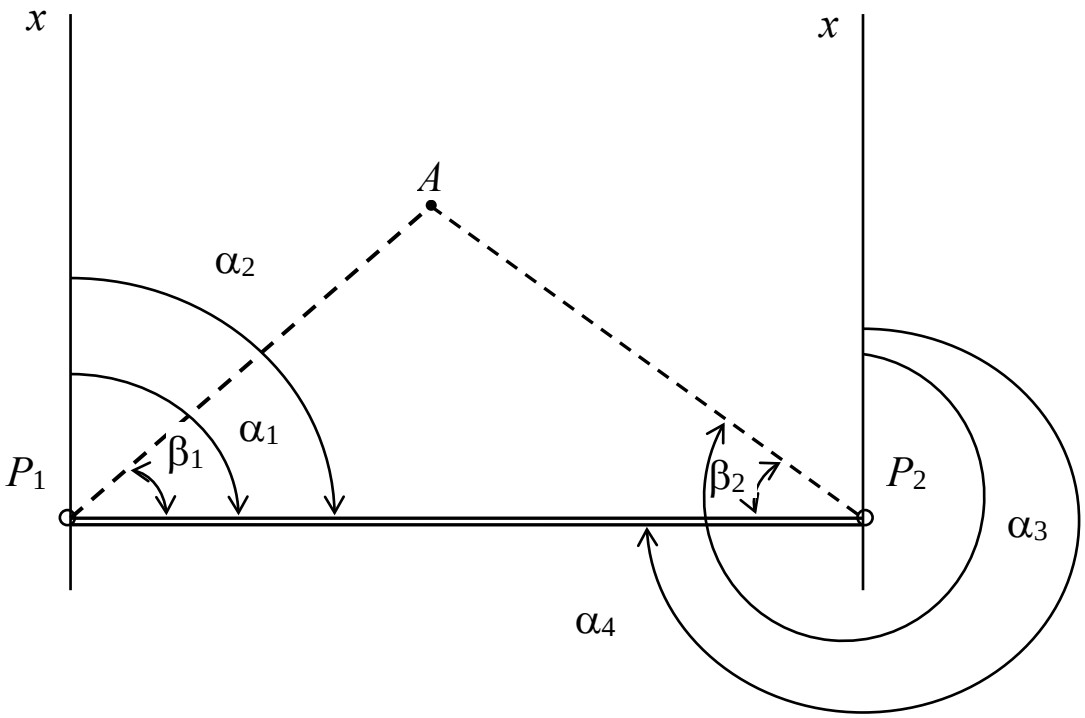


Рис. 6.4. Способ прямой угловой засечки при выполнении разбивочных работ

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, находящиеся на значительном расстоянии от исходных пунктов съемочного обоснования. В этом случае погрешность центрирования теодолита и фиксация вынесений точки выполняется сравнительно точно с основными погрешностями являются погрешности собственно засечки и исходных данных.

Способ обратной угловой засечки (*способ редуцирования*).

Способ применяется в случаях, когда доступ к пунктам съемочного обоснования затруднительный, а визирование на них беспрепятственное.

В этом случае находят приближенное проектное положение выносимой точки (A) и фиксируют ее на местности (рис. 6.5).

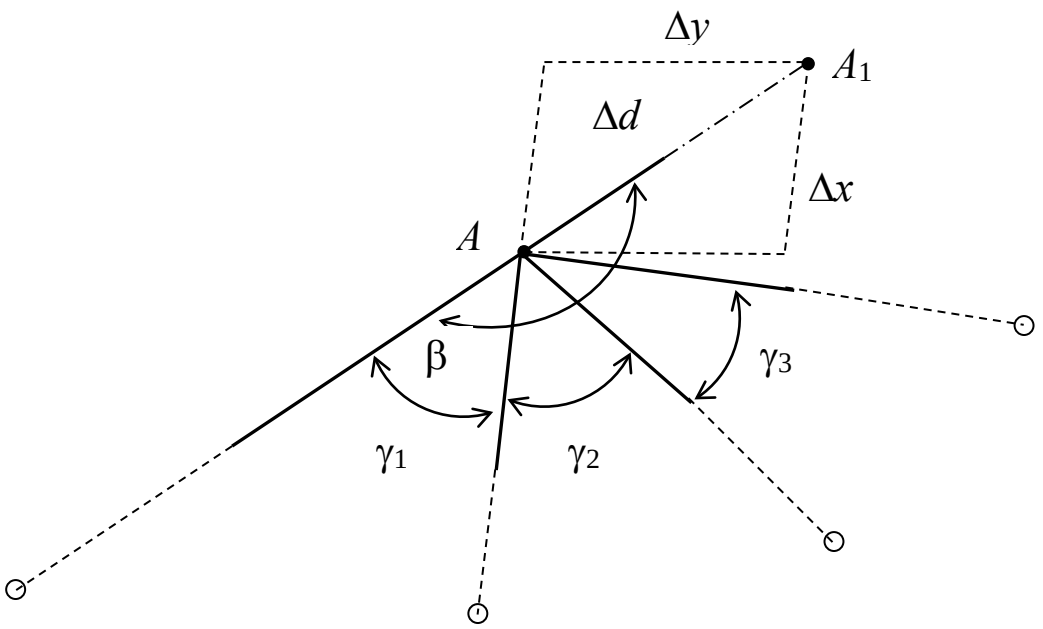


Рис. 6.5. Способ обратной угловой засечки (способ редуцирования)

Устанавливают теодолит и требуемой точностью измеряют горизонтальные углы не мене 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 (Δ*d*) 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. 6.6).

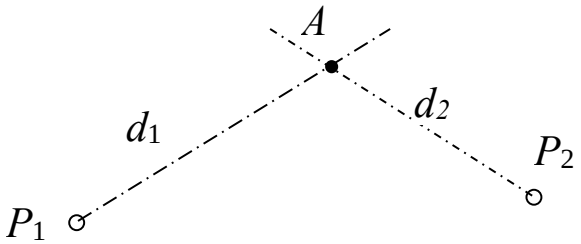


Рис. 6.6. Способ линейной засечки

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. 6.7).

От одной из известных точек в створе линии откладывают проектную длину (d_2), устанавливают в точке (M) теодолит, откладывают прямой угол от створа (P_1P_2) и выносят на расстояние (d_1) точку (A).

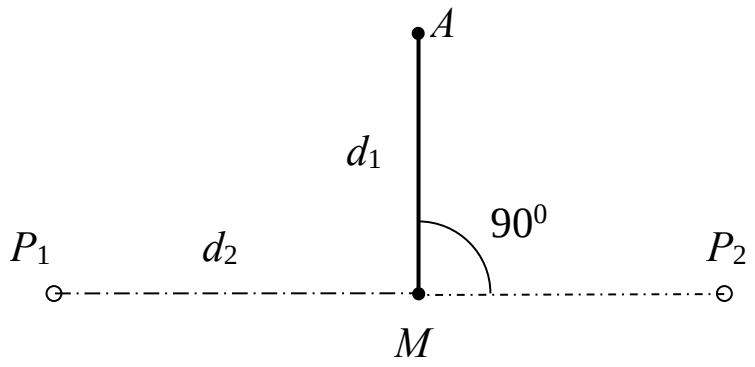


Рис. 6.7. Способ перпендикуляров

Целесообразно: большее расстояние - по створу исходной стороны, а меньшее – по перпендикуляру. Для контроля положения выносимой точки можно повторить от другого пункта.

6.3. Маркшейдерские работы при проходке траншей

Проходка траншей в карьерах предназначена для вскрытия карьерных полей с целью обеспечения доступа от поверхности земли (капитальные траншеи) или от какой-либо разрабатываемой части карьера к вновь создаваемым рабочим горизонтам (разрезные траншеи). Непосредственной задачей при проходке траншей является установление грузотранспортной связи между горизонтами разработки (добычи) и пунктами приема горной массы (отвалы, склады) на поверхности или в карьере. Параметры траншеи (ширина дна, уклон, углы поворота, углы откоса)

рассчитываются в зависимости от вида карьерного добычного оборудования, транспорта и инженерно-геологических условий.

На проходку траншеи составляется технический проект. К проекту прилагается:

генеральный план карьера;

план траншеи с указанием числовых значений координат *X, Y, Z* начала (устья) траншеи;

положение оси траншеи, углы поворота, радиусы кривых;

высотные отметки дна траншеи.

Маркшейдерские работы при проходке траншеи состоят в следующем:

обеспечение района проходки траншеи пунктами съемочного обоснования;

перенесение с проекта в натуру устья траншеи, оси траншеи и ее параметров;

систематическое наблюдение за проходкой траншеи, включая маркшейдерскую съемку фактических параметров траншеи, контроль ее направления и уклона;

подсчет объема вынутой горной массы;

разбивка транспортных путей.

В зависимости от рельефа земной поверхности, инженерно-геологических условий участка карьера в районе прокладки траншеи, имеющегося добычного оборудования и средств транспорта применяют различные способы проходки траншей. Во всех случаях маркшейдер на местности, в соответствии с проектом, разбивает и закрепляет специальными пунктами ось траншеи, ширину дна, верхние бровки и задает уклон дна траншеи.

При разбивке трассы траншеи маркшейдер показывает на проектных планах, составленных в масштабе 1:500 – 1:1000, координаты точек примыкания, дирекционные углы первоначальных направлений, расстояния между вершинами углов поворота оси траншеи с углами поворота и радиусами кривых.

На поперечных разрезах указывается очередность проходки заходок, углы откосов, положение транспортных средств. На продольных разрезах (профилях), построенных по оси траншеи, указываются фактические и проектные высотные отметки, проектные уклоны.

Наиболее распространенные способы проведения траншей следующие:

сплошным забоем при проходке по склону (рис. 6.8, *а*), поперек склона или на равнинных участках с погрузкой горной массы в думпкары (рис. 6.8, *б*), с отвалом непосредственно на борта траншеи драглайном (рис. 6.8, *в*) или с погрузкой на авто- и железнодорожный транспорт внутри траншеи;

ступенчатым забоем – заходками (рис. 6.9).

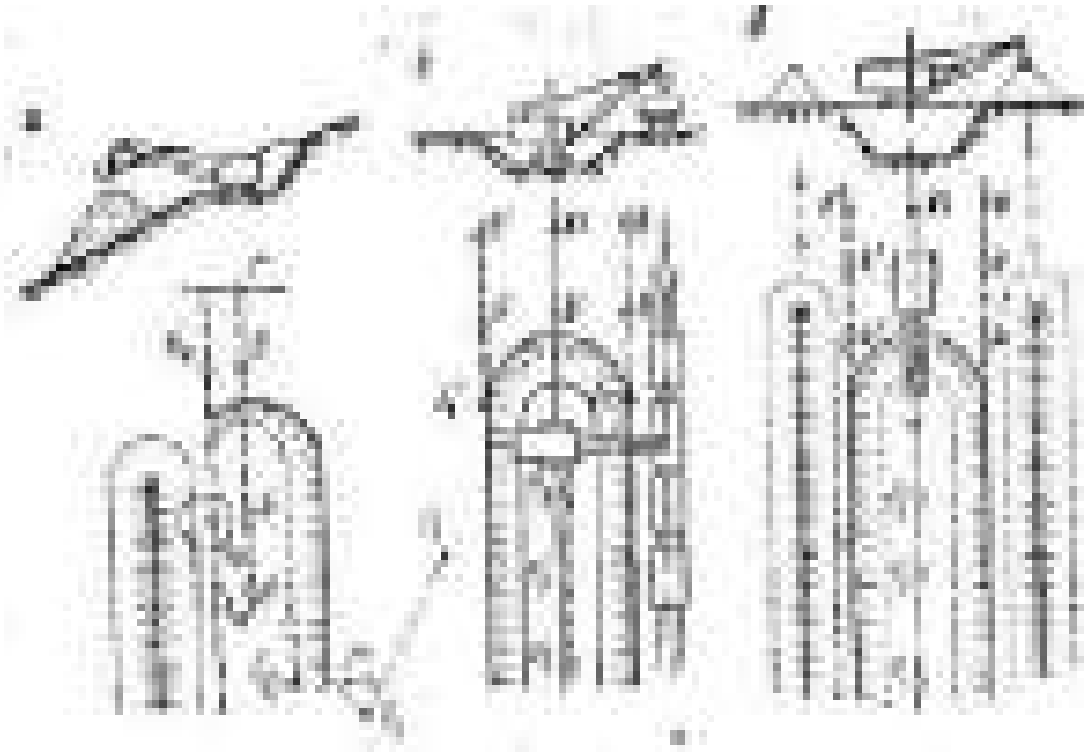


Рис. 6.8. Схемы проведения траншей сплошным забоем:
а – по склону; *б*, *в* – поперек склона или на равнинных участках с погрузкой в думпкары или с отвалом на борта траншей

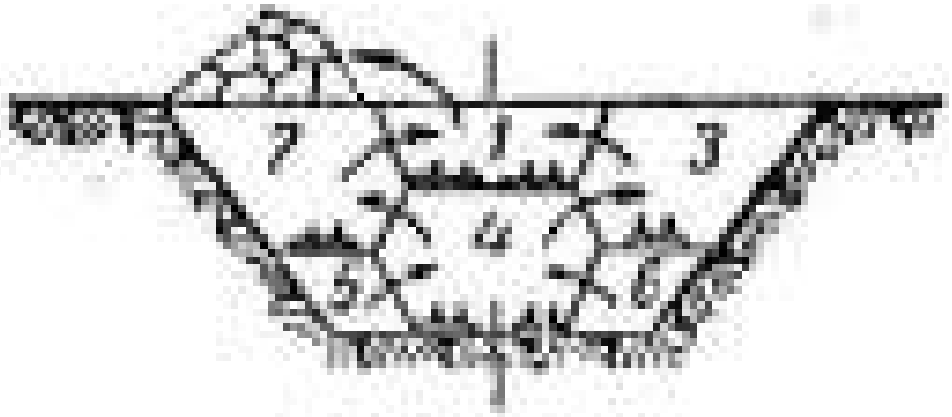


Рис. 6.9. Схема проведения траншей ступенчатыми забоями – заходками

Разбивочные работы при проведении траншеи выполняются следующим образом. При проходке по склону (см. рис. 6.8, *а*), производится разбивка оси траншеи временными пикетами *А*, *Б*, *В* и т. д. через 20 – 50 м. Для этого по известным координатам точки P_2 съемочного обоснования, измеренному углу β и расстоянию l_{P_2-A} определяют в натуре начальную точку *А* (устье) траншеи. По дну траншеи напротив каждого пикета закрепляются граничные точки $R_а$, $R_б$, $R_в$ и т. д. Высотные отметки граничных точек и пикетов определяются нивелированием. В этом случае отсчет по передней рейке $в_i$ определяется по заданному в проекте уклону *i* и расстоянию между пикетами l_i:

$$в_i = a_i - l_i \cdot i,$$

где a_i – отсчет по задней рейке.

Нивелирование пикетов начинается от пункта примыкания P_2.

После определения положения пикетов производится спрямление трассы траншеи. В точках поворота трассы разбиваются кривые. Спрямленная ось трассы, дно и верхняя бровка траншеи закрепляются кольями и вехами.

При проведении траншеи поперек склона или на равнинных участках местности разбивка трассы проводится аналогичным способом (см. рис. 6.8, *б*, *в*). Ось траншеи закрепляется пикетами V, VI и т. д. на расстоянии 20 – 50 м по прямым участкам трассы и 5 – 10 м по криволинейным. Верхние бровки траншеи закрепляются граничными точками (вехами) 4-4', 5-5', 6-6' и т. д. На дне траншеи закрепляются грунтовые реперы P_1, P_2, P_3 и т. д. на расстоянии 20 – 30 м. Торцы реперов должны соответствовать проектным отметкам (уклону) дна траншеи. Уклон дна траншеи задается Т-образными визирами, высота которых делается равной высоте гусениц экскаватора.

Одновременно с разбивкой трассы траншеи ведется разбивка осей транспортных путей породного отвала. На всех заданных точках вблизи забоя траншеи выставляются направляющие вехи.

При проведении траншей большого сечения (ступенчатыми забоями – заходками) (см. рис. 6.9) разбивается и закрепляется основная ось траншеи и ее верхние и нижние бровки по методике, описанной выше. Оси заходок разбиваются и закрепляются по мере необходимости.

При проведении траншей взрывным способом с последующей экскавацией (рис. 6.10) относительно пикетов 3, 4, 5 и т. д., обозначающих ось траншеи, по мере проходки закрепляется серия скважин. Количество скважин и их параметры рассчитываются специальным проектом.

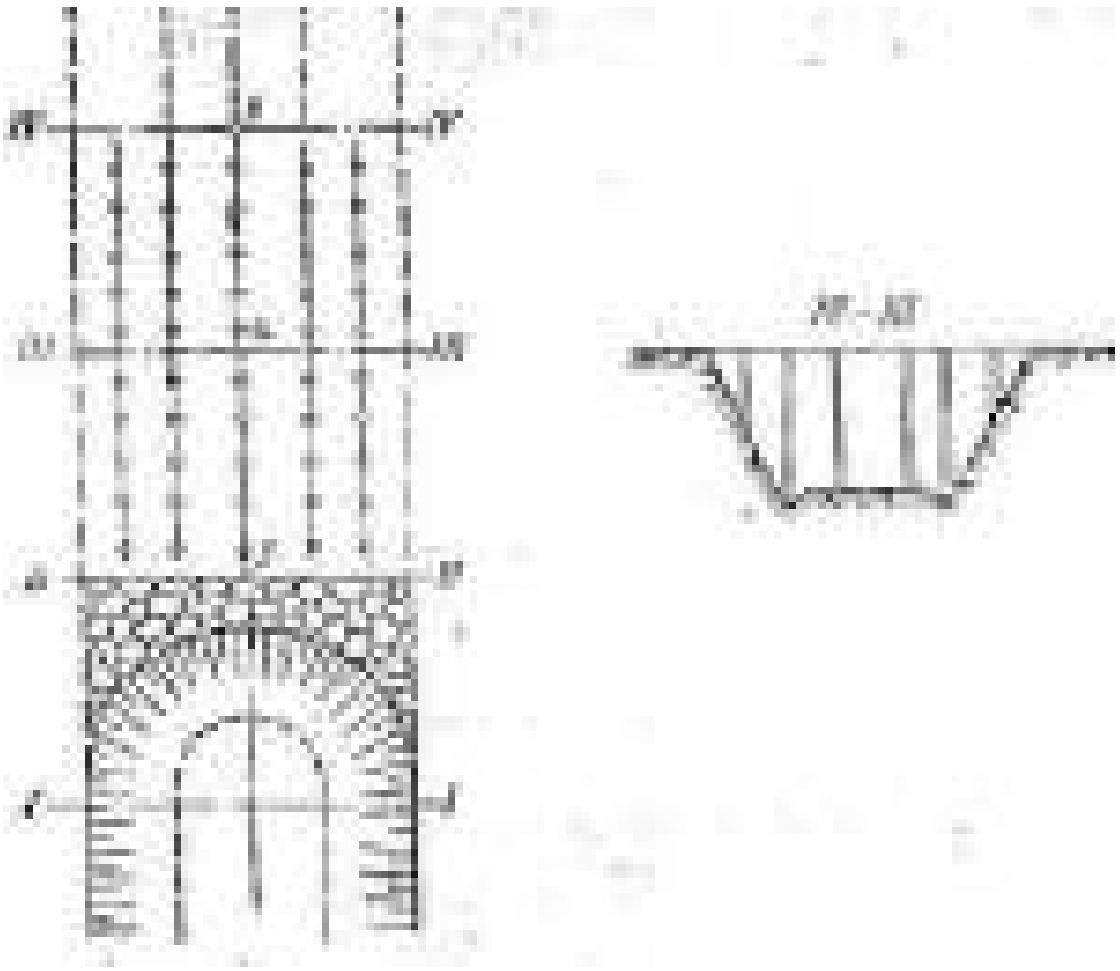


Рис. 6.10. Схема проведения траншеи взрывным способом

После взрыва производится маркшейдерская съемка. По плану и разрезам, составленным по результатам съемки, определяется объем взорванной горной массы. После этого приступают к экскавации и оформлению траншеи. Маркшейдерские работы

в этом случае выполняются в том же объеме и порядке, как было описано выше.

6.4. Маркшейдерские работы при разбивке и съемке транспортных путей

При строительстве и эксплуатации карьеров применяются следующие виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, конвейерный, скиповой. Наибольшее распространение получили железнодорожный и автомобильный транспорт, протяженность дорог на крупных карьерах достигает 100 км и более.

Для стабильной и безопасной работы железнодорожного транспорта строятся внутрикарьерные станции, контрольные пункты и централизованные автоблокировки. Поэтому к производству маркшейдерских работ при строительстве и эксплуатации транспортных путей, особенно железнодорожных, предъявляются высокие требования.

Исходными проектными материалами, на основе которых производится разбивка транспортных путей, являются:

план трассы с координатами точек ее примыкания к пунктам опорного или съемочного обоснования, с указанием вершин углов поворота, радиусов сопрягающихся кривых (рис. 6.11);

поперечные разрезы и продольный профиль трассы с указанием фактических и проектных высотных отметок, а также проектных уклонов и подъемов;

план расположения переводных стрелок для железнодорожных путей с координатами центров переводов.

Карьерные железнодорожные пути бывают стационарные и передвижные. При строительстве карьерных железнодорожных путей маркшейдер выполняет следующие работы:

вынос в натуру оси траншеи в плане и по высоте в соответствии с проектом;

разбивку закруглений (участков поворота путей), стрелочных переводов, отводных путей, углов наклонов;

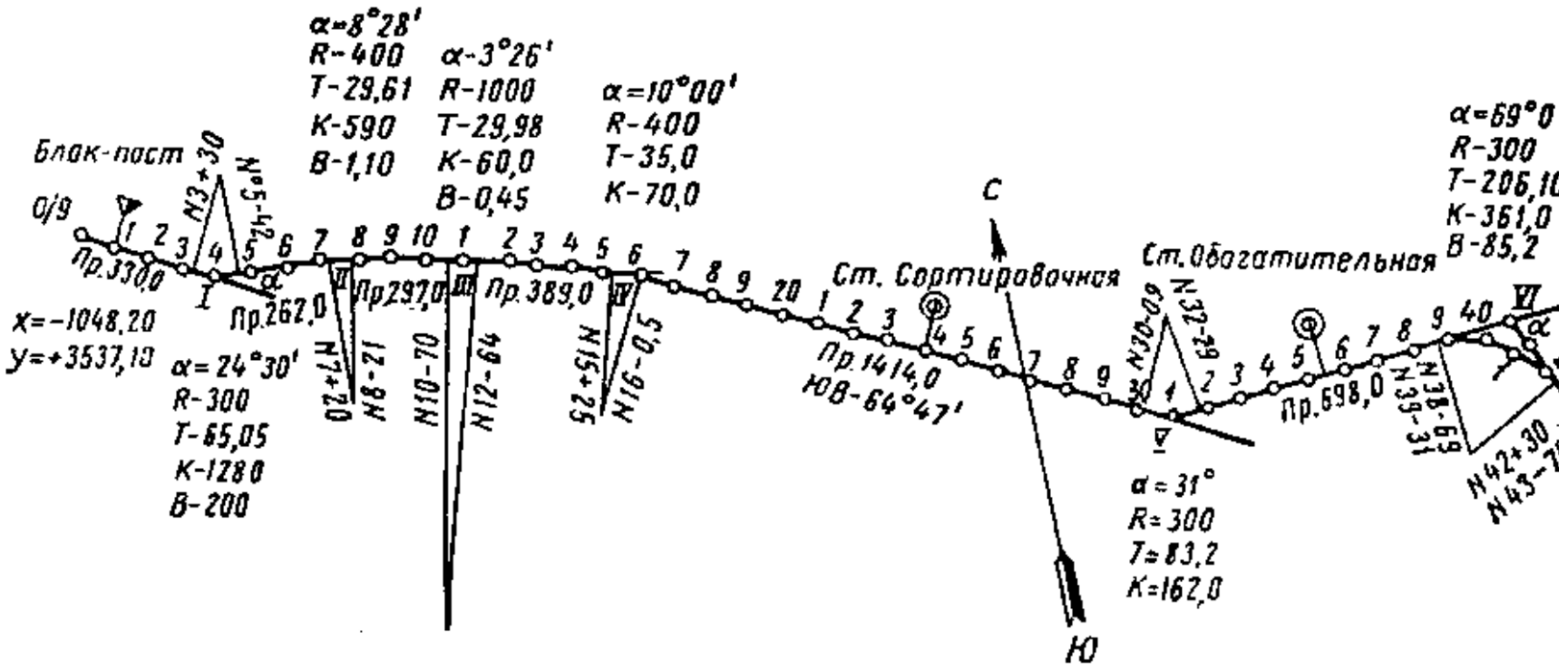


Рис. 6.11. План железнодорожной трассы

определение местоположения стационарных сооружений (станций, опор контактного провода, путепроводов и др.);

съемку и документирование рельсовых путей с указанием габаритов подвижного состава;

разбивку и съемку передвижных (забойных) железнодорожных путей, с отображением каждого их нового положения.

Разбивку осей транспортных путей производят от пунктов съемочного обоснования, определяя начальные пункты и направление оси. Затем при помощи теодолита и рулетки выносят вершины углов поворота, т. е. прокладывается теодолитный ход с проектными углами поворота и сторонами между точками поворота (способ проектного полигона).

Углом поворота трассы пути α (см. рис. 6.11) считается внешний угол между направлением предыдущей линии и направлением последующей линии трассы.

Для обеспечения плавного перехода железнодорожного состава с прямолинейного участка на сопряжения поворота разбивают переходные кривые, радиус которых постепенно изменяется от бесконечности до принятого радиуса круговой кривой.

В вертикальной плоскости трасса пути разбивается в соответствии с проектным профилем, на котором указаны уклоны (подъемы) и горизонтальные участки. Величина уклона i обозначается в тысячных долях и определяется отношением превышения h к горизонтальному проложению l:

$$i = \mathrm{tg}\delta = \frac{h}{l},$$

где δ - угол наклона участка пути.

Различают руководящие, вспомогательные и второстепенные уклоны. Максимальный руководящий уклон устанавливается в зависимости от типа локомотива и количества точек (одинарная, двойная). Вспомогательный уклон круче руководящего и строится на участках небольшой протяженности. Второстепенный уклон положе руководящего.

В местах перелома (изменения) уклонов смежных участков пути вертикальный профиль сглаживают, разбивая вертикальные кривые.

Точки поворота закрепляют деревянными кольями или металлическими стержнями, которые забиваются на уровне с землей и обозначаются "сторожками". В характерных точках рельефа (резкие перегибы земной поверхности) устанавливают плюсовые (дополнительные) точки. После разбивки точек поворота трассы и "плюсовых" точек разбивается и закрепляется пикетаж по всей оси трассы через 20 – 40 м. Впоследствии, по окончании строительства пути, пикеты переносят на обочину и закрепляют постоянными знаками - металлическими стержнями или бетонными столиками.

По закрепленным пикетам трассы проводят продольное и поперечное нивелирование. Продольное нивелирование выполняется по оси трассы, поперечное - по поперечникам, которые разбиваются перпендикулярно трассе на ширину 10, 20, 40 м, в зависимости от ширины дороги, в обе стороны. Поперечники разбивают на каждом пикете и на "плюсовых" точках и закрепляют реперами.

Результаты разбивки пикетов заносятся в пикетажную книжку, в которой записывают: все пикеты и "плюсовые" точки, вершины углов поворота, радиусы, начало и конец кривых; реперы поперечников с указанием номера пикета, расстояние до репера от оси трассы.

На пикетах подписывают номера и величину "подсыпки" или "срезки" грунта.

Разбивку криволинейных уступов транспортных железнодорожных и автомобильных путей выполняют по известному углу поворота трассы α и заданному радиусу кривой R (рис. 6.12).

Из решения треугольников OAB и OCB:

$$T = R \cdot \mathrm{t}\,\frac{\alpha}{2}; \quad \hat{E} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{1}; \quad \acute{A} = \frac{R}{8} \cdot (\quad e\,\frac{\alpha}{2}\,\mathrm{c} - 1) \quad \gamma c = 90^0 + \frac{\alpha}{2}.$$

При входе на кривую и выходе с нее делают вставки (переходные кривые), радиус которых изменяется от бесконечности до заданного R. Длина переходных кривых l - от 20 до 200 м.

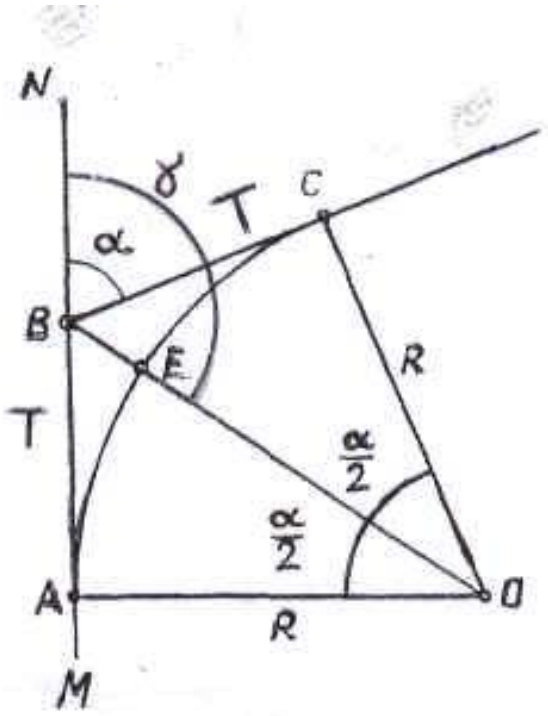


Рис. 6.12. Элементы кривой:
α = АОС = NBC – центральный угол поворота трассы;
Б = ОВ - ВЕ – биссектриса; R = ОА = ОС – радиус кривой;
Т = АВ = ВС – тангенсы (касательные) кривой;
НК – точка А – начало кривой; КК – точка С – конец кривой;
точка Е – середина кривой; К – кривая АЕС; Д = 2Т – К – домер

Заданный радиус кривой при этом сохранятся, но ее центр смещается на величину $OO_1 = p$ (рис. 6.13).

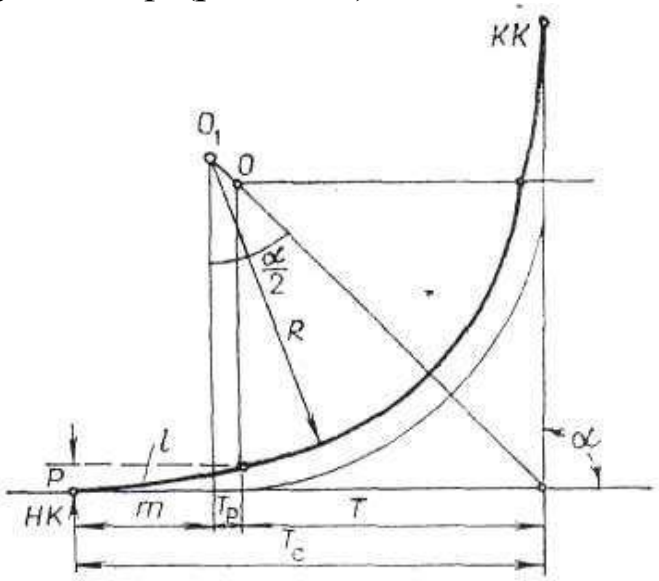


Рис. 6.13. Элементы кривой с переходными кривыми:
l – длина переходной кривой; T_c – суммарная длина тангенса

В этом случае суммарная длина тангенса

$$T_{\text{с}} = T + m + T_p; \quad T_p = \partial \cdot \text{t}\ \frac{\alpha}{2},$$

и точки начала кривой (НК) и конца кривой (КК) переместятся. Разбивку кривых в карьере производят по главным точкам через 10 или 20 м одним из известных из курса геодезии способов - ординат, продолженных хорд, способом углов от ближайших пунктов опорного или съемочного обоснования полярным способом.

6.5. Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом отделение от массива и дробление скальных и полускальных пород, рудных тел осуществляют массовыми взрывами с помещением зарядов взрывчатых веществ в предварительно пробуренные скважины. Скважины располагаются сериями на верхней площадке уступа в 1-2 и более рядов.

Буровзрывные работы должны обеспечить:

-заданную (расчетную) степень дробления горных пород для последующей погрузки ее в транспортные средства и транспортировки;

- 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 от проектных высотных отметок площадок уступов, их размеров и формы поверхности;

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

- высокие показатели экономичности, производительности и безопасности горных работ.

Маркшейдерские работы до и после взрыва включают (рис. 6.14):

-составление крупномасштабного плана участка взрыва по результатам детальной маркшейдерско-геологической съемки;

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

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

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

-проведение детальной маркшейдерской съемки уступа после взрыва 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 массовый взрыв выдается задание с указанием длины, ширины и объема участка взрыва с приложением выкопировки из маркшейдерского плана.

На участке уступа, намеченного к взрыву, производится детальная планово-высотная съемка, по результатам которой составляют план-проект (план-задание) на буровзрывные работы и план карьера участка в масштабе 1:200 – 1:500. При сложном геологическом строении участка, одновременно с маркшейдерской съемкой, производится и геологическая съемка. Составляются поперечные разрезы, по которым определяют ЛНС, рассчитывают оптимальный заряд взрывчатки, конструкцию заряда. Геологические особенности, частоту и элементы залегания трещин наносят на план.

На рис. 6.14 показаны два блока, подготавливаемые к взрыву.

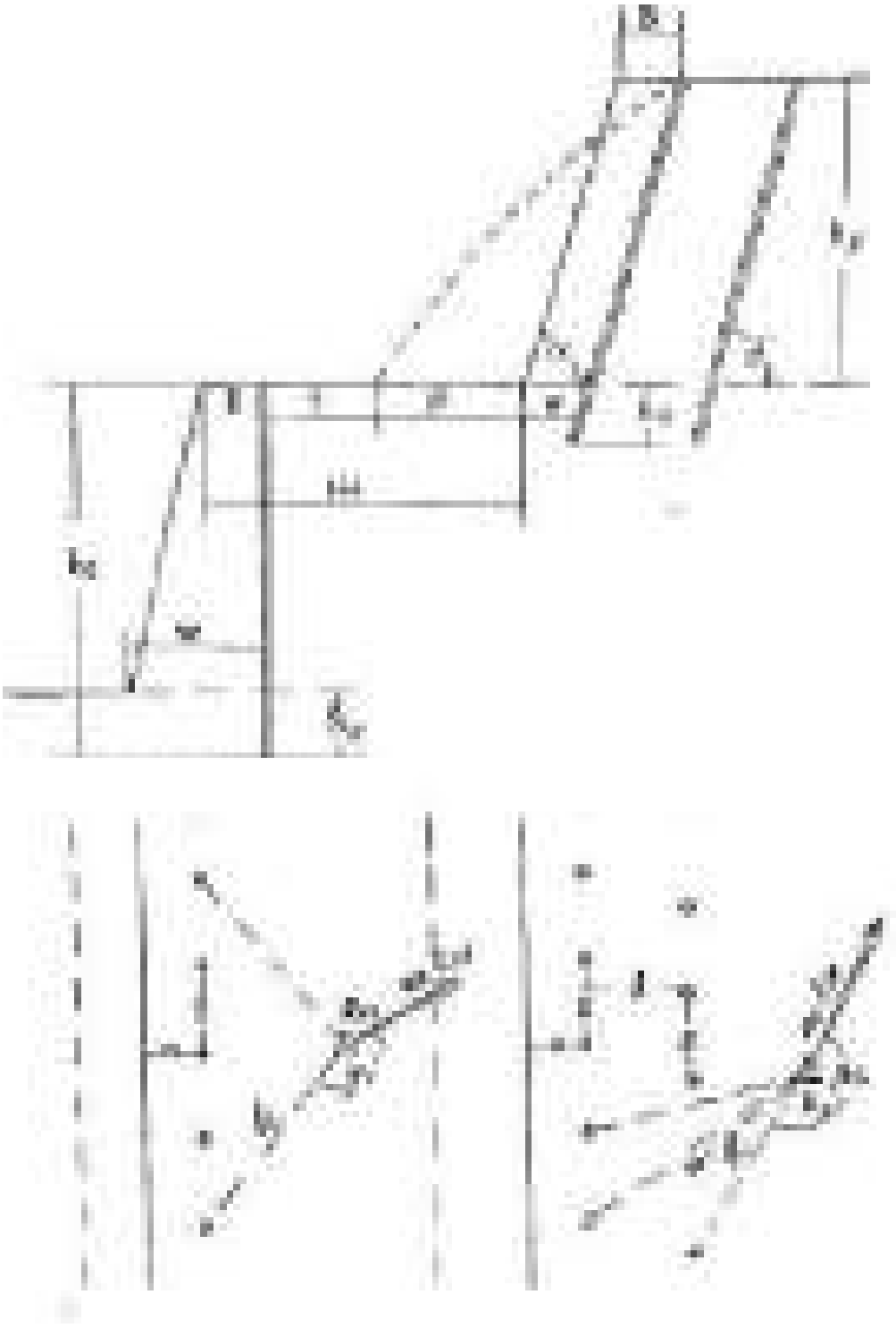


Рис. 6.14. Элементы борта карьера и буровзрывных работ:

Б – берма безопасности $A = h_y(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma)$, где φ, γ - углы обрушения и естественного откоса; *Т* – ширина бермы для транспорта; *Р* – ширина развала пород при взрыве; h_y – высота уступа; $h_п$ – глубина перебура скважины; α - угол откоса уступа; δ - угол наклона скважины

Исходные данные:

1) план участка карьера;

2) пункты маркшейдерского съемочного обоснования (R_V, R_{VI});

3) направление на пункт опорной сети $R_{VI.}$.

На план участка карьера наносится проектная сеть буровзрывных скважин по сетке с параметрами *а, б* и *в*, значения которых определяются расчетом.

Первыми на расстоянии "*а*" от верхней бровки проектного контура уступа наносятся скважины 1-го ряда, на расстоянии "*б*" – между скважинами.

После этого со сдвигом 0,5 "*б*" на расстоянии "*в*" от первого ряда наносятся скважины 2-го ряда и т. д. до заполнения всей площади подготавливаемого блока.

На плане участка карьера определяются разбивочные элементы каждой скважины: горизонтальные углы β_i на пунктах съемочного обоснования R_V и R_{VI}, измеренные между направлениями на пункт R_{IV} и на данную скважину; расстоянием l_i от пункта R_V и R_{VI} до данной скважины (полярный метод).

Исходное направление (R_V - R_{IV}) и (R_{VI} - R_{IV}) указывается на плане участка карьера. Направление определяется решением обратной геодезической задачи:

$$\text{a} \quad \text{r}\alpha\text{ç}_{-I}\,\text{t}_{\text{V}}=\text{g}\frac{Y_{I\ \ \text{V}}-Y_V}{X_{I\ \ \text{V}}-X_V}.$$

Углы β_i и расстояния l_i определяются с плана и заносятся в таблицу.

Находится проектная глубина скважины h_c по формуле

$$h_c = \frac{1}{\text{s}\ \ \text{i}\delta\,\text{n}}(h_y + h_{\text{i}})$$

где δ - угол наклона скважины к горизонту, град.; h_y - высота уступа, м; $h_п$ - величина перебура скважины, м.

Высота уступа определяется как разность средней высотной отметки верхней бровки ($Z_{ср.в.}$) и средней высотной отметки нижней бровки уступа ($Z_{ср.н.}$):

$$h_{ó} = Z_{ñ\ \ ð} - Z_{ñ\ \ ð}.$$

Величина перебура скважины зависит от ее диаметра d_c и физико-механических свойств пород взрываемого участка.

Определяется минимально допустимое значение линии сопротивления по подошве *W* из выражения

$$W = \sqrt{\frac{c \cdot p}{q}},$$

где *c* – коэффициент, зависящий от степени дробления породы взрывом; *p* – вместимость 1 м скважины, кг; *q* – удельный расход ВВ, кг/дм^3.

По окончании бурения всех скважин производят съемку и определяют фактическое положение каждой скважины и каждого ряда относительно верхней бровки и откоса уступа. Измеряют глубину скважины и величину перебура. Несоответствующие проекту скважины бракуются.

После взрыва участка выполняют детальную съемку развала и линии вновь образовавшейся верхней бровки уступа. По результатам съемки определяют объем взорванной горной массы, ширину и угол откоса развала, линию бровки и угол откоса уступа, коэффициент разрыхления, выход негабаритов. Куски взорванной массы не должны превышать линейный размер (*K*):

$$K \le 0{,}5\sqrt[3]{V},$$

где *V* – вместимость ковша экскаватора, м^3.

После отгрузки взорванной горной массы выполняется детальная съемка уступа, по результатам которой определяются показатели взрыва: удельный расход взрывчатки, поверхность отрыва пород по почве уступа, производительность (эффективность) скважины.

6.6. Маркшейдерские работы при рекультивации нарушенных земель

Нарушенные земли – земли, утратившие свою хозяйственную ценность или являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного и растительного покрова, гидрологического режима и образованием техногенного рельефа в результате производственной деятельности человека [34].

По характеру нарушенности все территории в пределах горного и земельного отвода карьера (разреза) подразделяются на два вида: при выемки полезного ископаемого; при складировании пород вскрыши и отходов обогатительных фабрик.

Степень нарушенности земель количественно оценивается объемом выемки или насыпки грунта на единицу площади, величиной площади нарушения, глубиной выемки или просадки, высотой насыпки, длиной и шириной линейных участков (дороги и другие коммуникации).

Объектами рекультивации на карьерах (разрезах) являются: картеры (выработанное пространство), внутренние и внешние породные отвалы, отвалы некондиционных руд, хвостохранилища, железные и автомобильные дороги, промышленные площадки предприятия и другие объекты, которые после окончания горных работ не могут быть использованы по назначению.

Рекультивация нарушенных земель с целью их дальнейшего освоения ведется в основном в направлениях пяти выводов [34]:

сельскохозяйственное - под пашню, пастбище, сенокосные угодья, садоводство, овощеводство;

лесохозяйственное – земельные насаждения, парковые, лесные рощи;

водохозяйственное – водохранилища различного назначения;

гражданского и промышленного строительства;

рекреационное – создание объектов отдыха.

Работы по рекультивации земель ведутся с соблюдением соответствующих требований, которые изложены в ведомственных указаниях по восстановлению земель в два этапа последовательно друг за другом: горно-технологические и биологические мероприятия.

Горно-техническая рекультивация – как завершающий этап технологии горного производства проводится с целью выполнения мероприятий, обеспечивающий наиболее эффективное использование восстановленных территорий для дальнейшего их использования, в том числе, и для биологической рекультивации. Эти работы выполняют горнодобывающие предприятия или специализированные организации.

Биологическая рекультивация выполняется после горно-технической и включает в себя работы по восстановлению биологической среды на восстановленных территориях, экологически чистых и безопасных для окружающей среды зон. Эти работы (в отличие от горно-технической рекультивации) выполняются организациями, в ведении которых передаются земли.

Объем и состав работ каждого этапа рекультивации определяется проектом, в соответствии с выбранным видом освоения земель. Проектирование работ по рекультивации земель, нарушенных горными работами, ведут по горно-графической маркшейдерской документации, полученной на основании маркшейдерской съемки выполненной на период завершения горных работ.

Приемка – передача рекультивированных земель производится специальной комиссией по результатам работы, которой составляется и подписывается акт приемки-сдачи рекультивированных земель. После этого рекультивированные земли закрепляются за новым пользователем.

При выполнении горно-технической рекультивации круг вопросов, решаемых маркшейдерской службой, несколько специфичен по сравнению с общепринятыми маркшейдерскими работами на горных предприятиях.

При выполнении рекультивации маркшейдерской службе приходится выполнять следующие основные работы:

создавать на рекультивируемой территории сети опорных пунктов и пунктов съемочного обоснования; вести топографические съемки на начало рекультивации и после завершения ее; составлять маркшейдерские чертежи, связанные с проектированием и выполнением отдельных этапов рекультивационных работ, выделяя на них все виды повреждения земной поверхности; вести систематический контроль за восстановлением нарушенных земель во времени и пространстве, сопоставляя результаты с данными

проекта; учитывать объемы выполненных работ по производимым планировкам, снятию грунтов, их укладке на новое место; выносить в натуру геометрические элементы проекта и вести контроль за их исполнением в процессе выполнения горно-технических работ; подготавливать исходные данные и материалы для текущего и перспективного планирования рекультивации; выполнять предрасчеты с анализом точности ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в результате горных разработок, составлять планы-карты прогноза; участвовать в разработке мероприятий по рекультивации нарушенных земель и обеспечению сохранности плодородных почв; производить наблюдения за осадкой насыпных грунтов и контроль за соблюдением геометрических параметров породных отвалов в соответствии с проектом рекультивации; делать съемку недоступных участков на земной поверхности и дна затопленных водоемов; выполнять работы, связанные с селективной выемкой вскрышных пород и селективной укладкой их в отвал; производить маркшейдерские работы, связанные со снятием плодородных почв и почвообразующих пород; составлять почвенные планы и вести учет запасов, потерь и разубоживания наиболее ценных плодородных почв; контролировать формирование корнеобитаемого горизонта на рекультивируемых территориях; обеспечивать работы по выполаживанию и террасированию откосов карьеров и породных отвалов и созданию искусственных водохранилищ; выполнять работы, связанные с защитой от эрозии и благоустройством рекультивируемых территорий; участвовать в работе комиссии по сдаче землепользователям рекультивированных земель и подготавливать графический материал к акту передачи восстановленных земель; вести маркшейдерскую отчетность по рекультивационным работам.

Ответственность за выполнение работ по рекультивации и своевременную передачу в надлежащем состоянии земельных площадей, освобождающихся после добычи полезного ископаемого, несут руководители горных предприятий.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Раздел 1. Общие сведения об открытой разработке месторождений полезных ископаемых:

1.Что в горном производстве называется карьером и разрезом?

2. Назовите геометрические элементы карьера.

3. Что служит показателем оценки пригодности месторождения к разработке открытым способом?

4. Назовите элементы системы горных выработок для вскрытия карьерных полей.

5. Какие параметры карьера являются главными?

Раздел 2. Нормативно-правовые основы маркшейдерского обеспечения недропользования:

1. Каким основным Законом РФ утверждено, что земля и другие природные ресурсы принадлежат государству?

2. Каким законом регламентируется недропользование?

3. Что такое недропользование?

4. На чем основывается законодательство о недрах?

5. Что необходимо выполнить для обеспечения эффективного и безопасного недропользования?

6. Какие государственные задачи возлагаются на маркшейдерскую службу горного предприятия при пользовании недрами?

7. Какими законами определено правовое положение маркшейдерской службы в РФ?

8. чем регламентируется производство маркшейдерских работ?

9. Чем регламентируется составление и ведение маркшейдерской документации?

10. Чем регламентируется оформление горного отвода?

11. что понимается под понятием горный отвод, земельный отвод?

12. На основании чего осуществляется получение земельного отвода?

Раздел 3. Опорные маркшейдерские сети на территории горного предприятия:

1. Что является геометрической основой для всех видов съемки на земной поверхности и в карьере?

2. Государственные сети какого класса являются исходными

для опорных сетей на карьере?

3. Назовите методы построения и основные характеристики опорных сетей 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов.

4. Как определяется количество пунктов опорных сетей на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия?

5. Какие требования предъявляются к измерению горизонтальных углов в триангуляции 1-го и 2-го разрядов?

6. Какие требования предъявляются к опорным сетям, создаваемым методом полигонометрии.

7. Какими знаками закрепляются пункты опорных сетей 4-го класса и 1-го и 2-го разрядов?

8. Какими требованиями руководствуются при построении опорных сетей, при планировании работ по ее пополнению и реконструкции?

9. Что является основой для высотных опорных сетей на карьере?

10. Назовите методы построения и основные характеристики высотных опорных сетей на карьерах.

Раздел 4.1. Классические способы созидания съемочных сетей:

1. Что является основой построения и развития съемочных сетей на карьерах?

2. От чего зависит выбор способа и схемы расположения пунктов и точек съемочного обоснования?

3. Как определяется количество основных пунктов и съемочных точек?

4. Какая допустимая средняя квадратическая погрешность положения пункта съемочного обоснования относительно ближайшего пункта опорной сети?

5. Как закрепляются пункты и точки съемочного обоснования?

6. Какие требования предъявляются к аналитическим сетям как к методу съемочного обоснования?

7. Какие предъявляются требования и существуют варианты решения теодолитных ходов при создании съемочных сетей?

8. Назовите условия применения и способы решения прямой

геодезической засечки.

9. Назовите условия применения и способы решения обратной геодезической засечки.

10. Назовите условия применения и способы решения линейной геодезической засечки.

11. Назовите условия применения и способы решения азимутальной засечки.

12. Назовите условия применения и способы решения полярной засечки (полярный способ определения координат).

13. Что представляет собой способ создания съемочного обоснования - прямоугольные (эксплуатационные) сетки?

14. При каких условиях применяется аналитическая фототриангуляция как способ создания съемочного обоснования?

15. Какие существуют способы определения высот пунктов съемочного обоснования"?

Раздел 4.2. Применение спутниковой геодезии на карьерах и разрезах:

1. Из каких сегментов состоит спутниковая система?

2. Объясните схему определения пространственных координат точки комплексом спутниковой геодезии.

3. Назовите основной принцип технологии дифференциальной съемки для определения точных координат точки.

4. Что такое вектор и геодезическая линия в эллипсоиде WGS-84?

5. Назовите основные технологии спутниковых съемок.

6. Назовите основные типы спутниковых приемников.

7. Как производится учет геометрии взаимного расположения спутников?

Раздел 4.3. Анализ точности и проектирование маркшейдерских сетей на карьерах;

1. Чему на местности равняется ошибка положения пункта съемочной сети при масштабе съемки 1:500?

2. Что такое «анализ точности сети» и какие задачи он решает?

3. От чего зависит ошибка положения последней точки линейно-углового хода?

4. Назовите критерии прямолинейности и равносторонности хода.

5. Укажите законы накопления ошибок в нивелирном ходе для условий равнинной и гористой местности.

6. Как выбрать нивелир для сети IV класса?

7. Назовите источники возникновения ошибок при тригонометрическом нивелировании.

8. От чего зависит точность геодезической засечки?

9. Назовите источники ошибок при спутниковом позиционировании.

10. Что такое «геометрический фактор» и как он используется при проектировании измерений?

11. Каким образом избавляются от влияния внешних условий на точность спутникового позиционирования?

12. Назовите основные составляющие технического проекта создания маркшейдерской сети.

13. Для чего нужны избыточные измерения и как они предусматриваются в проекте сети?

14. Как решаются прямая и обратная задачи при анализе проекта сети?

15. В чем отличие между априорной и апостериорной ошибками единицы веса?

Раздел 5. Съемочные работы на карьерах и разрезах:

1. Какие цели и задачи маркшейдерской съемка карьеров?

2. Какими способами выполняется маркшейдерская съемка на карьерах?

3. Перечислите основные требования, предъявляемые к съемке контуров горных выработок.

4. Характеризуйте схему и методику способа перпендикуляров (ординатного способа съемки).

5. Объясните схему и методику тахеометрической съемки.

6. Объясните основной принцип и методику выполнения стереофотограмметрической съемки.

7. Перечислите виды стереофотограмметрической съемки в

горном деле при открытом способе разработки.

8. Назовите предпосылки создания систем лазерного сканирования.

9. Каков принцип работы лазерного сканера?

10. Каков принцип обработки результатов лазерного сканирования?

11. Перечислите приборное обеспечение технологии лазерного сканирования.

12. Укажите возможности практического применения систем лазерного сканирования.

13. Объясните мониторинг состояния, геологического картирования откосов карьера при использовании лазерного сканирования.

14. Каков принцип замеров и вычисления объемов горных масс при помощи технологии лазерного сканирования?

Раздел 6. Маркшейдерское обеспечение горно-строительных работ в карьере:

1. Перечислите документы технического проекта на проходку траншей.

2. Какие маркшейдерские работы выполняются при проходке траншей?

3. Назовите способы задания направления трассы траншей в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

4. Перечислите исходные проектные материалы, на основе которых производится разбивка транспортных путей.

5. Какие маркшейдерские работы при строительстве карьерных железнодорожных путей?

6. Каковы порядок и методика разбивки осей, вынос вершин углов поворота транспортных путей в горизонтальной плоскости?

7. Каковы порядок и методика разбивки трассы пути в вертикальной плоскости?

8. Назовите способы разбивки криволинейных участков транспортных путей.

9. Перечислите основные требования, предъявляемые к буровзрывным работам в карьере.

10. Какие маркшейдерские работы проводятся при состав-

лении плана-проекта (плана-задания) на буровзрывные работы?

11. Перечислите маркшейдерские работы до и после взрыва горного массива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Певзнер, М. Е.* Маркшейдерия: учебник для ВУЗов / М. Е. Певзнер [и др] – М.: МГГУ, 2003. – 419 с.

2. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охране недр. Утверждено Постановлением Госгортехнадзора от 22.05.01, № 18.

3. *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. 2003. 118 с.

4. *Оглоблин, Д. Н*. Маркшейдерское дело: Учебник для вузов / Д. Н. Оглоблин [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1981. 704 с.

5. *Справочник по маркшейдерскому делу* /Под ред. А. Н. Омельченко. М.: Недра, 1979. 576 с.

6. *Терминологический словарь по маркшейдерскому делу* / Под ред. А. Н. Омельченко. М.: Недра, 1987. 191 с.

7. *Дементьев, В. Е.* Современная геодезическая техника и её применение: Учебное пособие для вузов./ В. Е. Дементьев. – Изд. 2-е. – М.: Академический Проект, 2008. – 591 с.

8. *ГКИНП (ОНТА)-01-271-03.* Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. - М.: ЦНИИГАиК, 2003, 65 с.

9. *Официальный сайт Федерального космического агентства «Информационно-аналитический центр»:* http://www.glonass-ianc.rsa.ru

10. *Серапинас, Б. Б.* Глобальные системы позиционирования: Учеб. Изд. / Серапинас Б. Б. – М.: ИКФ «Каталог», 2002. – 106 с.

11. *РТМ 68-14-01.* Руководящий технический материал. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения. М.: ЦНИИГАиК, 2001. - 14 с.

12. *Поклад, Г. Г.* Геодезия: Учебное пособие для вузов/ Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2007. – 592 с.

13. *Ворошилов, А. П.* Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ: Учебное пособие. / Ворошилов А. П. – Челябинск: АКСВЕЛЛ, 2007. – 163 с.

14. *Michael Shaw (Министерство транспорта США)*, *Kanwaljit Sandhoo (Корпорация MITRE, CAASD)*, *David Turner (Аэрокосмическая корпорация.)* Модернизация системы глобального позиционирования (GPS). Перевод статьи опубликованной в GPS World, Октябрь 2000 г. Перевод выполнен "Навгеоком" © 2001.

15. *Инженерная геодезия* /под ред. Д. Ш. Михелёва Е. Б.– 4-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.

16. *Голубко, Б. П.*, *Панжин А. А.* Маркшейдерские работы при разработке месторождений открытым способом: Учебное пособие / Голубко Б. П. - Екатеринбург: УГГУ, 2004. - 154 с.

17. *Соловьёв, Ю. А.* Системы спутниковой навигации / Соловьёв Ю. А. – М.: Эко-Трэндз, 2000. – 270 с.

18. *Клепко, В. Л.* Глобальные навигационные спутниковые системы, их применение в геодезии: Учебное пособие / Клепко В. Л. - Екатеринбург: УГГУ, 2008. – 146 с.

19. *Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геолого-разведочных работ*. Министерство природных ресурсов РФ, 1996, 45 с.

20. *ГКИНП (ОНТА)-02-262-02.* Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Утверждена Федеральной службой геодезии и картографии России 18.01.02 г. – М.: ЦНИИГАиК, 2002.

21. *Руководство пользователя программного обеспечения* «Trimble Geomatics Office». Том «Wave Baseline Processing». Версия 1.50. Вариант А. – США. Trimble Navigation, 2001. – 84 с.

22. *Официальный сайт ФГУП* "Госземкадастрсъемка" – ВИСХАГИ: http://www.vishagi.com.

23. *http://www.gps.ru*

24. *Маркшейдерское дело*: Учеб. для вузов. – В двух частях / под ред. И. Н. Ушакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – Часть 2 / А. Н. Белоликов, В. Н. Земисев, Г. А. Кротов и др. – 437 с.

25. *Маркшейдерская энциклопедия* / Гл. ред. Л. А. Пучков. – М.: Мир горной книги, 2006. – 605 с.

26. *Гордеев, В. А.* Теория ошибок измерений и уравнительные вычисления. Учебное пособие / Гордеев В.А., 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. - 429 с.

27. *Гордеев, В. А*., *Раева О. С*. Анализ точности вытянутых теодолитных ходов / Гордеев В. А. // Известия УГГГА. – Сер. Горное дело. Вып.11. 2001. – С.231-239.

28. *ГКИНП (ГНТА)-03-010-02.* Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов – М.: Роскартография, 2003. – 134 с.

29. *Гордеев, В. А., Раева О. С.* Об уравнивании обратной угловой засечки / Гордеев В. А. // Маркшейдерский вестник. – № 1. – 2005. – С. 55-57.

30. *Селиханович, В .Г.* Геодезия: Учеб. для вузов / Селиханович В.Г., Ч. 2 – М.: Недра, 1981. 544 с.

31. *Гордеев, В. А*. Обобщенная формула оценки точности геодезических засечек / Гордеев В. А. // Состояние и перспективы развития маркшейдерского дела на Урале: Материалы Международной научно-практической конференции, 9-12 ноября 2005 г. – Екатеринбург: УГГУ, 2005. – С. 124-130.

32. *Яценков, В. С.* Основы спутниковой навигации. / Яценков В. С. – М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 272 с.

33. *Клепко, В. Л., Александров А. А.* Высшая геодезия: Учебное пособие./ Клепко В. Л. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 215 с.

34. *Попов, И. И, Немкин А. Ф.* Маркшейдерские работы при рекультивации земель на горных предприятиях./ Попов И. И, Немкин А. Ф. – М.: Недра, 1984. – 184 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«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
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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, β_r = β°/57,3 = β′/3438′ = β″ / 206265″. Для малых углов, близких к 0°, β_r = sin β° = tg β°.

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

Решение. β = β°+(β′+β″/60″)/60′; β = 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 ·60′·60′ = 2145″.

Определяем число минут:

2145″ / 60″ = 35,75′

Определяем число секунд:

0,75′·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. $Z_B = Z_A$ – ДZ = 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 $30°35'45'' + N^{\circ}N'N''$, где N – здесь и далее номер варианта.
2. Выразите значение угла 30,595830° + N° в градусной мере.
3. Определите азимут географический $A_{\text{Г}}$, если известен азимут магнитный $A_{\text{М}}$ = 110°+ N° и магнитное склонение δ = +3°45″.
4. Определите значение румба (r) линии, дирекционный угол (α) которой равен 345°+ $N^{\circ}N'N''$.
5. Определите высоту точки B (Z_{B}), если известна высота точки A (Z_A) = 256,4 м + Nм и превышение между точками ΔZ = –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

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

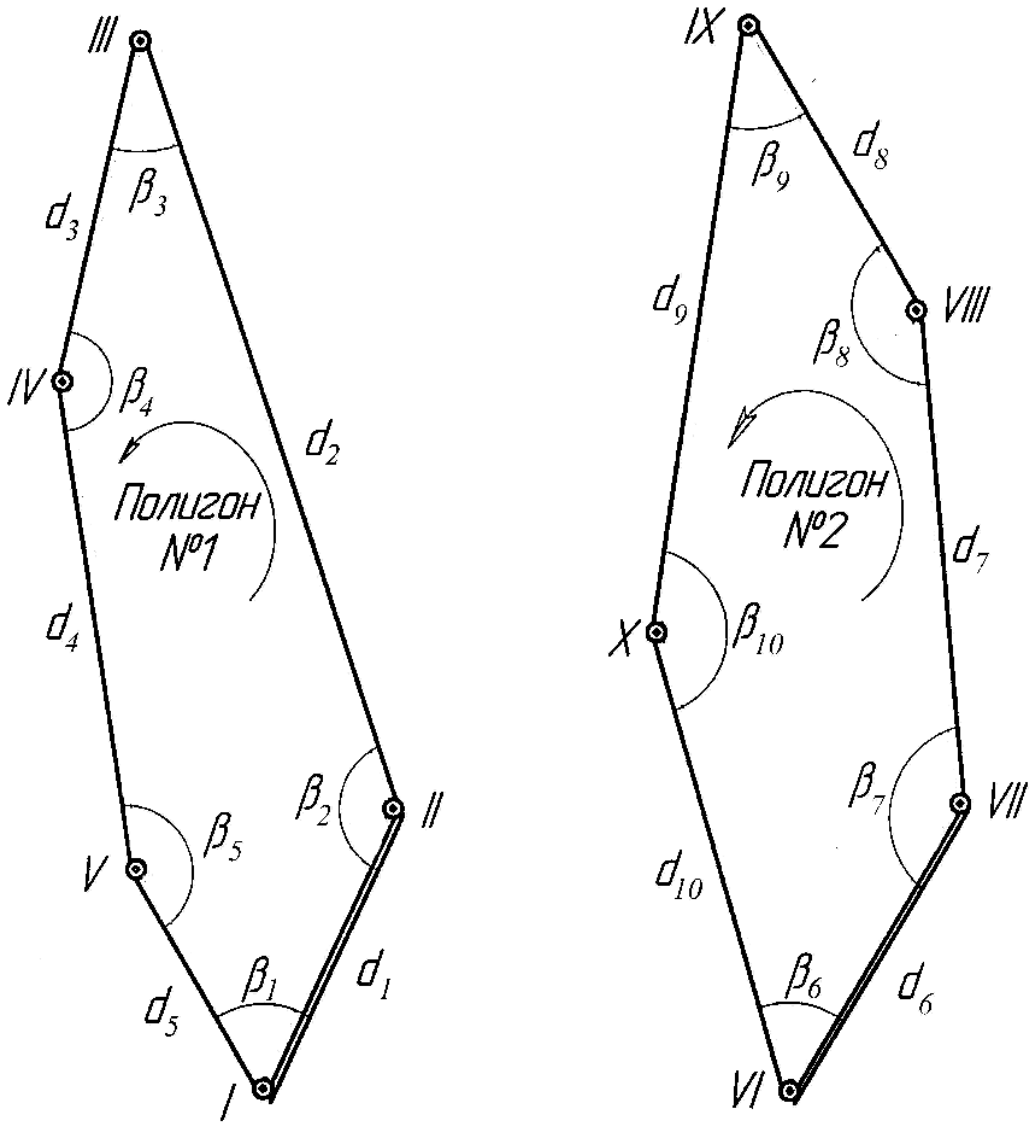


Рис. 1. Замкнутый полигон теодолитного хода:
исходные стороны опорных сетей:
β – горизонтальные углы;
d – горизонтальные линии

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 $1{,}5\,t$, 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

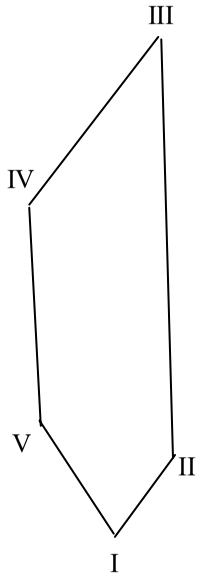
Геодезические засечки – способ определения плановых координат (*X*, *Y*) отдельных пунктов по необходимому числу измеренных угловых и линейных величин. В зависимости от методики измерений и вычислений геодезические засечки называются: прямая, обратная, азимутальная, линейная.

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				

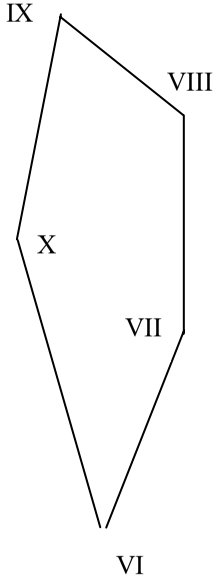


Примечание. $f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 7$ мм; $f_{отн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{7}{103691} = \frac{1}{14813} \le \frac{1}{3000}$; $f_{доп} = \frac{1}{3000}$.

Окончание таблицы 2

Пример расчета координат точек теодолитного хода, полигон № 2

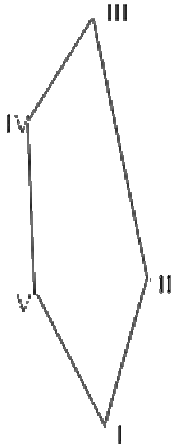
Точки: стояния	Точки: наблюдения	Горизонтальные проложения, м	Горизонтальные углы: измеренные ° ' "	Горизонтальные углы: исправленные ° ' "	Дирекционные углы ° ' "	Приращения: ΔY	Приращения: ΔX	Координаты: Y	Координаты: X	Номер пункта	Эскиз
VI								6125 350,040	640 710,100	VI	
	VII	17,182			70 30 30	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
			х° х′ х″	десят.	испр.	х° х′ х″	х° х′ х″	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_{1I}, 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

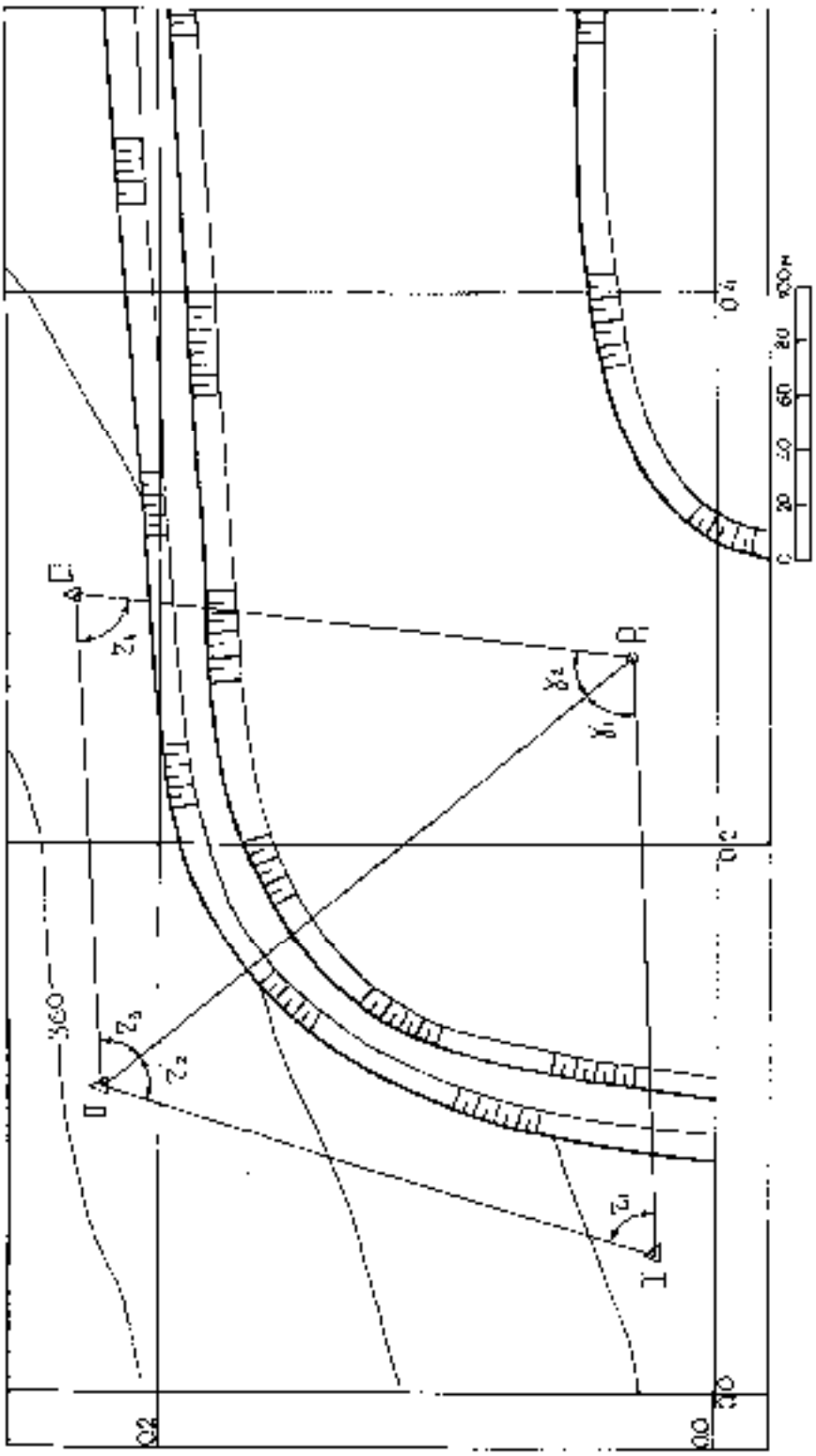


Рис. 2. Прямая геодезическая засечка

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: $r_1=71^\circ$, $r_2=56^\circ$, $\gamma_1=53^\circ$.

Исходные данные:

$X_{\text{I}} = 20$ м; $Y_{\text{I}} = 50$ м; $X_{\text{II}} = 220$ м; $Y_{\text{II}} = 110$ 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:

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

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

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

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:

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

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

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

$$y_{P1} = 110 + (28{,}683 - 220)\ \text{tg}\ 140^\circ 49' 12'' = 265{,}923 \text{ м}.$$

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

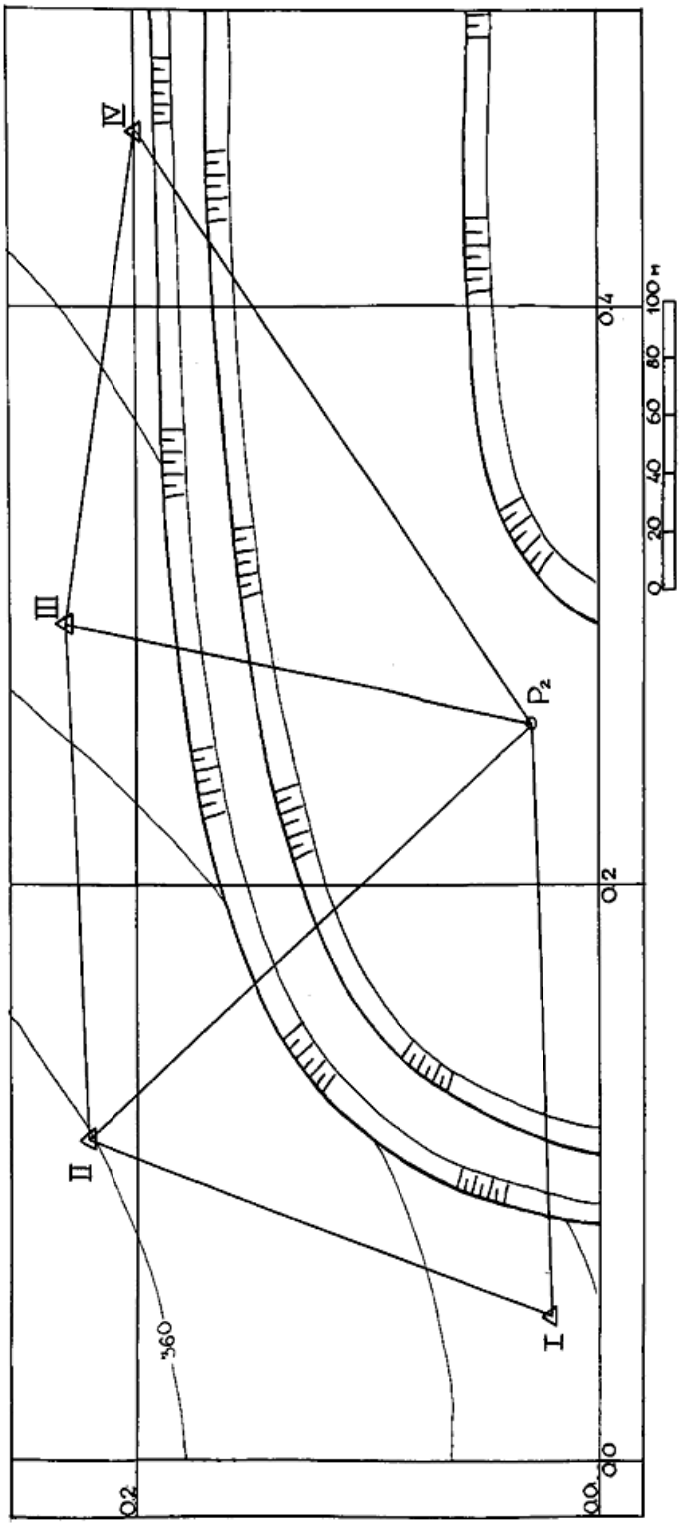
Расчет обратной геодезической засечки начинается с определения среднеквадратической погрешности положения точки съемочного обоснования P_2 относительно пунктов опорной сети I, II, III, IV с целью выбора наиболее выгодной схемы расположения пунктов. Для этого на плане участка карьера отмечают предполагаемое 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:

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

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
0.2
0.0
0.0
0.2
0.4
100 м
80
60
40
20
0

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)

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

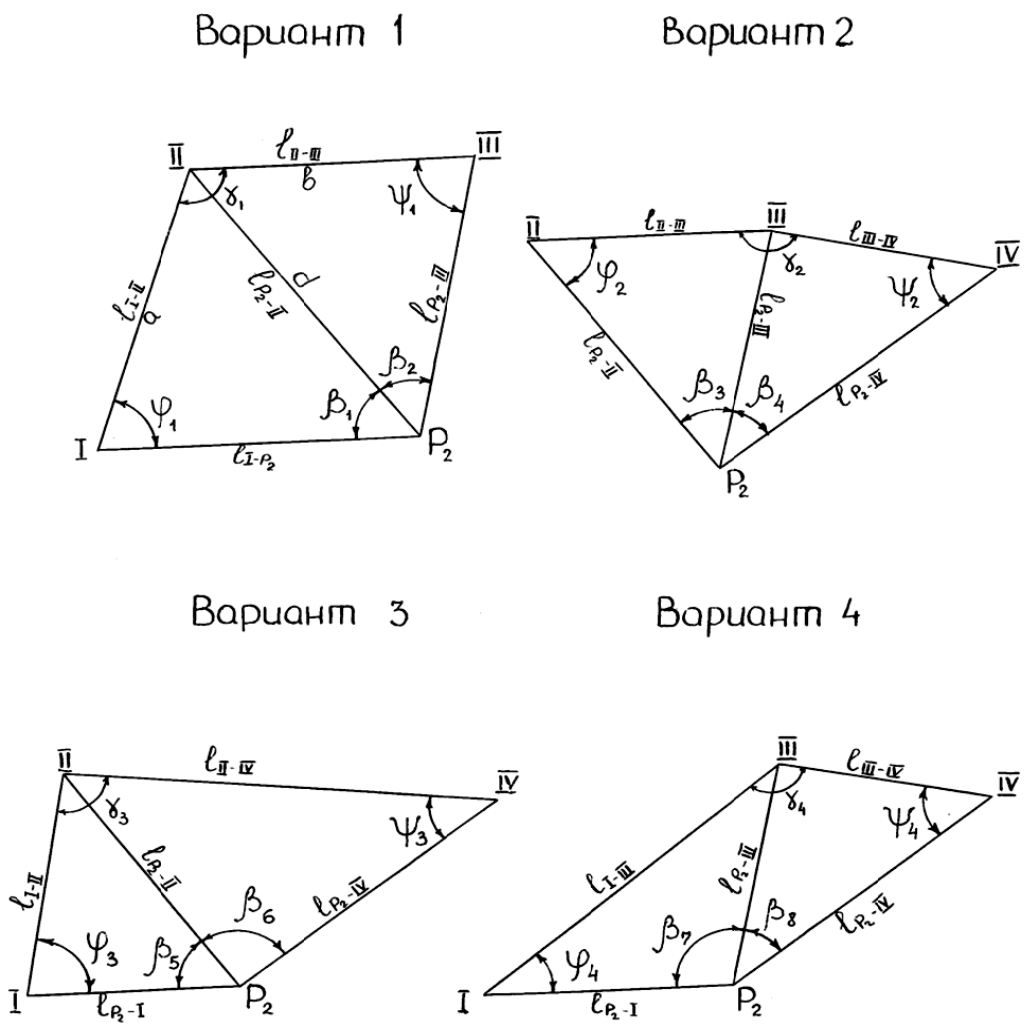


Рис. 4. Варианты обратной засечки

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_{IIHV} =172,6	$l_{\text{II–IV}}$=350,5	l_{IIHV} =172,6
	φ_1 =71	φ_2 =56	φ_3 =71	φ_4 =39
	ψ_1=77	ψ_2 =50	ψ_3=50	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.

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

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

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

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

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:

$$\varepsilon_1 = 180^\circ - \frac{\beta_5 + \beta_6 + \gamma_3}{2} =$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_{\text{ср}} = 322°56'10'';$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$d = 204{,}468$ м; $d = 204{,}465$ м; $d_{ср} = 204{,}466$ 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 lV на lll-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)

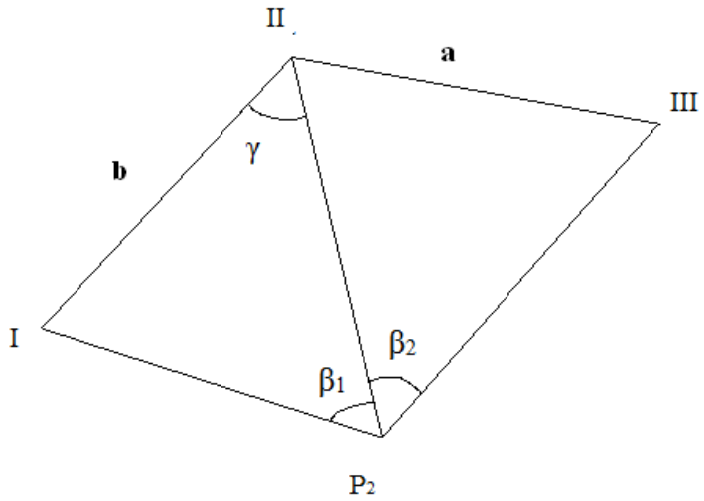
Исходные данные (см. табл. 3):

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.

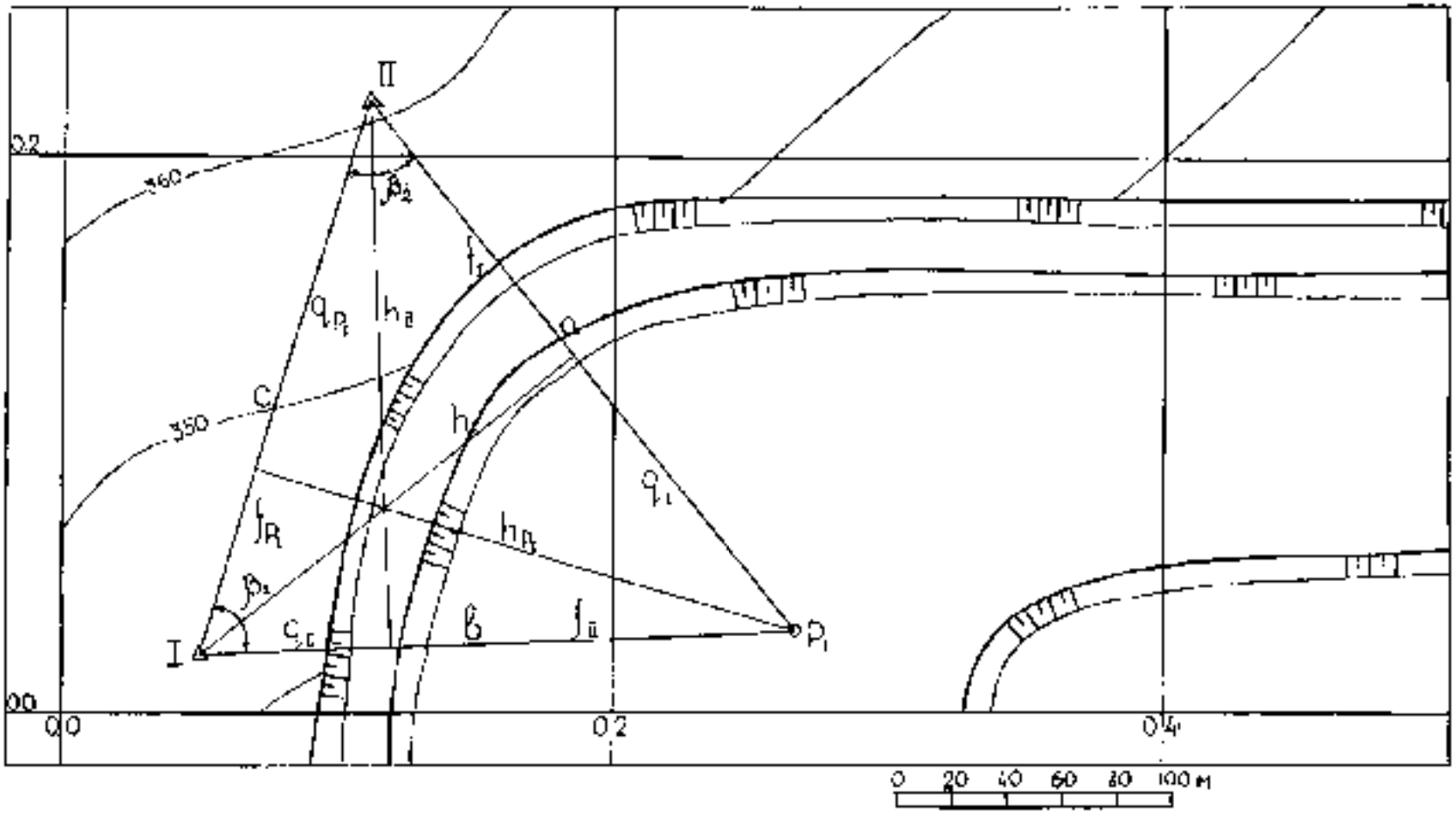


Рис. 6. Линейная геодезическая засечка

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 сьемки.

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

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

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

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

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

Контроль промежуточный**:**

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

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

$$= 20{,}000 \text{ м};$$

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

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

$$= 50{,}000 \text{ м}.$$

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.

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

$$\cos\alpha_{\text{II}-P_{1_1}} = \frac{27{,}330 - 220}{249{,}6} = -0{,}771915;$$

$$\sin\alpha_{\text{I}-P_{1_1}} = \frac{268{,}677 - 50}{218{,}8} = 0{,}999438;$$

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

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

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

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

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).

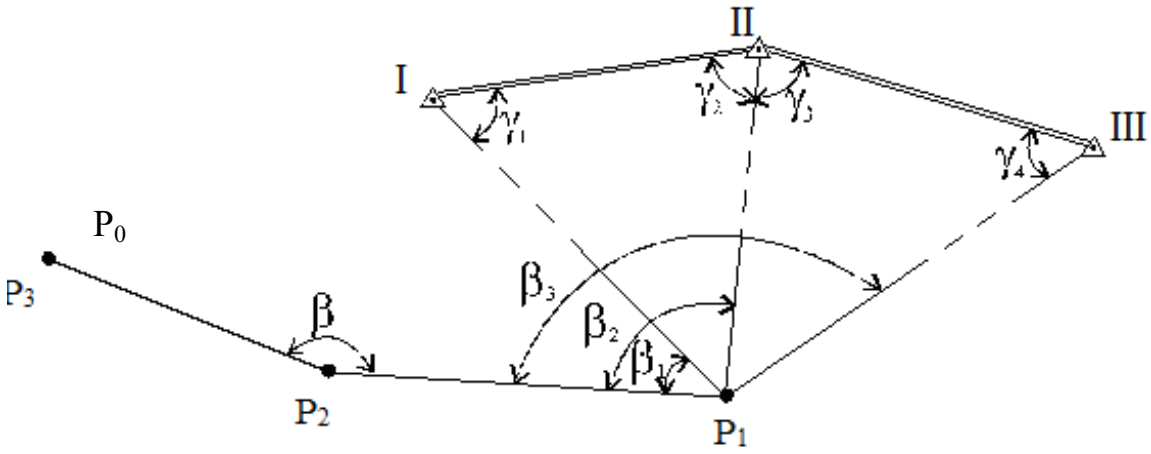


Рис. 7. Азимутальная засечка

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:

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

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

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

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

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

По разности дирекционных углов вычисляются углы при известных пунктах:

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_{\mathrm{I}-\mathrm{III}} = \mathrm{arctg}\ \frac{Y_{\mathrm{I}} - Y_{\mathrm{II}}}{X_{\mathrm{I}} - X_{\mathrm{II}}} = \mathrm{arctg}\ \frac{50 - 110}{20 - 220} = 16°41'57'';$$

$$\alpha_{\mathrm{II}-\mathrm{III}} = \mathrm{arctg}\frac{Y_{\mathrm{III}} - Y_{\mathrm{II}}}{X_{\mathrm{III}} - X_{\mathrm{II}}}. = \mathrm{arctg}\frac{290 - 110}{230 - 220} = 86°49'13'';$$

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

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

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

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

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	$\gamma_1 = 71°25'51''$	20	50
II		220	110
P_1	$\gamma_2 = 55°34'09''$		

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

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

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

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

Таблица 6

Исходные данные из треугольника II-III-P_1

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

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

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

$$= 26{,}638 \text{ м};$$

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

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

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}, $\Delta Y_{P_1} \le 1{,}2$ 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: $\beta_1 = 305°$, $\beta_2 = 55°$, $\delta = -8°$,

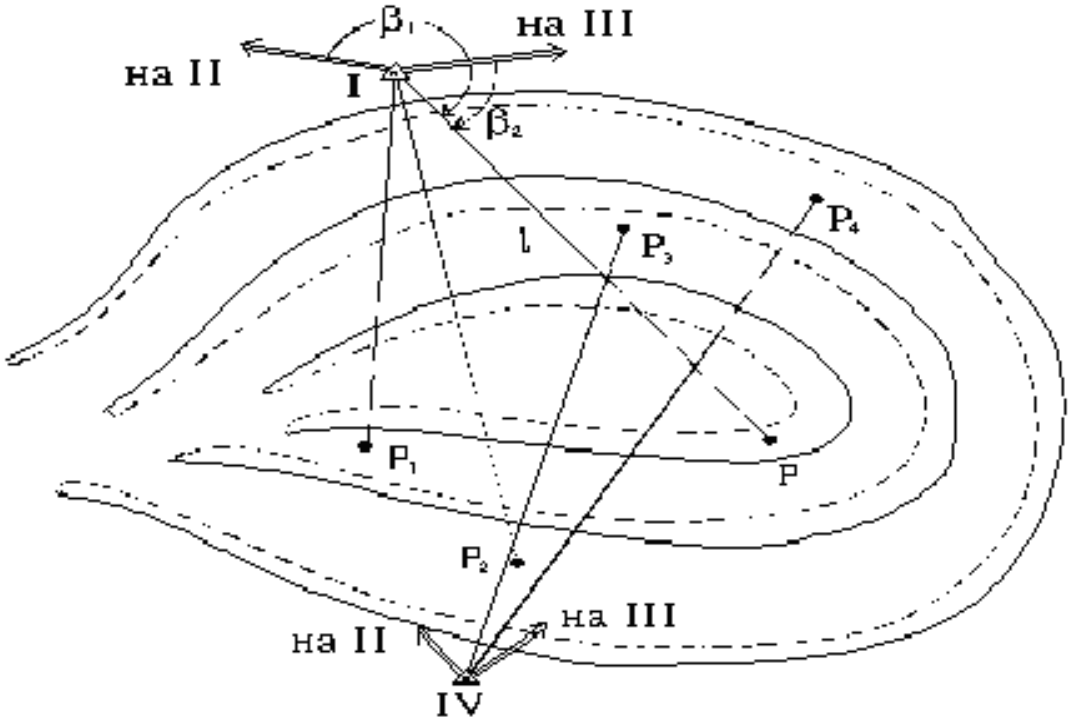


Рис. 8. Полярный способ определения координат

Решение.

Координаты пункта вычисляют по формулам:

$$x_P = x_1 + d\cdot\cos\alpha_{I\text{-}P1} = 220 + 247{,}567\cdot\cos141^\circ = 27{,}604 \text{ м};$$

$$y_P = y_1 + d\cdot\sin\alpha_{I\text{-}P1} = 110 + 247.567\cdot\sin141^\circ = 265{,}799 \text{ м};$$

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

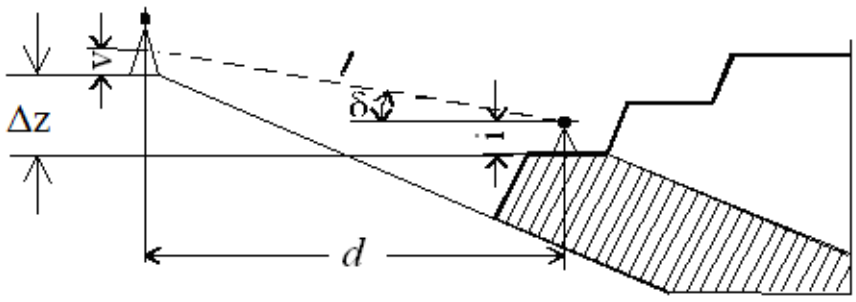


Рис. 9. Тригонометрическое нивелирование в карьере

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 0,04*l*, 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:

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

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

Полигон № 2

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

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:

$$\delta = 2^{\circ}30' + N^{\circ}\ N',$$

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*.

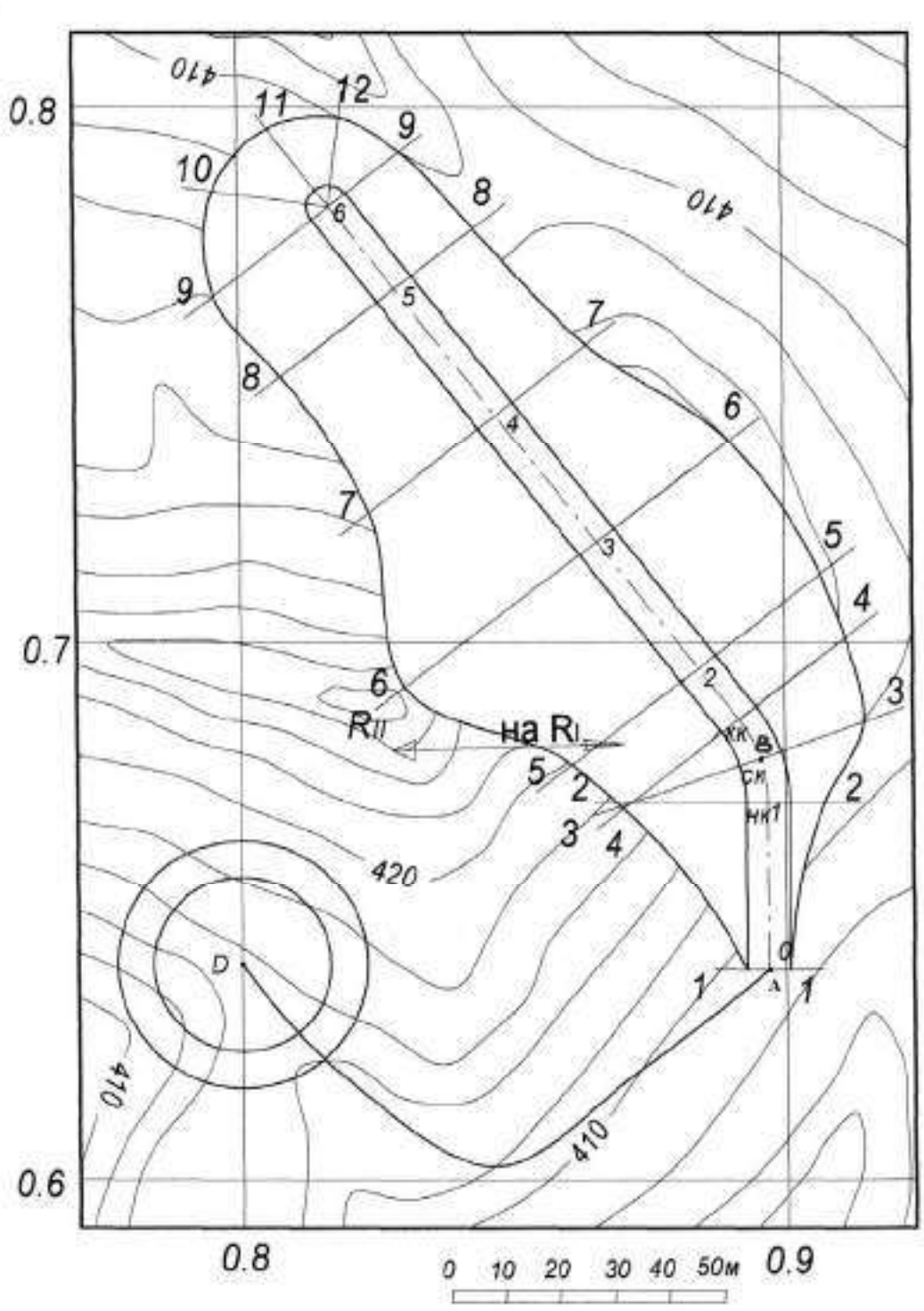


Рис. 10. Топографический план участка проходки въездной траншеи

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

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

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).

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

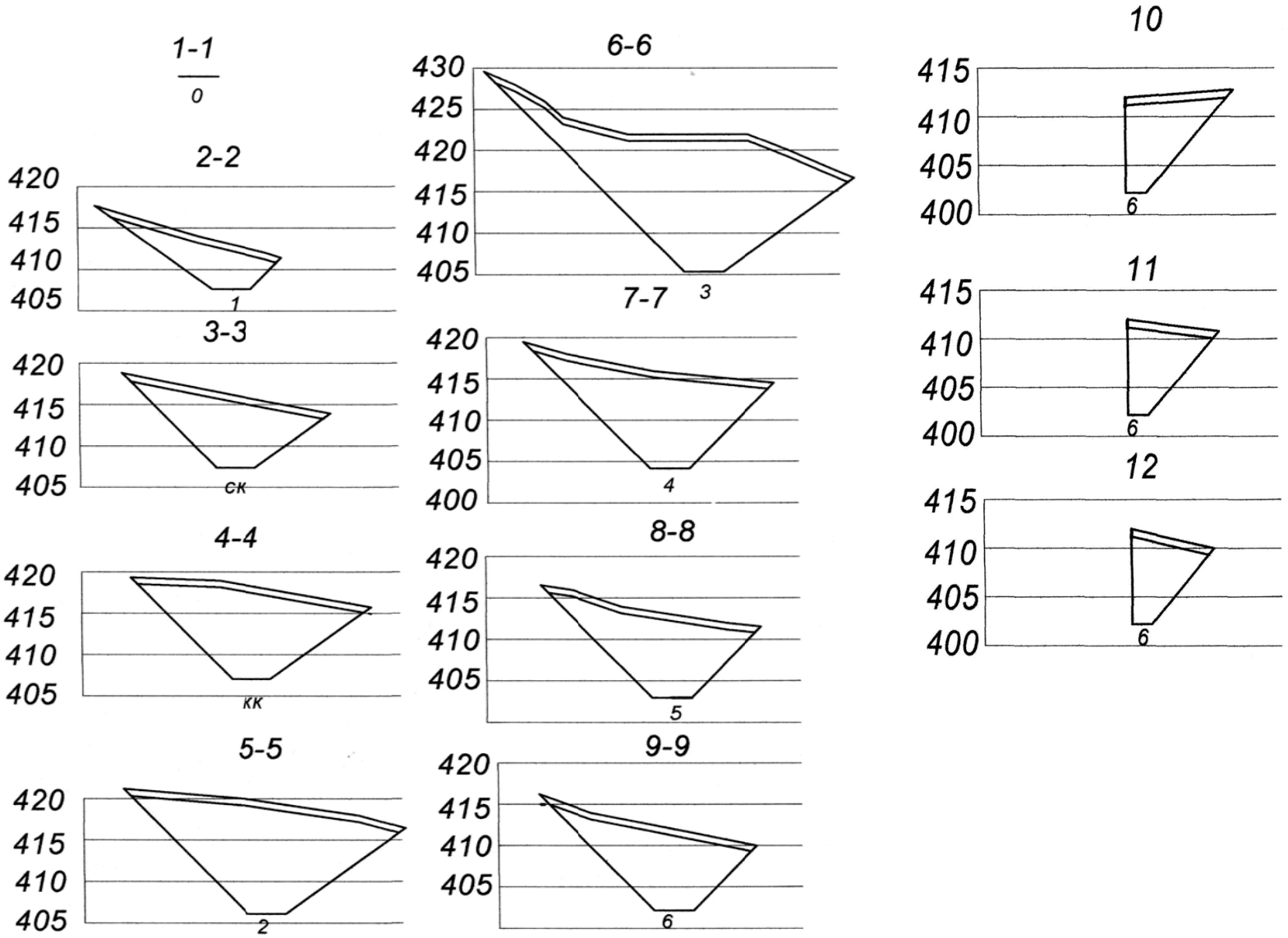


Рис. 11. Вертикальные сечения по линии в пикетных точках

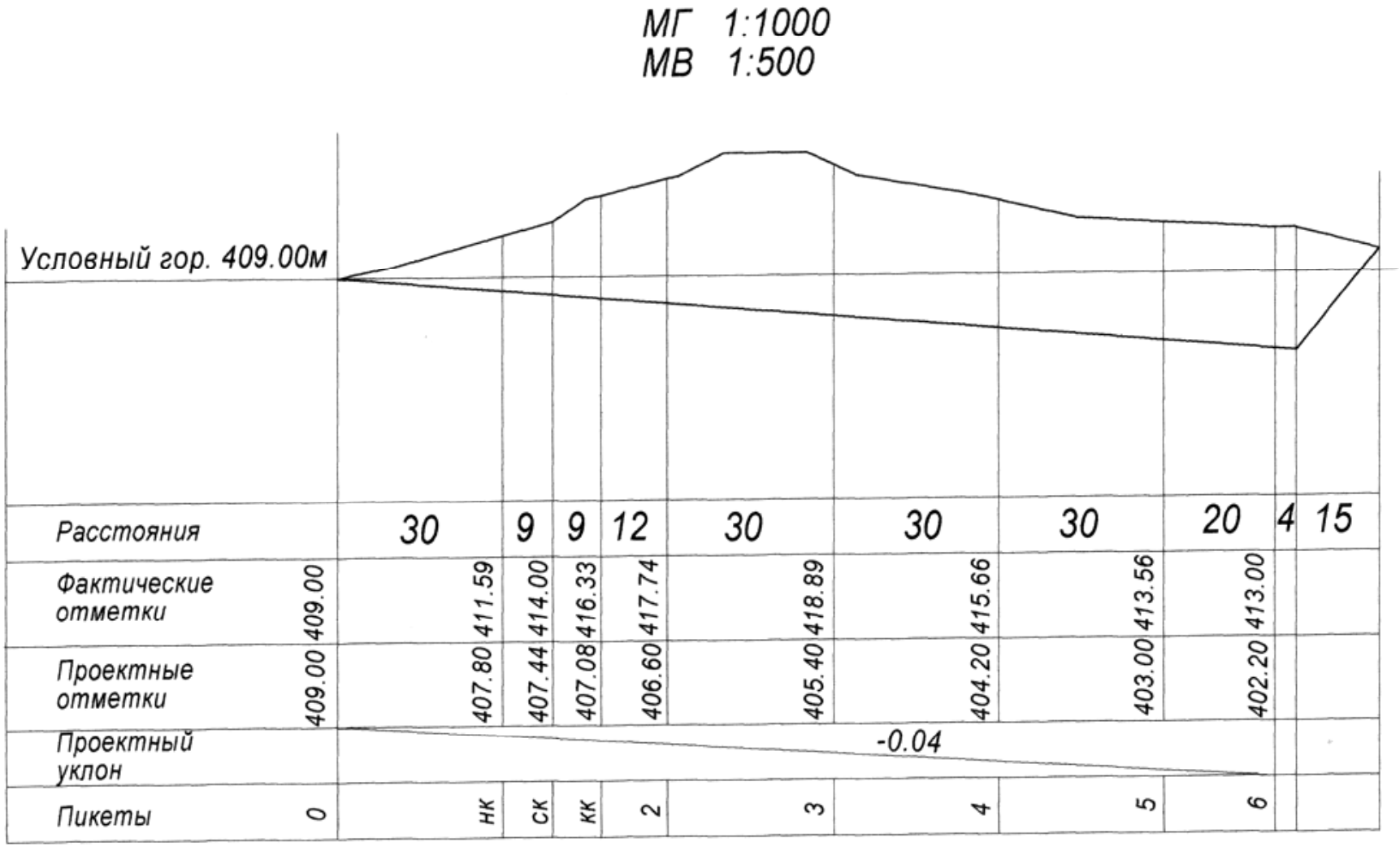


Рис. 12. Продольный профиль по оси траншеи

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:

$X_A = 646{,}842$ м, $Y_A = 896{,}842$ 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.

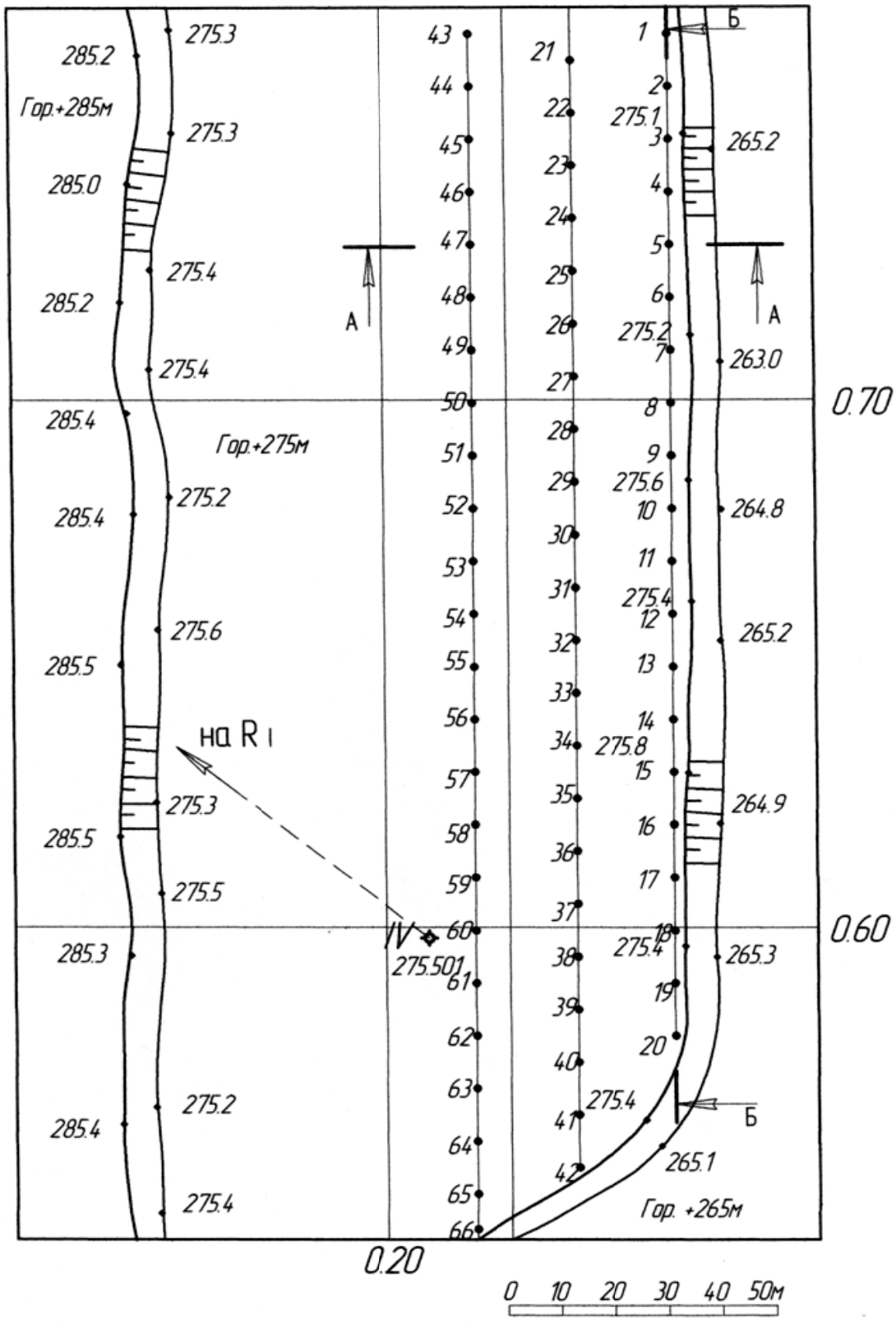


Рис. 13. План участка карьера, подготавливаемого к взрыву

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_1 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).

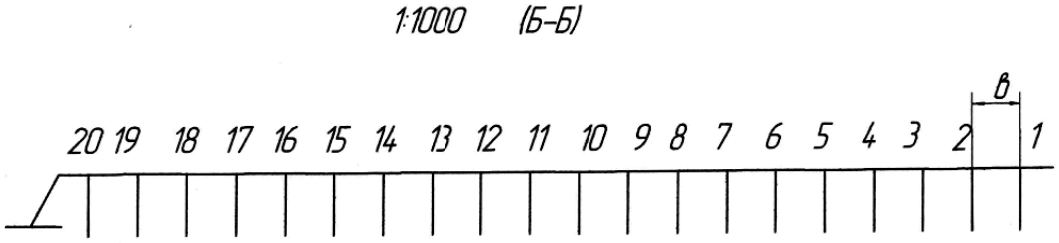


Рис. 14. Продольный разрез по линии Б-Б

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

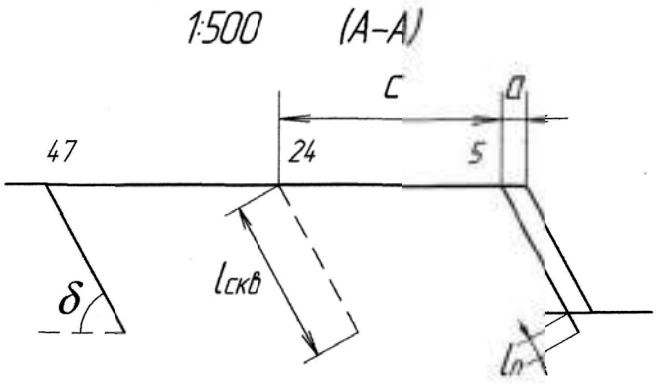


Рис. 15. Поперечный разрез по линии А-А

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

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

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебное пособие

Решение типовых маркшейдерских задач
при разработке месторождений полезных
ископаемых подземным способом
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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.

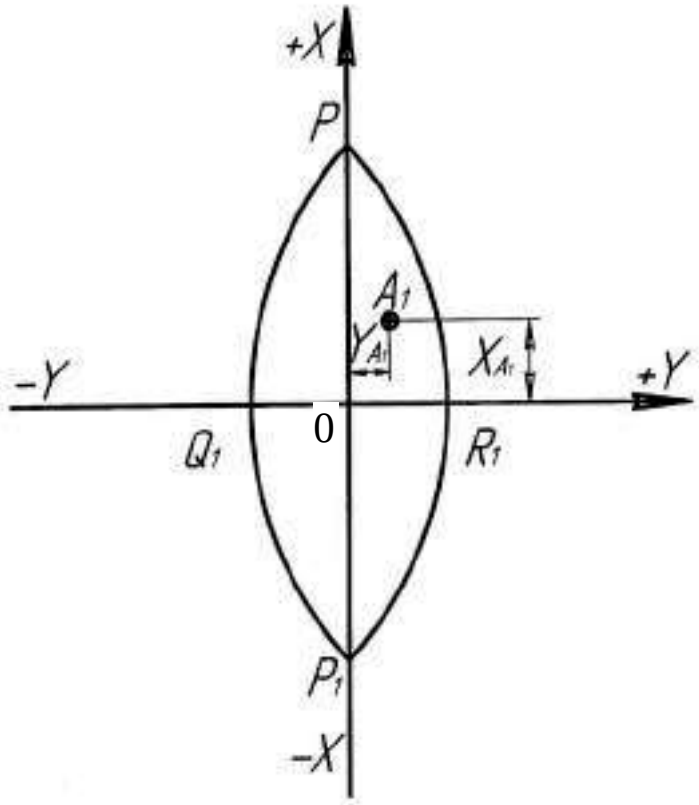


Рис. 1.1. Плоские прямоугольные координаты Гаусса точки A_1 земного эллипсоида

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	$\alpha_{AB} = 360° - r_{AB}$

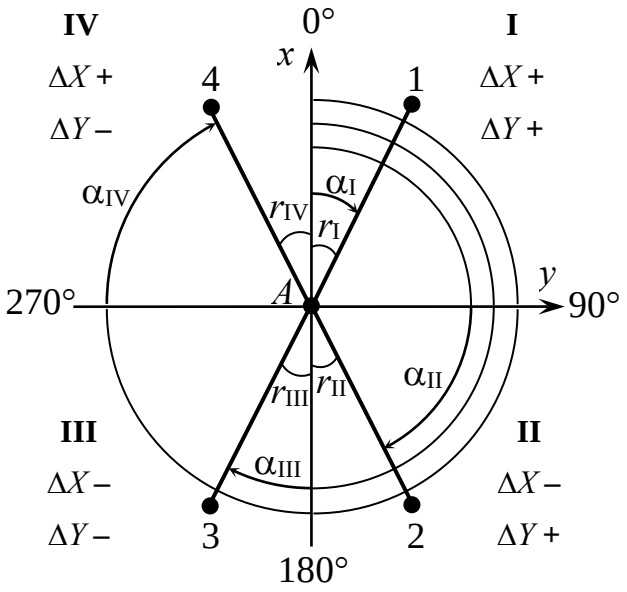


Рис. 1.2. – Схема определения румбов и дирекционных углов

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:

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

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:

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

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.

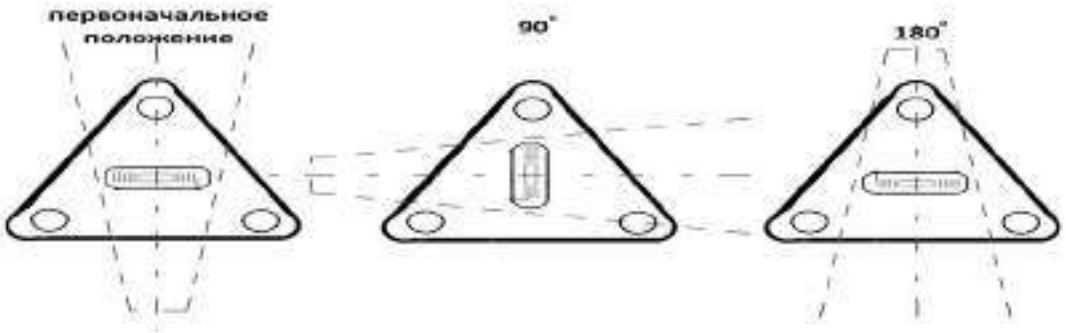


Рис. 1.3. Последовательность положений угломерного прибора относительно подставки при юстировке цилиндрического уровня при алидаде

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:

$$2C = (49°45′36″,5 + 180^{o}) – 229°45′29″,2 = 7″,3,$$

$$C = 7″,3/2=3″,6.$$

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^{o} 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.

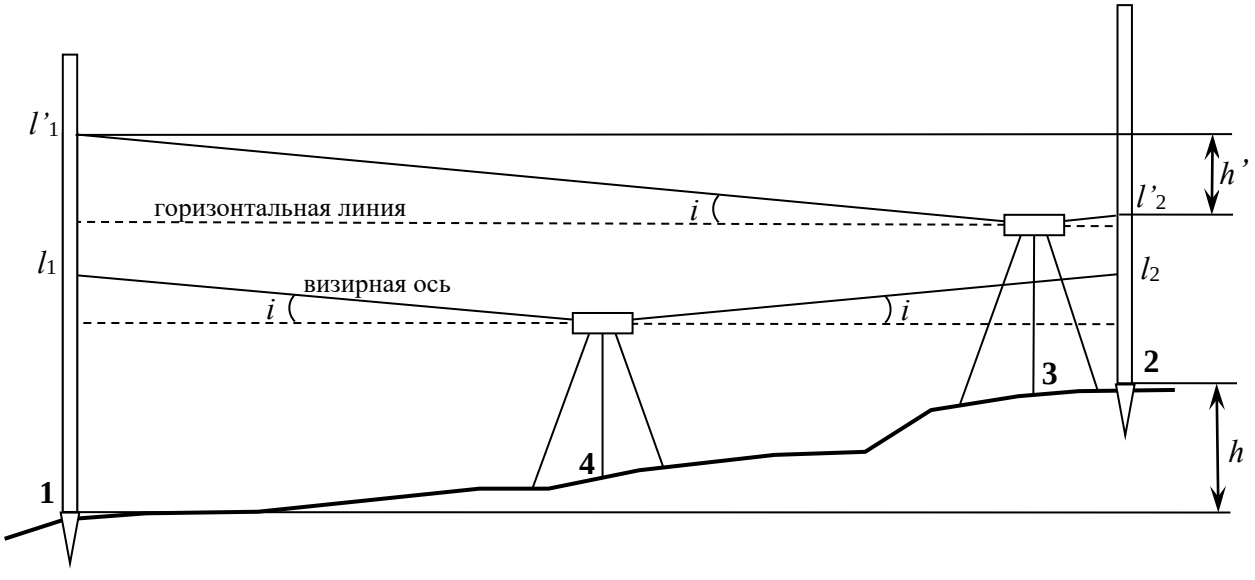


Рис. 1.4. Взаимное расположение нивелира и реек
при определении угла *i*

Значение угла *i* вычисляют по формуле:

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

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.

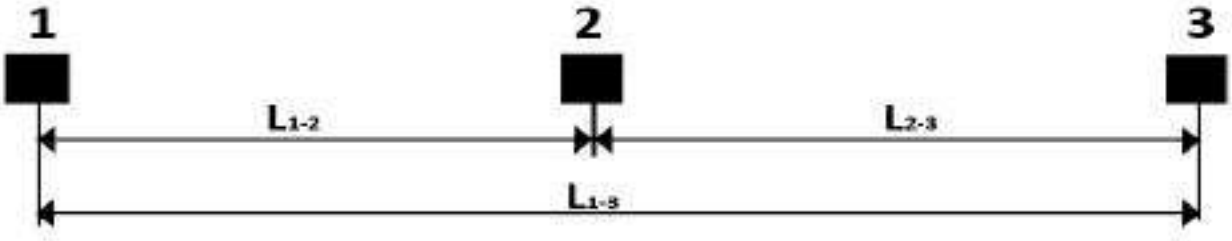


Рис. 1.5. Схема измерений расстояний при определении постоянной поправки светодальномера по трехштативному способу

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

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

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

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:

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

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:

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

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.

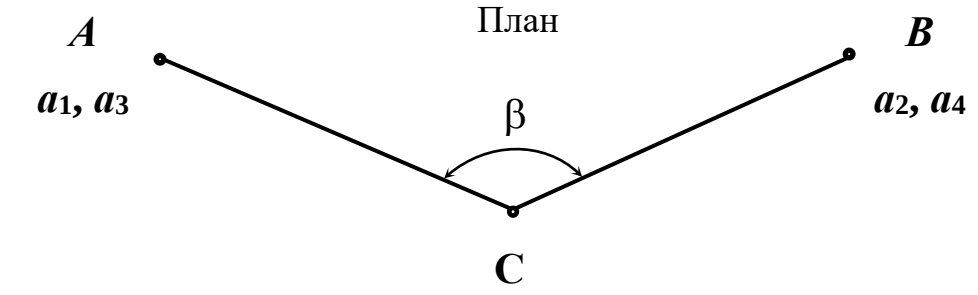
1.4.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов в подземной полигонометрии

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

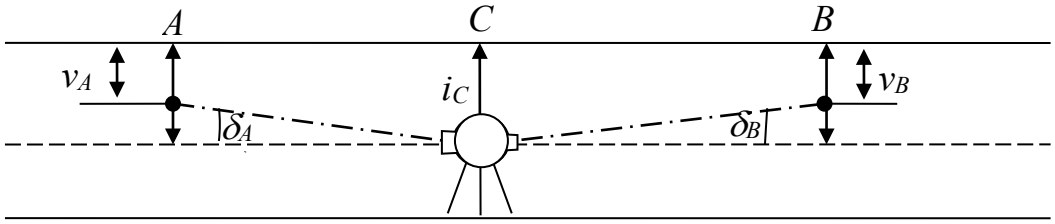


Рис. 1.6 Измерение горизонтального угла теодолитного хода

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.

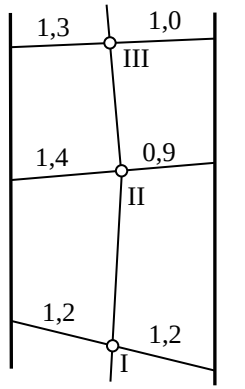
Вертикальные углы (углы наклона сторон δ) подземного теодолитного хода измеряют одновременно с измерением горизонтальных углов в прямом и обратном направлениях, на фиксированные точки сигналов, (см. рис. 1.6) с обязательным измерением высоты инструмента (i_C) и сигналов (v_A, v_B).

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°С

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	
	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																					
C		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.

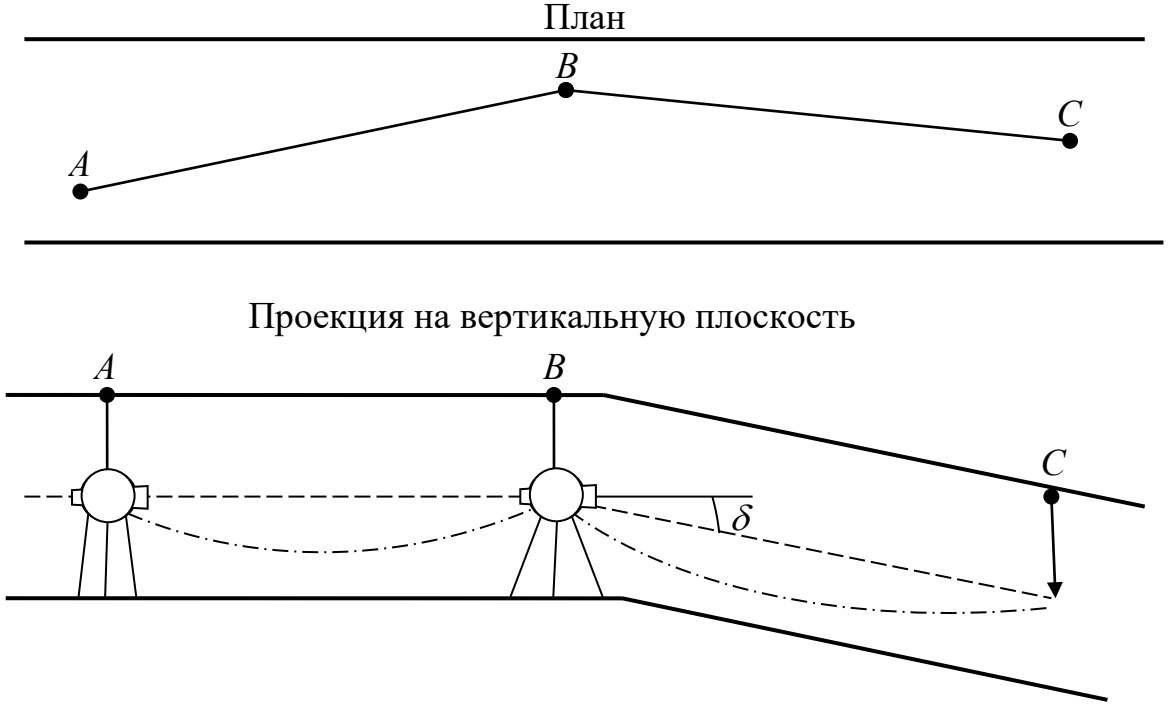


Рис. 1.7. Измерение длин сторон теодолитного хода рулеткой на весу

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 – $X_7, Y_7, X_8, Y_8, X_9, Y_9, X_{10}, Y_{10}$.

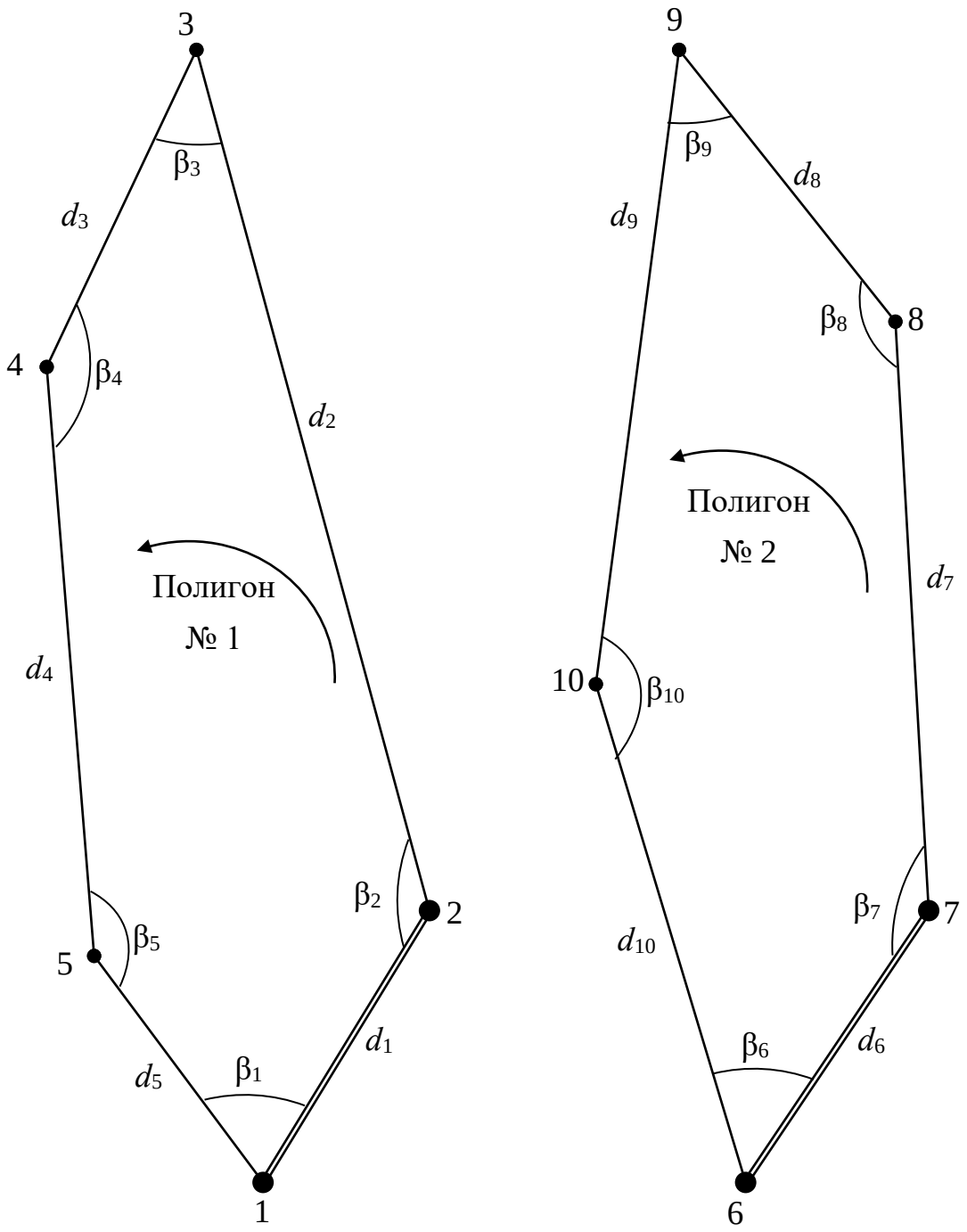


Рис. 1.8. Замкнутый полигон теодолитного хода:

═══ 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_β = 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;

$X_C = 5245{,}785 + N$; $Y_C = 2558{,}871 + N$,

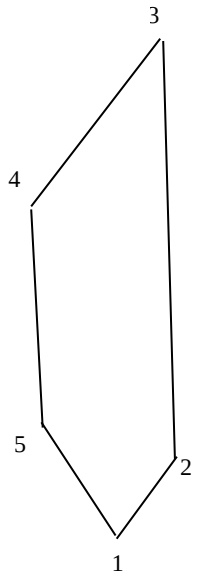
где N – номер варианта, м.

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			-2					
	3	26,913	179 52 51	179 53 01	75 48 56	26,093	6,595	362,275	723,843	3	
3	2		+9			-1					
	4	17,275	4 29 12	4 29 21	260 18 17	-17,028	-2,909	345,246	729,934	4	
4	3		+9			-1					
	5	16,044	175 53 38	175 53 47	256 12 04	-15,581	-3,827	329,664	726,107	5	
5	4		+9			-1					
	1	18,577	175 15 27	175 15 36	251 27 40	-17,613	-5,907	312,050	720,200	1	
1	5		+9								
	2		4 28 06	4 28 15	75 55 55						
		P = 103,691 м	f_β = - 46"			f_Y =0,007	f_X =0,000				



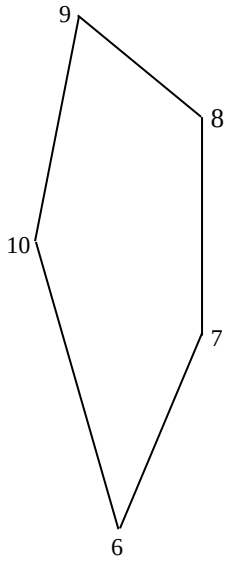
$$f_{\text{доп}} = 2m_\beta\sqrt{n} = 90'', \quad f_{\text{абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} = 7 \text{ мм}; \quad f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{\text{P}} = \frac{7}{103691} = \frac{1}{14813} \le \frac{1}{3000}; \; f_{\text{доп}} = \frac{1}{3000}.$$

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:

$\alpha_{AB} = 43^{o}25'35'' + N^{o} + N' + N''$,

$\beta_{Л} = 177^{o}52'43'' + N^{o} + N' + N''$,

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: $\alpha_{1\text{-}2} = 75^{o}55'55'' + N$; X_1 = 640720,200 м; Y_1 = 6125312,050 м;

полигон №2: $\alpha_{6\text{-}7} = 70^{o}30'30'' + N$; 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 $O_С$ и $O_Ю$ (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);

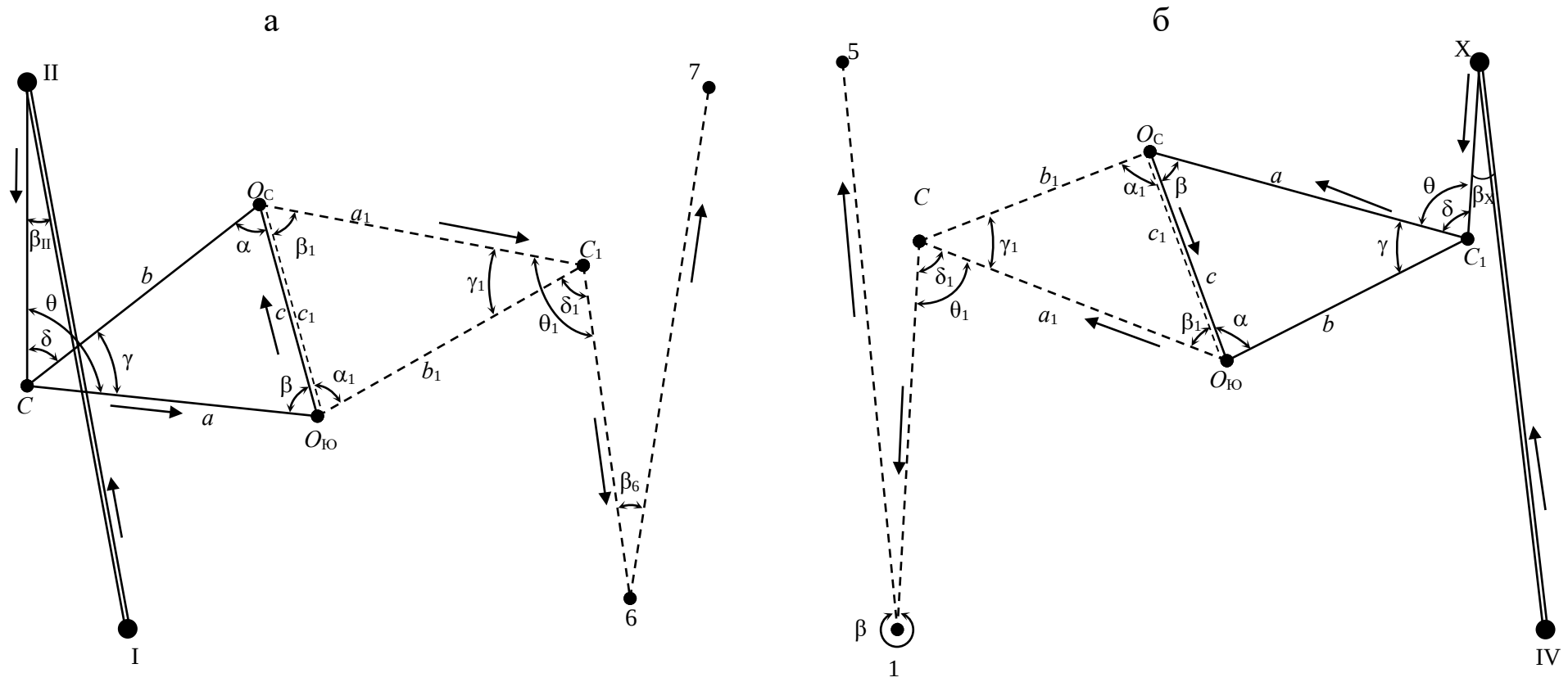


Рис. 2.1. Ориентирно-соединительная съемка через одну вертикальную выработку
а – схема 1; б – схема 2;

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 Δ*C* 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. ($\gamma+\alpha+\beta=180^o$).

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:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \beta_л - 180^o; \qquad \alpha_n = \alpha_{n-1} - \beta_n + 180^o;$$

$$\Delta x = d_{n-(n-1)} \cdot \cos\alpha_{n-(n-1)}; \quad \Delta y = d_{n-(n-1)} \cdot \sin\alpha_{n-(n-1)};$$

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x; \qquad y_n = y_{n-1} + \Delta y,$$

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, γ = 2° 04′ 11″;

a_1=13,650 м, b_1=10,622 м, γ_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, γ = 2°17'48",
a_1 = 14,385 м, b_1 = 11,348 м, γ_1 = 2°05'02".

Расстояние между отвесами:
На земной поверхности $c_{изм}$ = 3,072 м;

$$c_{выч} = \sqrt{10{,}554^2 + 13{,}585^2 - 2 \cdot 10{,}554 \cdot 13{,}585 \cdot \cos 2^\circ 17'48''} = 3{,}069 \text{ м};$$

$$\Delta c = 3{,}069 - 3{,}072 = -0{,}003 \text{ м}.$$

На ориентируемом горизонте $c_{изм}$=3,072 м;

$$c_{выч} = \sqrt{14{,}385^2 + 11{,}348^2 - 2 \cdot 11{,}348 \cdot 14{,}385 \cdot \cos 2^\circ 05'02''} = 3{,}072 \text{ м}.$$

$$\Delta c = 3{,}072 - 3{,}072 = 0 \text{ м};$$

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:

$$\sin\alpha = \frac{13{,}585}{3{,}072} \cdot \sin 2^\circ 17'48'' = 0{,}17721; \quad \alpha = 169^\circ 47'33'';$$

$$\sin\beta = \frac{10{,}554}{3{,}072} \cdot \sin 2^\circ 17'48'' = 0{,}13767; \quad \beta = 7^\circ 54'48'';$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 169^\circ 47'33'' + 7^\circ 54'48'' + 2^\circ 17'48'' = 180^\circ 00'09''.$$

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				
	C	17,745			256 10 58			319,280	725,147	*C*	
C	II		94 22 47			2,358	-14,185				
	$O_{ю}$	14,380			170 33 45			321,638	710,961	$O_{ю}$	
$O_{ю}$	*C*		7 41 30			-0,093	3,062				
	$O_{с}$	3,063			358 15 16			321,545	714,023	$O_{с}$	
$O_{с}$	$O_{ю}$		7 56 04			-1,472	-13,570				
	C_1	13,650			186 11 19			320,073	700,452	C_1	
C_1	$O_{с}$		250 27 25			-5,793	-1,375				
	6	5,954			256 38 44			314,280	699,077	6	
6	C_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, $\Delta Y_1 \le 5$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 м; Y_{I} = 6125312,051 м;

$\alpha_{I\text{-}II}$ = 75°55'55".

Схема 4 (рис. 2.2, б)
Исходные данные:

X_{VI} = 640710,100 м; Y_{VI} = 6125350,040 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.

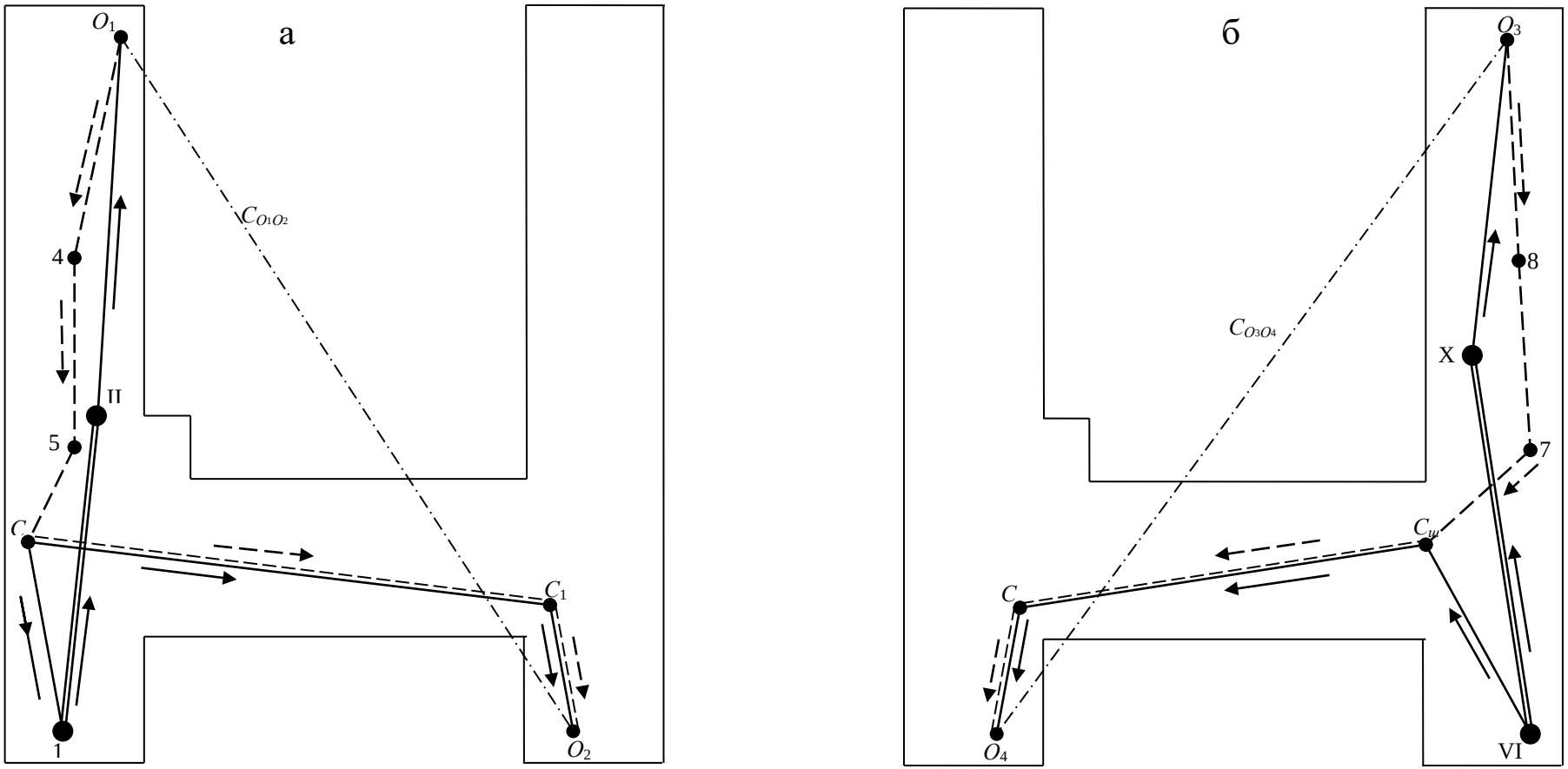


Рис. 2.2. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки.
а – схема 3; б – схема 4

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		Дирекционные углы ° ' "	Приращения		Координаты		Номер пунктов	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									

Окончание табл. 2.4

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

$$\Delta\alpha = \alpha_{o_1o_2} - \alpha'_{o_1o_2} = \alpha_{o_{1-4}} = 227^o40'48'' - 328^o36'44'' = 259^o04'04'';$$

Схема 4

$$\Delta\alpha = \alpha_{o_3o_4} - \alpha'_{o_3o_4} = \alpha_{o_{3-8}} = 274^o14'06'' - 27^o55'08'' = 246^o18'58''.$$

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									

Окончание табл. 2.5

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):

$$\delta = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0.$$

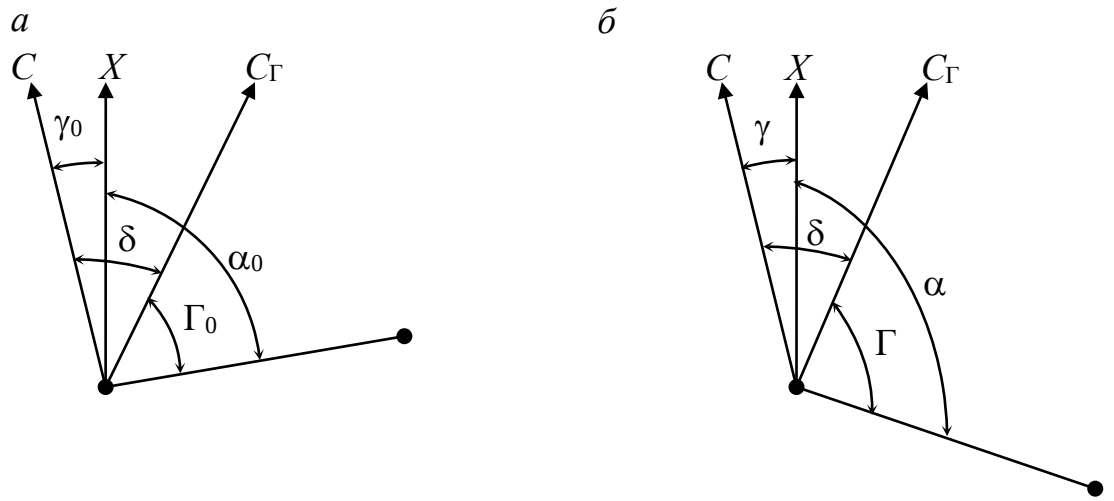


Рис. 2.3. Схема производства гироскопического ориентирования:
а – на исходной стороне с известным дирекционным углом α_0,
б – на ориентируемой стороне с дирекционным углом α

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: $O_{Ю}$, схема 5; O_C, схема 6 (см. рис. 2.4). На земной поверхности и на ориентируемом горизонте измеряются (см. рис. 2.4):

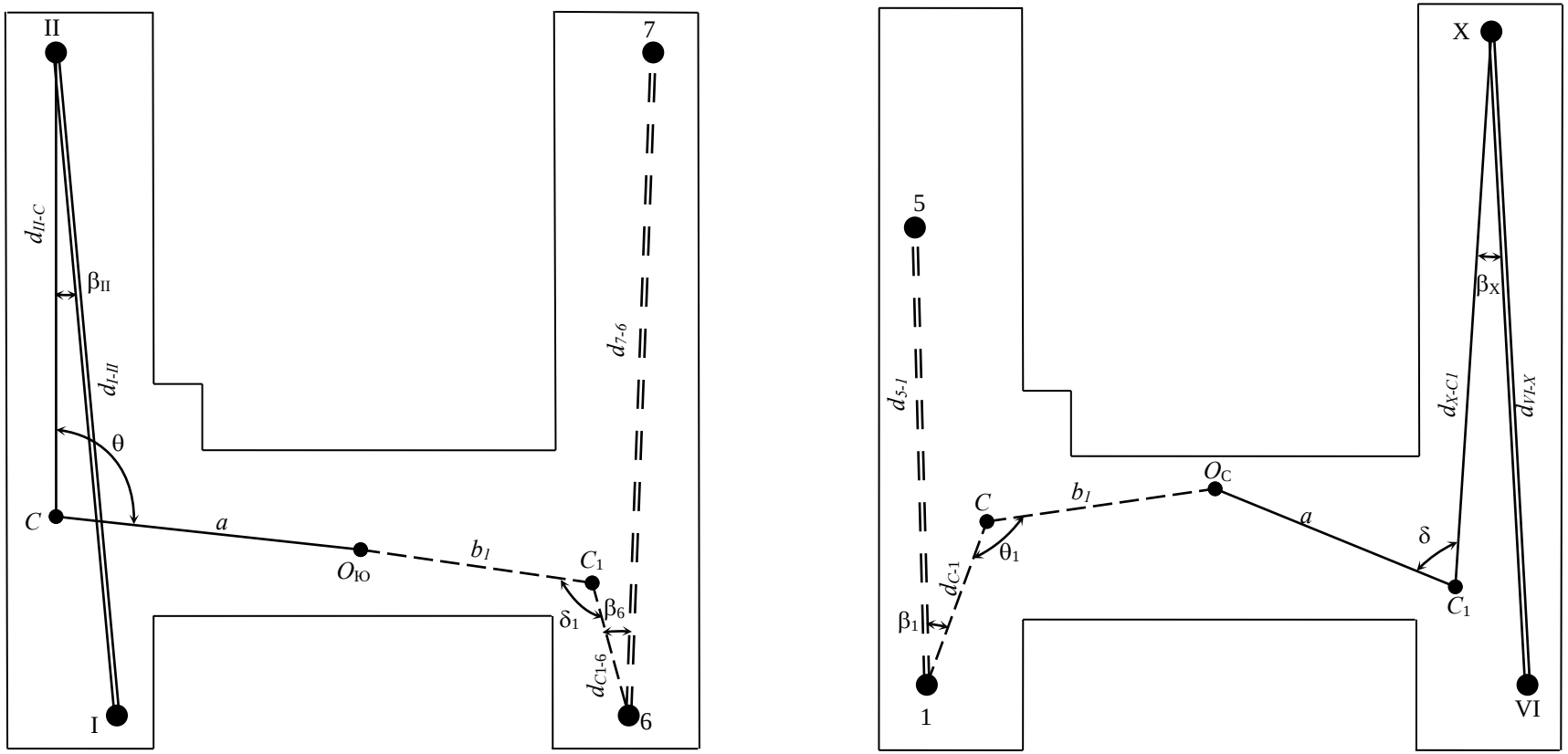


Рис. 2.4. Ориентирно-соединительная съемка через одну вертикальную выработку с использованием гирокомпаса.
а - схема 5; *б* - схема 6

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 $\alpha^{\Gamma}_{7\text{-}6}$ (см. рис. 2.4, а, схема 5) и $\alpha^{\Gamma}_{5\text{-}1}$ (см. рис. 2.4, б, схема 6). Среднеквадратическая погрешность ориентирования $m_{\alpha\Gamma}$±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: $\alpha^{\Gamma}_{7\text{-}6}$ = 273°59′12″;
см. рис. 2.4, б, схема 6: $\alpha^{\Gamma}_{5\text{-}1}$ = 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	
	C	11,350			159 18 32			339,469	736,948	*C*	
C	*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	*C*		правый 356 11 00		62 25 50	16,467	8,597				
	5	18,576			242 25 50			355,936	742,670	5	

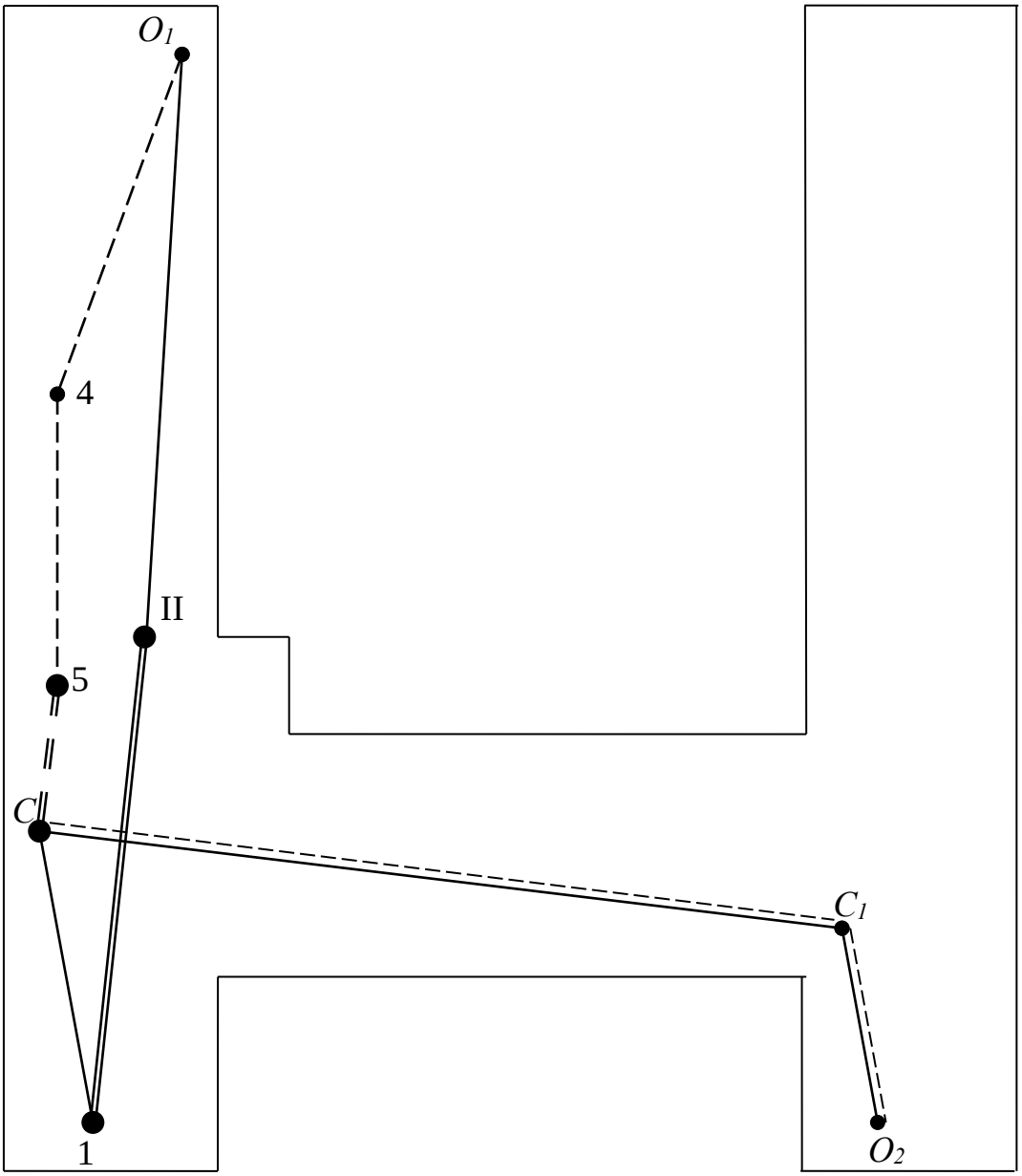


Рис. 2.5. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса (схема 7)

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 $\alpha^{\Gamma}_{5\text{-}C}$

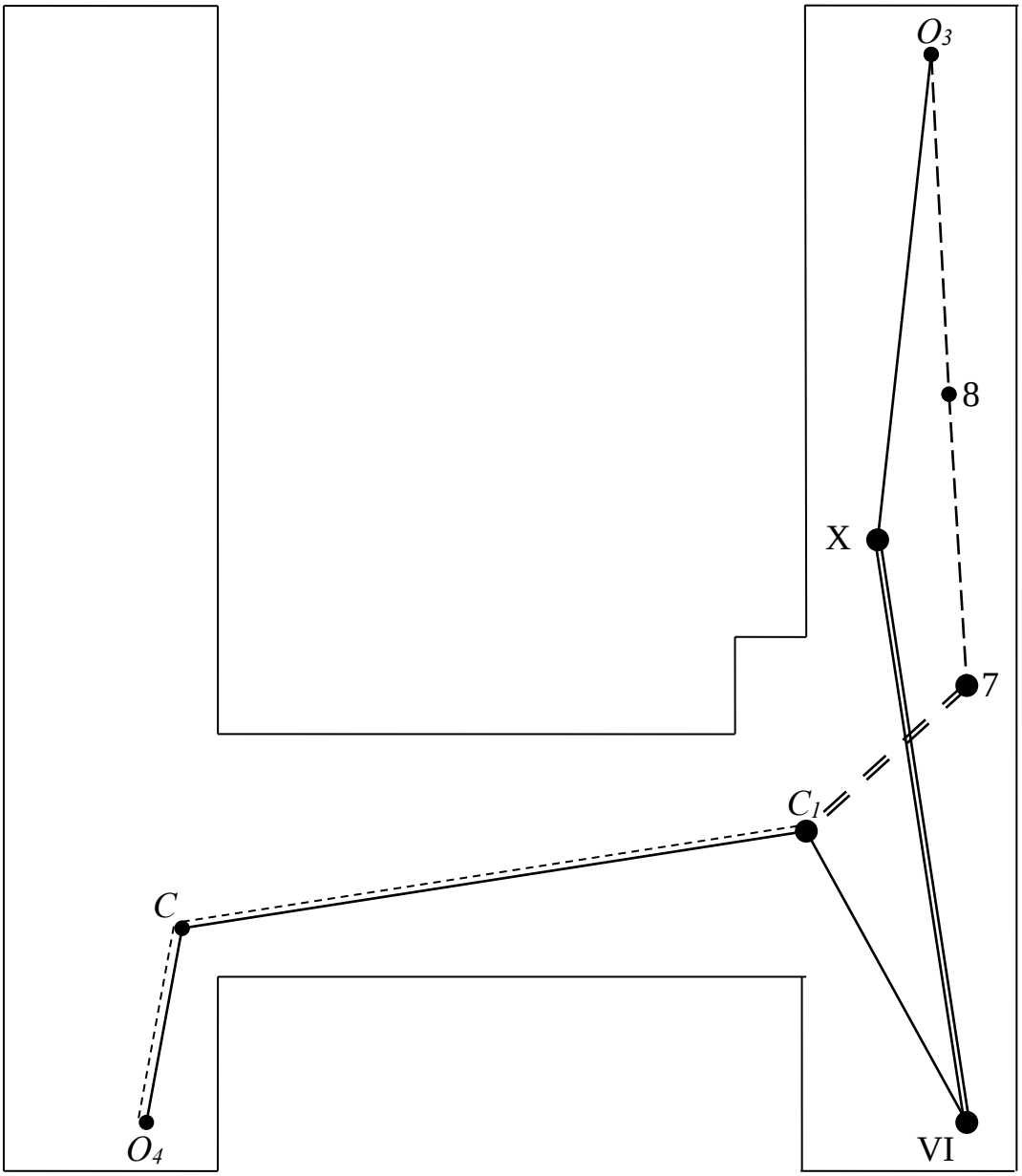


Рис. 2.6. Ориентирно-соединительная съемка через две вертикальные выработки с использованием гирокомпаса (схема 8)

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 $\alpha^{\Gamma}_{7\text{-}C1}$

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, C_1, C) и на ориентируемом горизонте (пункты 8, 7, C_1, C) – 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 $\alpha^{Г}_{5\text{-}C}$ – схема 7 и $\alpha^{Г}_{7\text{-}C1}$ – 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

$\alpha^{Г}_{5\text{-}C}$ = 247°56′45″ – (см. рис. 2.5, схема 7)

$\alpha^{Г}_{7\text{-}С1} = 257°24'26''$ – (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 $О_1$ и гироскороны $\alpha^{Г}_{5\text{-}С}$ (см. рис. 2.5, схема 7) и $О_3$ и гироскороны $\alpha^{Г}_{7\text{-}С1}$ (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 $О_2$ (см. рис.2.5, схема 7), полученных на поверхности (табл. 2.7) и на ориентируемом горизонте (см. табл. 2.8):

$$X^{ш}_{О2} - X^{п}_{О2} = \Delta X = 697{,}059 - 697{,}049 = 11 \text{ мм};$$

$$Y^{ш}_{О2} - Y^{п}_{О2} = \Delta Y = 320{,}037 - 320{,}046 = -9 \text{ мм};$$

отвеса $О_4$ (см. рис. 2.7, схема 8), полученных на поверхности (см. табл. 2.9) и на ориентируемом горизонте (см. табл. 2.10):

$$X^{ш}_{4} - X^{п}_{О4} = \Delta X = 734{,}100 - 734{,}088 = 12 \text{ мм};$$

$$Y^{ш}_{О4} - Y^{п}_{О4} = \Delta Y = 339{,}506 - 339{,}513 = -7 \text{ мм}.$$

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, $\alpha_{\text{I-II}} = 75°55'55'' + N^{\text{o}} + N' + N''$,

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, $\alpha_{\text{I-II}} = 75°55'55'' + N^{\text{o}} + N' + N''$.

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):

$$X_{VI} = 640710{,}100 \text{ м}, \quad Y_{VI} = 6125350{,}040 \text{ м},$$

$$\alpha_{VI\text{-}X} = 65°30'30'' + N^{o} + N' + N'', \alpha^{Г}_{5\text{-}1} = 245°25'50'' + N^{o} + N' + N'',$$

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):

$$X_{I} = 640723{,}255 \text{ м}, \quad Y_{I} = 6125312{,}051 \text{ м};$$

$$\alpha_{I\text{-}II} = 75°55'55'' + N^{o} + N' + N'', \alpha^{Г}_{5\text{-}C} = 247°56'45'' + N^{o} + N' + N''.$$

Схема 8 (см. рис. 2.6)

$$X_{VI} = 640710{,}100 \text{ м}, \quad Y_{VI} = 6125350{,}040 \text{ м};$$

$$\alpha_{VI\text{-}X} = 65°30'30'' + N^{o} + N' + N'', \alpha^{Г}_{7\text{-}C1} = 257°24'26'' + N^{o} + N' + N'',$$

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:

$$\Delta Z \leq 50\sqrt{L};$$

- при передаче по наклонной выработке, мм:

$$\Delta Z \leq 100\sqrt{L},$$

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 180º) 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):

$$\Delta H = \mu(N_{П} - N_{Ш}),$$

где μ – цена деления счетчика оборотов; $N_{П}$, $N_{Ш}$ – 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.

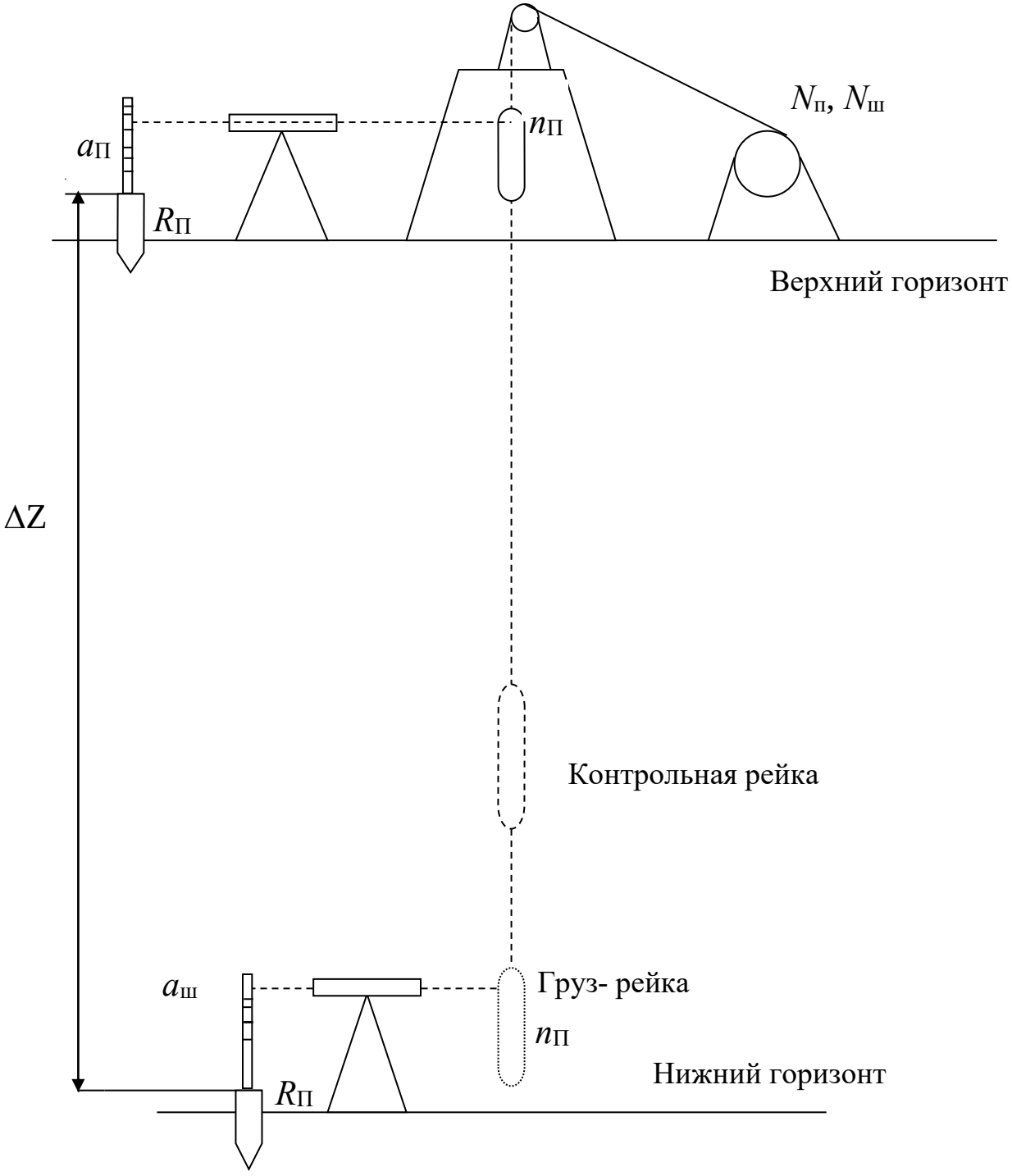


Рис. 3.1. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длиномером (глубомером) ДА-2

Камеральная обработка результатов измерений

Превышение ΔZ определяется в каждом полуприеме раздельно для груз-рейки и контрольной рейки по формуле:

$$\Delta Z = \left(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}\right) + \left(a_{\text{п}} - a_{\text{ш}}\right) + \left(n_{\text{ш}} - n_{\text{п}}\right).$$

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,

$$\Delta L_d = 0{,}001\pi d\left(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}\right),$$

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:

$$\Delta L_t = \alpha\left(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}\right)\left(t_{\text{ср}} - t_{\text{п}}\right); \quad t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{ш}}}{2},$$

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;

$$\Delta L_t = 0{,}0000115 \cdot 500 \cdot \left(17{,}5 - 25\right) = -0{,}043 \text{ мм};$$

3) за разность температуры мерного диска при измерении и компарировании

$$\Delta L_{\text{Д}} = \alpha_{\text{Д}}\left(N_{\text{П}} - N_{\text{Ш}}\right)\left(t_n - t_0\right),$$

где $\alpha_{\text{д}}$ – коэффициент линейного расширения металла мерного диска $\alpha_{\text{д}}$ = 0,000011; t_n, t_0 – температура мерного диска при измерении и компарировании, соответственно ($t = 25°$, $t_0 = 20°$),

$$\Delta L_{\text{Д}} = 0{,}000011\left(12000 - 512000\right)\left(20 - 25\right) = -0{,}028 \text{ мм};$$

4) за компарирование мерного диска

$$\Delta L_{\text{К}} = \left(N_{\text{П}} - N_{\text{Ш}}\right)\left(l - 1\right),$$

где l – длина окружности мерного диска по паспорту завода (l = 996,8996 мм),

$$\Delta L_{\text{К}} = 500 \cdot (0{,}9968996 - 1) = -1{,}5 \text{ мм}.$$

Исправленное превышение $\Delta Z_{\text{И}}$ вычисляется для каждого полуприема, т. е. по груз-рейке и контрольной рейке по формуле:

$$\Delta Z_{\text{И}} = \Delta Z + \Delta L_d + \Delta L_t + \Delta L_{\text{Д}} + \Delta L_{\text{К}}.$$

Груз-рейка:

$$\Delta Z_{\text{И1}} = 499500 + 1{,}57 - 0{,}043 - 0{,}028 - 1{,}5 = 499500 \text{ мм}.$$

Контрольная рейка:

$$\Delta Z_{\text{И2}} = 499495 + 1{,}57 - 0{,}043 - 0{,}028 - 1{,}5 = 499495 \text{ мм}.$$

Расхождение между превышениями, определенными по груз-рейке ($\Delta Z_{\text{И1}}$) и контрольной рейке ($\Delta Z_{\text{И2}}$):

$$\delta Z_{\text{И}} = \Delta Z_{\text{И}_1} - \Delta Z_{\text{И}_2} = 499500 - 499495 = 5 \text{ мм}.$$

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.

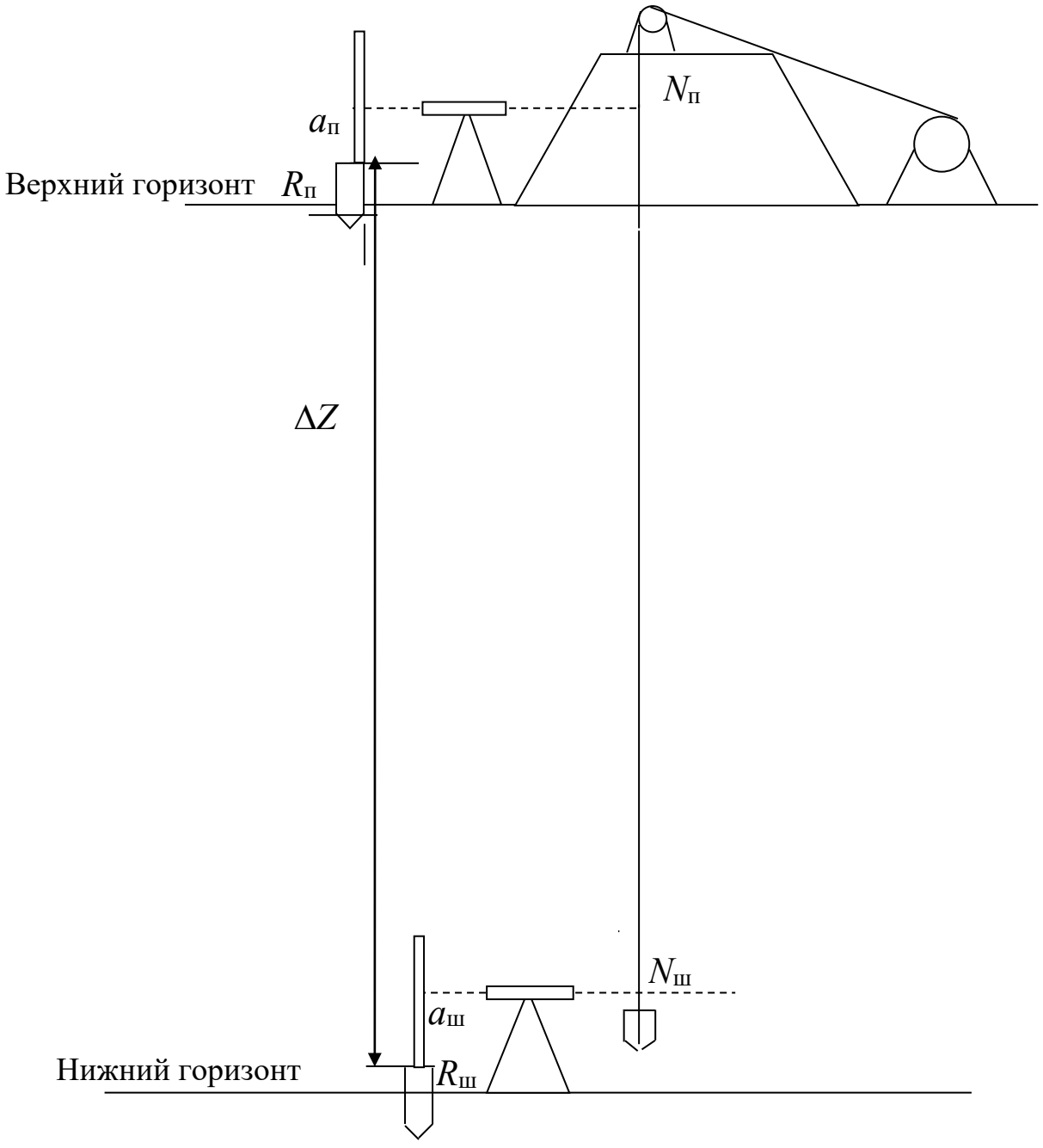


Рис.3.2. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длинной лентой (рулеткой)

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

$$\Delta Z_{\text{Ш}} = Z_{\text{П}} + \Delta Z_{\text{ср}} = 210{,}850 + (-500{,}352) = -289{,}502 \text{ м},$$

где $Z_{\text{П}}$ – высотная отметка репера на земной поверхности, $Z_{\text{П}} = 210{,}850$ 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 $R_{\text{п}}$ с известной высотной отметкой – отсчет $a_{\text{п}}$ и по рейке, установленной на светодальномере – отсчет $b_{\text{п}}$; на нижнем горизонте – отсчет по рейке $a_{\text{ш}}$, установленной на репере $R_{\text{ш}}$, высотную отметку которого требуется определить и по рейке, установленной на отражателе $b_{\text{ш}}$. 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	$b_{\text{п}}$	$a_{\text{п}}$	$b_{\text{ш}}$	$a_{\text{ш}}$			
1	500000	1600	1500	1300	1600	20	760	
2	500000	1500	1400	1400	1500			

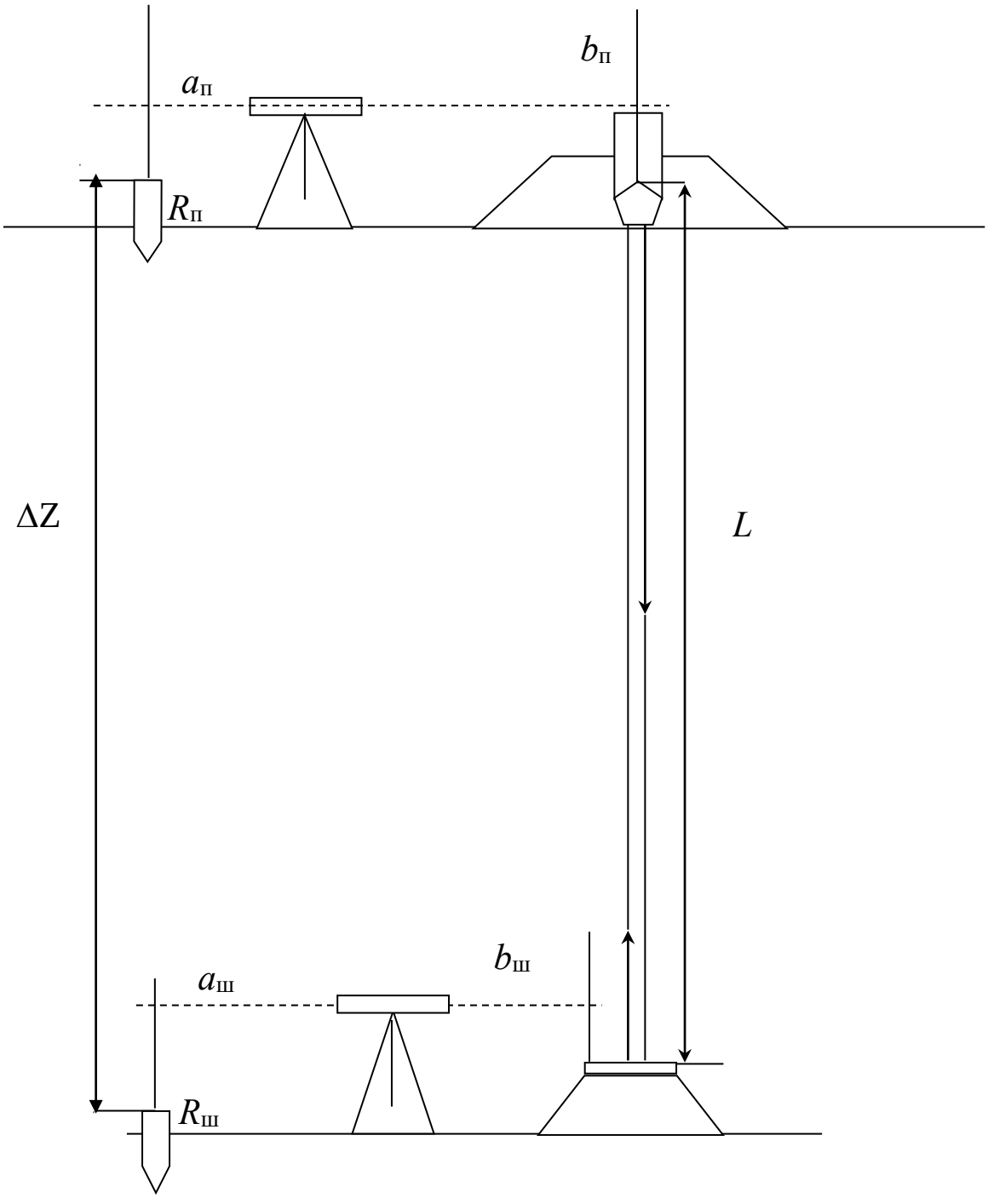


Рис. 3.3. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку светодальномером (лазерной рулеткой)

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«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
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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).

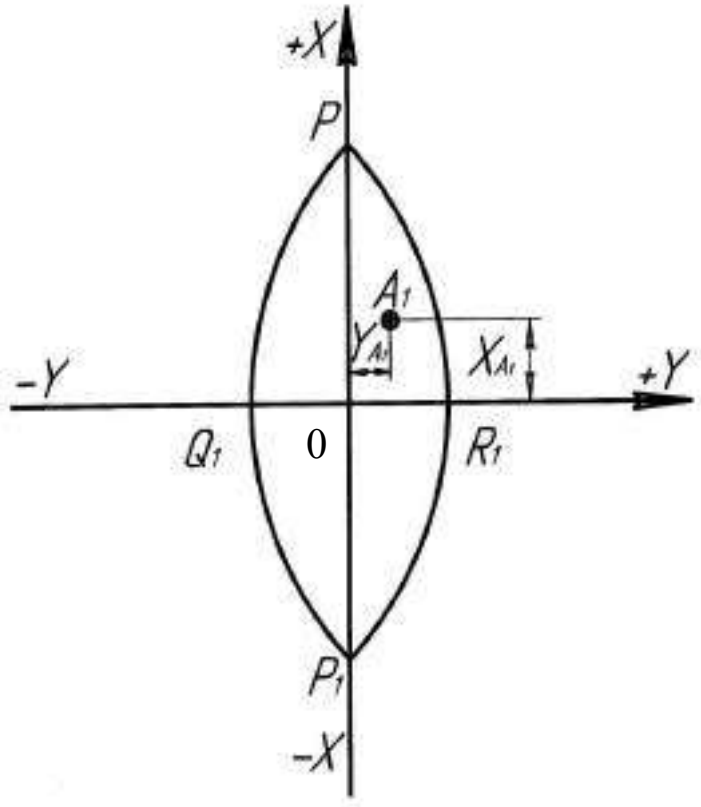


Рис. 1. Плоские прямоугольные координаты Гаусса точки A_1 земного эллипсоида

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*

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

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.

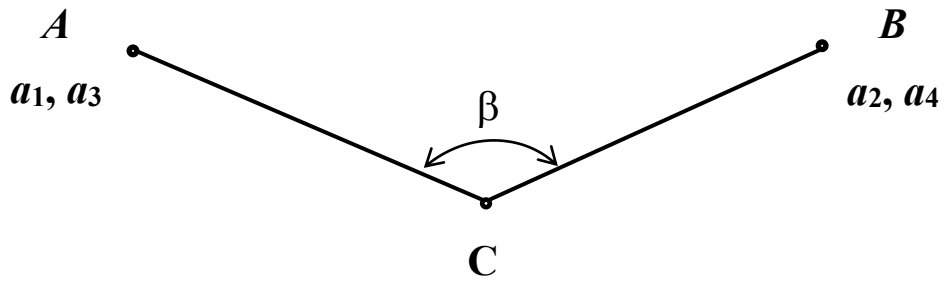


Рис. 2. Измерение горизонтального угла теодолитного хода

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).

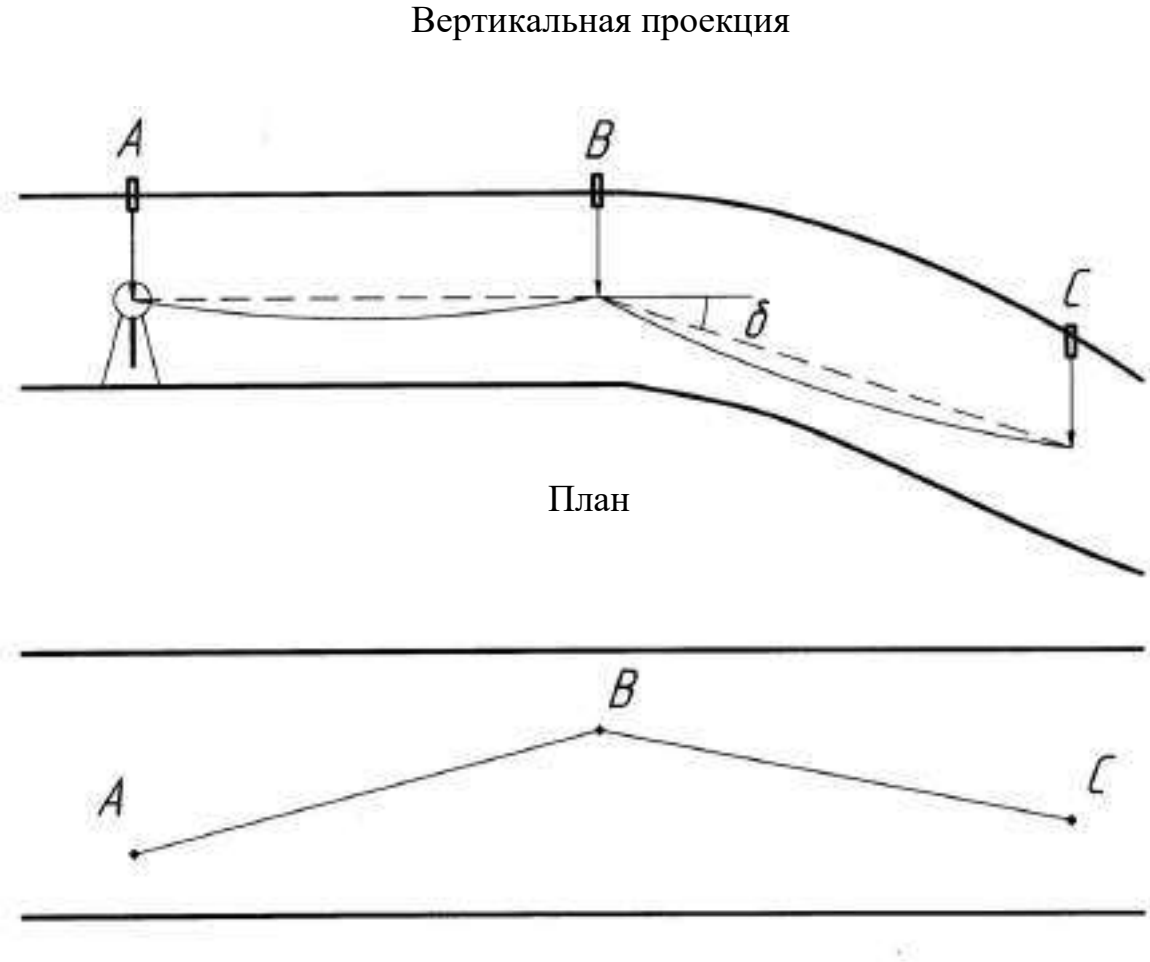


Рис. 3. Измерение длин сторон теодолитного хода рулеткой на весу

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";

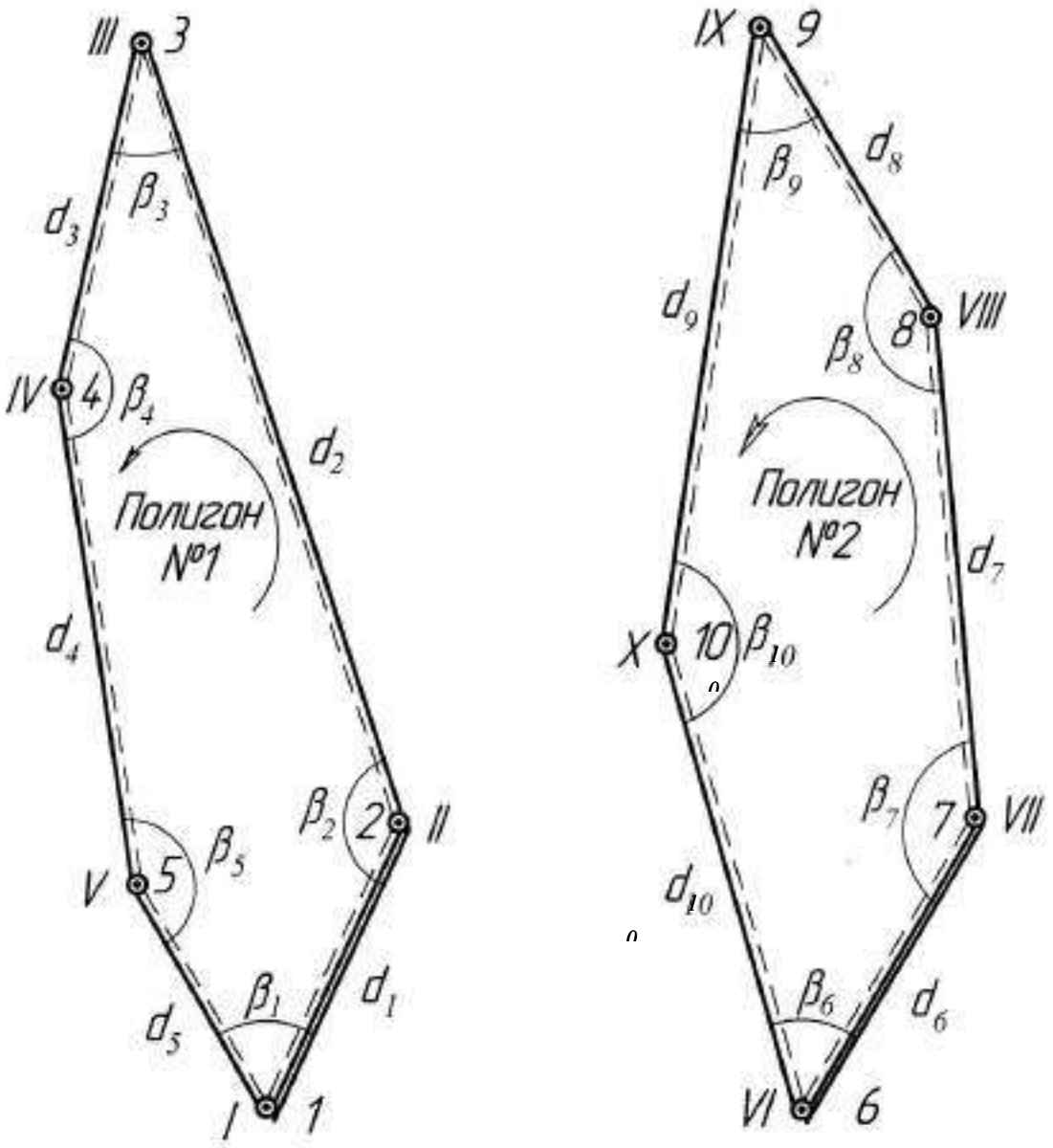


Рис. 4. Замкнутый полигон теодолитного хода:

_____ 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.

$X_{\text{II}}, Y_{\text{II}}, X_{\text{III}}, Y_{\text{III}}, X_{\text{IV}}, Y_{\text{IV}}, X_{\text{V}}, Y_{\text{V}}$ - 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;

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

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

$\Sigma\beta_{\text{теор.}} = 180^\circ(n-2)$ - 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 рассчитываются дирекционные углы всех сторон полигона, приращения координат точек вершин хода и линейные невязки:

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

где f_x, f_y - линейные невязки хода; P – периметр полигона;

$f_{\text{отн}}, f_{\text{доп}}$ - относительная и допустимая невязки хода;

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)

$$X_{\mathrm{I}} = 640723{,}255; Y_{\mathrm{I}} = 6125312{,}051;$$

$$\alpha_{\mathrm{I-II}} = 75^{\circ}55'55'' + N^{\circ} + N' + N'',$$

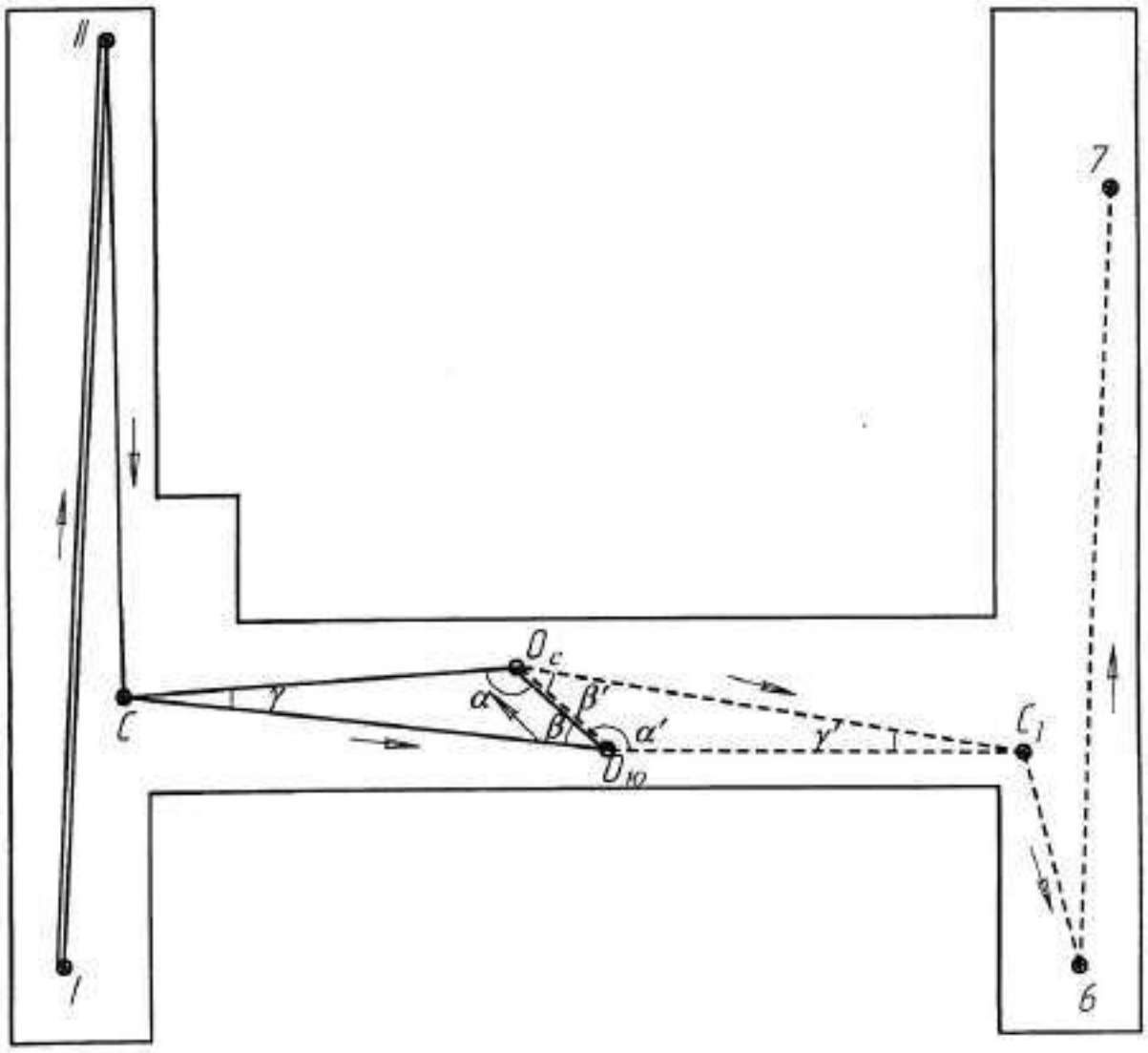


Рис. 5. Схема 1. Ориентировка через одну вертикальную выработку:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки

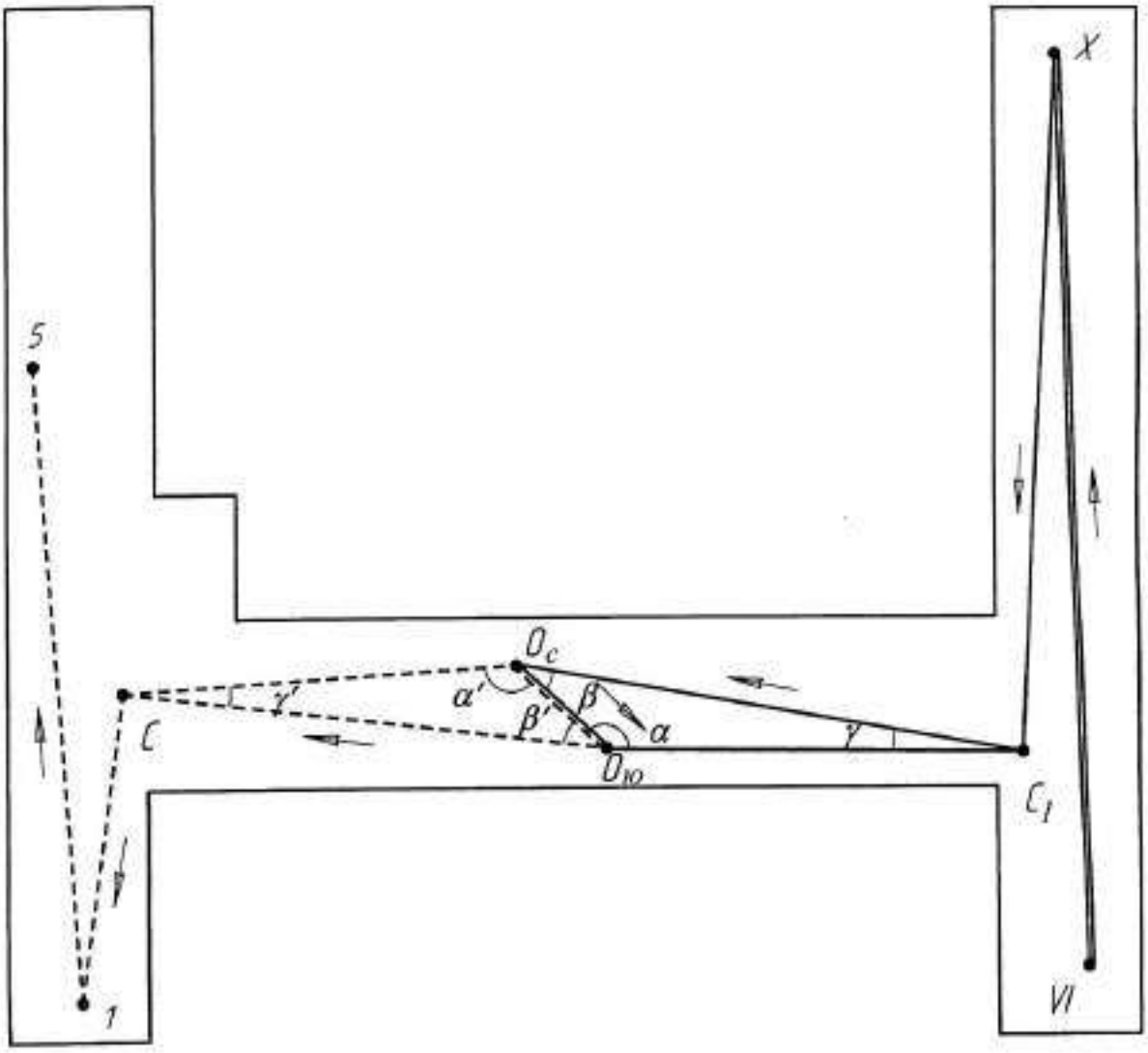


Рис. 6. Схема 2. Ориентировка через одну вертикальную выработку:

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)

$$X_{\text{VI}} = 640710{,}100; Y_{\text{I}} = 6125350{,}040;$$

$$\alpha_{\text{VI–X}} = 65^{\circ}30'30'' + N^{\circ} + N' + N'',$$

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-

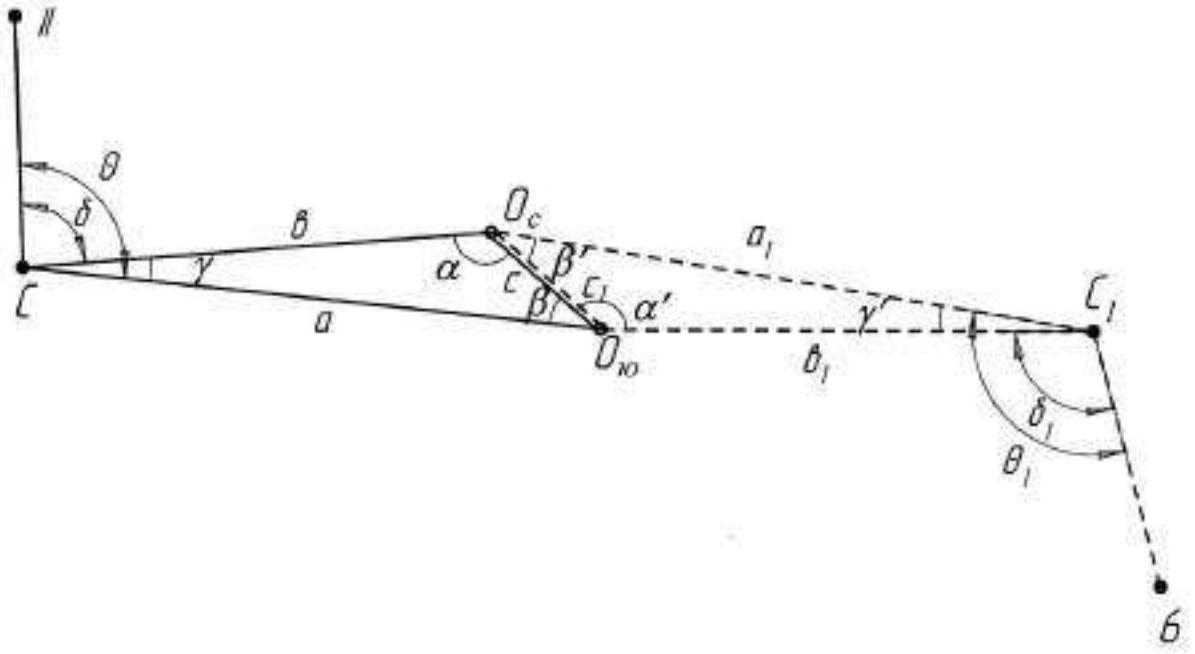


Рис. 7. Схема 1. Соединительный треугольник:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);
теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке)

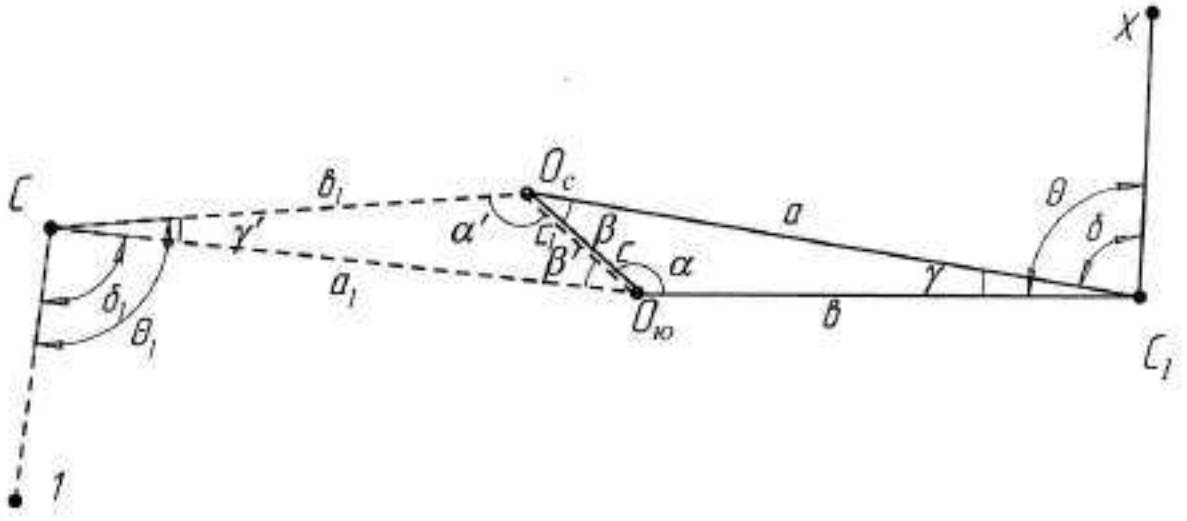


Рис. 8. Схема 2. Соединительный треугольник:

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 ± 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. ($\gamma+\alpha+\beta=180^o$).

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, γ= 2° 16' 52".

Расстояние между отвесами:

на земной поверхности $C_{изм}$ = 3,063 м

$$C_{выч} = \sqrt{14{,}380^2 + 11{,}351^2 - 2 \cdot 14{,}380 \cdot 11{,}351 \cdot \cos 2^\circ 04' 11''} = 3{,}064 \text{ м}.$$

$$\Delta C = 3{,}064 - 3{,}063 = 0{,}001 \text{ м},$$

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 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:

$$\sin \alpha = \frac{14{,}380}{3{,}063} \sin 02^\circ 04' 11'' = 0{,}16955; \quad \alpha = 170^\circ 14' 17'';$$

$$\sin \beta = \frac{11{,}351}{3{,}063} \sin 02^\circ 04' 11'' = 0{,}13384; \quad \beta = 07^\circ 41' 29'';$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 170^\circ 14' 17'' + 07^\circ 41' 29'' + 02^\circ 04' 11'' = 179^\circ 59' 57''.$$

Угловая невязка в треугольнике $179^\circ 59' 57'' - 180^\circ = -3''$ 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.

$$C_{выч} = \sqrt{10{,}554^2 + 13{,}585^2 - 2 \cdot 10{,}554 \cdot 13{,}585 \cdot \cos 2^\circ 17' 48''} = 3{,}069 \text{ м};$$

$$\Delta C = 3{,}069 - 3{,}072 = -0{,}003 \text{ м}.$$

На ориентируемом горизонте $C_{изм}$=3,072 м.

$$C'_{\text{выч}} = \sqrt{14{,}385^2 + 11{,}348^2 - 2 \cdot 11{,}348 \cdot 14{,}385 \cdot \cos 2^\circ 05'02''} = 3{,}072 \text{ м}.$$

$$\Delta C = 3{,}072 - 3{,}072 = 0.$$

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:

$$\sin\alpha = \frac{13{,}585}{3{,}072}\sin 2^\circ 17'48'' = 0{,}17721; \quad \alpha = 169^\circ 47'33''.$$

$$\sin\beta = \frac{10{,}554}{3{,}072}\sin 2^\circ 17'48'' = 0{,}13767; \quad \beta = 7^\circ 54'48''.$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 169^\circ 47'33'' + 7^\circ 54'48'' + 2^\circ 17'48'' = 180^\circ 00'09''.$$

Угловая невязка в треугольнике 180°00'09" - 180° = +9" в пределах допустимой.

Полученную невязку +9" распределяем поровну во все углы с обратным знаком.

$$\alpha = 169^\circ 47'33'' - 3'' = 169^\circ 47'30'';$$
$$\beta = 7^\circ 54'48'' - 3'' = 7^\circ 54'45'';$$
$$\gamma = 2^\circ 17'48'' - 3'' = 2^\circ 17'45''.$$
$$\alpha + \beta + \gamma = 169^\circ 47'30'' + 7^\circ 54'45'' + 2^\circ 17'45'' = 180^\circ.$$

На ориентируемом горизонте в шахте:

$$\sin\alpha' = \frac{14{,}385}{3{,}072}\sin 2^\circ 05'02'' = 0{,}17027; \quad \alpha' = 170^\circ 11'48''.$$

$$\sin\beta' = \frac{11{,}348}{3{,}072}\sin 2^\circ 05'02'' = 0{,}13432; \quad \beta' = 7^\circ 43'10''.$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 170^\circ 11'48'' + 7^\circ 43'10'' + 2^\circ 05'02'' = 180^\circ.$$

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.

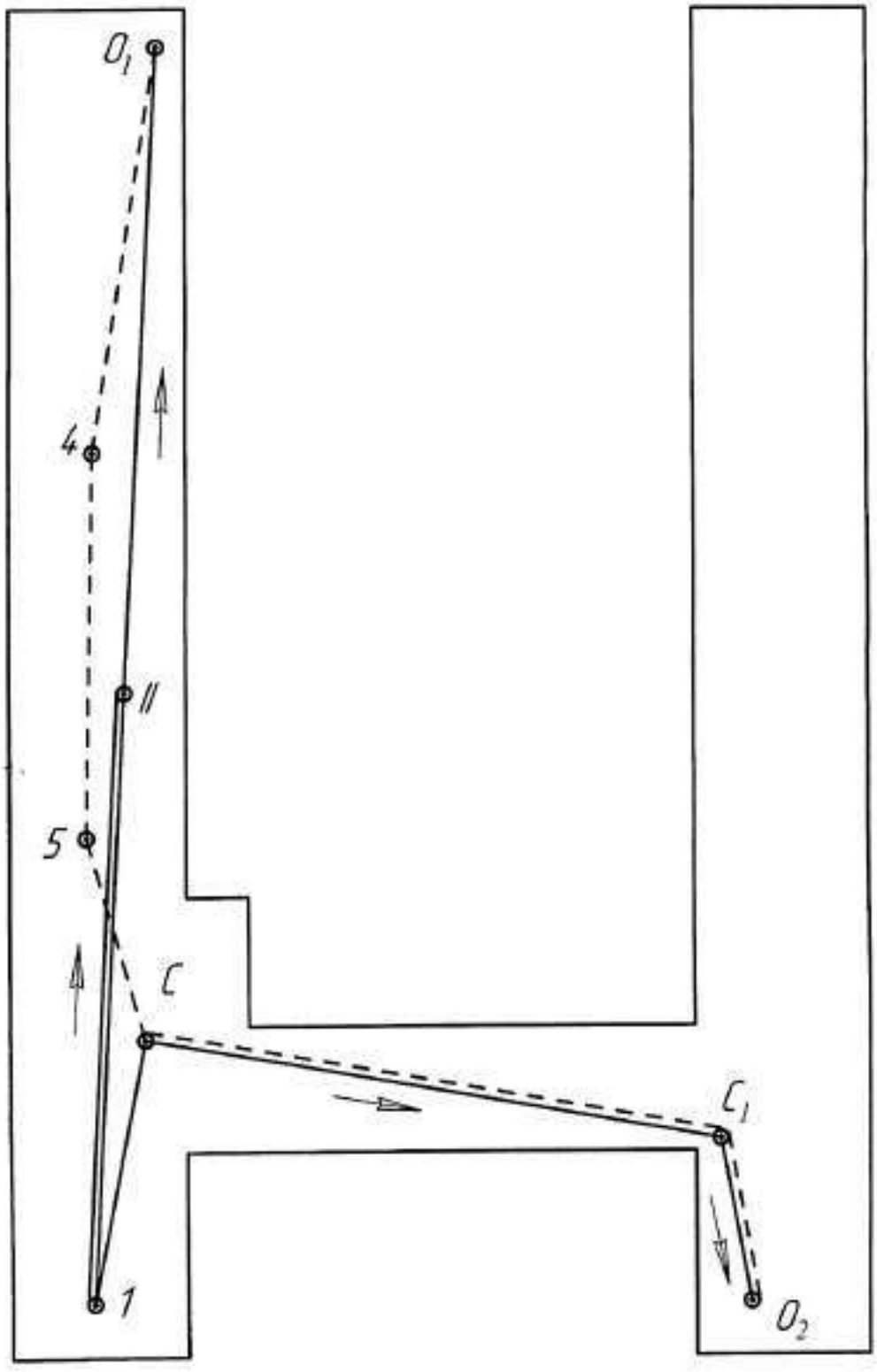


Рис. 9. Схема 3. Ориентировка через две вертикальные выработки:

теодолитный ход на земной поверхности, точки в почве (в полу);

теодолитный ход на ориентируемом горизонте, точки в кровле (в потолке);

направление вычисления ориентировки

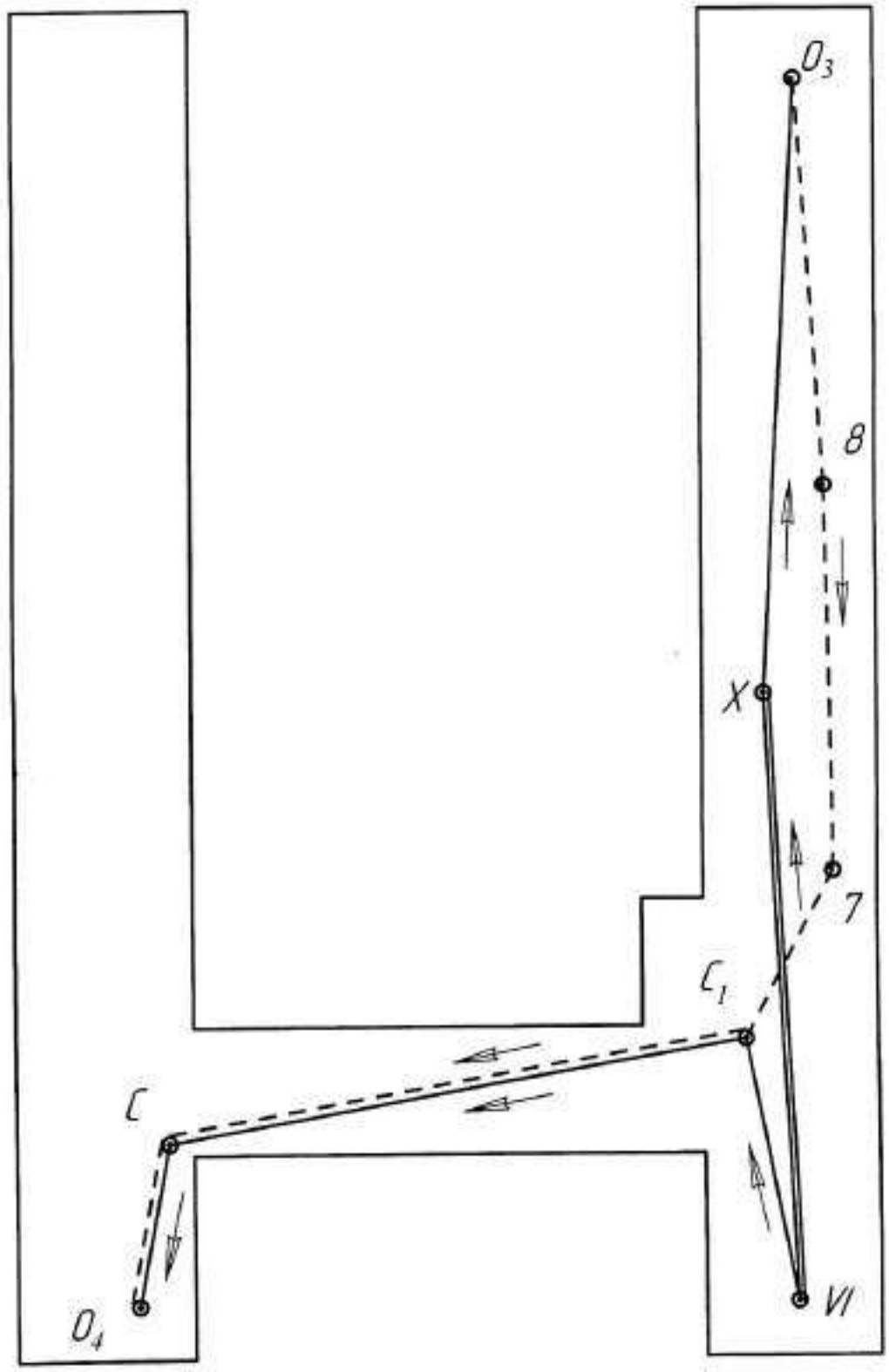


Рис. 10. Схема 4. Ориентировка через две вертикальные выработки:

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. $\alpha'_{o_1-4} = 0^\circ 0'0''$.

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. $\alpha'_{o_4-8} = 0^\circ 0'0''$.

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

$$\operatorname{arctg}\alpha'_{o_1o_2} = \frac{Y'_{o_2} - Y'_{o_1}}{X'_{o_2} - X'_{o_1}} == \frac{-30{,}173}{49{,}454} = 0{,}610;$$

$$\alpha'_{o_1o_2} = 328^\circ 36'42'';$$

$$C'_{o_1o_2} = \frac{Y'_{o_2} - Y'_{o_1}}{\sin\alpha'_{o_1o_2}} = \frac{X'_{o_2} - X'_{o_1}}{\cos\alpha'_{o_1o_2}} = \frac{30{,}173}{\sin 328^\circ 36'42''} = \frac{49{,}454}{\cos 328^\circ 36'42''} = 57{,}932 \text{ м}$$

Схема 4

$$\operatorname{arctg}\alpha'_{o_3o_4} = \frac{Y'_{o_4} - Y'_{o_3}}{X'_{o_4} - X'_{o_3}} = \frac{27{,}393}{51{,}695} = 0{,}530;$$

$$\alpha'_{o_3o_4} = 27^\circ 55'08'';$$

$$C'_{o_3o_4} = \frac{Y'_{o_4} - Y'_{o_3}}{\sin \alpha'_{o_3o_4}} = \frac{X'_{o_4} - X'_{o_3}}{\cos \alpha'_{o_3o_4}} = \frac{27{,}393}{\sin 27^\circ 55'08''} = \frac{51{,}695}{\cos 27^\circ 55'08''} = 58{,}504 \text{ м}$$

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

$$f_x = X^{\text{ш}}_{o_2} - X^{\text{п}}_{o_2} = 640697{,}049 - 640697{,}048 = 0{,}001 \text{ м};$$

$$f_y = У^{\text{ш}}_{o_2} - У^{\text{п}}_{o_2} = 6125320{,}046 - 6125320{,}046 = 0{,}000 \text{ м};$$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{1^2 + 0} = 1 \text{ мм}.$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{C} = \frac{1}{57934} \le \frac{1}{5000}.$$

Схема 4

$$f_x = X^{\text{ш}}_{o_4} - X^{\text{п}}_{o_4} = 640734{,}090 - 640734{,}089 = 0{,}001 \text{ м};$$

$$f_y = У^{\text{ш}}_{o_4} - У^{\text{п}}_{o_4} = 6125339{,}506 - 6125339{,}513 = 0{,}007 \text{ м};$$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{1^2 + 7^2} = 7{,}1 \text{ мм}.$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{C} = \frac{7{,}1}{58497} = \frac{1}{8239} \le \frac{1}{5000}.$$

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.

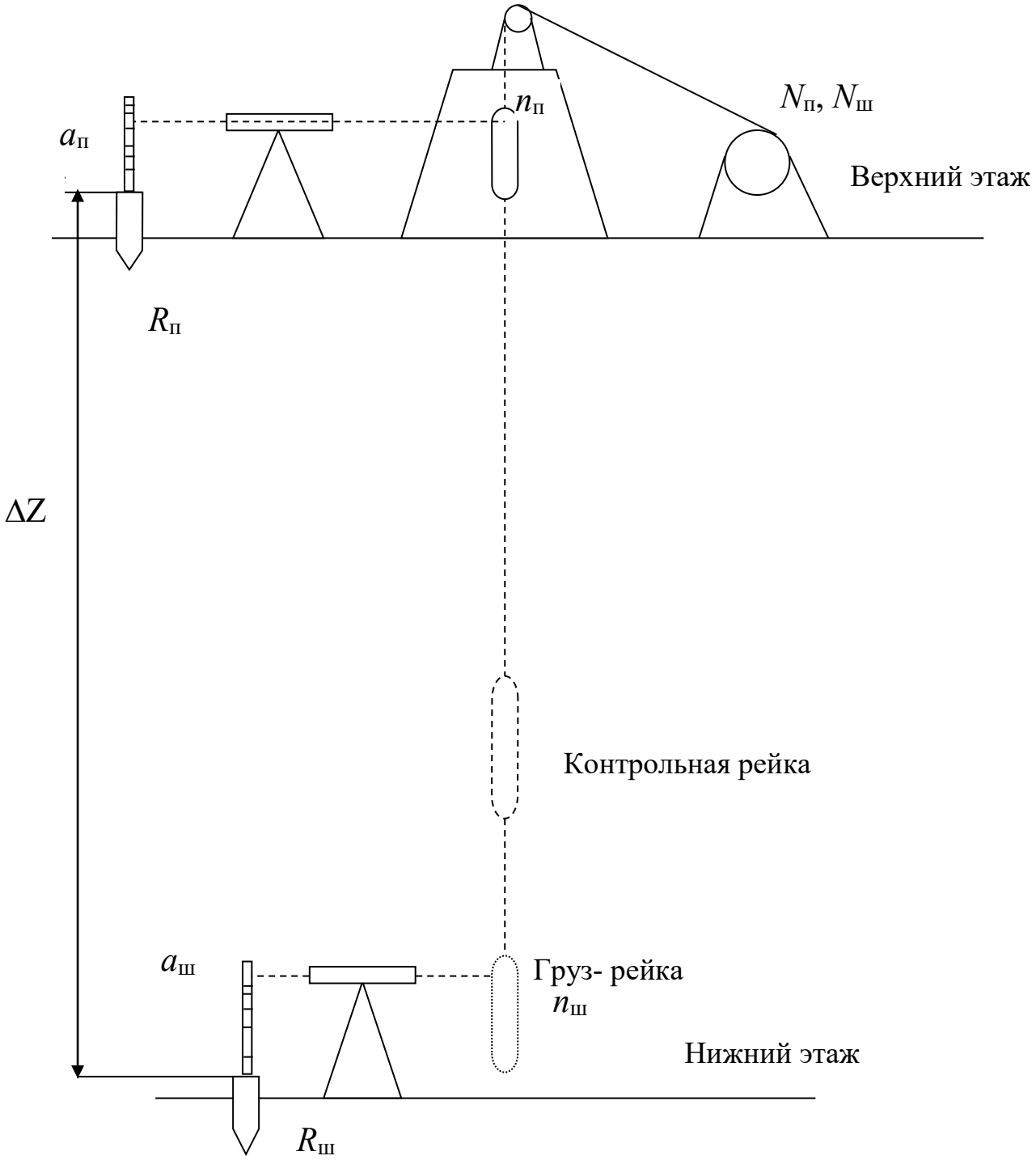


Рис. 11. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длиномером (глубомером) ДА-2

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

$$\Delta L_{Д} = \alpha_{Д}\left(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}\right)\left(t - t_0\right),$$

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

$$\Delta L_{\text{к}} = \left(N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}\right)\left(l - 1\right),$$

где l - длина окружности мерного диска по паспорту завода, м.

Исправленное превышение $\Delta Z_{\text{и}}$ вычисляется для каждого полуприема, т. е. по груз-рейке и контрольной рейке по формуле:

$$\Delta Z_{\text{и}} = \Delta Z + \Delta L_d + \Delta L_t + \Delta L_{Д} + \Delta L_{\text{к}}.$$

Расхождение между привышениями $\Delta Z_{\text{и}}$, определении по груз-рейке $(\Delta Z'_{\text{и}})$ и контрольной рейке $(\Delta Z''_{\text{и}})$

$$\Delta Z'_{\text{и}} - \Delta Z''_{\text{и}} \le 0{,}0003H \text{ , м},$$

где H - глубина вертикальной выработки $(H = N_{\text{п}} - N_{\text{ш}})$ в м;

$$\Delta Z_{\text{ср}} = \frac{\Delta Z'_{\text{и}} + \Delta Z''_{\text{и}}}{2}, \text{ м.}$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте равна

$$Z_{\text{ш}} = Z_{\text{п}} + \Delta Z_{\text{ср}}, \text{ м},$$

где $Z_{\text{ш}}, Z_{\text{п}}$ - 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 $Q_о$. 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).

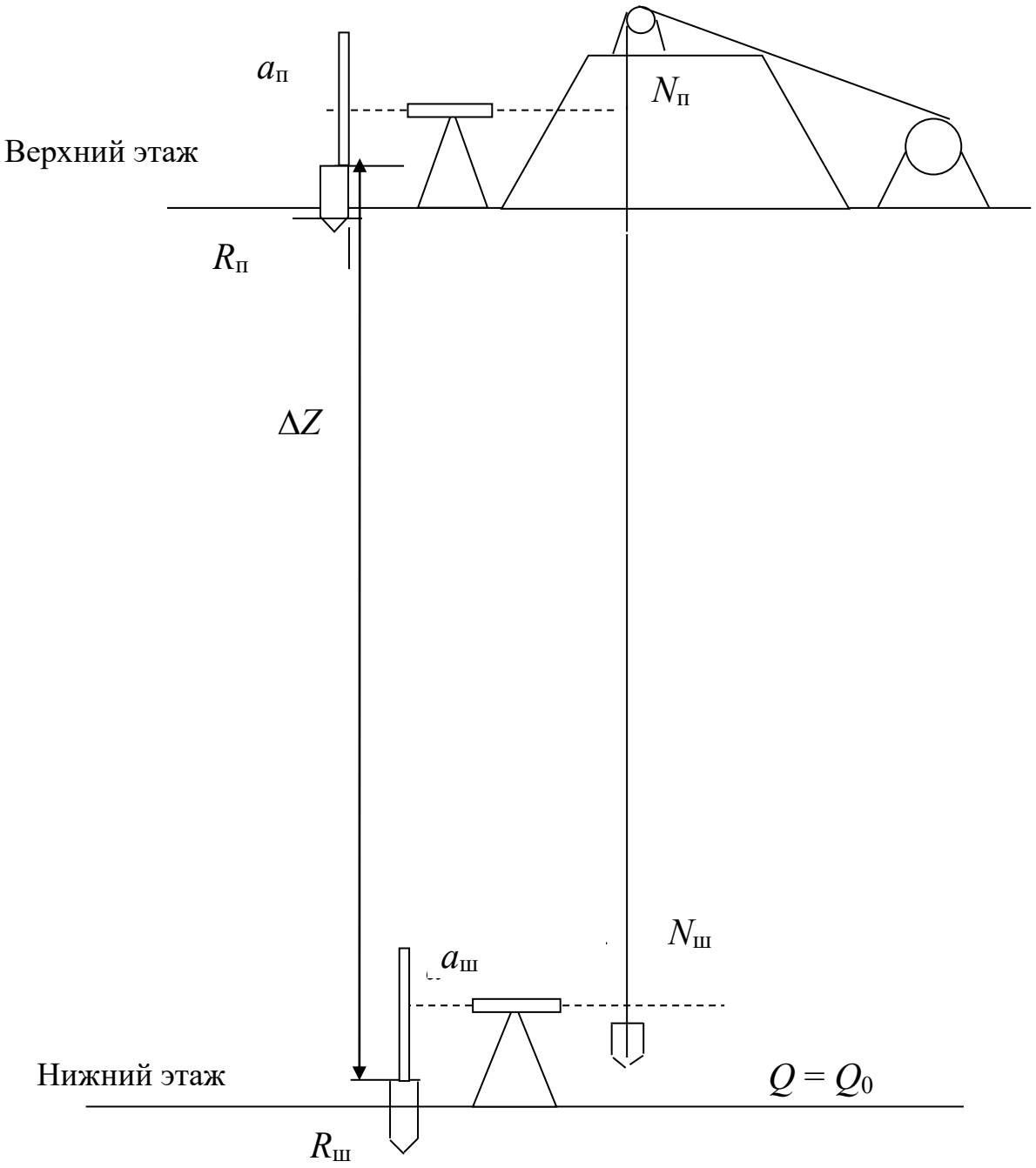


Рис. 12. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку длинной лентой (рулеткой)

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 $\Delta L_{\text{к}}$.

Исправленное превышение $\Delta Z_{\text{и}}$ вычисляется для каждого положения ленты

$$\Delta Z_{\text{и}} = \Delta Z + \Delta L_Q + \Delta L_t + \Delta L_{\text{к}}.$$

Расхождение между превышениями $\Delta Z_{\text{и}}$ **,** определенными при первом положении ленты $\Delta Z'_{\text{и}}$ и вторым $\Delta Z''_{\text{и}}$, не должно превышать величины

$$\Delta Z'_{\text{и}} - \Delta Z''_{\text{и}} \le 0{,}003H, \text{ м},$$

где H - глубина вертикальной выработки (Н= $N_{\text{п}} - N_{\text{ш}}$), м,

$$\Delta Z_{\text{ср}} = \frac{(\Delta Z'_{\text{и}} + \Delta Z''_{\text{и}})}{2}, \text{ м}.$$

Высотная отметка репера на ориентируемом горизонте равна

$$\Delta Z_{\text{ш}} = Z_{\text{п}} + \Delta Z_{\text{ср}}, \text{ м},$$

где $Z_{\text{ш}}, Z_{\text{п}}$ **-** 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

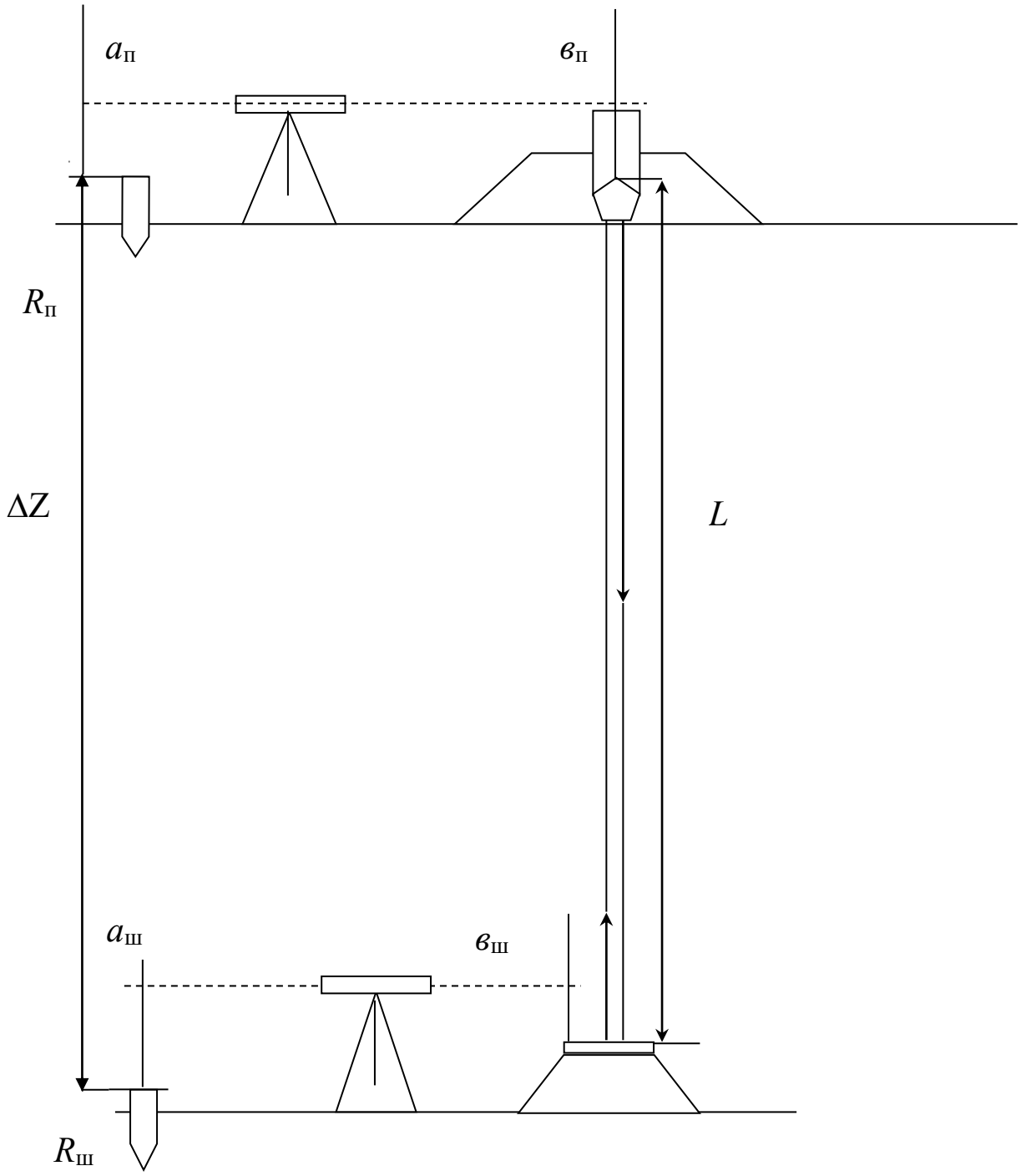


Рис. 13. Схема передачи высотной отметки через вертикальную выработку светодальномером (лазерной рулеткой)

(лазерной рулетке) ($в_{\text{п}}$) и на репере ($n_{\text{п}}$); на ориентируемом горизонте (нижний этаж) по рейке, установленной на отражателе ($в_{\text{ш}}$) и на репере ($n_{\text{ш}}$). 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	$в_{П}$	$a_{П}$	$в_{Ш}$	$a_{Ш}$			
1								
2								

Камеральная обработка

Превышение ΔZ при каждом приеме определяется по формуле:

$$\Delta Z = L - (a_{П} - в_{П}) + (a_{Ш} - в_{Ш}).$$

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 профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



Голубко Б.П.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург – 2019

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕСИТЕТ

Кафедра маркшейдерского дела

УТВЕРЖДАЮ:
проректор по учебно-методическому комплексу

_____ доц. С. А. Упоров

«___»_____2019 г.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе
по дисциплине для студентов специальности
21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург - 2019

Маркшейдерия: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» / Б.П.Голубко; Уральский государственный горный университет, кафедра маркшейдерского дела. - Екатеринбург: 2019. – 12 с.

Материал пособия охватывает все раздела дисциплины в соответствии с учебником [1].

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов специальность 21.05.04 Горное дело по дисциплине «Маркшейдерия».

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры маркшейдерского дела «09» апреля 2019 г., протокол № 19

© Голубко Б.П.
© Уральский государственный горный университет, 2019

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

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР

Специальность
21. 05. 04 «Горное дело»

Специализация «Маркшейдерское дело»

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Леонтьев А.Т., доцент, к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Маркшейдерского дела	Горно-технологического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Гордеев В.А.	Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 19 от 09.04.2019 г.	Протокол № 7 от 19.04.2019 г.
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

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

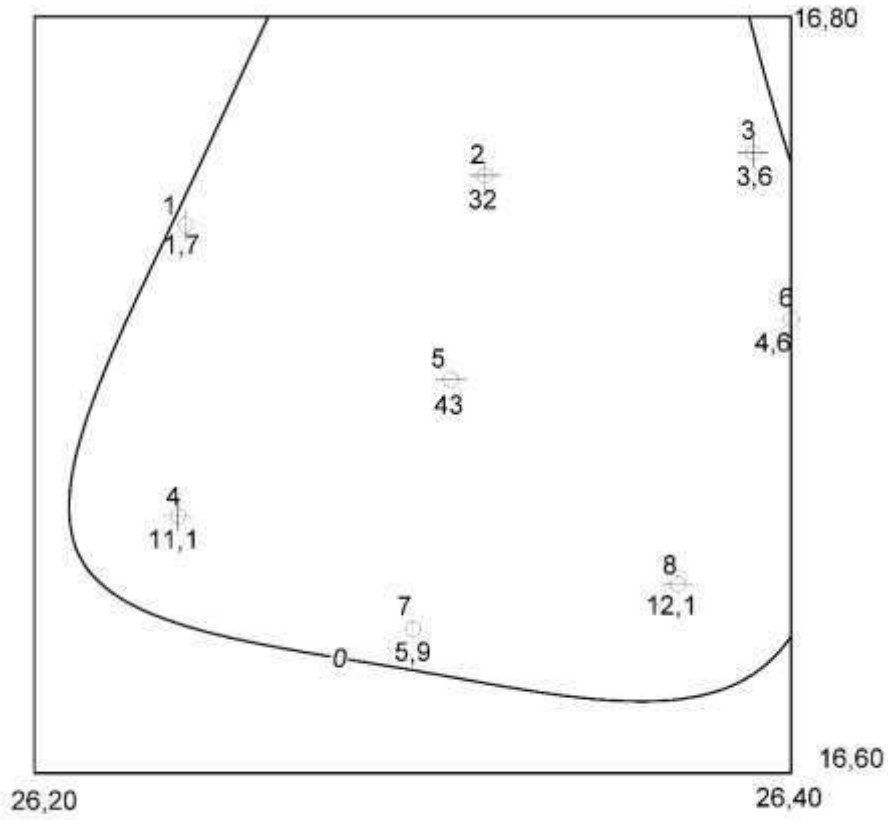
№ скв	X, м	Y, м	Z		m, м
			вис. бок	леж. бок	
1	16745,000	26240,000	233,5	231,8	1,7
2	16758,000	26319,000	263,0	231,0	32,0

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

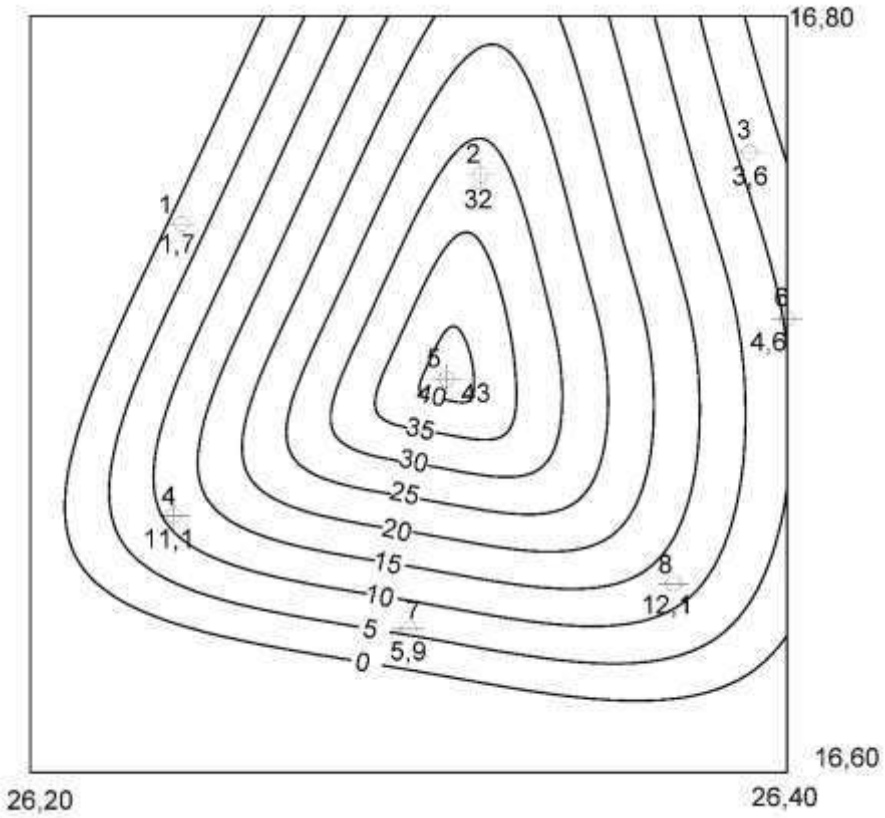
Примеры заданий для расчетно-графических работ

Расчетно-графическая работа- 1.Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом геологических блоков



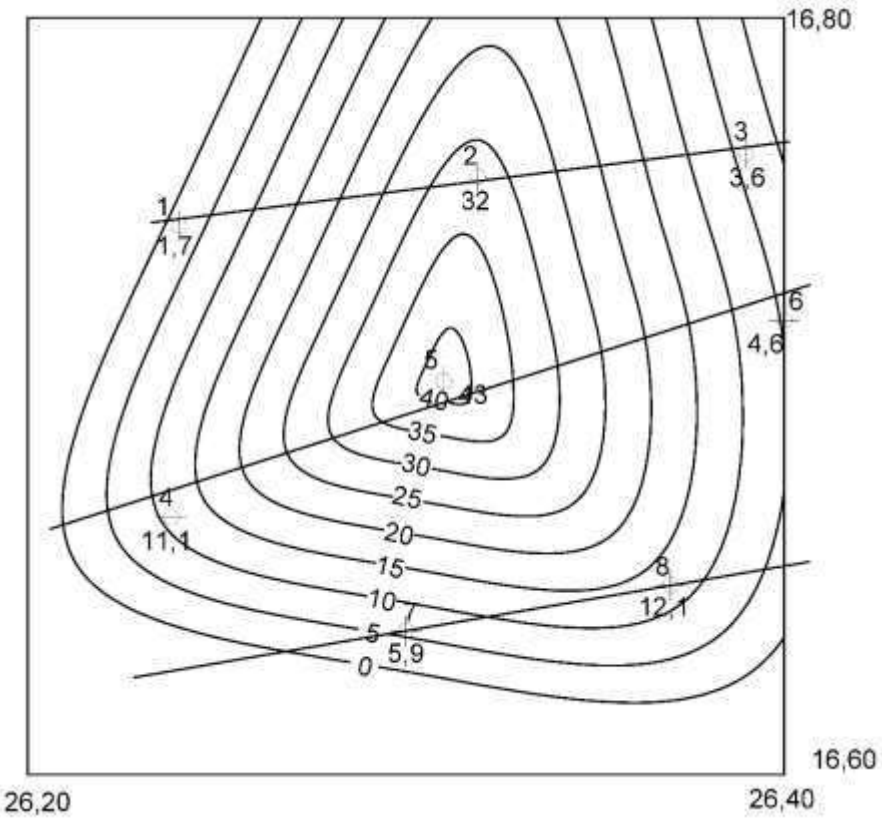
Расчетно-графическая работа- 2. Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом горизонтальных сечений

В качестве горизонтальных сечений используются изолинии мощности с величиной сечения 5 метров.

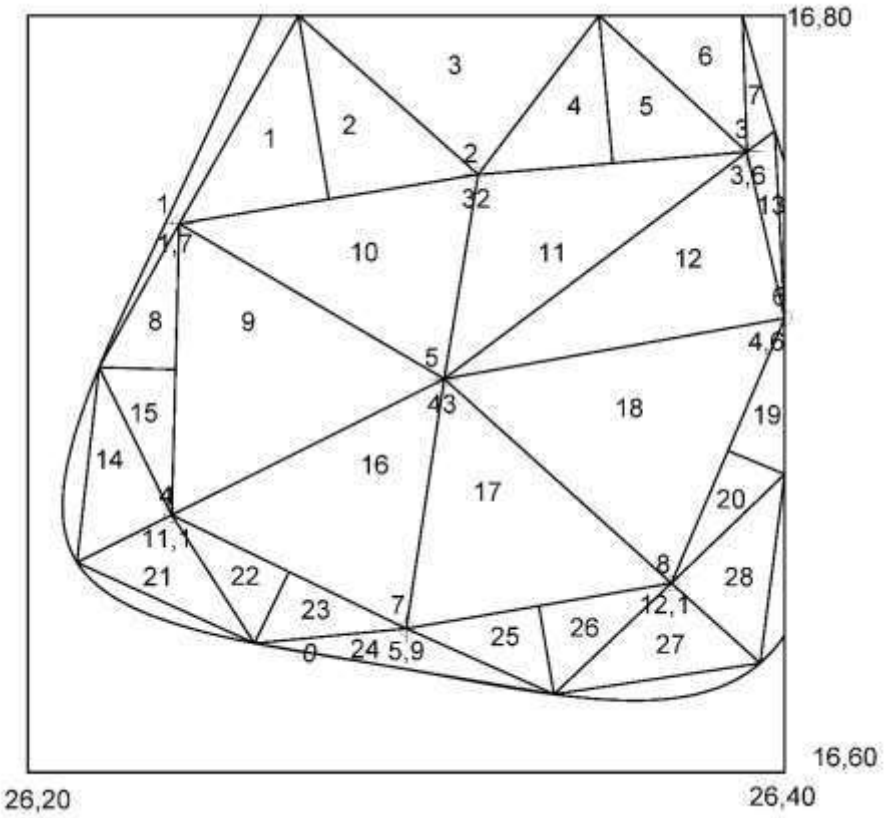


Расчетно-графическая работа- 3. Подсчет запасов участка железорудного месторождения методом вертикальных сечений

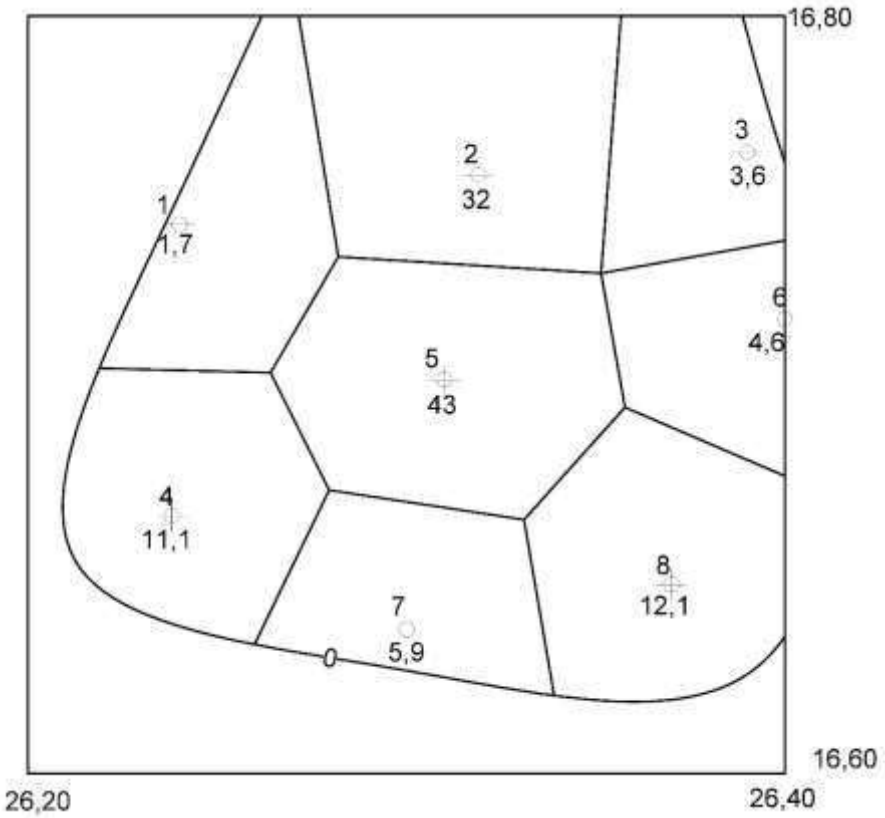
Вертикальные сечения строятся вдоль разведочных линий.



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).

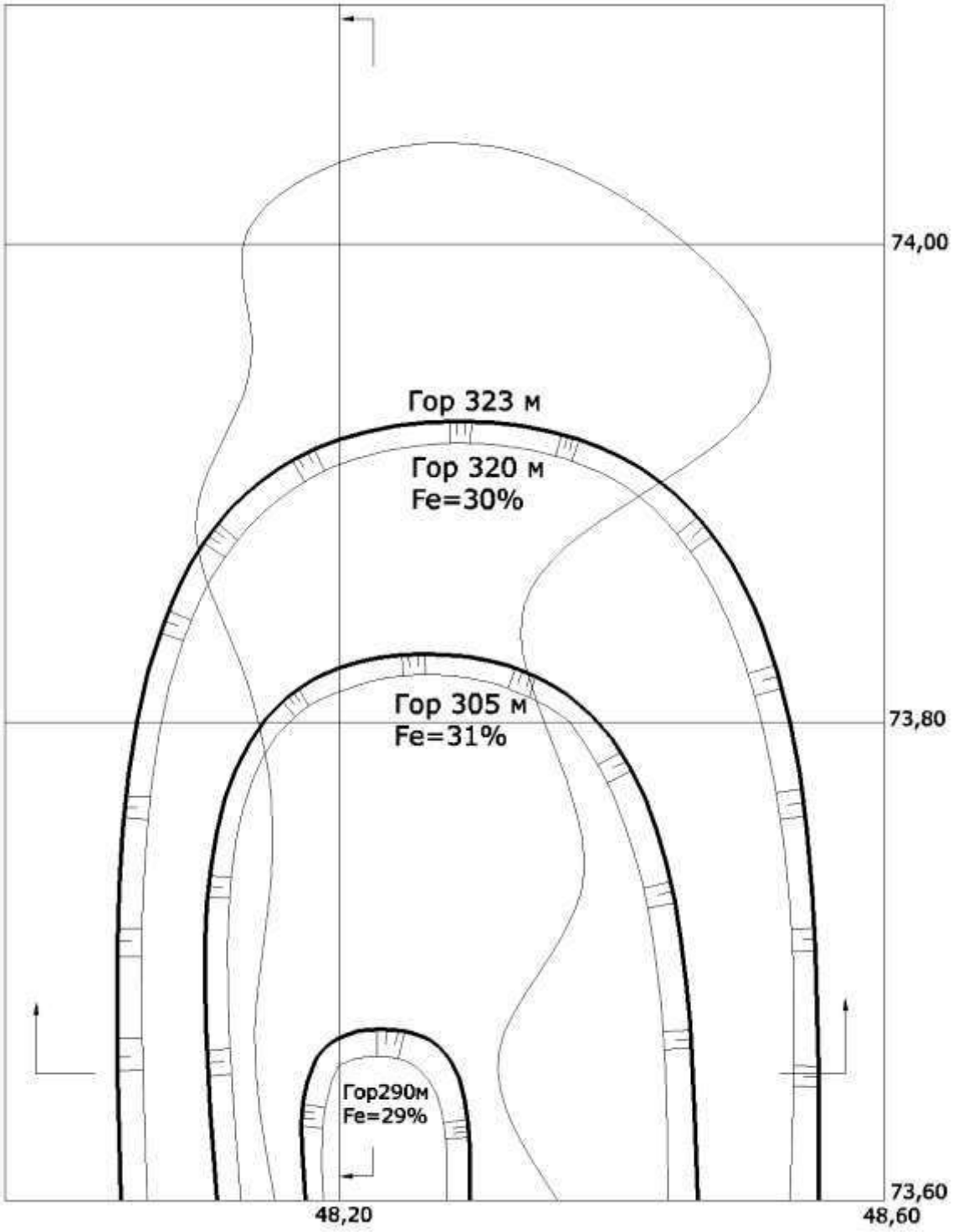


Рис. 1.1. План горных работ на начало планируемого периода

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.Т. Леонтьев

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР

Учебное пособие

к курсовой работе

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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).

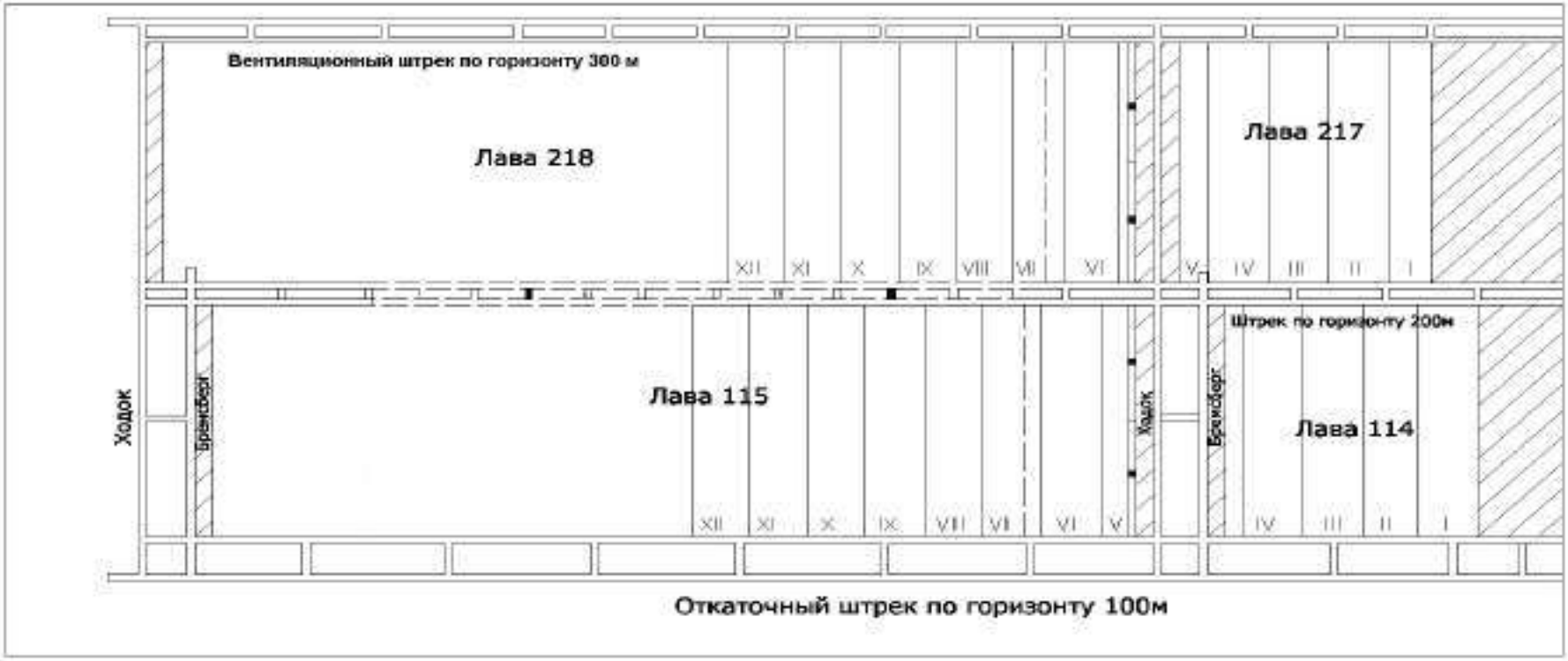


Рис. 2.2. Календарный план горных работ по пласту «Новый»

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).

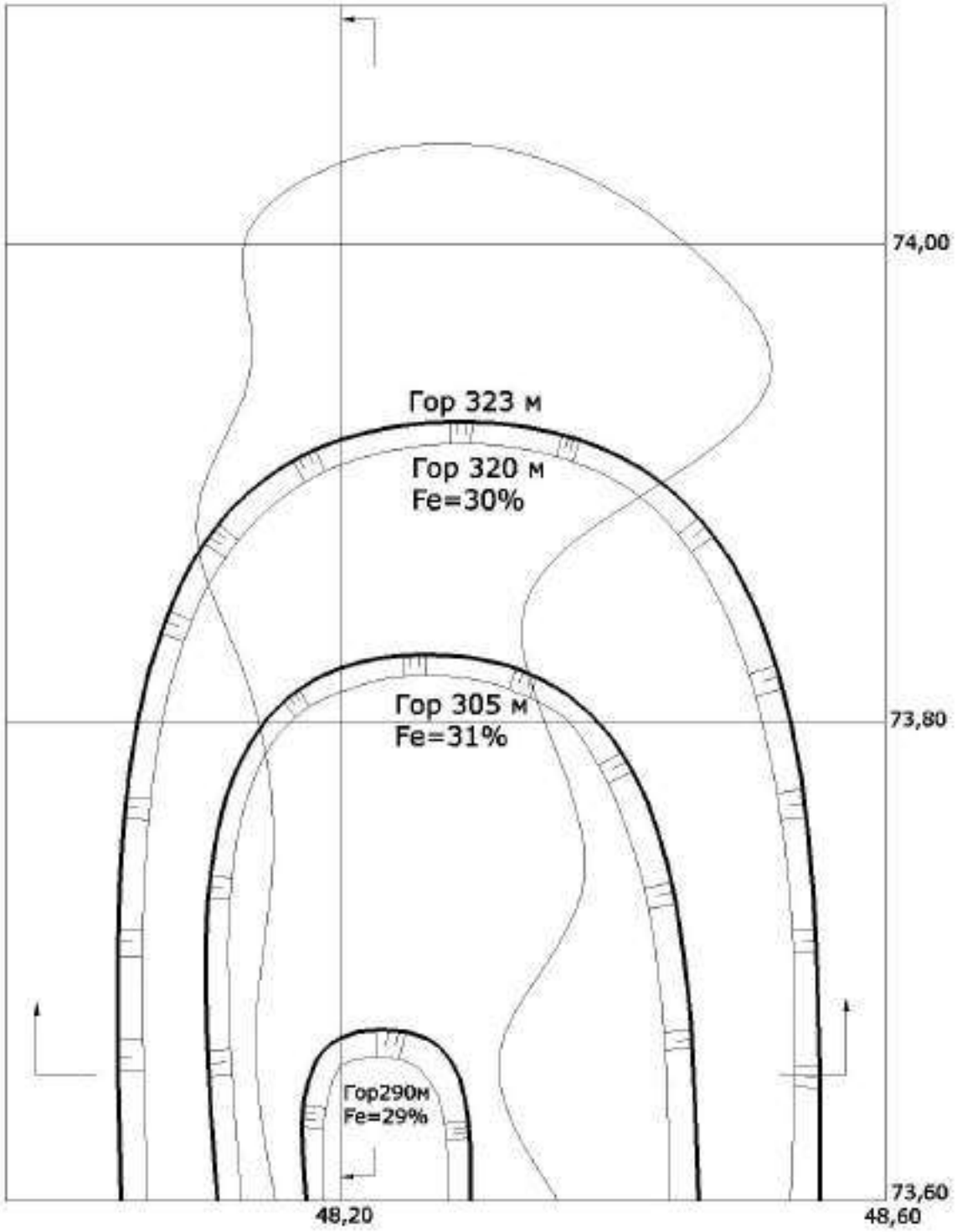
Северный участок железорудного месторождения представлен залежью неправильной формы. На верхних горизонтах она залегает вертикально, а с глубины 50 м наблюдается ее восточное падение. Залежь простирается в меридианальном направлении, мощность колеблется от 100 до 300 м. Залежь разведана до глубины 500 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

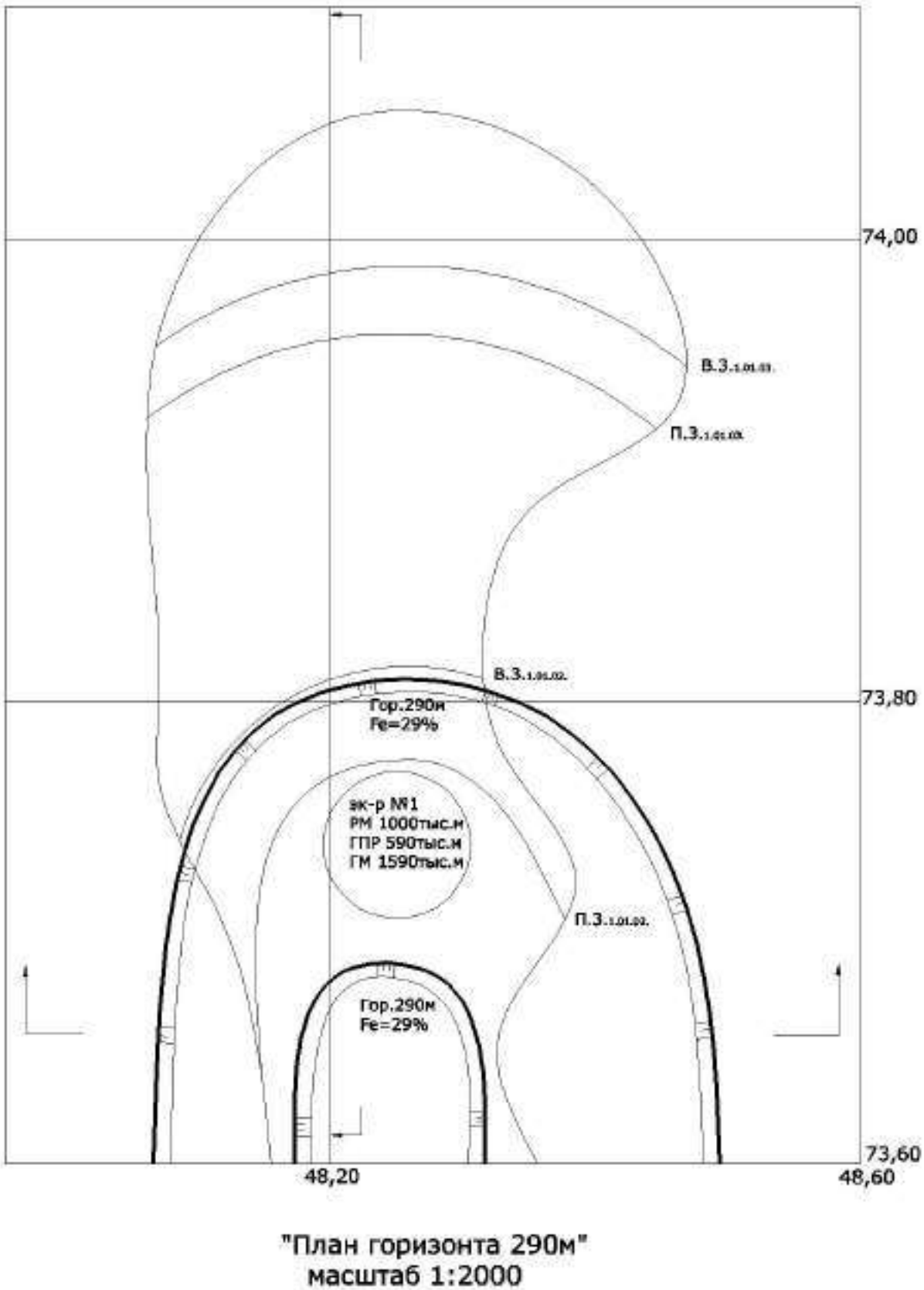


Рис. 3.2. Планирование горных работ на горизонте 290 м

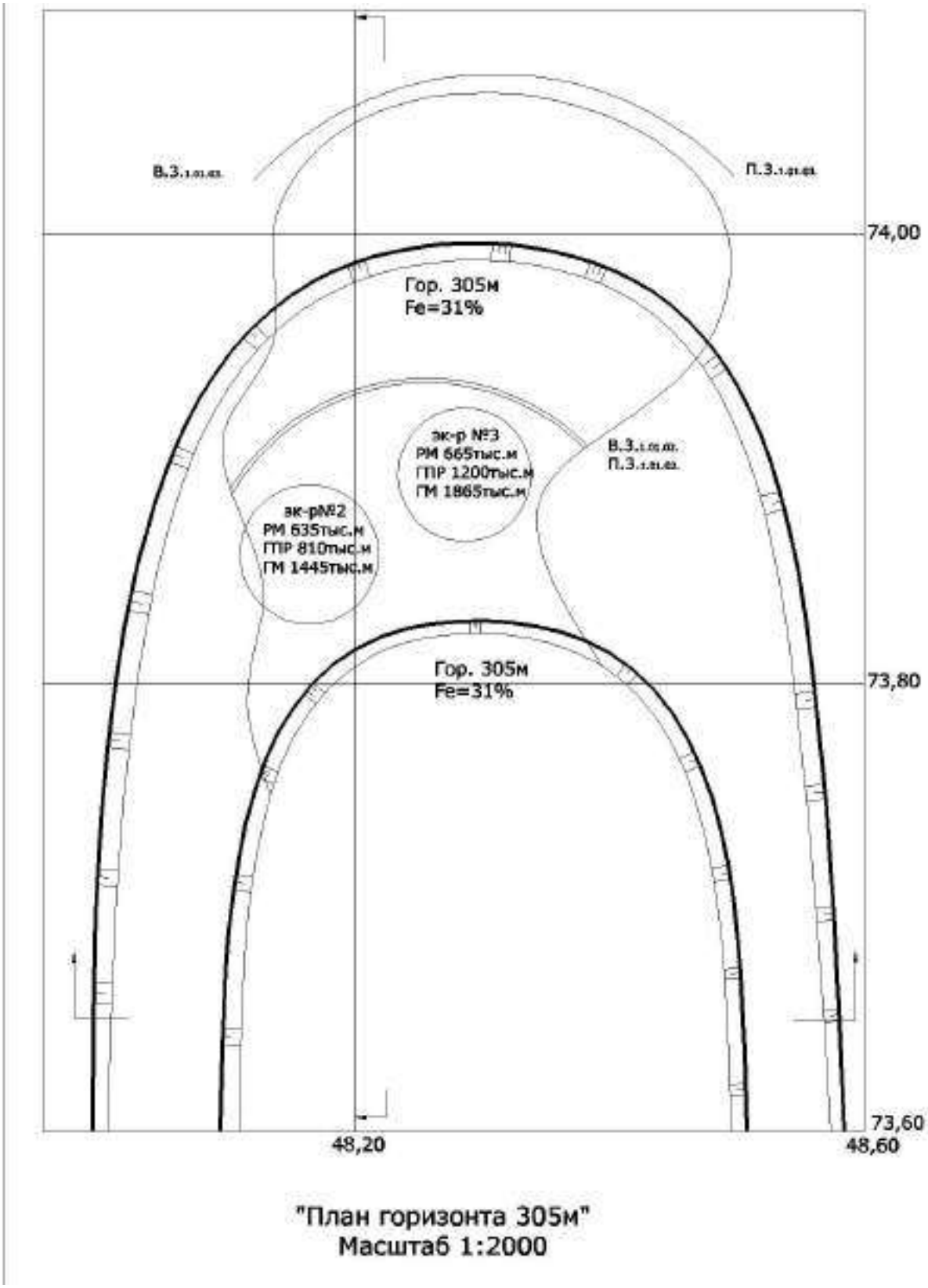


Рис. 3.3. Планирование горных работ на горизонте 305 м

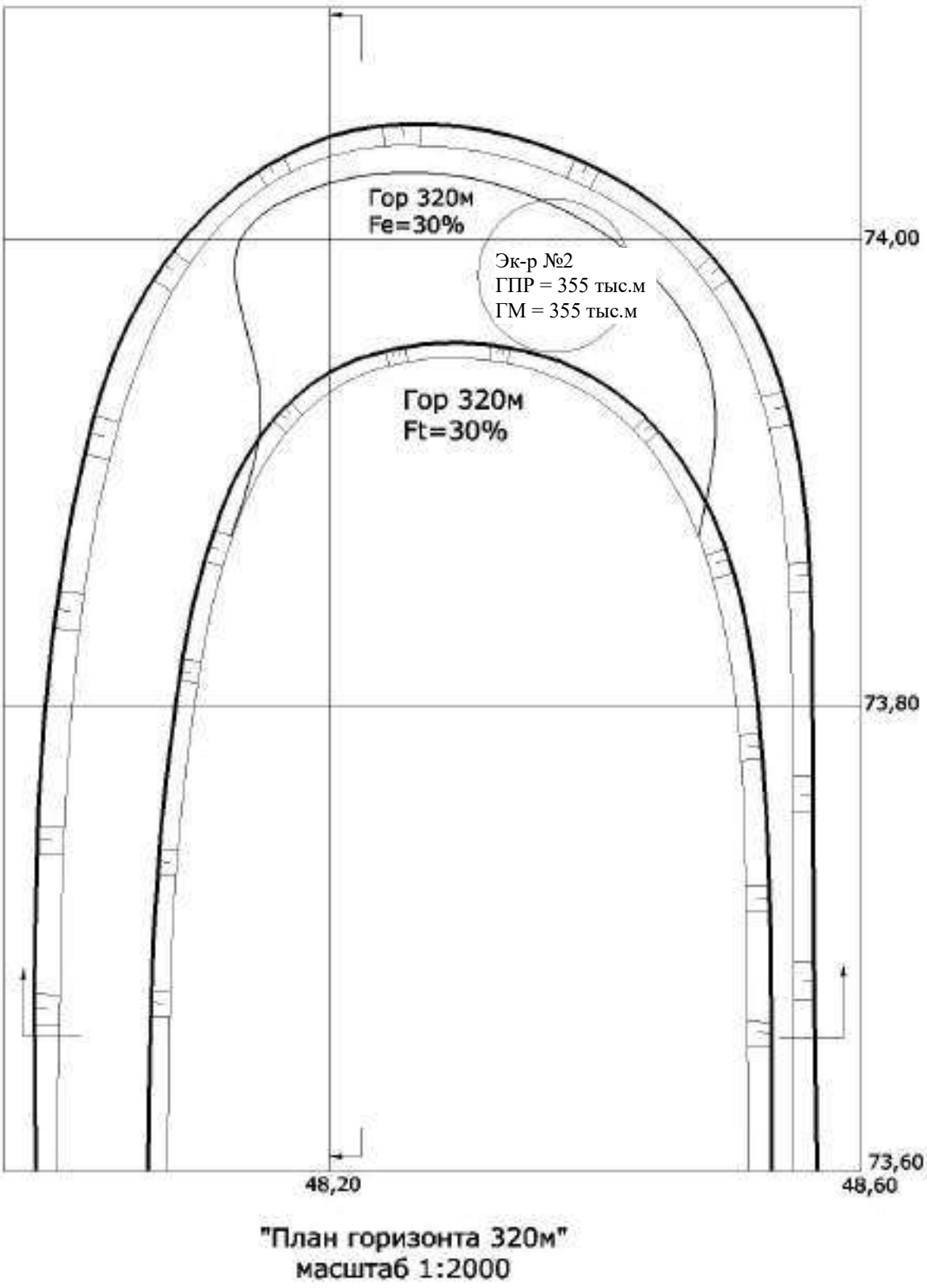
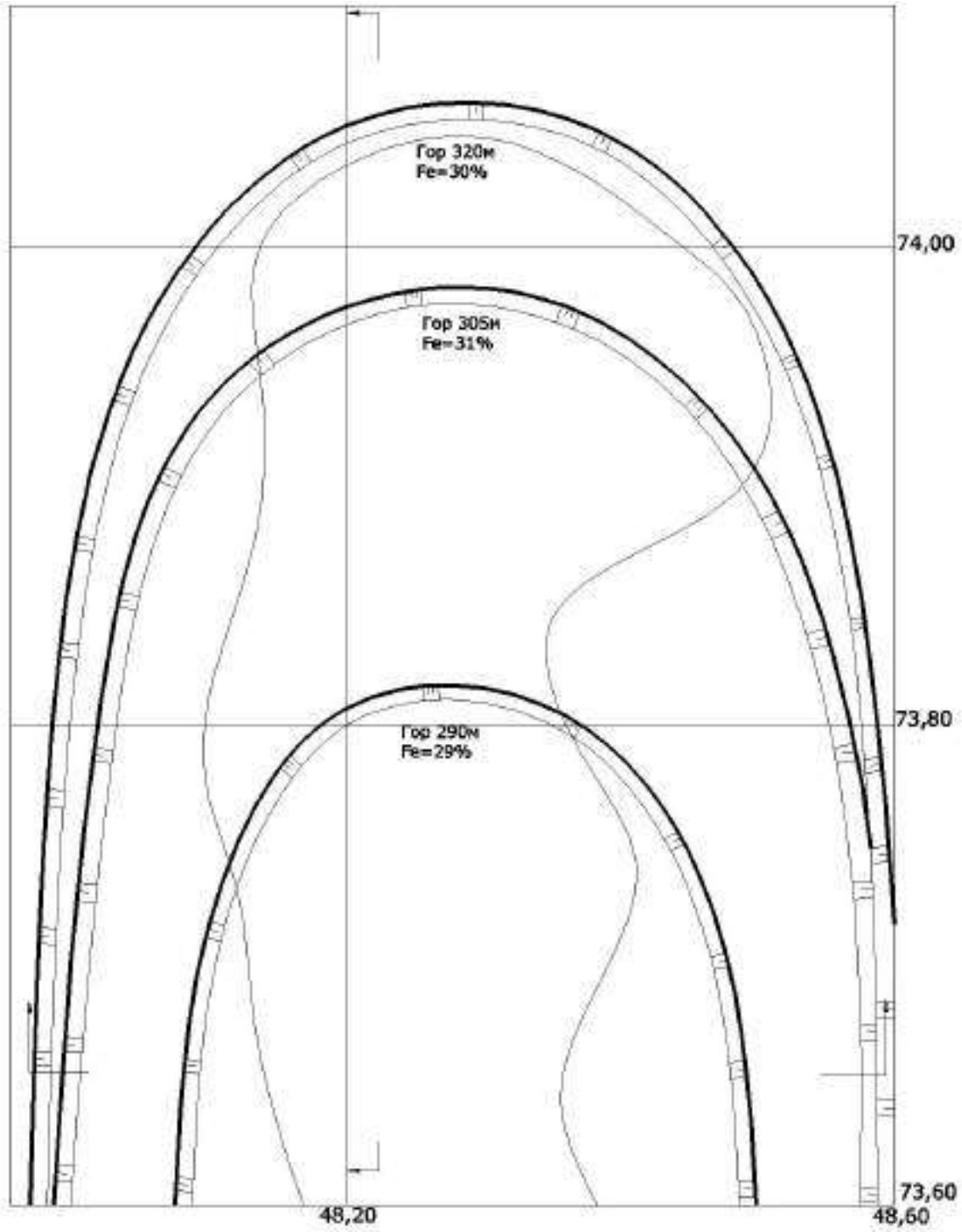


Рис. 3.4. Планирование горных работ на горизонте 320 м



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

$$П = N_n \cdot l; \quad (3.7)$$

$$R = N_p \cdot l, \quad (3.8)$$

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.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ю.И. Туринцев, В.П. Самарин

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 25-30^0) 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 АМ (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 АВ 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 АСМ 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^{o}, 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)

$$V_{\eta max} = 2К_{\eta}\frac{\eta_m \cdot C}{H}, \qquad (2.1)$$

где η_m – величина максимального оседания в мульде; С – скорость подвигания очистного забоя; Н – глубина разработки; $К_{\eta}$ - 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 (Т, 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:

$$t = 0{,}65T; \text{ при Н до 300 м;}$$
$$t = 0{,}55\ T; \text{ при Н = 500 м.} \qquad (2.5)$$

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 вырабо-

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:

$$\varepsilon_p = \frac{h\sin\Delta}{l}, \qquad (3.5)$$

$$\varepsilon_{сж} = \frac{\eta_c ctg\alpha - h\sin\Delta}{l}, \qquad (3.6)$$

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

$$\Delta = \arcsin \frac{\eta_c \cos(45 - \rho/2 - \alpha)}{\sin\alpha \sqrt{\frac{\eta_c^2}{\sin^2\alpha} + \frac{h^2}{\sin^2(45 + \rho/2)} + \frac{2h\eta_c \cos(45 + \rho/2 + \alpha)}{\sin\alpha in\alpha \sin + \rho/2)}}}. \qquad (3.7)$$

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

$$B = \frac{1}{a_0}\left(tg\alpha - \frac{h}{H_c}\right) \geq 0, \qquad (3.8)$$

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 $H_б$, 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

$$\frac{m_1}{H_\delta} + \frac{m_2}{H_\delta + \Delta h_1} + \frac{m_3}{H_\delta + \Delta h_2} \le \frac{\lfloor Д_Д \rfloor}{k_Д}, \qquad (5.3)$$

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 – $H_п = к_\varepsilon \frac{m}{[\varepsilon_П]}$,

(5.4)

наклоны - $H_п = к_i \frac{m}{[i_П]}$,

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:

$$[\Delta l_д] = [\Delta l_д]_н \, n_1 n_2 n_3 n_4 n_5; \qquad (5.5)$$

$$[\Delta l_п] = [\Delta l_п]_н \, n_1 n_2 n_3 n_4 n_5, \qquad (5.6)$$

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 $Д_1=(1,5\div2,0)d_1$.

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 ($\alpha>\alpha_п$) при расположении объектов в лежачем боку (см. рис. 6.1, ж) может осуществляться при вынимаемой мощности пластов до 3,0 м очистными забоями длиной $Д_1$ = 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:

$$q = h \operatorname{ctg} \varphi + \frac{(H - h)\operatorname{ctg}\beta'}{1 + \operatorname{ctg}\beta' \cos\Theta \operatorname{os}\Theta}; \qquad (7.1)$$

$$l = h \operatorname{ctg} \varphi + \frac{(H - h)\operatorname{ctg}\gamma'}{1 - \operatorname{ctg}\gamma' \cos\Theta \operatorname{os}\Theta}, \qquad (7.2)$$

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:

$$\operatorname{ctg}\beta' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2\beta \cos^2\Theta + \operatorname{ctg}^2\delta \sin^2\Theta}; \qquad (7.3)$$

$$\operatorname{ctg}\gamma' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2\gamma \cos^2\Theta + \operatorname{ctg}^2\delta \sin^2\Theta}, \qquad (7.4)$$

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

$$[\varepsilon_д] = \frac{\lfloor \Delta l_Д \rfloor}{1{,}2 m_\varepsilon l} = \frac{138}{1{,}2 \cdot 0{,}7 \cdot 36} = \frac{138}{30{,}4} = 4{,}6 \cdot 10^{-3};$$

$m_\varepsilon = 0{,}7$ [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)

$$\frac{m_1}{H_\delta} + \frac{m_2}{H_\delta + \Delta h_1} \le \frac{\lfloor Д_д \rfloor}{К_д};$$

$$\frac{2{,}0\text{м}}{H_\delta} + \frac{2{,}25\text{м}}{H_\delta + 60\text{м}} \le \frac{4{,}6 \cdot 10^{-3}}{0{,}9},$$

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]; Δh_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 $\alpha = 20^{o}$. 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 $\alpha = 20^{o}$, $К_i = 1,2$, $К_\varepsilon = 0,5$, исходя из допустимого показателя наклонов, составит

$$Н_\delta = К_i \frac{m}{[i_д]} = 1,2 \cdot \frac{2,2}{8 \cdot 10^{-3}} = 330 \ м,$$

а, исходя из допустимого показателя горизонтальных деформаций

$$Н_\delta = К_\varepsilon \frac{m}{[\varepsilon_д]} = 0,5 \cdot \frac{2,2}{6 \cdot 10^{-3}} = 183 \ м.$$

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_{1-2} – 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^{o} 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 δ_2''= 82 + 3 = 85°; γ_2''= 82 + 3 = 85°; β_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

$$B = \frac{1}{a_0}\left(tg\alpha - \frac{h}{H_{cp}} \right) \geq 0, \quad (8.14)$$

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

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург

2019

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.).

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В.А. Гордеев, О.С. Раева

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 ρ = 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 $m_{\alpha_0} = 60''$.

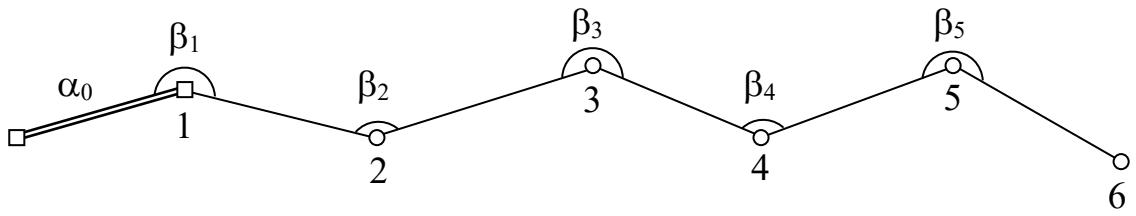


Рис. 2.1. Схема теодолитного хода при $n = 5$

$$m_{\alpha_5} = \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + \sum_{i=1}^{5} m_{\beta_i}^2} = \sqrt{60^2 + 5 \cdot 20^2} = 75''. \qquad (2.2)$$

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_{α_0} = 60″. 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.

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_{β_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:

$$M_x^2 = M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2 + M_{x_{\alpha_0}}^2 + M_{x_{\alpha_n}}^2,$$
$$M_y^2 = M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2 + M_{y_{\alpha_0}}^2 + M_{y_{\alpha_n}}^2, \quad (2.8)$$

где M_{x_β}, M_{y_β} – ошибки координат точки, обусловленные ошибками измерения углов:

$$M_{x_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} r_{y_i}^2 m_{\beta_i}^2;$$
$$M_{y_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2}\sum_{i=1}^{n} r_{x_i}^2 m_{\beta_i}^2. \quad (2.9)$$

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

$$M_{x_{\alpha_0}} = r_{y_1} m_{\alpha_0}/\rho, \qquad M_{y_{\alpha_0}} = r_{x_1} m_{\alpha_0}/\rho. \quad (2.10)$$

$M_{x_{\alpha_n}}$, $M_{y_{\alpha_n}}$ – ошибки координат точки, обусловленные ошибками ориентирования последней стороны хода

$$M_{x_{\alpha_n}} = r_{y_n} m_{\alpha_n}/\rho, \qquad M_{y_{\alpha_n}} = r_{x_n} m_{\alpha_n}/\rho. \quad (2.11)$$

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_{β_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°05′24″	139,567
2-3	17°56′18″	142,835
3-4	17°49′30″	145,623
4-5	18°01′48″	229,019
5-6	18°12′36″	140,825

Принимаем: ошибку измерения вертикального угла m_δ = 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 ($e_с$ = 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	$m^2_{\beta_i} R^2_{ш_i}$	φ_i, град.	$m^2_{l_i} \sin^2_{\varphi_i}$
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:

$$M_{x'}^2 = \frac{\left(m_{\beta_{\text{п}}}^2 \sum R_{y'_{\text{п}}}^2\right)}{\rho^2} + \frac{\left(\sum l_{i_{\text{п}}}^2 \cos^2 \alpha'_{i_{\text{п}}}\right)}{T_{\text{п}}^2} + \frac{m_{\beta_{\text{ш}}}^2 \left(\sum R_{y'_{\text{ш}}}^2 + \sum r_{y'}^2\right)}{\rho^2} +$$

$$+ \frac{\left(\sum l_{i_{\text{ш}}}^2 \cos^2 \alpha'_{i_{\text{ш}}}\right)}{T_{\text{ш}}^2} + \frac{m_{\alpha_{\text{п}}}^2 \sum D_{y'_{\text{п}}}^2}{\rho^2} + \frac{m_{\alpha_{\text{ш}}}^2 \sum D_{y'_{\text{ш}}}^2}{\rho^2} + \frac{m_{\alpha_{\text{г}}}^2 \sum D_{y'_{\text{г}}}^2}{\rho^2} \qquad (4.4)$$

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):

$$R_{\text{п}} = \sqrt{\sum R^2_{y'_{\text{п}}}} = \sqrt{31315} = 177 \text{ м},$$

$$l_{\text{п}} = \sqrt{\sum l^2_{i_{\text{п}}} \cos^2 \alpha'_{i_{\text{п}}}} = \sqrt{15379} = 124 \text{ м},$$

$$R_{\text{ш}} = \sqrt{\sum R^2_{y'_{\text{ш}}} + \sum r^2_{y'}} = \sqrt{17352} = 132 \text{ м},$$

$$l_{\text{ш}} = \sqrt{\sum l^2_{i_{\text{ш}}} \cos^2 \alpha'_{i_{\text{ш}}}} = \sqrt{3624} = 60 \text{ м},$$

$D_{п1} = 177$ 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

$$M_{x'} = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta_\text{п}} R_\text{п}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{l_\text{п}}{T_\text{п}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\beta_\text{ш}} R_\text{ш}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{l_\text{ш}}{T_\text{ш}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_\text{п}} \cdot \Sigma(D_{\text{п}1} + D_{\text{п}2})}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}2}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_\text{г}} \cdot \Sigma(D_{\text{г}1} + D_{\text{г}2})}{\rho}\right)^2}, \quad (4.8)$$

Данные к расчету составляющих погрешности сбойки приведены в табл. 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6

Данные к полигонам на поверхности

Номера вершин	$R_{y'_\text{п}}$, м	$R^2_{y'_\text{п}}$, м	$l_{i_\text{п}}$, м	$\alpha'_{i_\text{п}}$, град	$l^2_{i_\text{п}} \cos^2 \alpha'_{i_\text{п}}$
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	$R_{y'_{\text{ш}}}$, м	$R^2{}_{y'_{\text{ш}}}$	$l_{i_{\text{ш}}}$, м	$\alpha'_{i_{\text{ш}}}$, град.	$l^2_{i_{\text{ш}}} \cos^2 \alpha'_{i_{\text{ш}}}$
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):

$$R_{\text{п}} = \sqrt{28780} = 170\,\text{м}; \quad l_{\text{п}} = \sqrt{18525} = 136\,\text{м};$$

$$R_{\text{ш}} = \sqrt{111633} = 334\,\text{м}; \; l_{\text{ш}} = \sqrt{6257} = 79\,\text{м};$$

$$D_{\text{п}1} = 118\,\text{м}; \quad D_{\text{п}2} = 104\,\text{м};$$

$D_{ш2} = 114$ 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 $M_{x'_{пред}} = 3M_{x'} = 3\cdot 0{,}089 = 0{,}267$ 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:

$$M_z = \sqrt{\left(\sqrt{2}m_H\right)^2 + \left(\sqrt{L_{1_п} + L_{2_п}}\, m_{h_п}\right)^2 + \left(\sqrt{L_{1_ш} + L_{2_ш}}\, m_{h_ш}\right)^2} = \qquad (4.10)$$

$$= \sqrt{(am_H)^2 + \left(L_п m_{h_п}\right)^2 + \left(L_ш m_{h_ш}\right)^2},$$

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

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В.А. Гордеев, Раева О.С.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие

к самостоятельной работе
обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург

2019

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

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Автор: Бадулин А.П., доц., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Маркшейдерского дела
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Гордеев В.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 19 от 09.04.2019 г.
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией
горно-технологического факультета
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019 г.
(Дата)

Екатеринбург
2019

Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» / А.П. Бадулин; Уральский государственный горный университет, кафедра Маркшейдерского дела. - Екатеринбург: 2019. – 13 с.

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов специальности «Горное дело» специализации Маркшейдерское дело».

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры маркшейдерского дела «09» апреля 2019 г., протокол № 19

© Бадулин А.П.
© Уральский государственный горный университет, 2019

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?



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А. П. Бадулин, А. В. Жабко,
О. Д. Алябьева

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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.

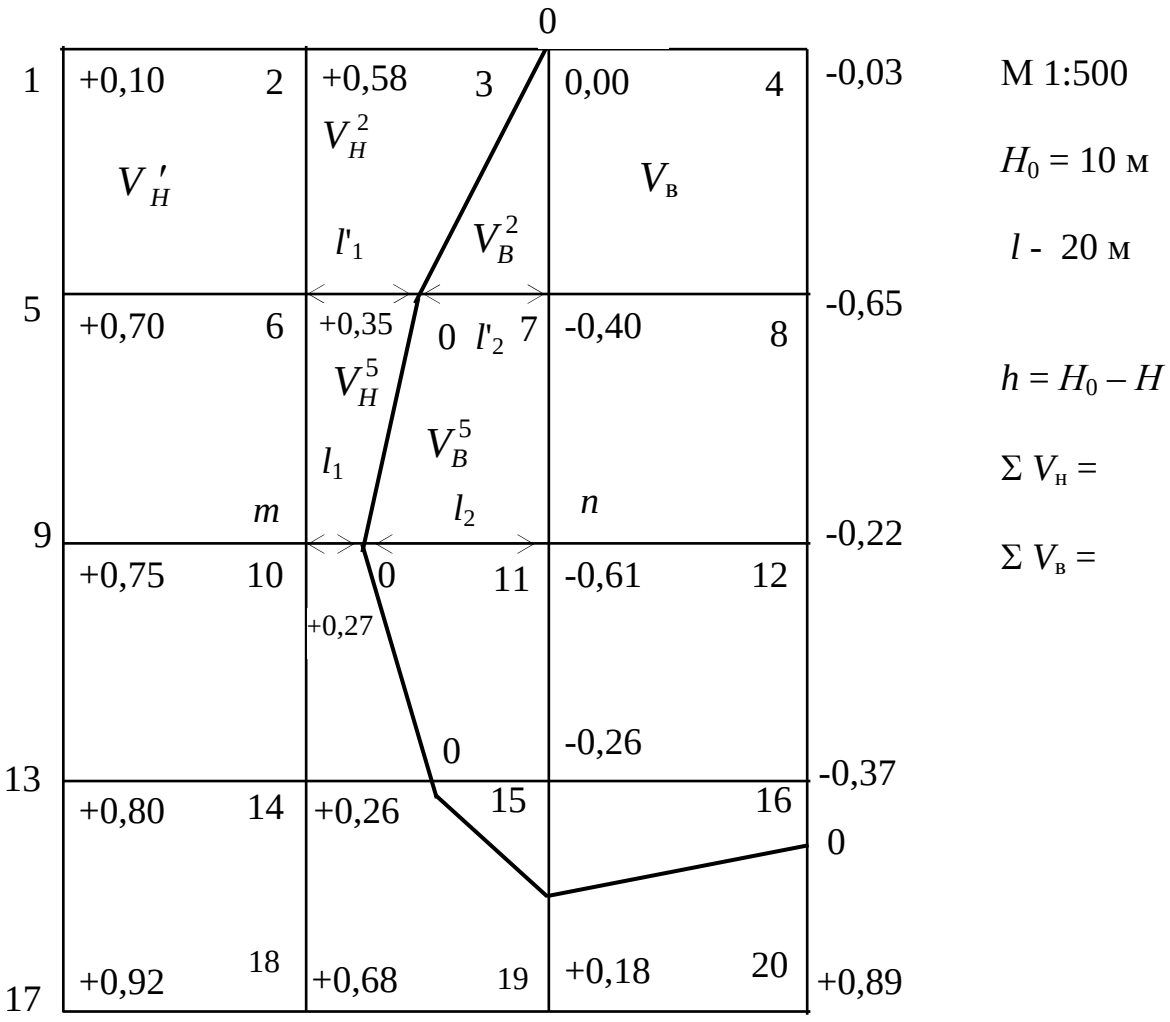


Рис. 1.1. Строительная сетка

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

$$h_m = H_0 - H_m; \quad h_n = H_0 - H_n.$$

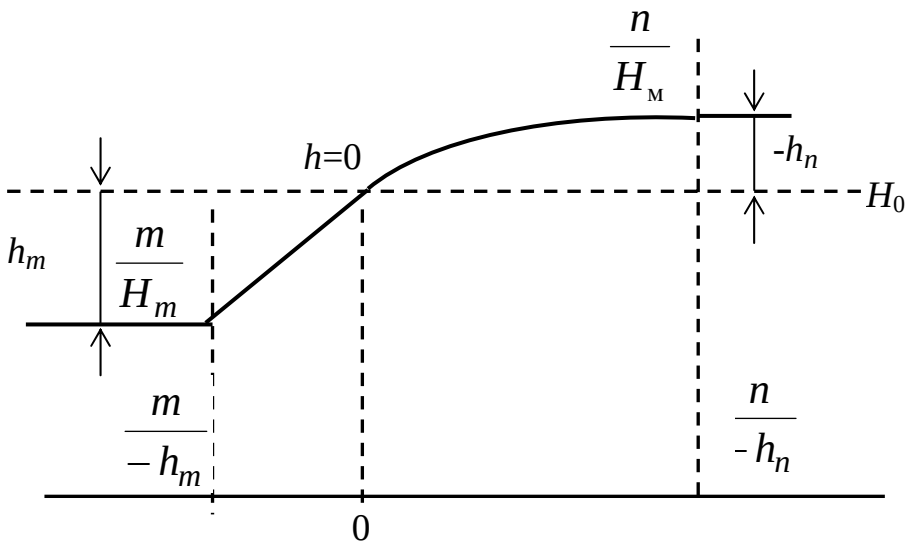


Рис. 1.2. Проектируемая поверхность промплощадки с горизонтальной плоскостью и с проектным горизонтом H_0

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

$$l_1 = \frac{0{,}27 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 6{,}14\,\text{м}\,; \qquad l_2 = \frac{0{,}61 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 13{,}86\ \text{м}.$$

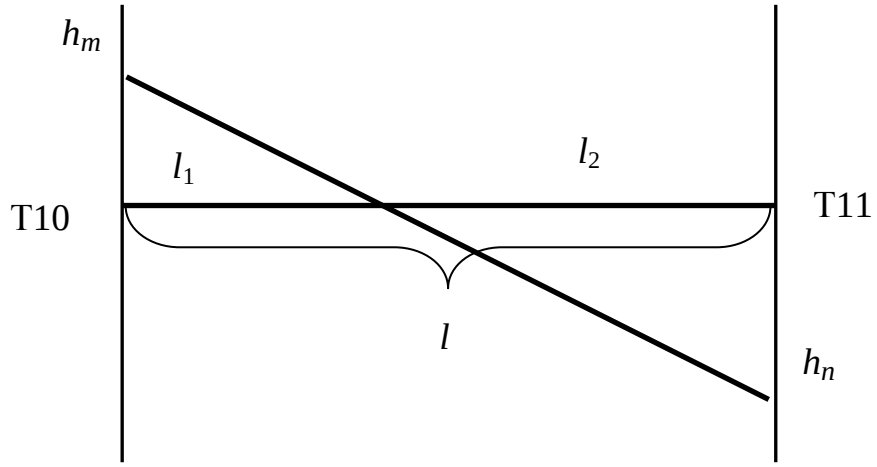


Рис. 1.3. График положения точки нулевой отметки

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:

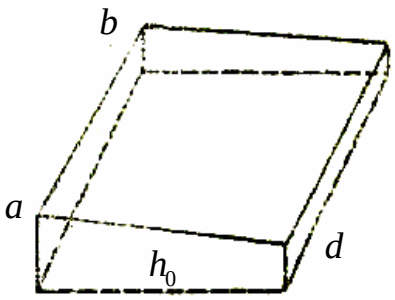
$$V = \frac{1}{4} S(h_1 + h_2 + h_5 + h_6),$$

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).

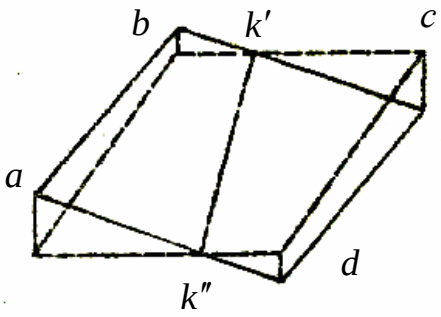
1-й случай

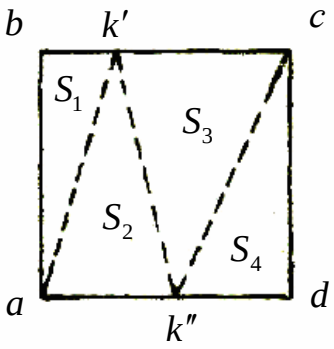


a, b, c, d – рабочие отметки

h_0 – проектный уровень площадки

2-й случай





3-й случай

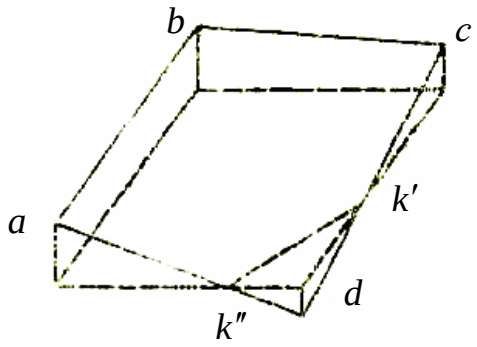


Рис. 1.4. Случаи определения объема

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:

$$V_{\text{н}} = l\,\frac{l_1 + l_1'}{2} \cdot \frac{h_{10} + h_6}{4};$$

$$V_в = l\,\frac{l_2 + l_2'}{2}\cdot\frac{h_7 + h_{11}}{4},$$

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 $h_{ср}$ 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 $h_{ср}$ в нашем случае определяют по формулам

$$h_{ср} = \frac{h_{15}}{3}$$ – при площади треугольной формы;

$$h_{ср} = \frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5}$$ – при площади пятиугольной формы.

В данном случае расчеты объемов насыпных и выемочных работ вычисляют (см. рис. 1.4, 3-й случай):

$$V_н = S_1\frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5};$$

$$V_в = S_2\frac{h_{15}}{3},$$

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

$$\Sigma V_н = V_{н1} + V_{н2} + ... + V_{нn};$$
$$\Sigma V_в = V_{в1} + V_{в2} + ... + V_{вn}.$$

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 "*М*" угла простирания α поверхности, уклона *i* или угла наклона δ плоскости (рис. 1.5) и определяет объем земляных работ.

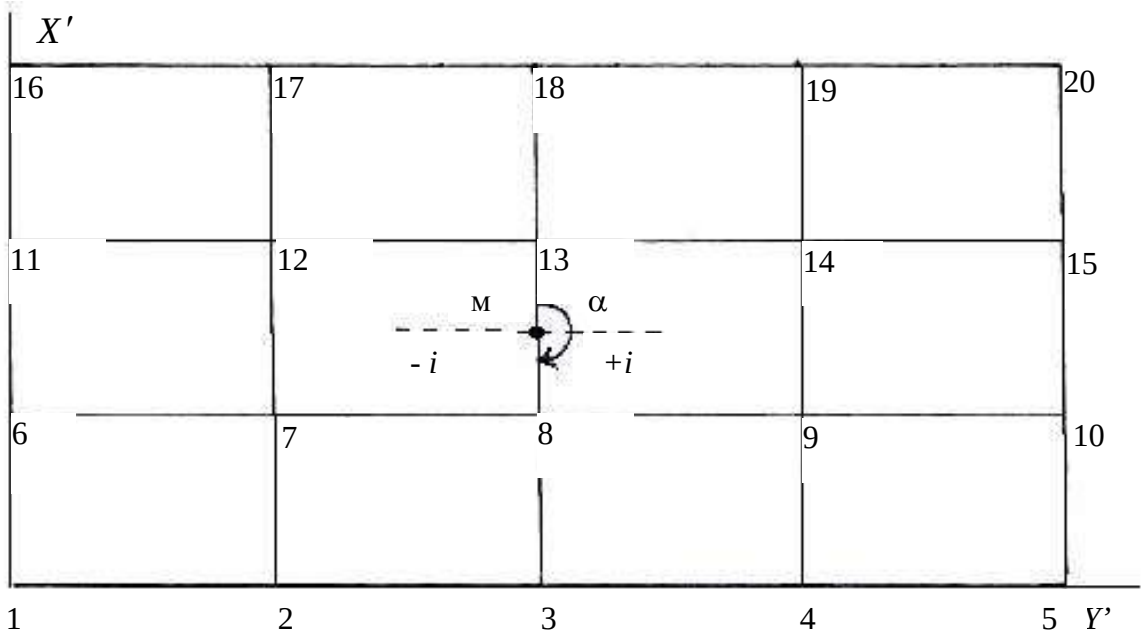


Рис. 1.5. Схема строительной сетки наклонной промплощадки

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^{o}, расстояние между точками – *l*, точка *М* 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 *М*, 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 прости-рания	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	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
Масштаб	1:1000	1:500	1:1000	1:500	1:1000	1:500	1:1000	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).

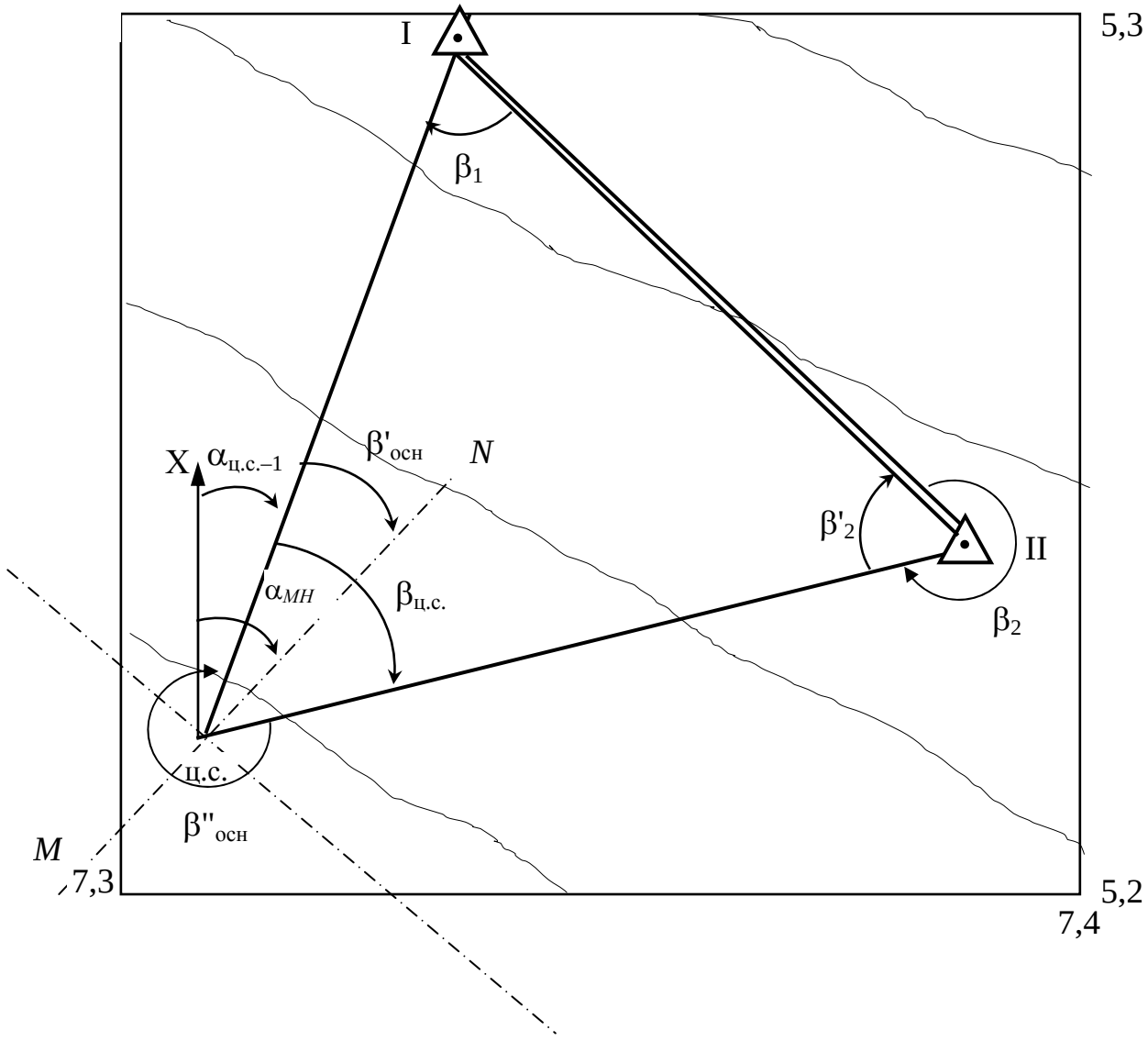


Рис. 2.1. План разбивок центра вентиляционного ствола и строительных осей

На поверхности, вблизи закладываемого шахтного ствола, имеются пункты I, II опорной сети, координаты которых $X_{I,}$ $У_{I}$, Z_{I}; X_{II}, $У_{II}$, Z_{II}. В проекте даны координаты центра ствола $X_{ц.с.}$, $У_{ц.с.}$, $Z_{ц.с.}$ 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	$\Delta У$, 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	$\Delta У$ = +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.

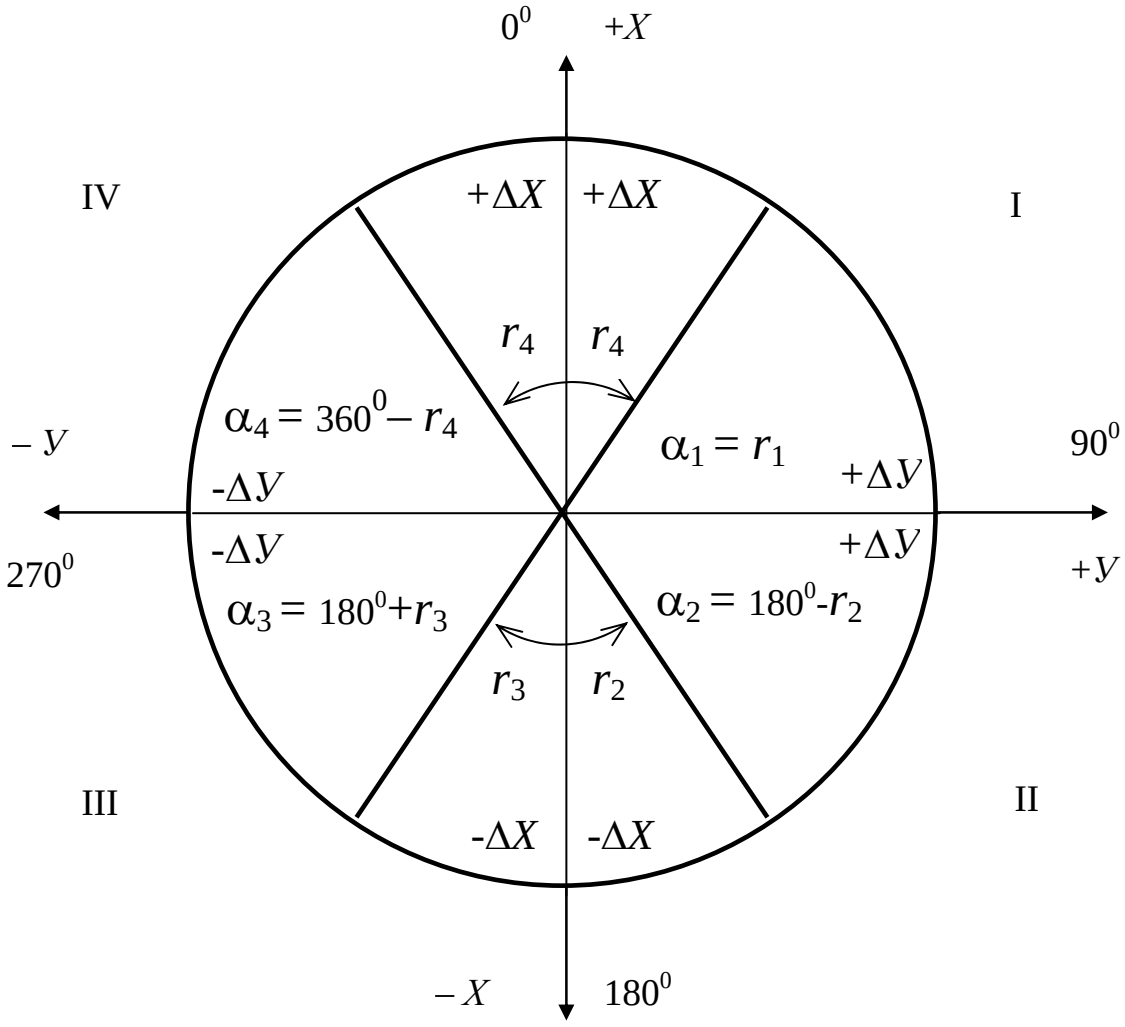


Рис. 2.2. Схема для определения дирекционных углов

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.

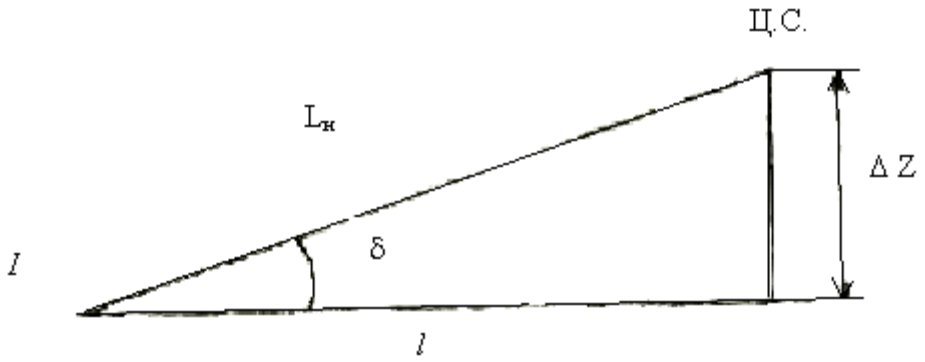


Рис. 2.3. Схема для определения наклонной длины линии

$$\delta = \operatorname{arctg}\frac{\Delta z}{l},$$

где Δz – разность высотных отметок концов определяемой линии.

Или через логарифмы

$$\lg L_{\text{н}} = \lg l - \lg \cos \delta ;$$
$$\lg \operatorname{tg} \delta = \lg \Delta z - \lg l.$$

Затем по антилогарифму находят δ и $L_{\text{Н}}$.

Или

$$L_{\text{н}} = \sqrt{(Y_{\text{ц.с.}} - Y_1)^2 + (X_{\text{ц.с.}} - X_1)^2 + (Z_{\text{ц.с.}} - Z_1)^2} .$$

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', $\beta'_{\text{ц.с.}}$ (транспортиром), а также $\beta'_{\text{оси}}$, $\beta''_{\text{оси}}$.

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).

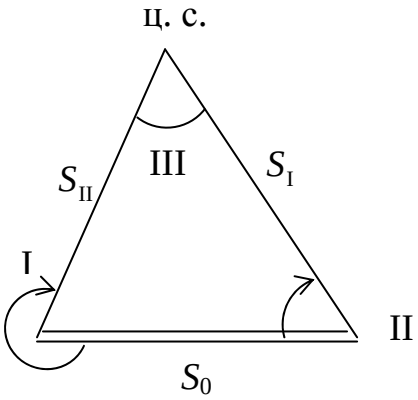


Рис. 2.4. Способ угловой засечки

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 (μ = 0,0005); λ – коэффициент систематического влияния (λ = 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

$$n_m=\frac{\alpha}{\varphi}.$$

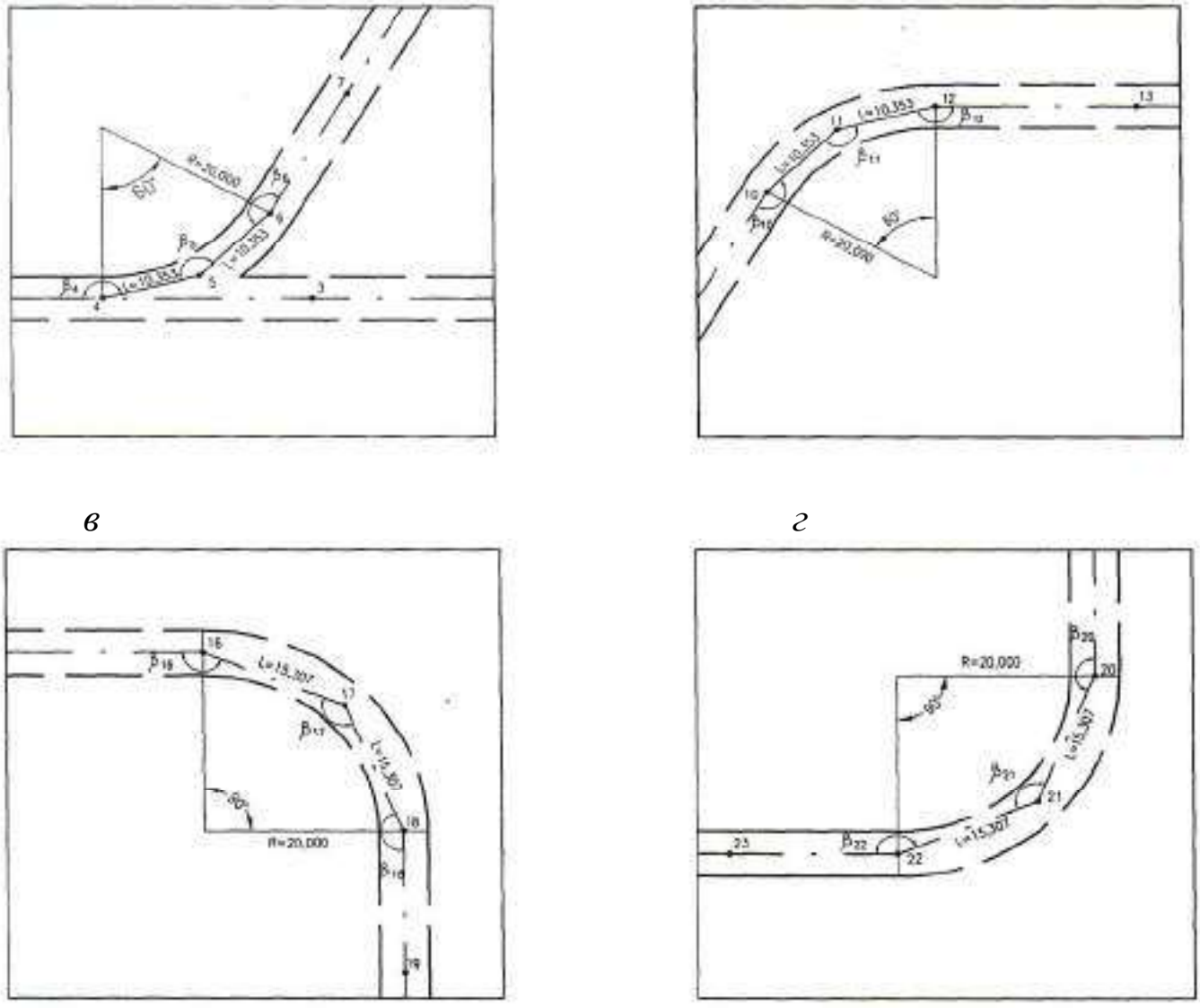
Значение n_m округляют до целого числа всегда в большую сторону. Если n_m получилось целым числом, то увеличивают его на единицу.

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).

а *б*



в *г*

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).

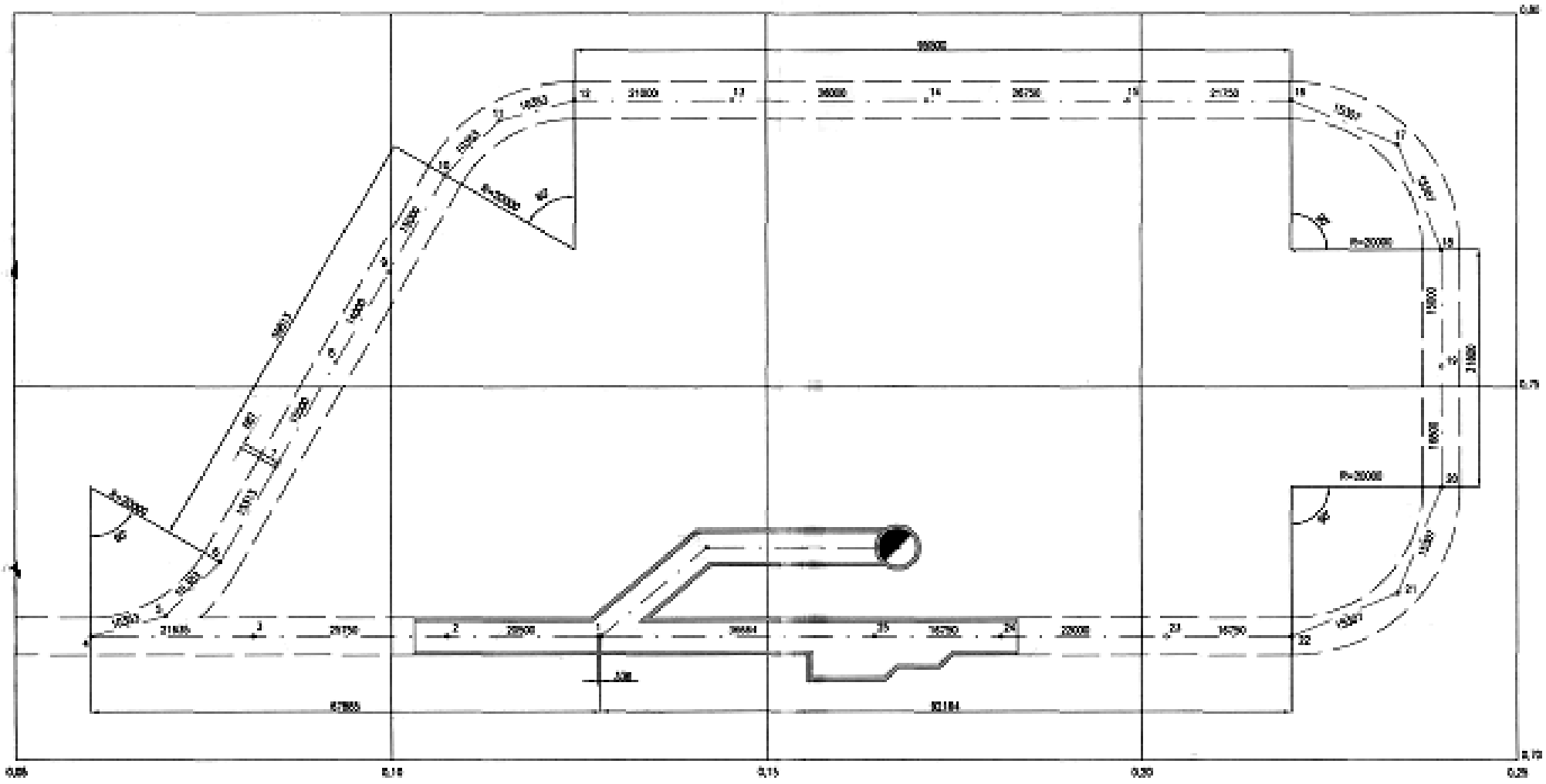


Рис. 3.2. Проектный полигон

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		270º00'00" 90º00'00"	1 0	-20,500	0,000
2	1 3	25,750	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-25,750	0,000
3	2 4	21,635	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-21,635	0,000
4	3 5	10,353	345º00'00"	75º00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
5	4 6	10,353	150º00'00"	45º00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
6	5 7	-0,687 16,000 (15,313)	165º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	-0,343 8,000 (7,657)	-0,594 13,856 (13,262)
7	6 8	15,500	180º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	7,750	13,423
8	7 9	14,000	180º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	7,000	12,124
9	8 10	15,000	180º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	7,500	12,990
10	9 11	10,353	195º00'00"	45º00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
11	10 12	10,353	210º00'00"	75º00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
12	11 13	21,000	195º00'00"	90º00'00"	1 0	21,000	0,000
13	12 14	26,000	180º00'00"	90º00'00"	1 0	26,000	0,000

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	13 15	26,750	180º00'00"	90º00'00"	1 0	26,750	0,000
15	14 16	21,750	180º00'00"	90º00'00"	1 0	21,750	0,000
16	15 17	15,307	202º30'00"	112º30'00" 67º30'00"	0,923880 0,382683	14,142	-5,858
17	16 18	15,307	225º00'00"	157º30'00" 22º30'00"	0,382683 0,923880	5,858	-14,142
18	17 19	15,000	202º30'00"	180º00'00" 0º00'00"	0 1	0,000	-15,000
19	18 20	16,800	180º00'00"	180º00'00" 0º00'00"	0 1	0,000	-16,800
20	19 21	15,307	202º30'00"	202º30'00" 22º30'00"	0,382683 0,933880	-5,858	-14,142
21	20 22	15,307	225º00'00"	247º30'00" 67º30'00"	0,923880 0,382683	-14,142	-5,858
22	21 23	16,750	202º30'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-16,750	0,000
23	22 24	22,000	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-22,000	0,000
24	23 25	16,750	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-16,750	0,000
25	24 1	-0,336 37,000 (36,664)	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	–1 0	0,336 -37,000 (-36,664)	0,000
1	25 2		180º00'00"	270º00'00"		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

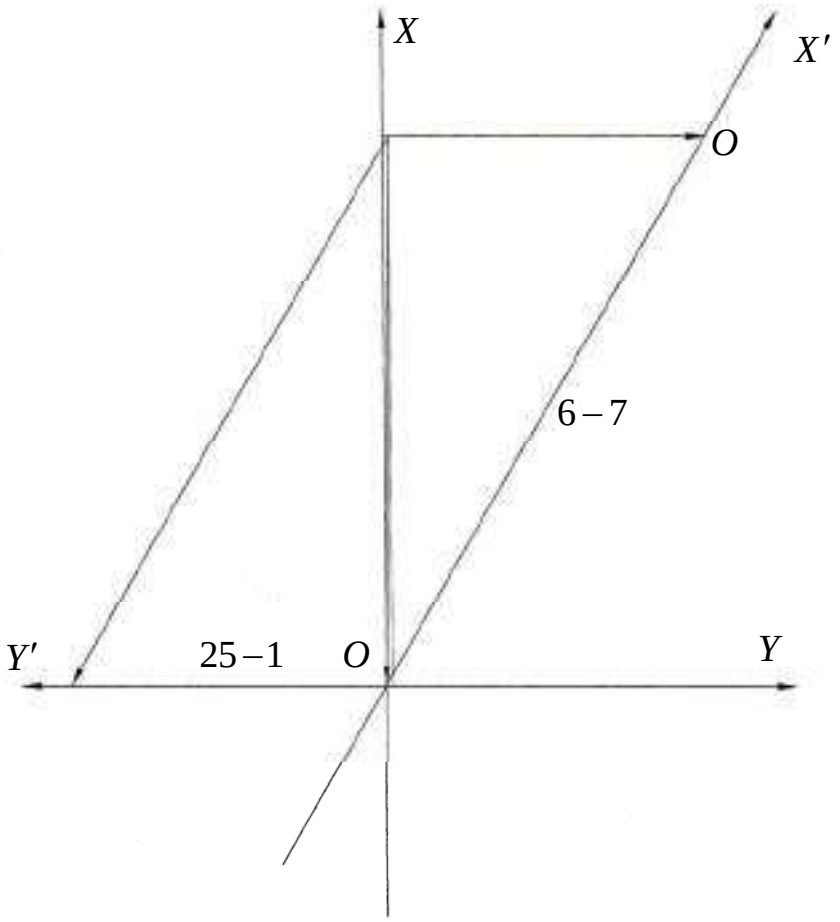


Рис. 3.3. Векторно-графический способ увязки проектного полигона

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	$H_{k,\ м}$	$е$, 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

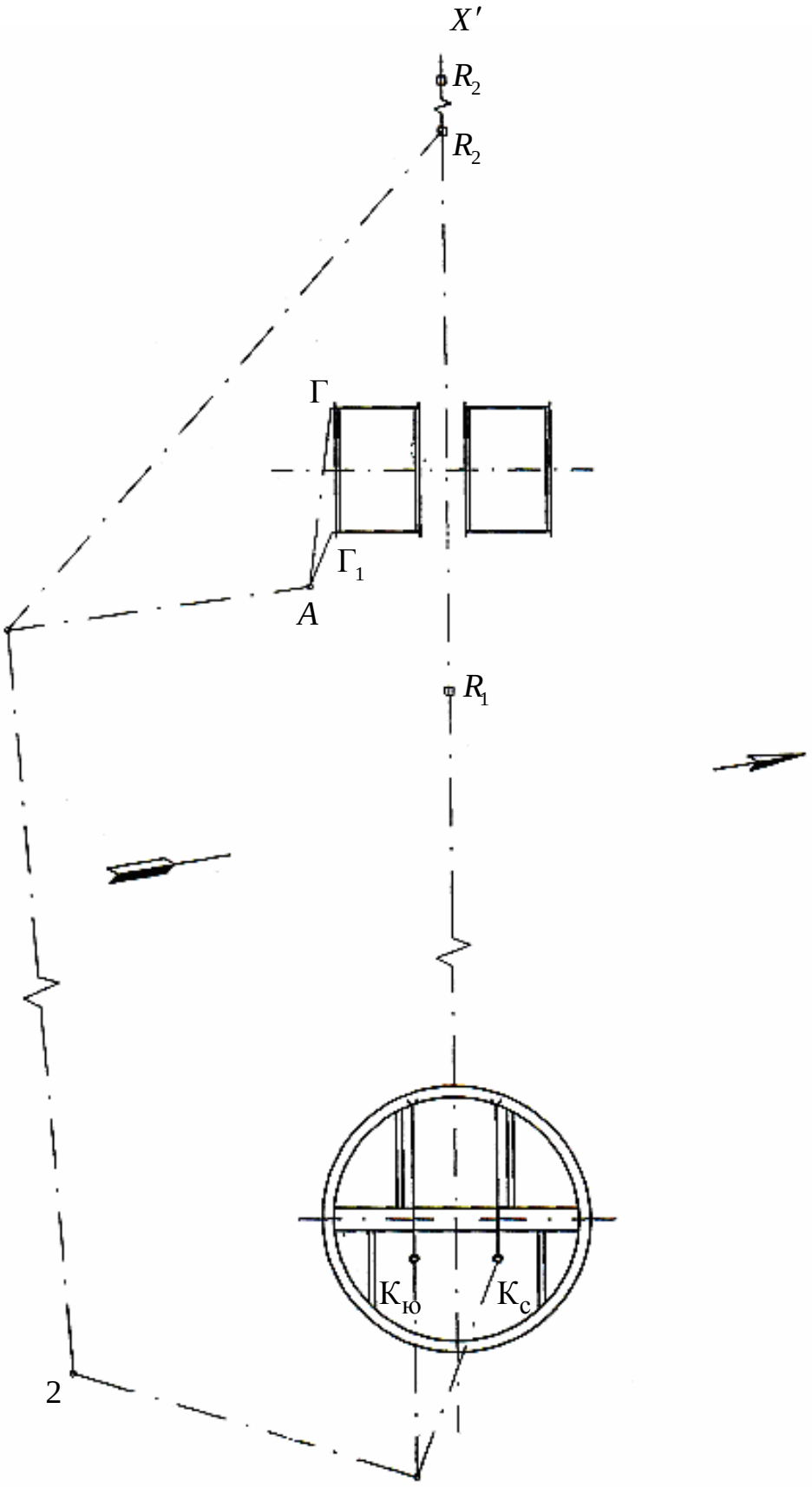


Рис. 4.1. Съемка характерных точек подъемного комплекса

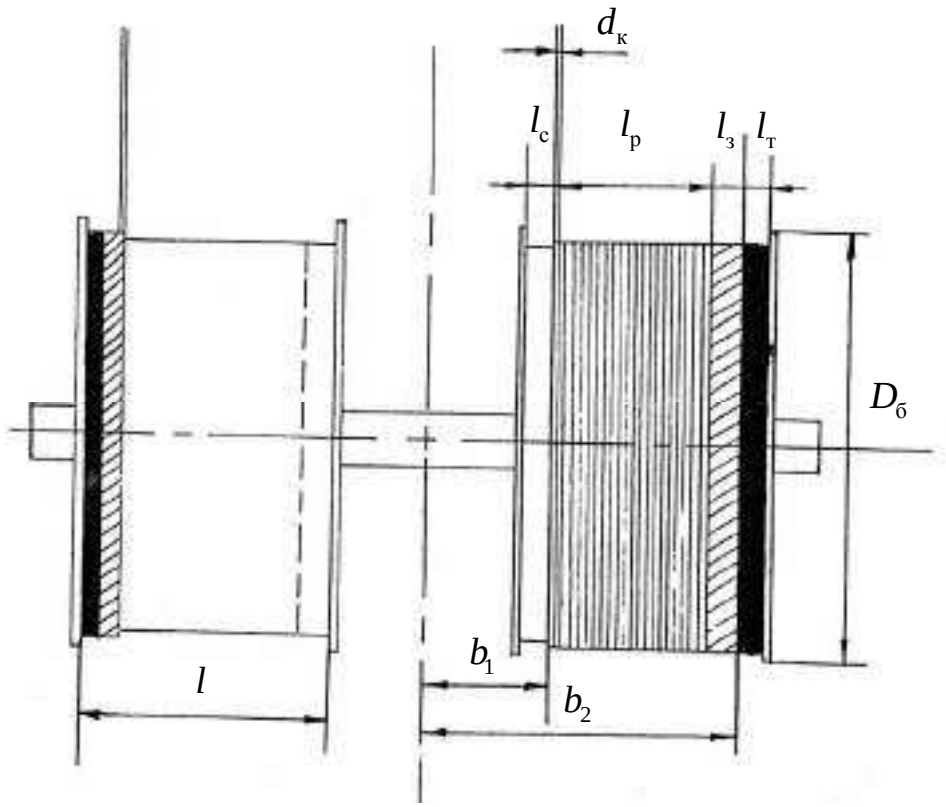


Рис. 4.2. Зоны цилиндрических барабанов

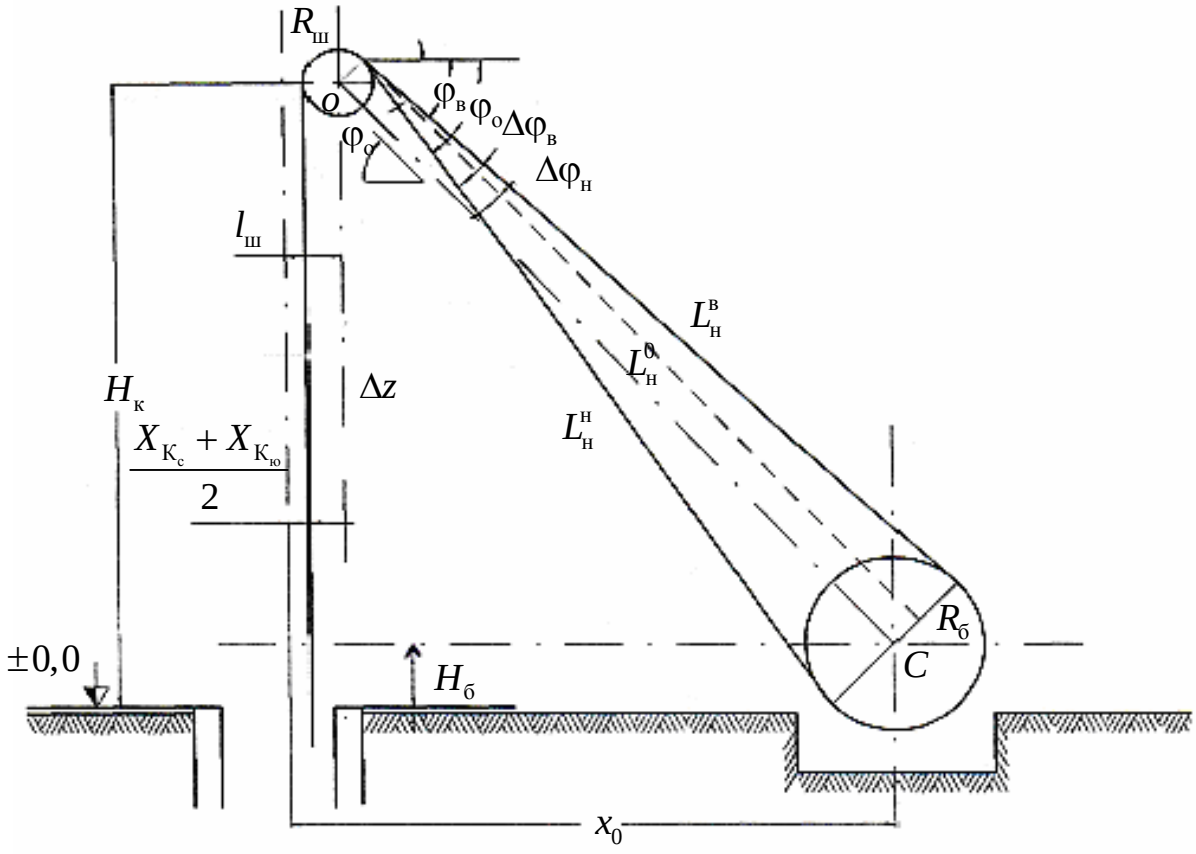


Рис. 4.3. Углы наклона подъемных канатов

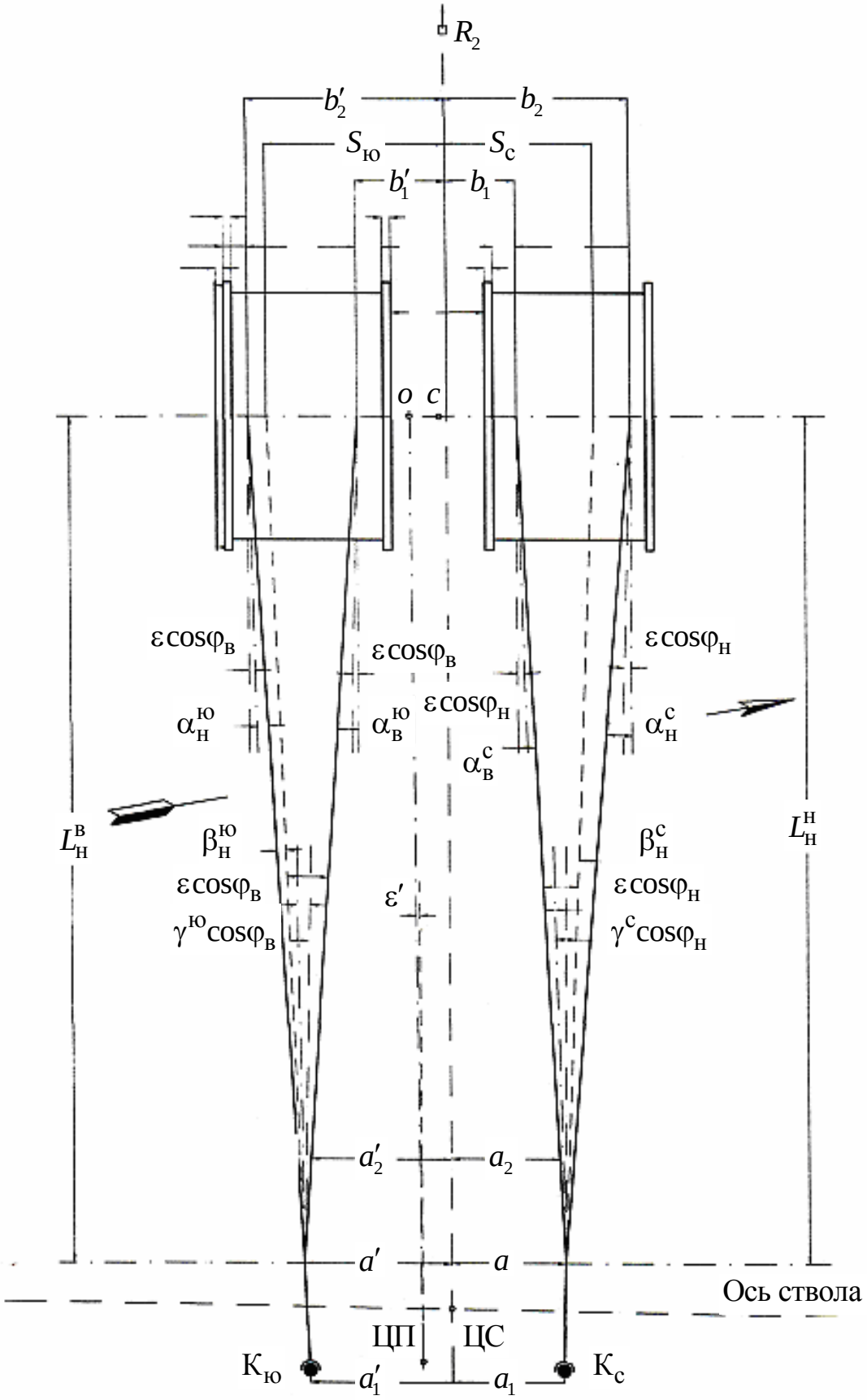


Рис. 4.4. Съемка шкивов и элементов барабанов подъемной машины

Таблица 4.4

Результаты маркшейдерской съемки реборды барабана подъемной машины и шкивов

Данные съемки шкивов				Съемки барабана машины			
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
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:

$$\alpha_{в}^{ю} = \frac{a' - b_1'}{L_{H}^{в}}\rho' + \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в};$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{b_2' - a'}{L_{H}^{н}}\rho' - \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в},$$

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:

$$\gamma_{\text{с}} = \frac{\Delta a_{\text{с}}}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{a_2 - a_1}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{1{,}260 - 1{,}240}{3}3437{,}75 = 0^\circ 22'55'',$$

$$\beta_{\text{в}}^{\text{с}} = a_{\text{b}}^{\text{с}} + (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = -0^\circ 08'58'' + (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 27'25'';$$
$$\beta_{\text{н}}^{\text{с}} = a_{\text{н}}^{\text{с}} - (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 1^\circ 26'34'' - (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 50'11''.$$

- 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 $(a_1 - a_{2испр})$.

Расстояния a_1 и a задаются проектом и изменению не подлежат, так как изменение сместит точки сходов канатов относительно центра тяжести подъемных отделений ствола.

$$a_1 - a_{2испр} = \frac{b_1 + b_2 - 2a}{2L_н^0 \cos\varphi_0} D_ш = \frac{1,069 + 2,434 - 2,500}{2 \cdot 60,440 \cos 38^\circ 20'56"}3 = 0,032 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}} = 1{,}240 - 0{,}032 = 1{,}208 \text{ м};$$

$$a_2 - a_{2\text{испр}} = 1{,}260 - 1{,}208 = 0{,}052 \text{ м};$$

$$a_1' - a_{2\text{испр}'} = \frac{b_1' + b_2' - 2a'}{2L_{\text{н}}^0 \cos\varphi_0} D_{\text{ш}} = \frac{1{,}869 + 2{,}234 - 2{,}490}{2 \cdot 60{,}440 \cos 38^\circ 20' 56''} 3 = 0{,}019 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}'} = 1{,}240 - 0{,}019 = 1{,}221 \text{ м};$$

$$a'_2 - a_{2\text{испр}'} = 1{,}250 - 1{,}221 = 0{,}029 \text{ м}.$$

$$\Delta a_2 = 29 \text{ мм}.$$

Вывод: при вычислении углы девиации не превзошли допустимых (1°30'). Средняя ошибка углов девиации $m_\beta^c = 0^\circ 04' 58''$; $m_\beta^{\text{ю}} = 0^\circ 04' 57''$.

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

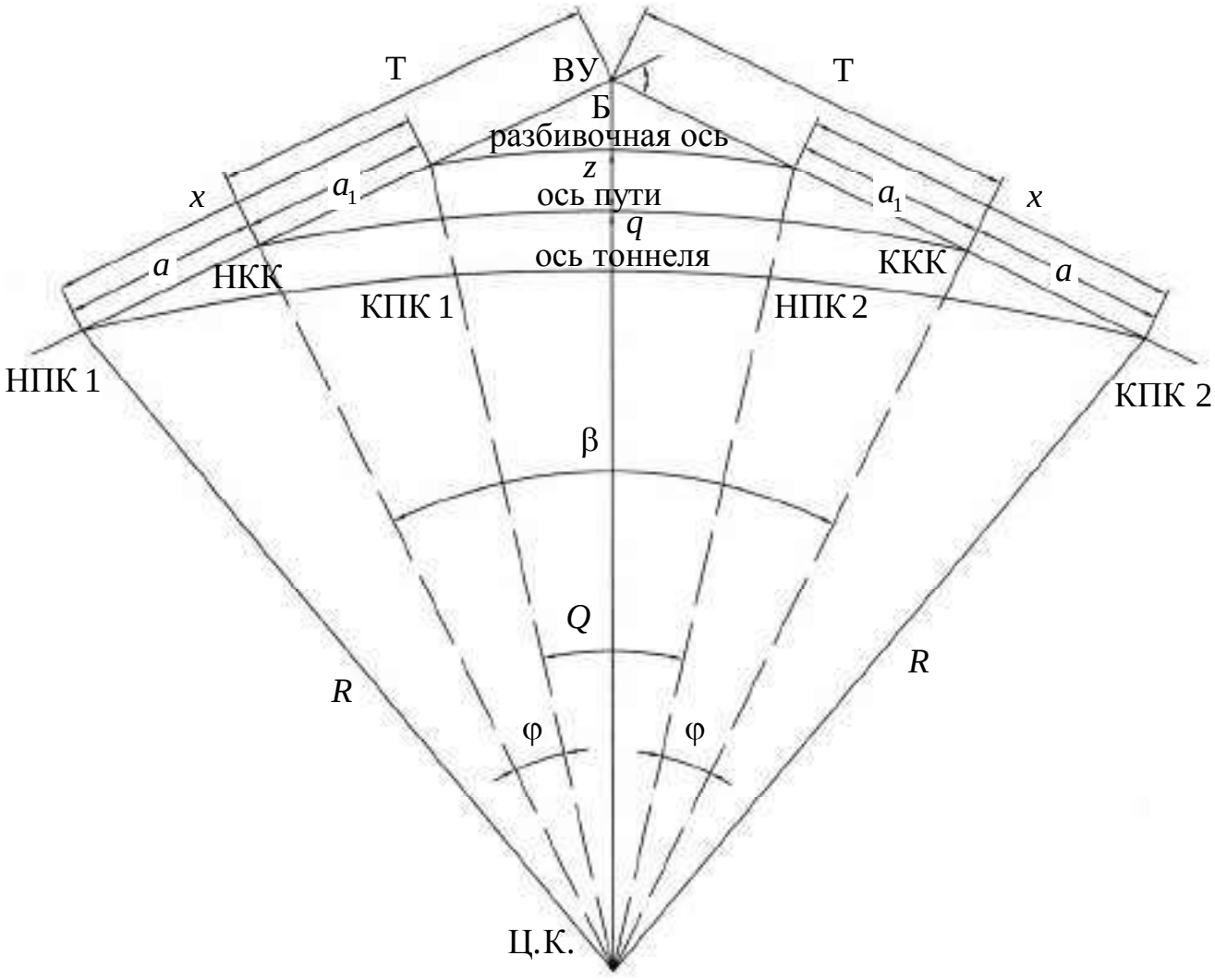


Рис. 5.1 Разбивка закругленной трассы тоннеля

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).

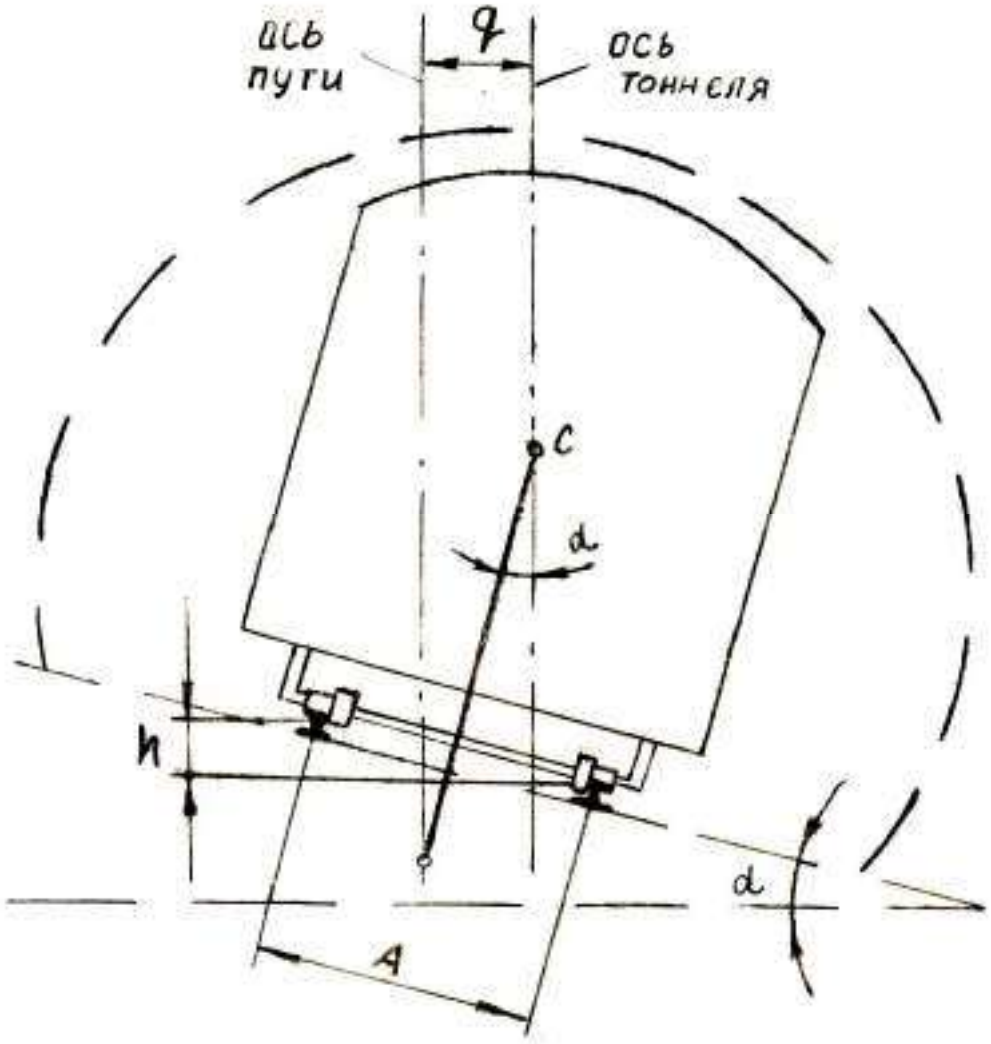


Рис. 5.2. Возвышение наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу

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	26º	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 90º 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

$$T = R\text{tg}\frac{\beta}{2} = 590\text{tg}\frac{26^\circ}{2} = 136,212 \text{ м}.$$

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

$$К = \frac{\pi R\beta}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 590 \cdot 26^\circ}{180^\circ} = 267,598 \text{ м}.$$

4. Домер

$$D = 2T - К = 2 \cdot 136,212 - 267,598 = 4,826 \text{ м}.$$

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.

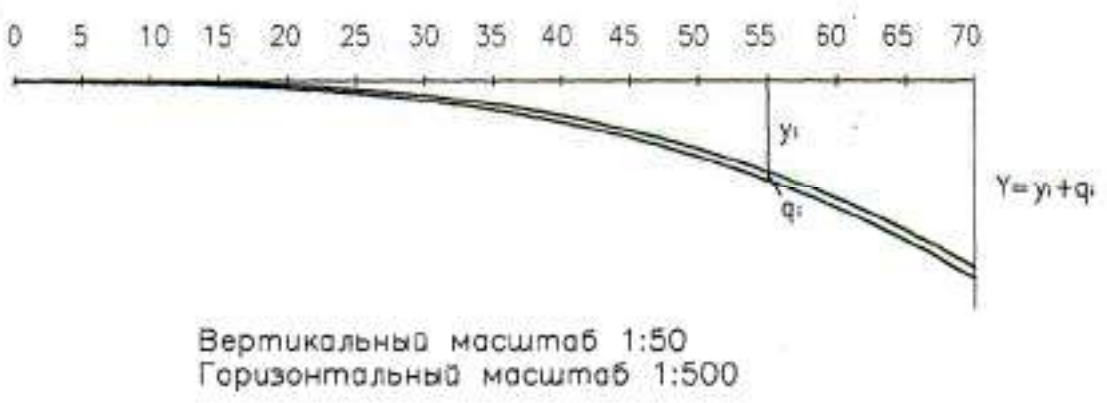


Рис. 5.3. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии тангенса

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.

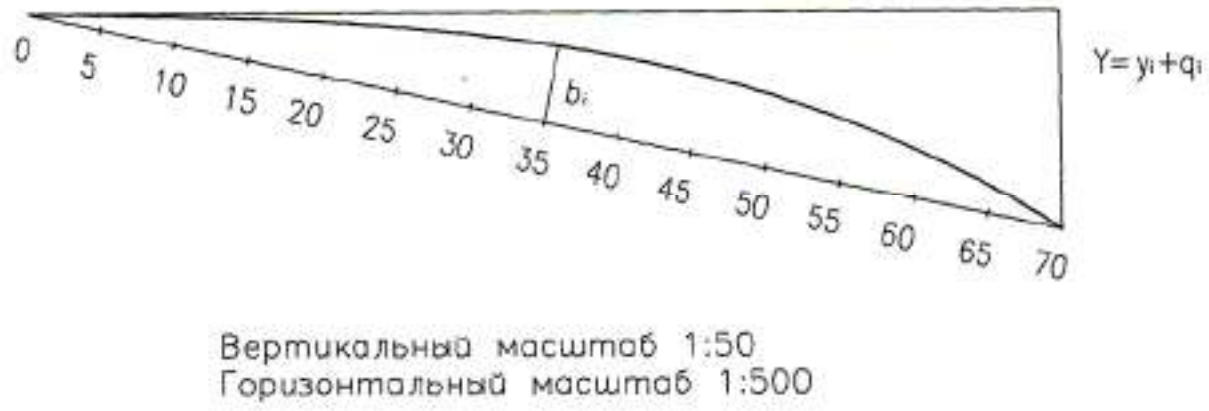


Рис. 5.4. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии хорды

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

$$\begin{array}{llll} -\dfrac{\text{ПК ВУ}}{\text{Т}} & -\dfrac{96+86{,}754}{136{,}212} & +\dfrac{\text{ПК ВУ}}{T} & +\dfrac{96+86{,}754}{136{,}212} \\ +\dfrac{\text{ПК НКК}}{\text{К}} & +\dfrac{95+50{,}542}{267{,}598} & -\dfrac{}{D} & -\dfrac{}{4{,}826} \\ \dfrac{}{\text{ПК ККК}} & \dfrac{}{98+18{,}140} & \dfrac{}{\text{ПК ККК}} & \dfrac{}{98+18{,}140} \end{array}$$

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

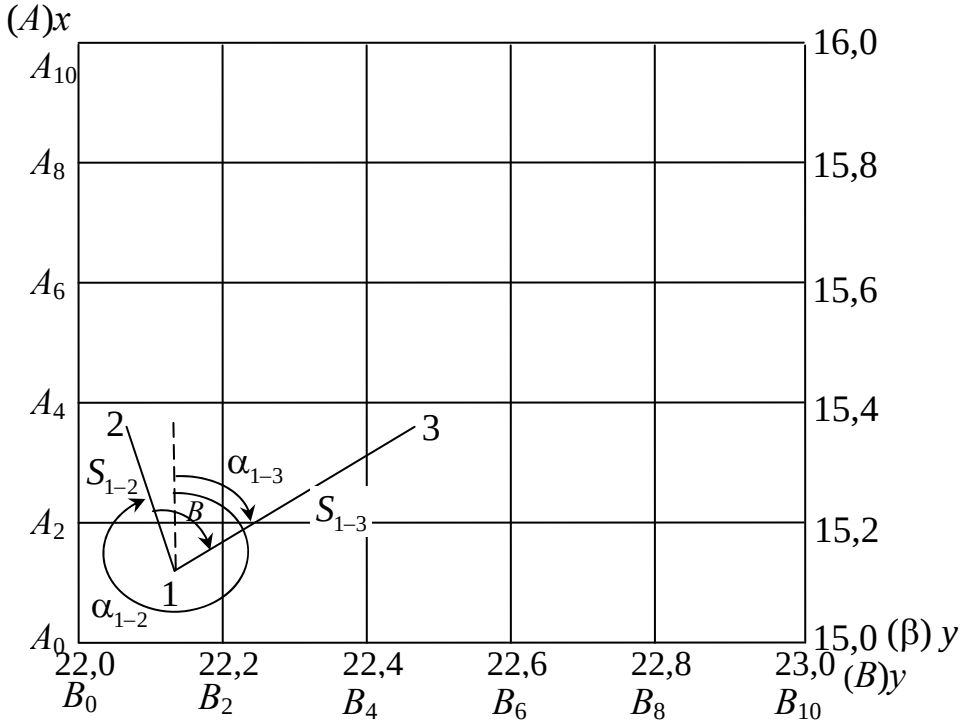


Рис. 6.1. Схема расположения скважин

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:

$$S_2 = \sqrt{\left(x_3 - x_1\right)^2 + \left(y_3 - y_1\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(15,369929 - 15,175276\right)^2 + \left(22,432865 - 22,120079\right)^2} = 0,368408 \text{ км};$$

$$S_3 = \sqrt{\left(x_2 - x_1\right)^2 + \left(y_2 - y_1\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(15,387135 - 15,175276\right)^2 + \left(22,114486 - 22,120079\right)^2} = 0,211933 \text{ км}.$$

Вычисляем угол β:

$$\beta = \alpha_{1-3} - \alpha_{1-2} = \left(56^\circ 06' 18'' + 360^\circ\right) - 358^\circ 69' 56'' = 59^\circ 37' 02'';$$

$$\alpha_{1-3}^r = \operatorname{arctg} \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} = \operatorname{arctg} 1,60689 = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha_{1-3} = \alpha_{1-3}^r = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha_{1-2}^r = \operatorname{arctg} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \operatorname{arctg} 0,0264 = 1^\circ 30' 44'';$$

$$\alpha_{1-2} = 360 - \alpha_{1-2}^r = 358^\circ 69' 56''.$$

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.

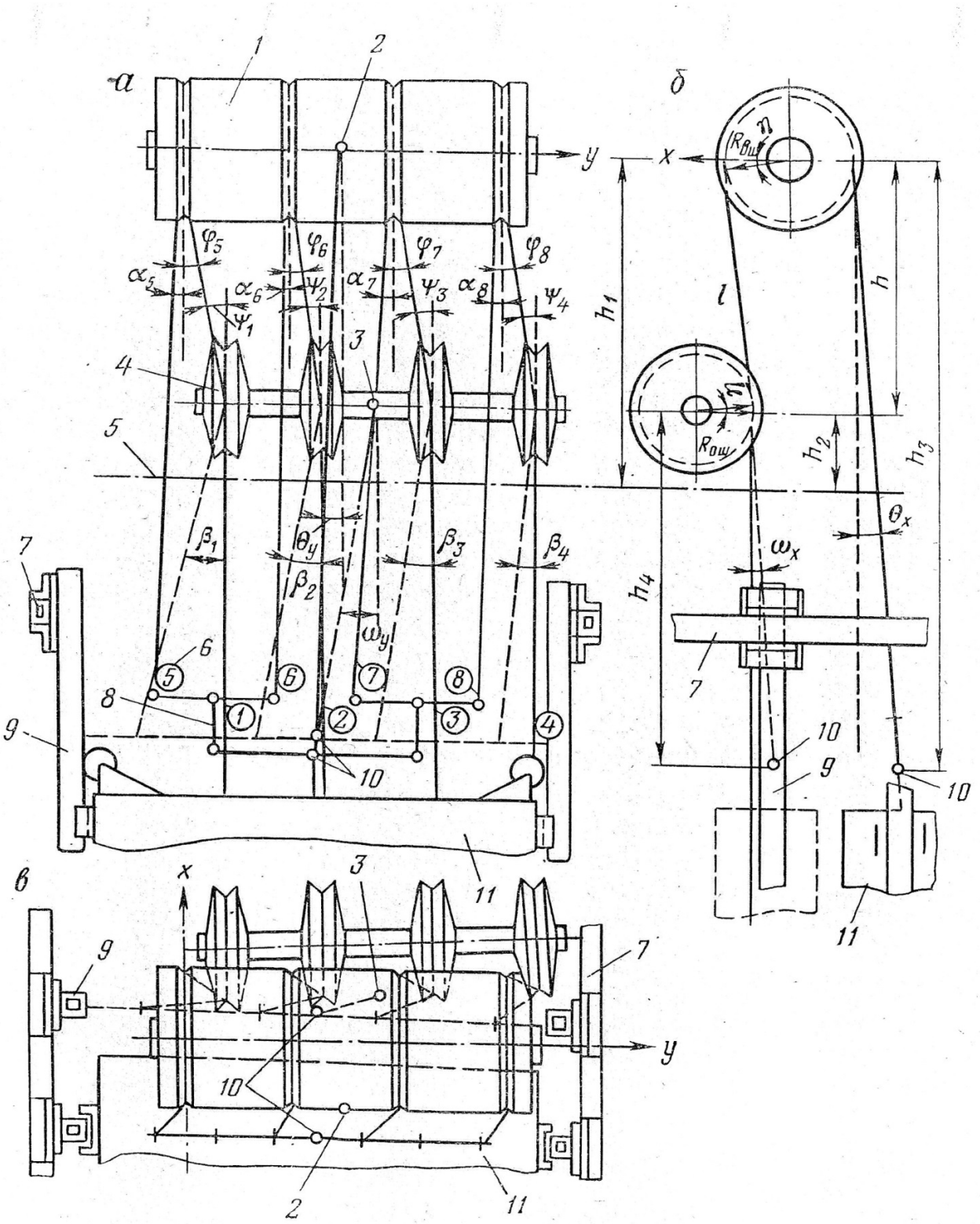


Рис. 7.1. Геометрические элементы и параметры многоканатной подъемной установки

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

$$R_{1-6} = R_{\text{то2}} + a_2 - b_5 + r_{\text{к}}; \quad R_{2-6} = R_{\text{то2}} + a_2 - b_6 + r_{\text{к}};$$
$$R_{3-7} = R_{\text{то1}} + a_1 - b_7 + r_{\text{к}}; \quad R_{4-8} = R_{\text{то1}} + a_1 - b_8 + r_{\text{к}}.$$

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 $\pm 10'$.

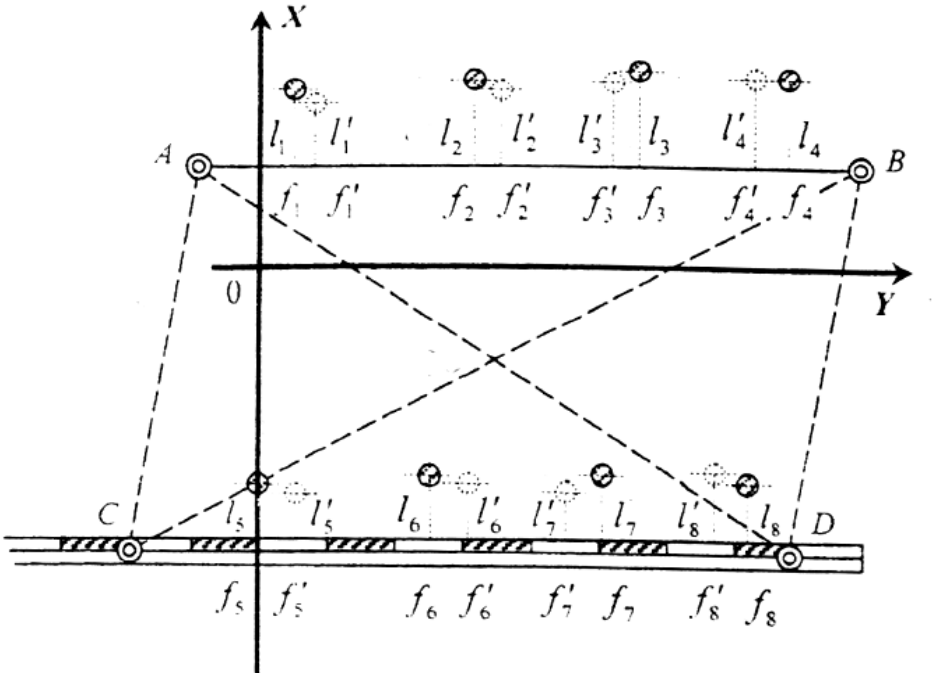


Рис. 7.2. Схема ординатной съемки канатов на горизонте измерений

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 ν – 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

$X_{р5ур} = -1{,}8065$ м; $X_{р8ур} = -1{,}8057$ 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: $R_{\text{то1}} = 1450$ мм; $\alpha_1 = 351$ мм; $R_{\text{то2}} = 1449$ мм; $\alpha_2 = 352$ мм; $b_5 = 187$ мм; $b_6 = 186$ мм; $b_7 = 191$ мм; $b_8 = 188$ мм; $d_{\text{к}} = 28$ 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; $R_{\text{ош}} = 1615$ мм; $R_{\text{вш}} = 1625$ 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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А. П. Бадулин, А. В. Жабко,
О. Д. Алябьева

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

К курсовой работе
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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.

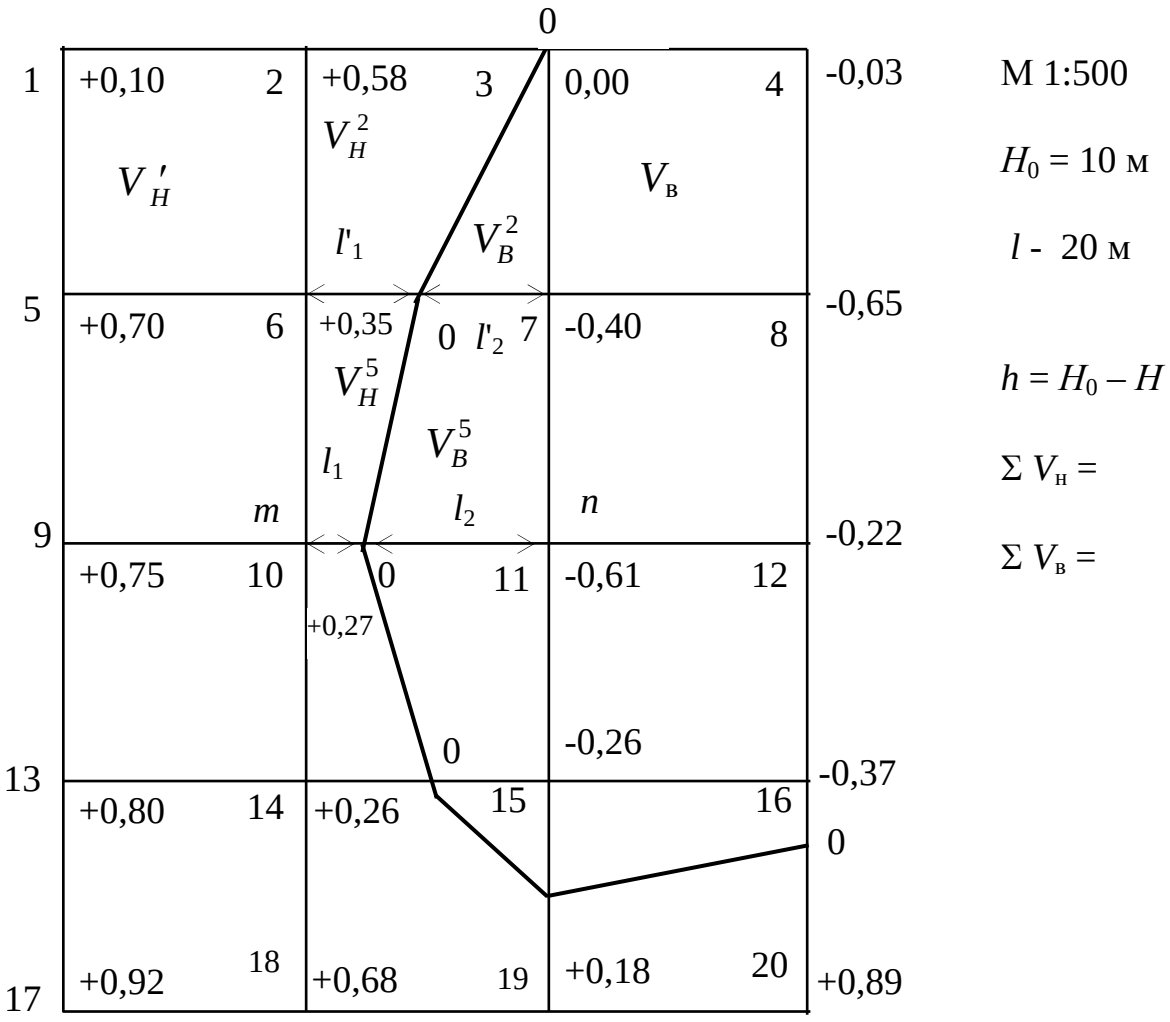


Рис. 1.1. Строительная сетка

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

$$h_m = H_0 - H_m; \quad h_n = H_0 - H_n.$$

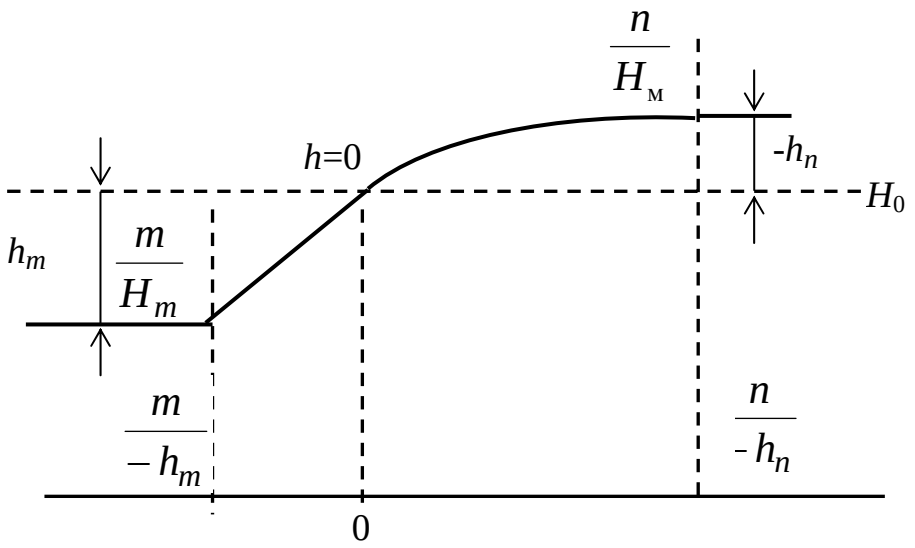


Рис. 1.2. Проектируемая поверхность промплощадки с горизонтальной плоскостью и с проектным горизонтом H_0

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

$$l_1 = \frac{0{,}27 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 6{,}14\,\text{м}\,; \qquad l_2 = \frac{0{,}61 \cdot 20}{0{,}27 + 0{,}61} = 13{,}86\ \text{м}.$$

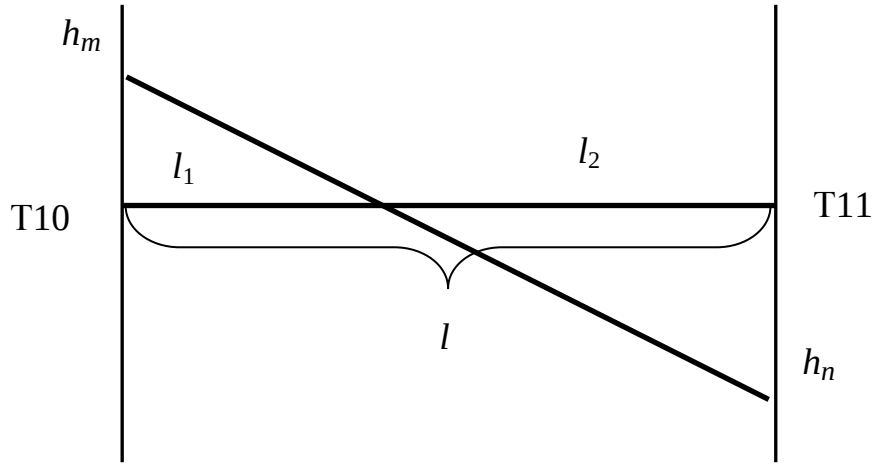


Рис. 1.3. График положения точки нулевой отметки

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:

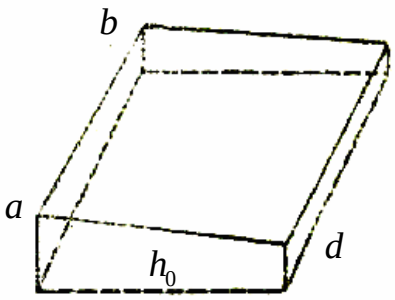
$$V = \frac{1}{4} S(h_1 + h_2 + h_5 + h_6),$$

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).

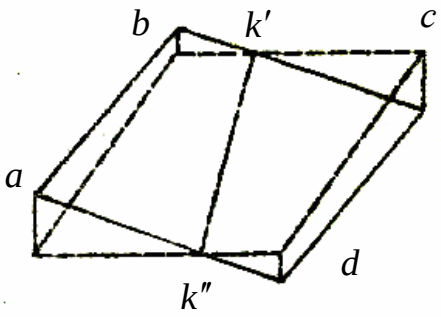
1-й случай

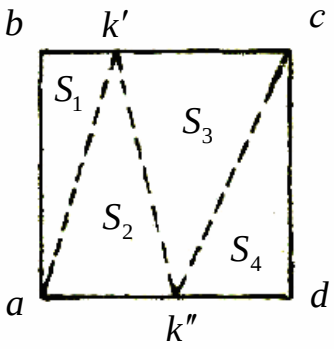


a, b, c, d – рабочие отметки

h_0 – проектный уровень площадки

2-й случай





3-й случай

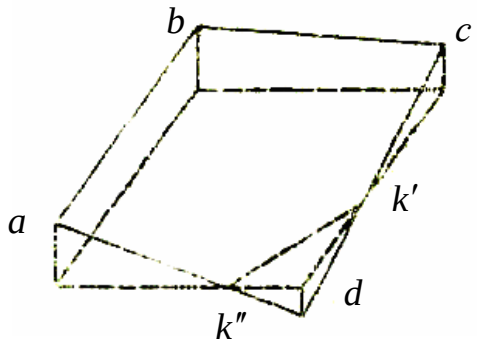


Рис. 1.4. Случаи определения объема

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:

$$V_{\text{н}} = l\,\frac{l_1 + l_1'}{2} \cdot \frac{h_{10} + h_6}{4};$$

$$V_в = l\,\frac{l_2 + l_2'}{2}\cdot\frac{h_7 + h_{11}}{4},$$

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 $h_{ср}$ 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 $h_{ср}$ в нашем случае определяют по формулам

$$h_{ср} = \frac{h_{15}}{3}$$ – при площади треугольной формы;

$$h_{ср} = \frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5}$$ – при площади пятиугольной формы.

В данном случае расчеты объемов насыпных и выемочных работ вычисляют (см. рис. 1.4, 3-й случай):

$$V_н = S_1\frac{h_{18} + h_{14} + h_{19}}{5};$$

$$V_в = S_2\frac{h_{15}}{3},$$

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

$$\Sigma V_н = V_{н1} + V_{н2} + ... + V_{нn};$$
$$\Sigma V_в = V_{в1} + V_{в2} + ... + V_{вn}.$$

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 "*М*" угла простирания α поверхности, уклона *i* или угла наклона δ плоскости (рис. 1.5) и определяет объем земляных работ.

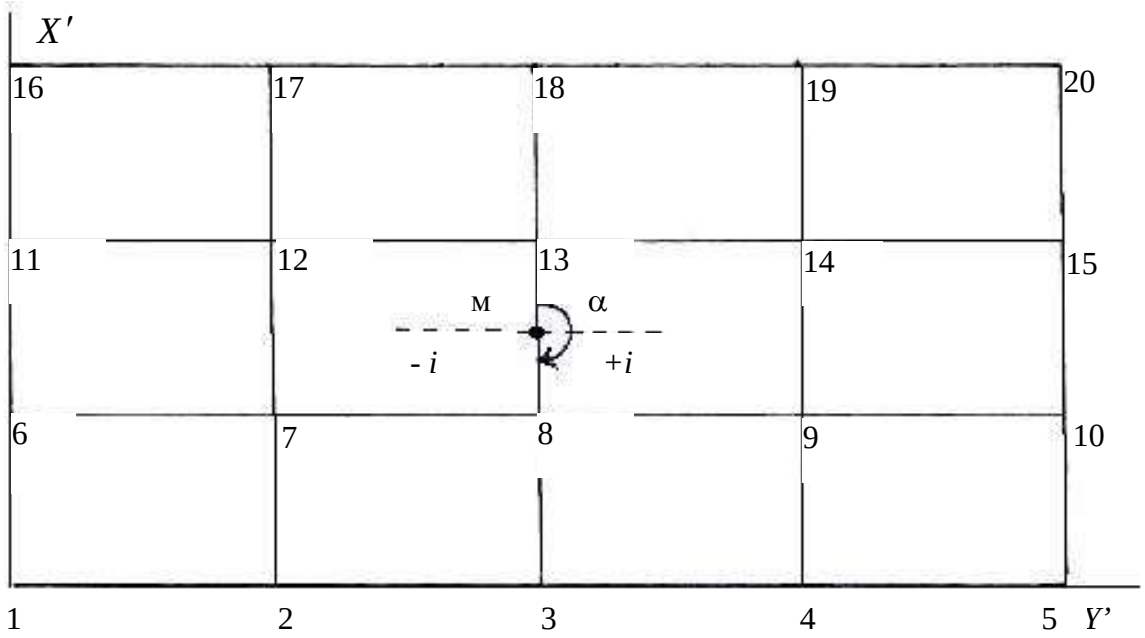


Рис. 1.5. Схема строительной сетки наклонной промплощадки

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^{o}, расстояние между точками – *l*, точка *М* 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 *М*, 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 прости-рания	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	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
Масштаб	1:1000	1:500	1:1000	1:500	1:1000	1:500	1:1000	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).

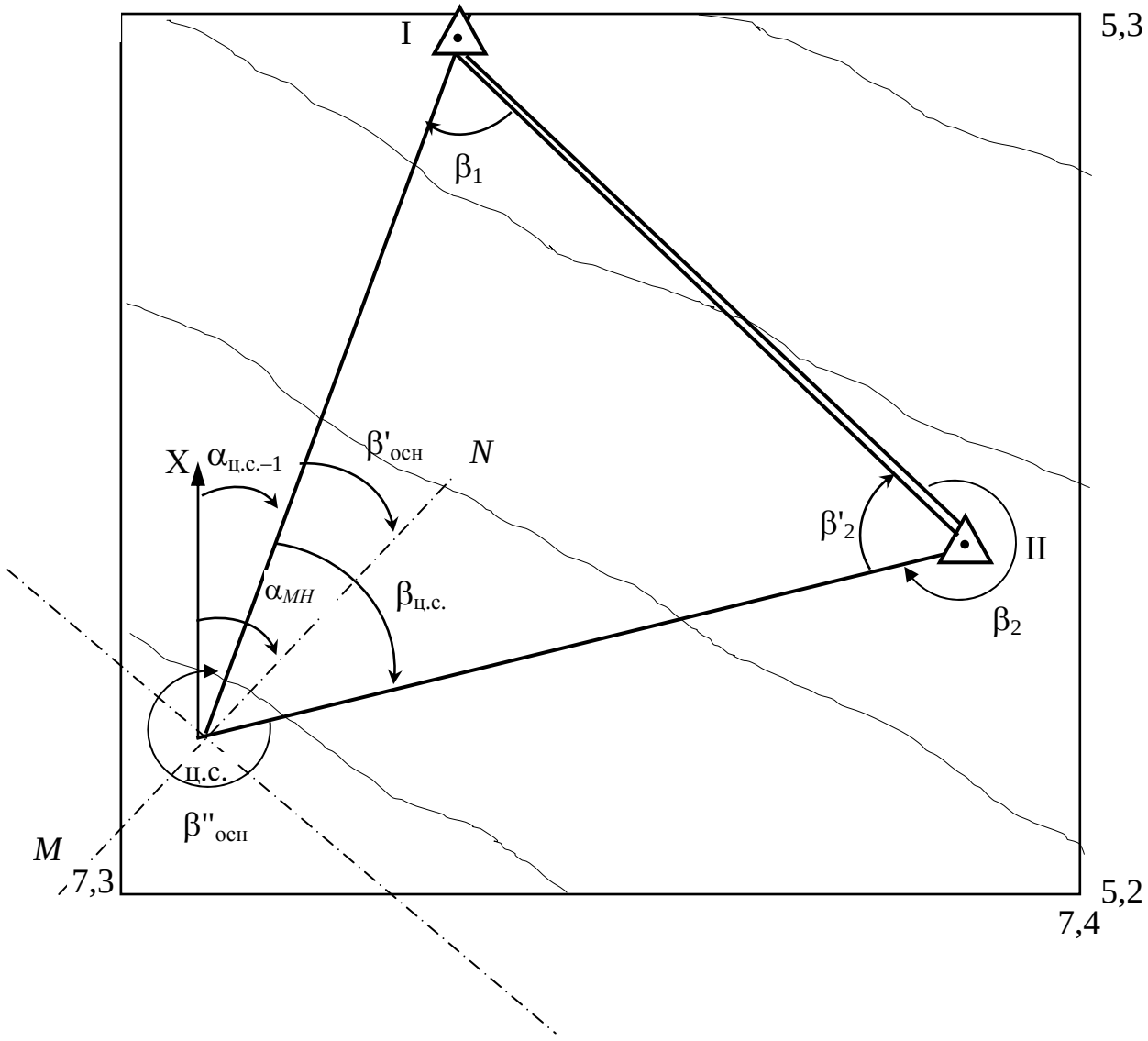


Рис. 2.1. План разбивок центра вентиляционного ствола и строительных осей

На поверхности, вблизи закладываемого шахтного ствола, имеются пункты I, II опорной сети, координаты которых $X_{I,}$ $У_{I}$, Z_{I}; X_{II}, $У_{II}$, Z_{II}. В проекте даны координаты центра ствола $X_{ц.с.}$, $У_{ц.с.}$, $Z_{ц.с.}$ 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	$\Delta У$, 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	$\Delta У$ = +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.

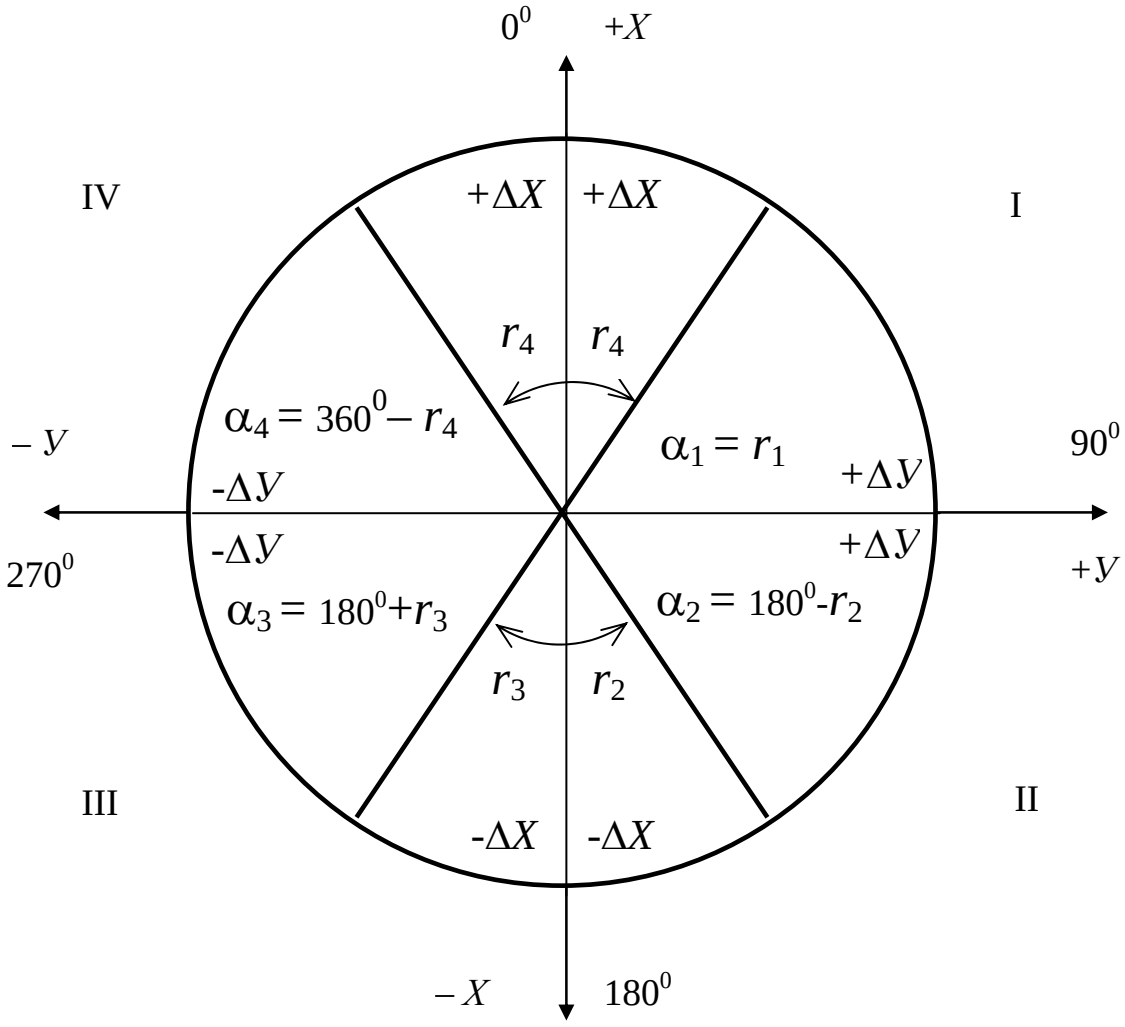


Рис. 2.2. Схема для определения дирекционных углов

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.

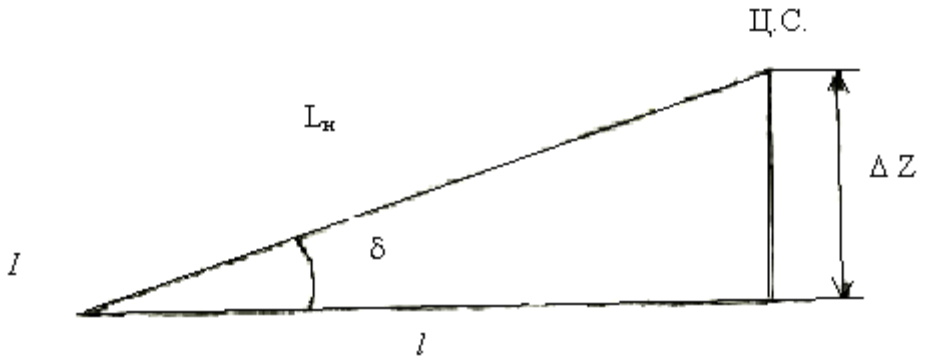


Рис. 2.3. Схема для определения наклонной длины линии

$$\delta = \operatorname{arctg}\frac{\Delta z}{l},$$

где Δz – разность высотных отметок концов определяемой линии.

Или через логарифмы

$$\lg L_{\text{н}} = \lg l - \lg \cos \delta ;$$
$$\lg \operatorname{tg} \delta = \lg \Delta z - \lg l.$$

Затем по антилогарифму находят δ и $L_{\text{Н}}$.

Или

$$L_{\text{н}} = \sqrt{(Y_{\text{ц.с.}} - Y_1)^2 + (X_{\text{ц.с.}} - X_1)^2 + (Z_{\text{ц.с.}} - Z_1)^2} .$$

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', $\beta'_{\text{ц.с.}}$ (транспортиром), а также $\beta'_{\text{оси}}$, $\beta''_{\text{оси}}$.

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).

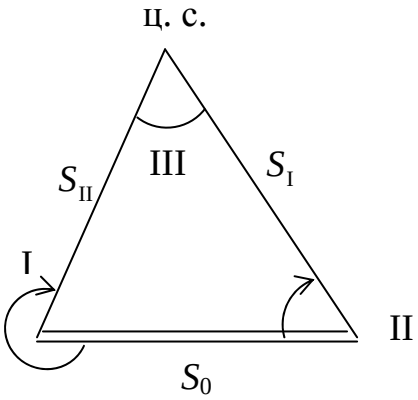


Рис. 2.4. Способ угловой засечки

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 (μ = 0,0005); λ – коэффициент систематического влияния (λ = 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

$$n_m=\frac{\alpha}{\varphi}.$$

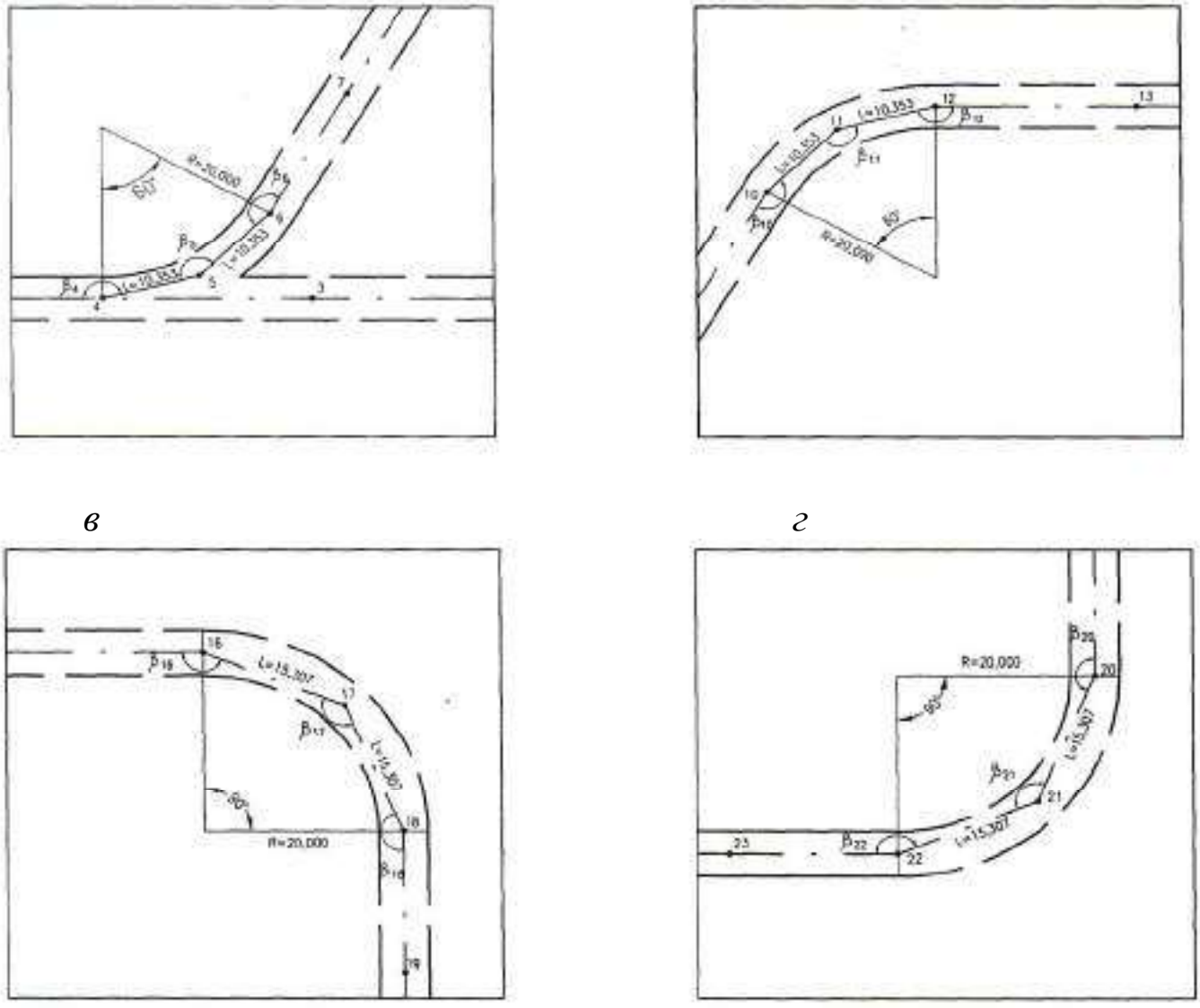
Значение n_m округляют до целого числа всегда в большую сторону. Если n_m получилось целым числом, то увеличивают его на единицу.

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).

а *б*



в *г*

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).

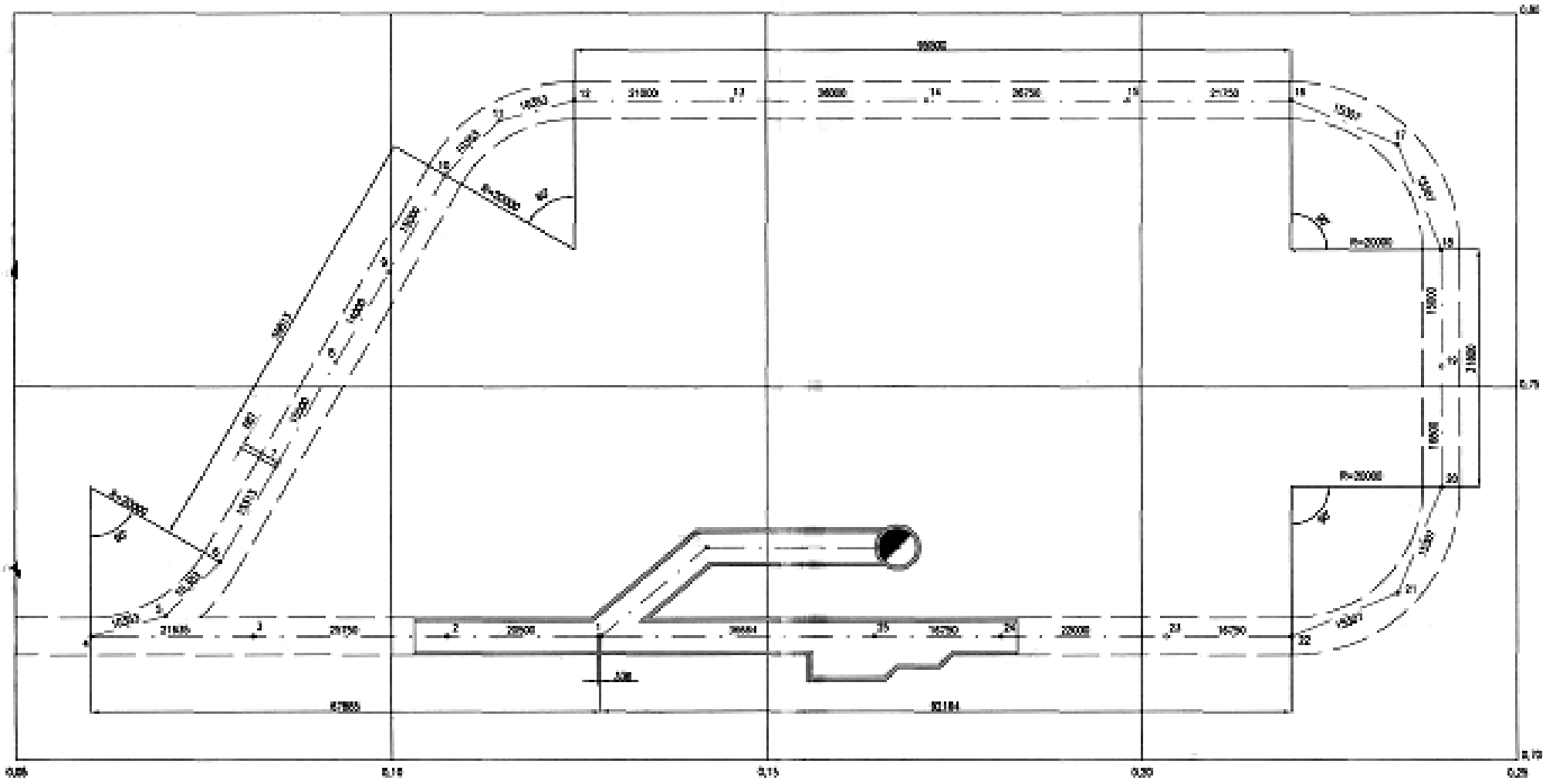


Рис. 3.2. Проектный полигон

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		270º00'00" 90º00'00"	1 0	-20,500	0,000
2	1 3	25,750	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-25,750	0,000
3	2 4	21,635	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-21,635	0,000
4	3 5	10,353	345º00'00"	75º00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
5	4 6	10,353	150º00'00"	45º00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
6	5 7	-0,687 16,000 (15,313)	165º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	-0,343 8,000 (7,657)	-0,594 13,856 (13,262)
7	6 8	15,500	180º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	7,750	13,423
8	7 9	14,000	180º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	7,000	12,124
9	8 10	15,000	180º00'00"	30º00'00"	0,5 0,866025	7,500	12,990
10	9 11	10,353	195º00'00"	45º00'00"	0,707107 0,707107	7,321	7,321
11	10 12	10,353	210º00'00"	75º00'00"	0,965926 0,258819	10,000	2,680
12	11 13	21,000	195º00'00"	90º00'00"	1 0	21,000	0,000
13	12 14	26,000	180º00'00"	90º00'00"	1 0	26,000	0,000

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	13 15	26,750	180º00'00"	90º00'00"	1 0	26,750	0,000
15	14 16	21,750	180º00'00"	90º00'00"	1 0	21,750	0,000
16	15 17	15,307	202º30'00"	112º30'00" 67º30'00"	0,923880 0,382683	14,142	-5,858
17	16 18	15,307	225º00'00"	157º30'00" 22º30'00"	0,382683 0,923880	5,858	-14,142
18	17 19	15,000	202º30'00"	180º00'00" 0º00'00"	0 1	0,000	-15,000
19	18 20	16,800	180º00'00"	180º00'00" 0º00'00"	0 1	0,000	-16,800
20	19 21	15,307	202º30'00"	202º30'00" 22º30'00"	0,382683 0,933880	-5,858	-14,142
21	20 22	15,307	225º00'00"	247º30'00" 67º30'00"	0,923880 0,382683	-14,142	-5,858
22	21 23	16,750	202º30'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-16,750	0,000
23	22 24	22,000	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-22,000	0,000
24	23 25	16,750	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	1 0	-16,750	0,000
25	24 1	-0,336 37,000 (36,664)	180º00'00"	270º00'00" 90º00'00"	–1 0	0,336 -37,000 (-36,664)	0,000
1	25 2		180º00'00"	270º00'00"		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

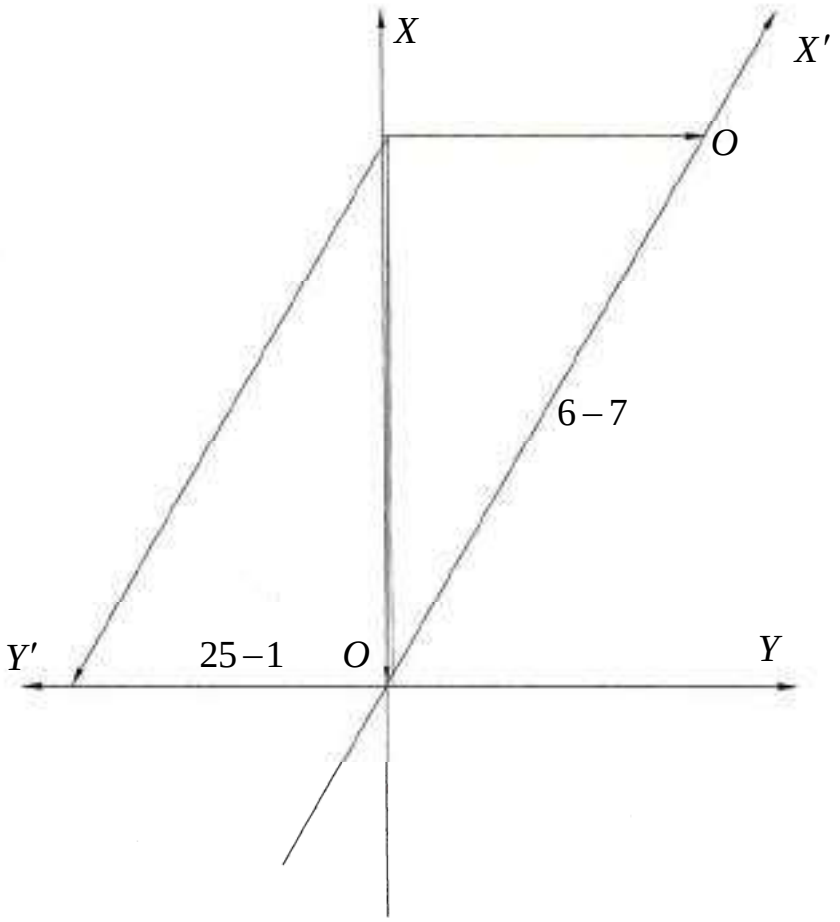


Рис. 3.3. Векторно-графический способ увязки проектного полигона

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	$H_{k,\ м}$	$е$, 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

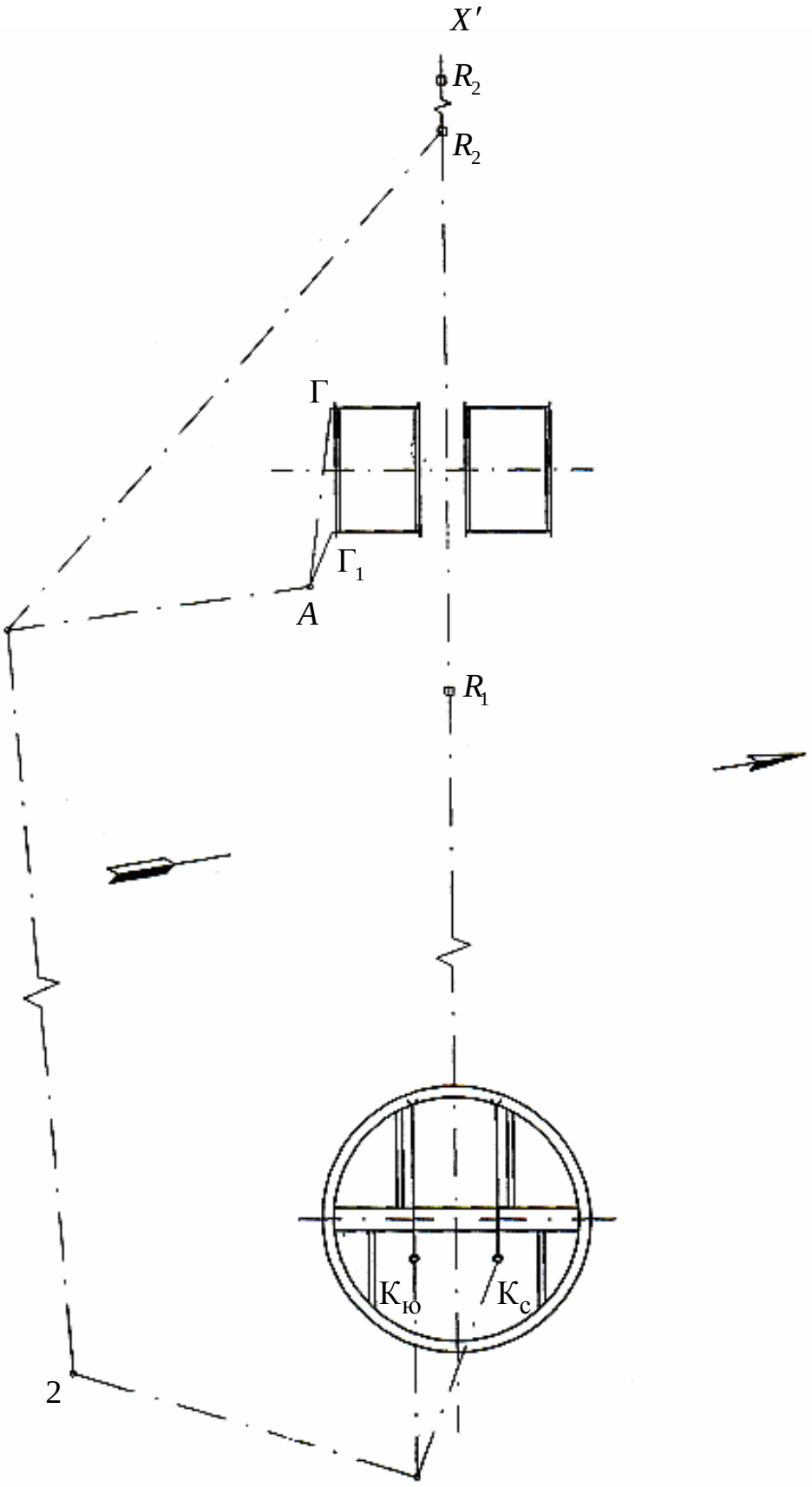


Рис. 4.1. Съемка характерных точек подъемного комплекса

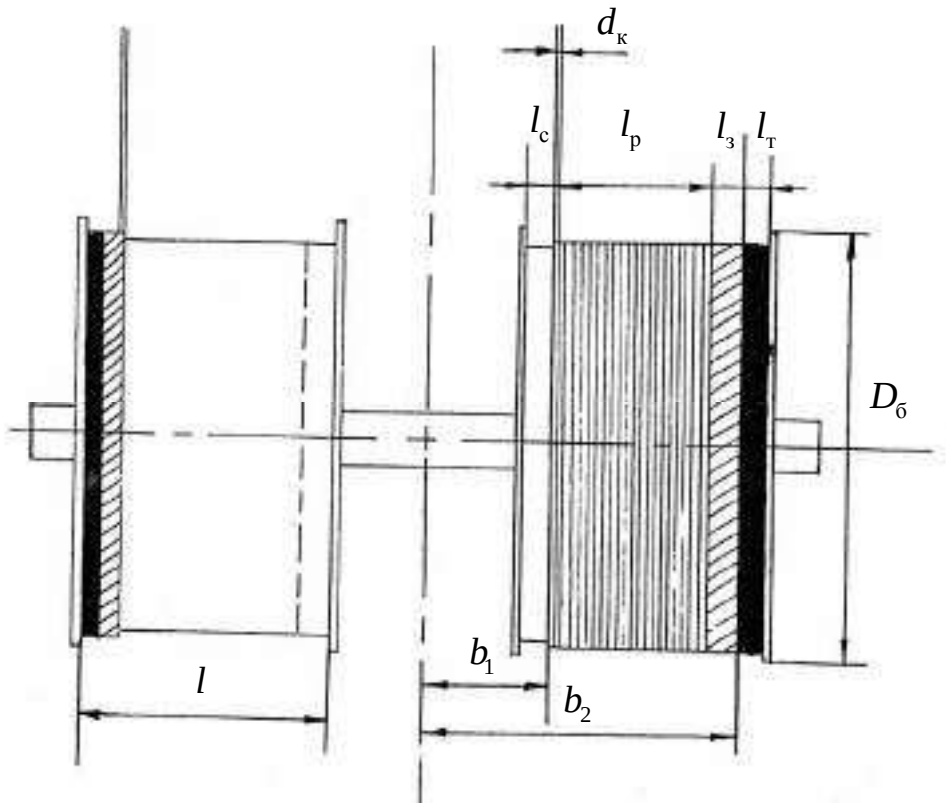


Рис. 4.2. Зоны цилиндрических барабанов

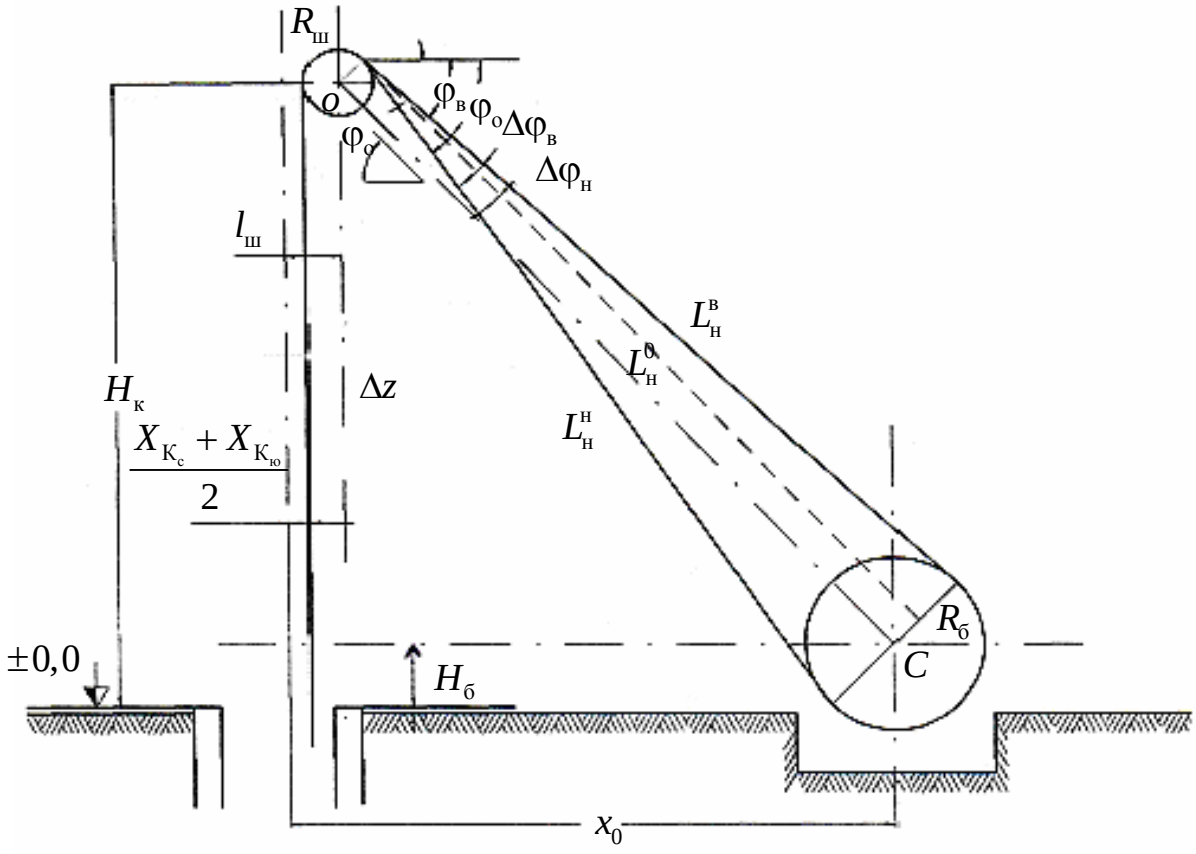


Рис. 4.3. Углы наклона подъемных канатов

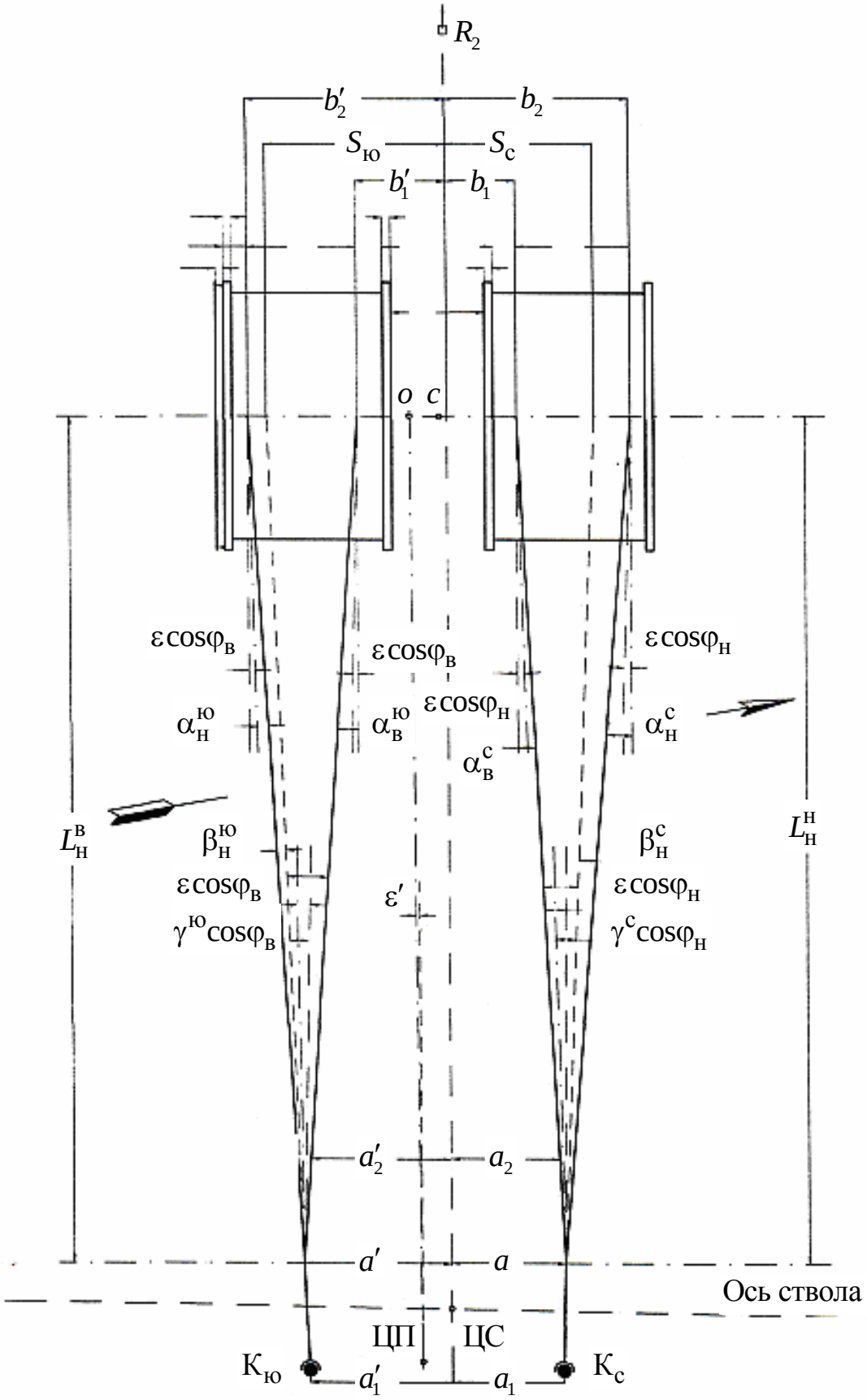


Рис. 4.4. Съемка шкивов и элементов барабанов подъемной машины

Таблица 4.4

Результаты маркшейдерской съемки реборды барабана подъемной машины и шкивов

Данные съемки шкивов				Съемки барабана машины			
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
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:

$$\alpha_{в}^{ю} = \frac{a' - b_1'}{L_{H}^{в}}\rho' + \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в};$$

$$\alpha_{н}^{с} = \frac{b_2' - a'}{L_{H}^{н}}\rho' - \varepsilon \cdot \cos\varphi_{в},$$

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:

$$\gamma_{\text{с}} = \frac{\Delta a_{\text{с}}}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{a_2 - a_1}{D_{\text{ш}}}\rho' = \frac{1{,}260 - 1{,}240}{3}3437{,}75 = 0^\circ 22'55'',$$

$$\beta_{\text{в}}^{\text{с}} = a_{\text{b}}^{\text{с}} + (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = -0^\circ 08'58'' + (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 27'25'';$$
$$\beta_{\text{н}}^{\text{с}} = a_{\text{н}}^{\text{с}} - (\gamma_{\text{с}} + \varepsilon)\cos\varphi_{\text{н}} = 1^\circ 26'34'' - (0^\circ 22'55'' + 0^\circ 25'47'')\cos 41^\circ 40' =$$
$$= 0^\circ 50'11''.$$

- 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 $(a_1 - a_{2испр})$.

Расстояния a_1 и a задаются проектом и изменению не подлежат, так как изменение сместит точки сходов канатов относительно центра тяжести подъемных отделений ствола.

$$a_1 - a_{2испр} = \frac{b_1 + b_2 - 2a}{2L_н^0 \cos\varphi_0} D_ш = \frac{1,069 + 2,434 - 2,500}{2 \cdot 60,440 \cos 38^\circ 20'56"}3 = 0,032 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}} = 1{,}240 - 0{,}032 = 1{,}208 \text{ м};$$

$$a_2 - a_{2\text{испр}} = 1{,}260 - 1{,}208 = 0{,}052 \text{ м};$$

$$a_1' - a_{2\text{испр}'} = \frac{b_1' + b_2' - 2a'}{2L_{\text{н}}^0 \cos\varphi_0} D_{\text{ш}} = \frac{1{,}869 + 2{,}234 - 2{,}490}{2 \cdot 60{,}440 \cos 38^\circ 20' 56''} 3 = 0{,}019 \text{ м};$$

$$a_{2\text{испр}'} = 1{,}240 - 0{,}019 = 1{,}221 \text{ м};$$

$$a'_2 - a_{2\text{испр}'} = 1{,}250 - 1{,}221 = 0{,}029 \text{ м}.$$

$$\Delta a_2 = 29 \text{ мм}.$$

Вывод: при вычислении углы девиации не превзошли допустимых (1°30'). Средняя ошибка углов девиации $m_\beta^c = 0^\circ 04' 58''$; $m_\beta^{\text{ю}} = 0^\circ 04' 57''$.

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

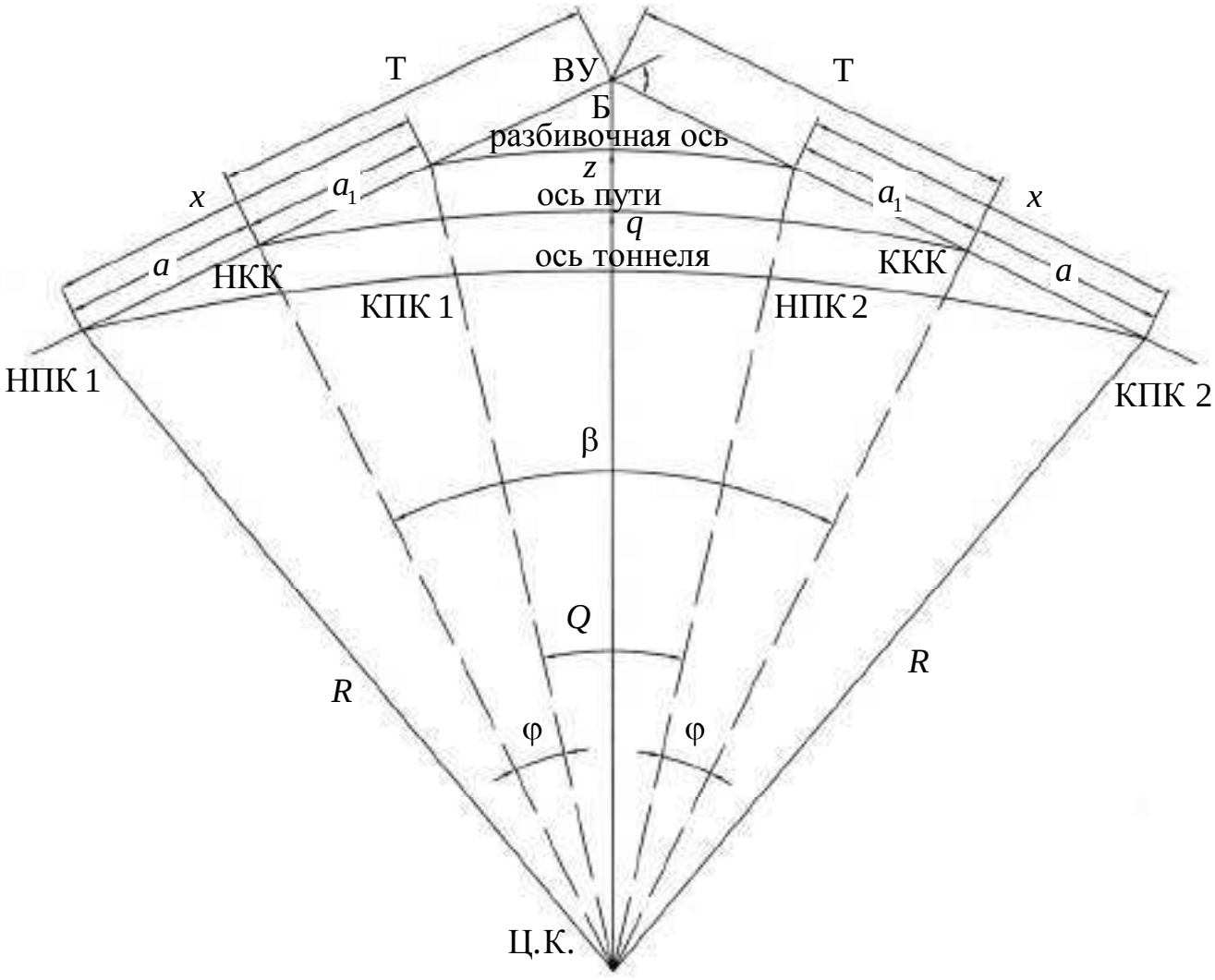


Рис. 5.1 Разбивка закругленной трассы тоннеля

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).

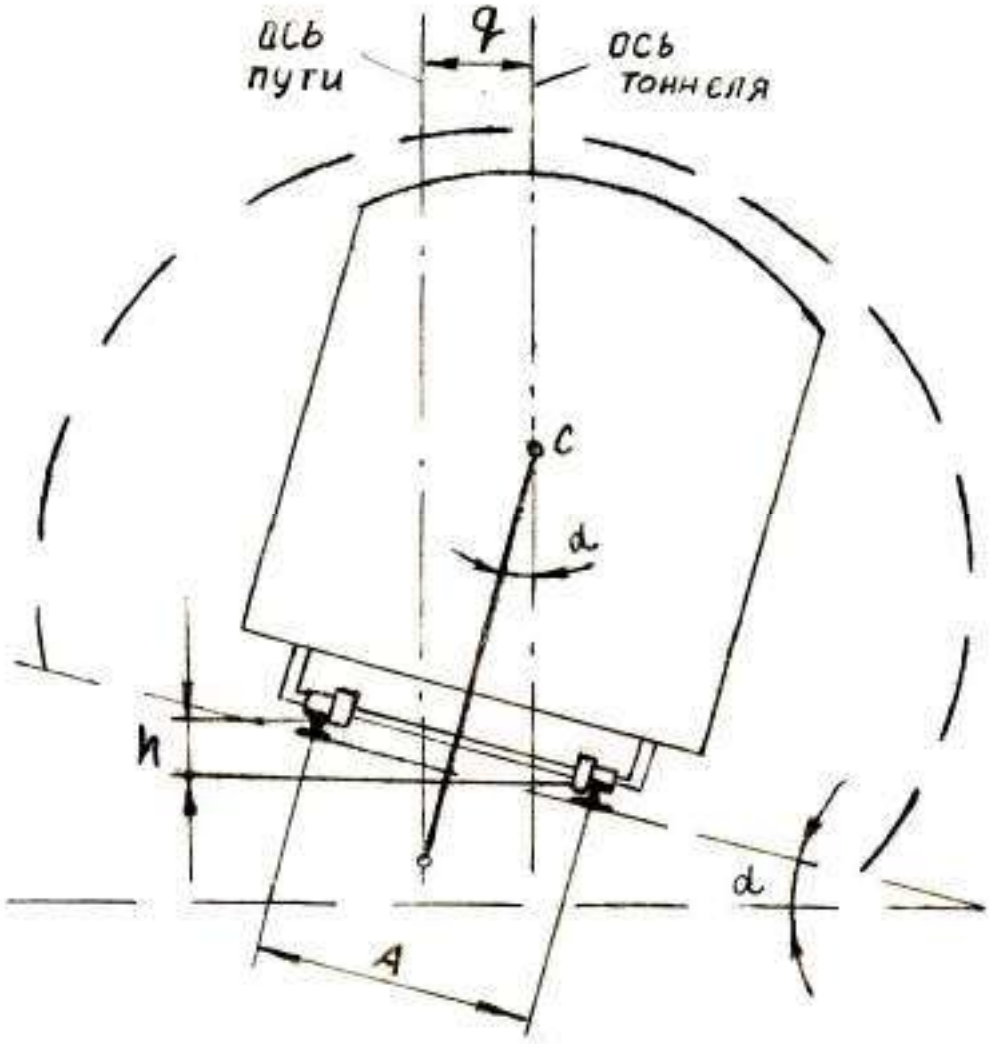


Рис. 5.2. Возвышение наружного рельса по отношению к внутреннему рельсу

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	26º	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 90º 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

$$T = R\text{tg}\frac{\beta}{2} = 590\text{tg}\frac{26^\circ}{2} = 136,212 \text{ м}.$$

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

$$К = \frac{\pi R\beta}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 590 \cdot 26^\circ}{180^\circ} = 267,598 \text{ м}.$$

4. Домер

$$D = 2T - К = 2 \cdot 136,212 - 267,598 = 4,826 \text{ м}.$$

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.

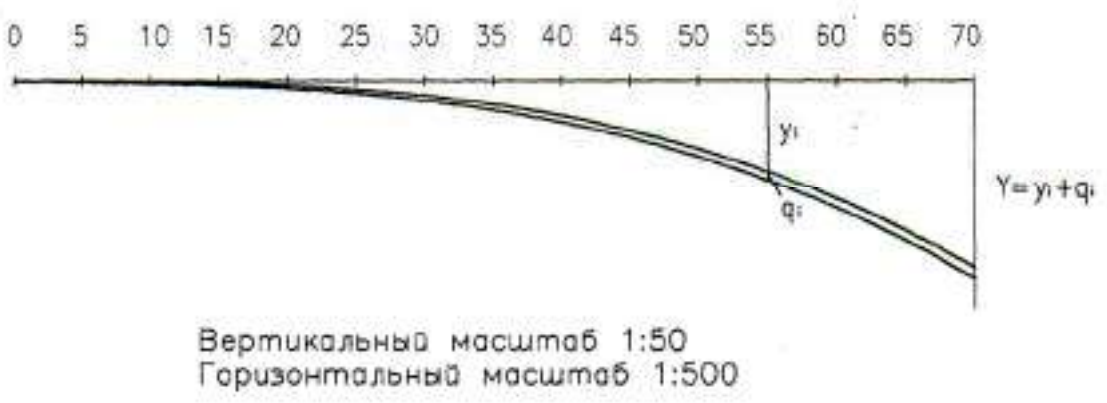


Рис. 5.3. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии тангенса

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.

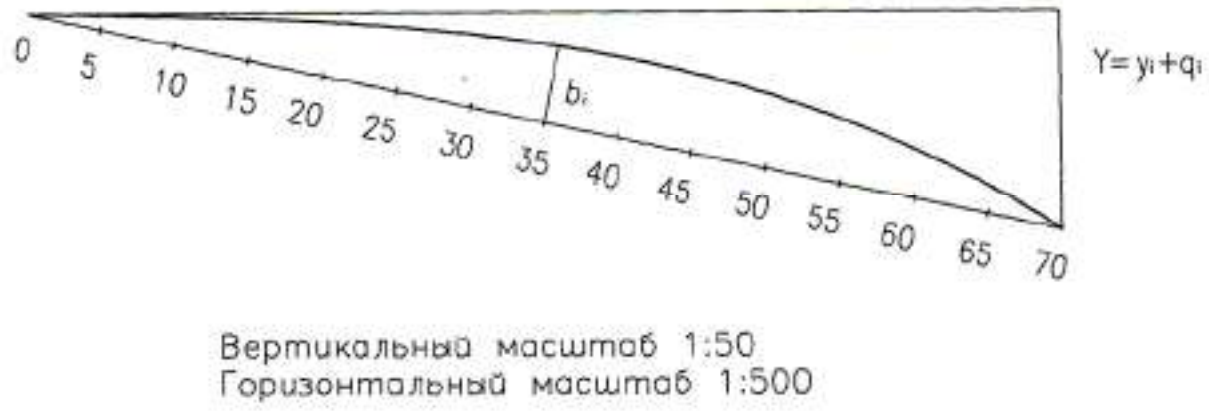


Рис. 5.4. Переходная кривая, построенная разбивкой от линии хорды

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

$$\begin{array}{llll} -\dfrac{\text{ПК ВУ}}{\text{Т}} & -\dfrac{96+86{,}754}{136{,}212} & +\dfrac{\text{ПК ВУ}}{T} & +\dfrac{96+86{,}754}{136{,}212} \\ +\dfrac{\text{ПК НКК}}{\text{К}} & +\dfrac{95+50{,}542}{267{,}598} & -\dfrac{}{D} & -\dfrac{}{4{,}826} \\ \dfrac{}{\text{ПК ККК}} & \dfrac{}{98+18{,}140} & \dfrac{}{\text{ПК ККК}} & \dfrac{}{98+18{,}140} \end{array}$$

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

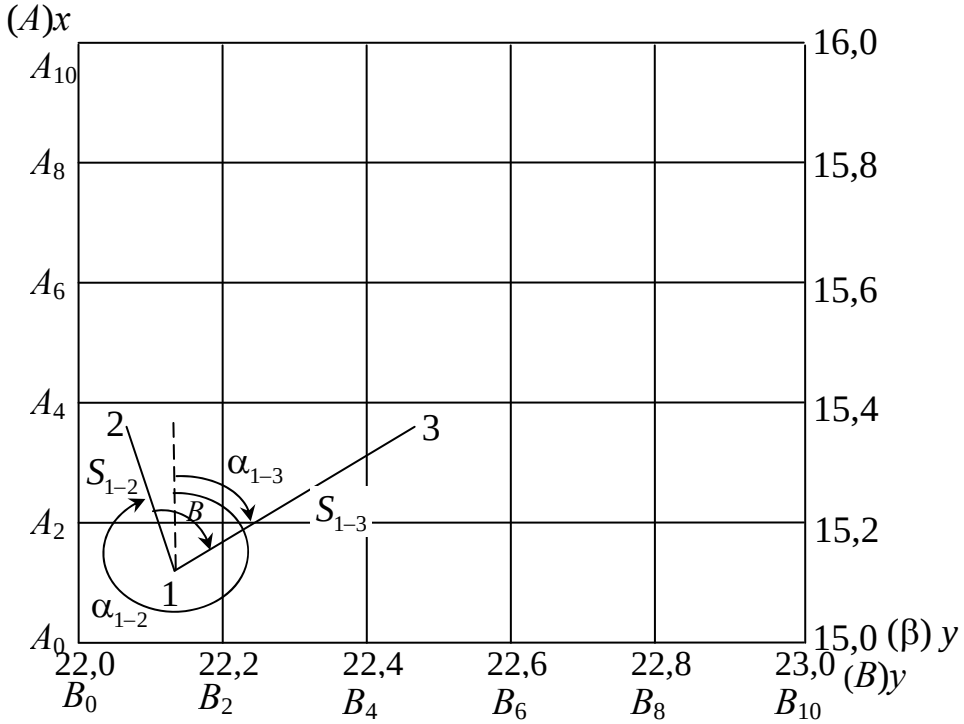


Рис. 6.1. Схема расположения скважин

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:

$$S_2 = \sqrt{\left(x_3 - x_1\right)^2 + \left(y_3 - y_1\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(15,369929 - 15,175276\right)^2 + \left(22,432865 - 22,120079\right)^2} = 0,368408 \text{ км};$$

$$S_3 = \sqrt{\left(x_2 - x_1\right)^2 + \left(y_2 - y_1\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(15,387135 - 15,175276\right)^2 + \left(22,114486 - 22,120079\right)^2} = 0,211933 \text{ км}.$$

Вычисляем угол β:

$$\beta = \alpha_{1-3} - \alpha_{1-2} = \left(56^\circ 06' 18'' + 360^\circ\right) - 358^\circ 69' 56'' = 59^\circ 37' 02'';$$

$$\alpha_{1-3}^r = \operatorname{arctg} \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} = \operatorname{arctg} 1,60689 = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha_{1-3} = \alpha_{1-3}^r = 58^\circ 06' 18'';$$

$$\alpha_{1-2}^r = \operatorname{arctg} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \operatorname{arctg} 0,0264 = 1^\circ 30' 44'';$$

$$\alpha_{1-2} = 360 - \alpha_{1-2}^r = 358^\circ 69' 56''.$$

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.

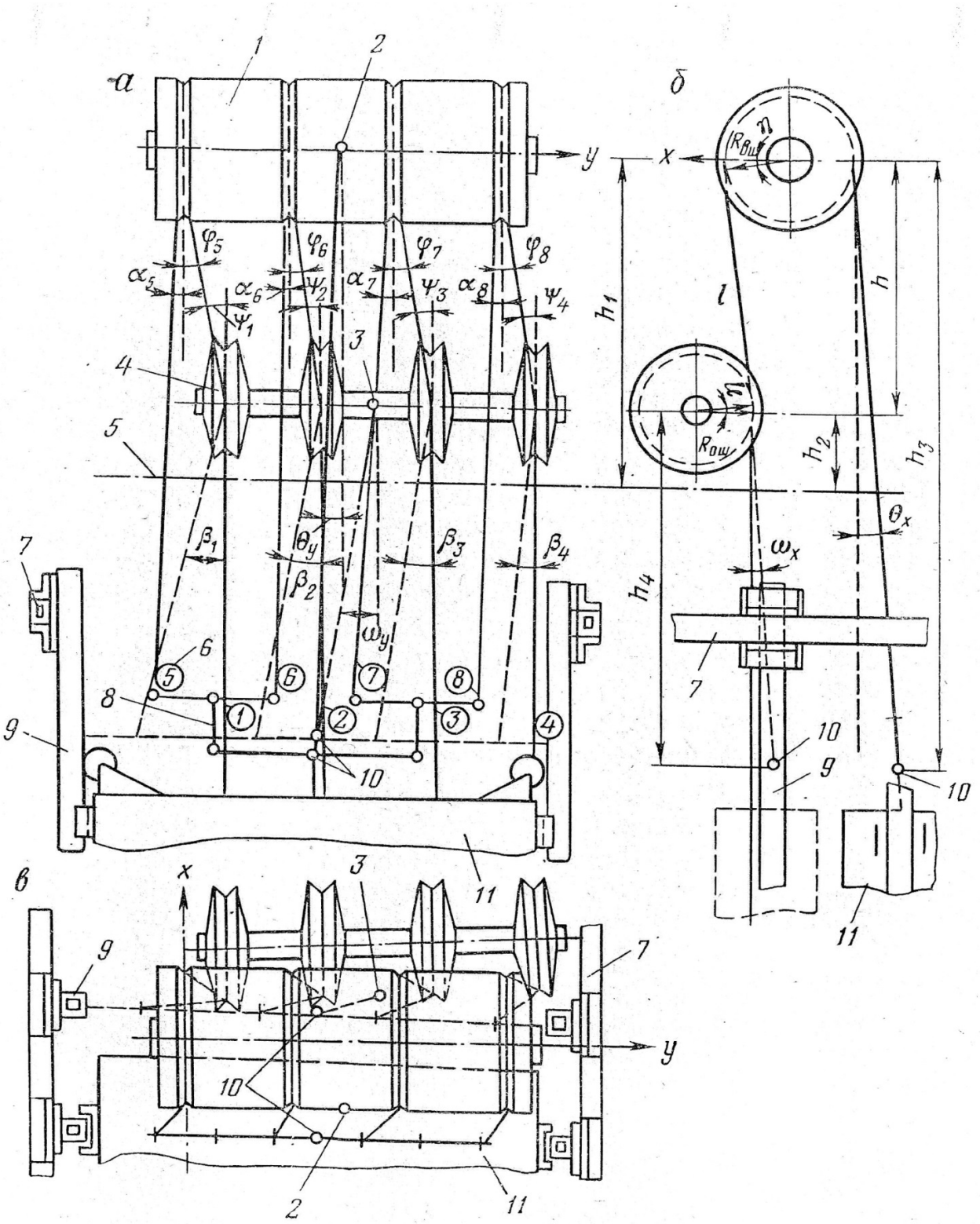


Рис. 7.1. Геометрические элементы и параметры многоканатной подъемной установки

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

$$R_{1-6} = R_{\text{то2}} + a_2 - b_5 + r_{\text{к}}; \quad R_{2-6} = R_{\text{то2}} + a_2 - b_6 + r_{\text{к}};$$
$$R_{3-7} = R_{\text{то1}} + a_1 - b_7 + r_{\text{к}}; \quad R_{4-8} = R_{\text{то1}} + a_1 - b_8 + r_{\text{к}}.$$

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 $\pm 10'$.

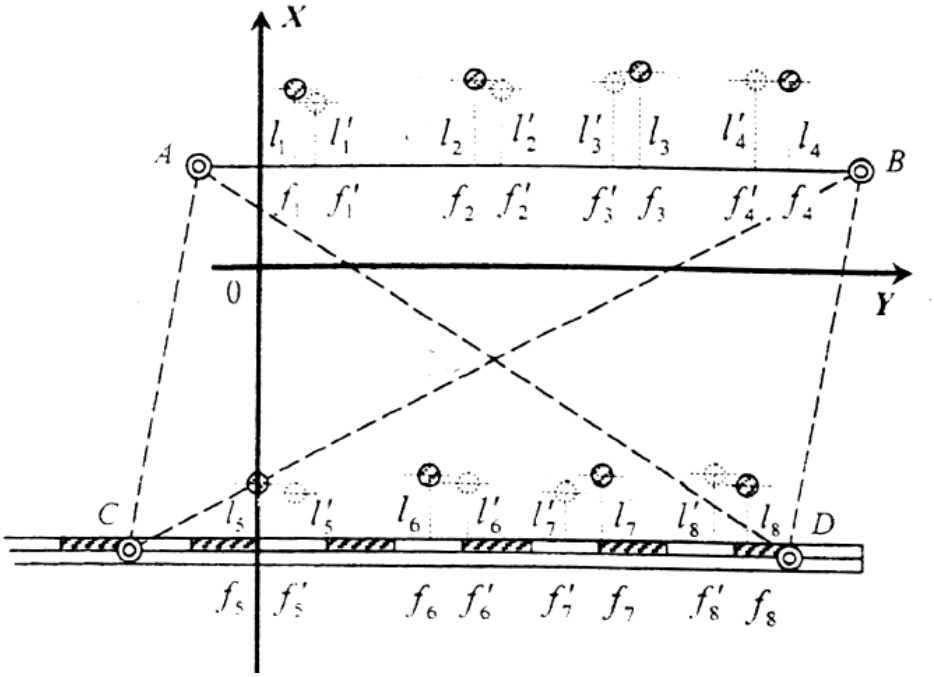


Рис. 7.2. Схема ординатной съемки канатов на горизонте измерений

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 ν – 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

$X_{р5ур} = -1{,}8065$ м; $X_{р8ур} = -1{,}8057$ 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: $R_{\text{то1}} = 1450$ мм; $\alpha_1 = 351$ мм; $R_{\text{то2}} = 1449$ мм; $\alpha_2 = 352$ мм; $b_5 = 187$ мм; $b_6 = 186$ мм; $b_7 = 191$ мм; $b_8 = 188$ мм; $d_{\text{к}} = 28$ 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; $R_{\text{ош}} = 1615$ мм; $R_{\text{вш}} = 1625$ 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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Г. В. Земских, Н. В. Кортев

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

ВВЕДЕНИЕ

Производство маркшейдерских работ связано с выполнением большого объема пространственных измерений.

Для обеспечения достаточной точности маркшейдерских измерений, наряду со строгим соблюдением положений инструкции по производству маркшейдерских работ, требуется и высокий уровень квалификации исполнителя. Не выявленные своевременно дефекты прибора или недостаточное знание особенностей его работы может привести к отрицательным результатам, а в отдельных случаях к значительному материальному ущербу. В этой связи основное внимание в пособии уделено процессам формирования инструментальных погрешностей и способам уменьшения их влияния на результаты измерений, теоретическим вопросам по цифровым методам измерений и обработки информации, а также рассмотрению устройства принципиальных схем и узлов, которые составляют основу современных маркшейдерских приборов.

Основное содержание пособия посвящено электронно-цифровым маркшейдерским приборам, которые уверенно вытесняют оптико-механические приборы из практической маркшейдерии. В то же время при выполнении маркшейдерских работ в определенных условиях открытых и подземных горных разработок продолжают эффективно применяться механические средства измерений, простейшие инструменты и оптико-механические приборы технической точности, которым также уделено достаточное внимание.

Авторы считают, что данное пособие будет полезно студентам, работникам маркшейдерских служб, работникам организаций, ведущих мониторинг геомеханических процессов, и геодезистам, эксплуатирующим маркшейдерско-геодезические приборы.

1. ПРОСТЕЙШИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ПРИБОРЫ

Многовековая история производства маркшейдерских съемок в горных выработках связана с применением разнообразных приборов для пространственных линейных и угловых измерений. Конструктивная сложность приборов и их функциональные возможности постепенно возрастали. Особенно стремительно этот процесс развивается в последние 30 лет. Механические и оптико-механические приборы в основном вытеснены из практической маркшейдерии электронно-оптическими приборами, приборами спутниковой геодезии и цифровой фотограмметрии.

В то же время при подземной разработке месторождений полезных ископаемых и при строительстве в подземном пространстве объектов различного назначения продолжается эффективное использование таких инструментов, как магнитная буссоль, висячий полукруг, длинномер, длинная шахтная лента, курвиметр, планиметр, отвесы шнуровые и оптические, шаблоны и др.

Магнитная подвесная буссоль для определения магнитных азимутов направлений в подземных горных (нарезных или очистных) выработках (рис. 1.1) имеет стандартный диаметр и цену деления лимба, позволяющие брать отсчет с точностью 30′. Подвесная буссоль (рис. 1.1) состоит из корпуса с магнитной стрелкой, подвешиваемого на шнур при помощи подвески, обеспечивающей горизонтальность корпуса при любом угле наклона шнура.

Натянутым шнуром закрепляется направление, например, между маркшейдерскими точками или по оси выработки, на который и подвешивается буссоль. Азимут направления измеряется при подвешивании буссоли вблизи двух концов шнура, и берется среднее из двух значений.



Рис. 1.1. Подвесная магнитная буссоль БК

Висячий полукруг (рис. 1.2) предназначен для измерения углов наклона тех же линий, азимут которых определяется с помощью подвесной буссоли.



Рис. 1.2. Висячий полукруг

Полукруг снабжен отвесом, по нити которого возможно взять отсчет, соответствующий углу наклона шнура с точностью 30′.

Рулетки предназначены, как правило, для измерения длин коротких (до 40 м) сторон полигонометрии в нарезных или очистных выработках с относительной точностью не выше 1:10000, для измерений в шурфах и других вертикальных горных выработок глубиной до 100 м, а также для разнообразных разбивочных и контрольных замеров.

Современные маркшейдерские рулетки представлены окрашенными металлическими лентами длиной 30 м, 40 м, 50 м и 100 м, градуированными делениями. Ленты рулеток могут быть помещены на вилке (РВ), на крестовине (РК) или в закрытом корпусе (рис. 1.3).



РК РВ

Рис. 1.3. Рулетки

Длинная шахтная лента (*до 1000 м*) *и длинномеры* (*глубиномеры*) используются для передачи высотной отметки через вертикальные горные выработки (стволы, шурфы и др.) от пунктов высотных сетей на земной поверхности и на верхних горизонтах на пункты сетей нижерасположенных горных выработок.

Современные лазерные дальномеры, как правило, не способны измерить глубину ствола в 100 и более метров. Основной причиной

большей эффективности механических средств передачи высотных отметок в шахту является неоднородность атмосферной среды в стволах по температуре, влажности и прозрачности.

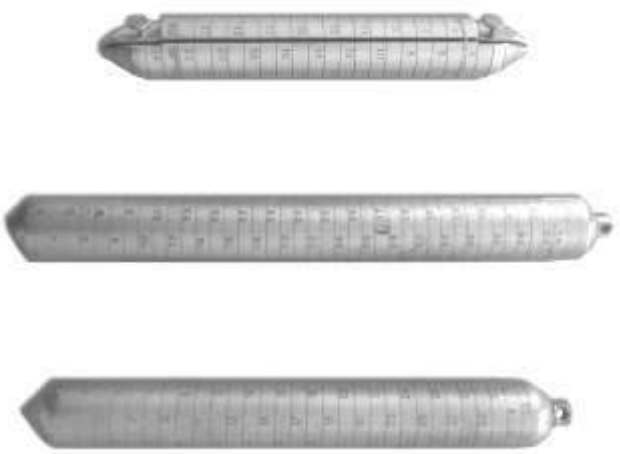


Рис. 1.4. Рейки длинномера ДА-2

Длинная шахтная лента – это цельное стальное полотно длиной до 1000 м, размещенное на барабане лебедки. Каждый метр на ленте отмечен отверстием и пронумерован. Сантиметры и миллиметры определяются по линейке, прикладываемой нулевым штрихом к младшему делению ленты на земной поверхности и на подземном горизонте.

Длинномер позволяет передавать высотные отметки на подземные горизонты путем определения длины стальной проволоки, опущенной в ствол практически любой глубины.



Рис. 1.5. Дальномер ДА-2

Длинномер снабжен мерным диском с длиной окружности 1 м и счетчиком его оборотов. На поверхности и на подземном горизонте отсчеты берутся нивелиром по рейкам цилиндрической формы, закрепленными на конце проволоки опускаемой в ствол (рис. 1.4).

Внешний вид наиболее распространенного длинномера ДА-2 приведен на рис. 1.5.

Курвиметр и планиметр используются при работе с масштабированными графическими документами (планами, профилями, раз-

резами и др.). Курвиметры и планиметры предлагаются пользователям в механическом и электронном вариантах.

На рис. 1.6 представлен механический курвиметр, предназначенный для измерения длин линий.



Рис. 1.6. Механический курвиметр

Основой данного инструмента является мерное колесико и счетчик его оборотов. Перед началом измерений проверяется коэффициент курвиметра. Колесико прокатывается по линии известной длины, и решением пропорции определяется коэффициент перевода количества и долей оборотов колеса в метрическую систему.

Планиметр, так же как и курвиметр, в своей конструктивной основе имеет мерное колесо, которое прокатывается по замкнутой линии, ограничивающей определяемую площадь (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Планиметр

Электронный планиметр, предназначенный для измерения площадей графических построений, представлен на рис. 1.8.

Одна из точек планиметра фиксируется вблизи определяемой площади, а мерное колесо прокатывается по линии, ограничивающей эту площадь.

Поскольку положение мерного колеса при обводе площади зависит от взаимного расположения рычагов планиметра, то его вращение может замедляться или даже менять направление.

Коэффициент планиметра (коэффициент перевода показаний счетчика оборотов мерного колеса в величину площади с размерностью – $м^2$) устанавливается в виде круглого числа (множителя) путем изменения длины рычагов планиметра.



Рис. 1.8. Электронный планиметр

Погрешность измерения площади зависит от ее конфигурации, и в случае, если угол между рычагами планиметра при обводе периметра не превышает 120°, составляет не более 0,5 %.

2. ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Геометрическая оптика как раздел физики посвящена вопросам, связанным с прохождением лучей света в оптических системах.

Оптические системы маркшейдерско-геодезических приборов, а именно визирные зрительные трубы, отсчетные микроскопы, оптические отвесы, опто-волоконные каналы лазерных приборов рассчитываются, конструируются и функционируют в соответствии с законами геометрической оптики.

Теория геометрической оптики основывается на следующих законах, установленных экспериментально:

закон прямолинейного распространения света в однородной среде;

закон независимого распространения света;

закон отражения света;

закон преломления лучей света на границе двух прозрачных сред.

Пользуясь принятым понятием светового луча и перечисленными законами распространения света, можно значительно проще, чем при помощи законов волновой теории представить принцип действия оптических систем. В этой связи геометрическая оптика имеет важное значение для маркшейдерско-геодезического инструментоведения.

Закон прямолинейного распространения света. В однородной среде свет от светящейся точки распространяется с одинаковой скоростью и прямолинейно по всем направлениям.

Закон независимого распространения света. В сложном световом потоке отдельные лучи не влияют друг на друга и распространяются так, как будто других лучей не существует.

Закон отражения света. Луч света *S* (рис. 2.1), падающий на полированную поверхность, нормаль O*N* к этой поверхности, в точке падения O и луч отраженный *S*′ находятся в одной плоскости, а угол падения *i* и угол отражения *i*′ равны, но противоположны по знаку.

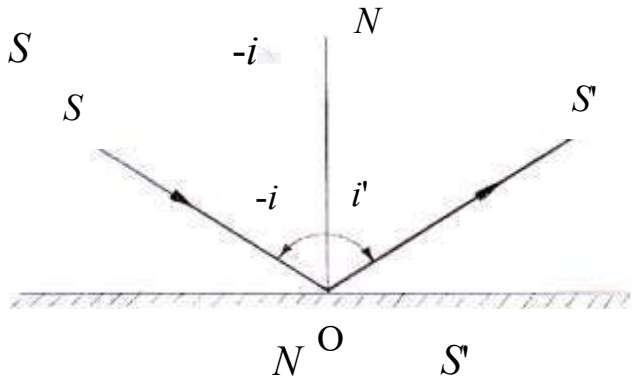


Рис. 2.1. Отражение светового луча

Закон преломления лучей света на границе двух прозрачных сред. Луч света *S* (рис. 2.2), падающий на поверхность, разделяющую две прозрачные среды, нормаль *NN*′ к этой поверхности в точке падения O и луч преломленный *S*′, находятся в одной плоскости, а углы падения *i* и преломления *i*′ для данных двух сред подчиняются условию: $\sin i/\sin i' = \text{const}$.

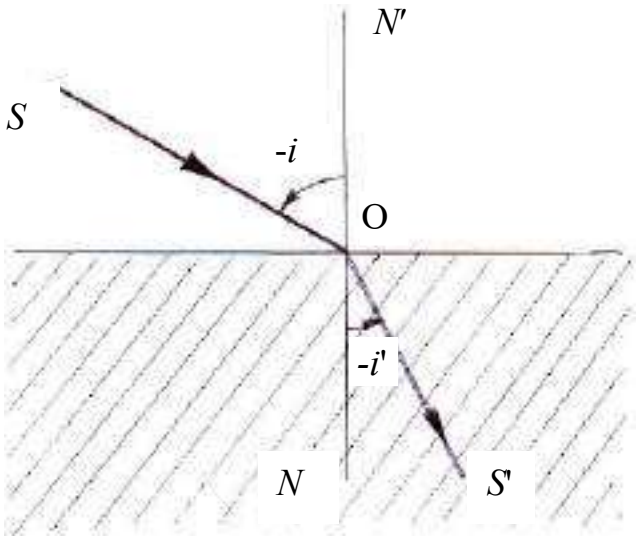


Рис. 2.2. Преломление светового луча

Световые лучи, переходящие из воздуха в другую прозрачную среду (тело), тем больше отклоняются от своего первоначального направления, чем более наклонно они падают на преломляющую поверхность. В точке перехода из одной среды в другую скорость распространения света скачкообразно падает (или, наоборот, возрастает).

Величина отношения скорости света в воздухе ($C_{\text{в}}$) к скорости света в другой среде ($C_{\text{с}}$) называется показателем преломления $n_{\text{в,с}}$ данного вещества по отношению к воздуху. Этот показатель равен частному от деления синуса угла падения (i) на синус угла преломления (i') и для данной пары веществ является величиной постоянной, т. е.

$$n_{\text{В,С}} = \frac{C_{\text{В}}}{C_C} = \frac{\sin i}{\sin i'} = \text{const}. \qquad (2.1)$$

Показатель преломления для среды по отношению к пустоте называется абсолютным показателем преломления. Абсолютный показатель преломления воздуха при +20 °С равен 1,00028. Оптическое стекло, используемое для изготовления деталей маркшейдерско-геодезических приборов, имеет показатели преломления в пределах 1,5…1,8 (для легкого крона этот показатель равен 1,5153, а для тяжелого флинта – 1,7515).

Оптически более плотной среде соответствует больший показатель преломления.

Из формулы (2.1) следует:

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{1}{n}. \qquad (2.2)$$

Если начиная от нуля постепенно увеличивать угол падения, то при некотором его значении наступит такой момент, после которого лучи не будут проникать в оптически менее плотную среду, весь пучок отразится полностью.

На рис. 2.3 видно, что при угле $i_{\max}$ угол $i' = 90^0$ луч будет скользить по преломляющей поверхности; тогда

$$\sin i_{\max} = \frac{1}{n}, \qquad (2.3)$$

откуда

$$i_{\max} = \arcsin\frac{1}{n}.$$

Угол i_{max} называется *критическим углом падения*. При $i > i_{max}$ все лучи будут возвращаться в более плотную среду, отражаясь от разделительной поверхности. Это явление, открытое в 1604 г. Кеплером, получило название *явления полного внутреннего отражения*.

Явление полного внутреннего отражения используется в волоконной оптике и в рефрактометрии.

В маркшейдерско-геодезических приборах применяют разнообразные призмы полного внутреннего отражения. Для достижения большего эффекта отражающие грани таких призм покрывают слоем серебра или алюминия.

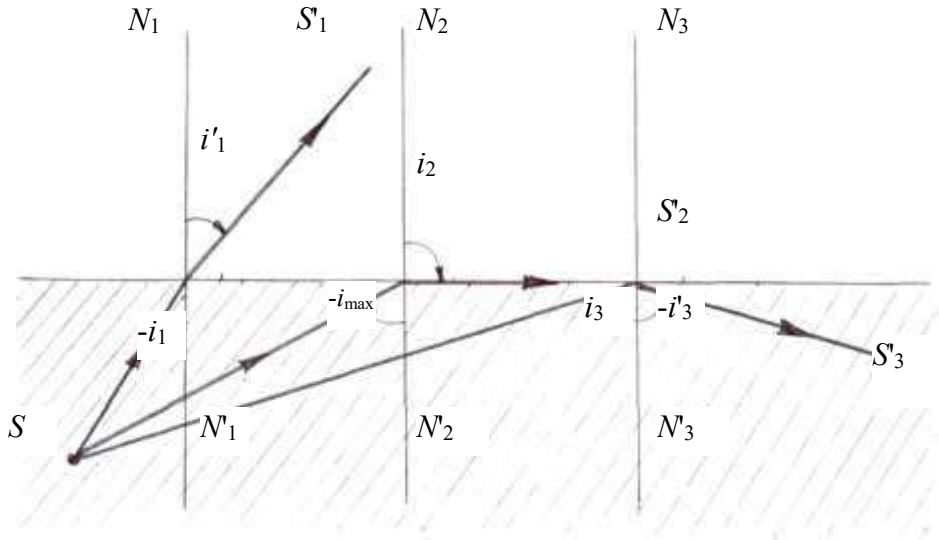


Рис. 2.3. Полное внутреннее отражение

В табл. 2.1 приведены показатели преломления и критические углы падения для некоторых прозрачных сред.

Таблица 2.1

Показатели преломления *n* и критические углы падения i_{max} для некоторых прозрачных сред

Прозрачная среда	*n*	i_{max}
Алмаз	2,47	23°53′
Стекло флинт	1,77	34°51′
Стекло крон	1,53	40°04′
Стекло оконное	1,50	42°
Вода	1,33	48°45′
Лед	1,31	49°46′
Воздух	1,00027	88°40′

Следует отметить, что для конструирования высококачественных оптических систем маркшейдерско-геодезических приборов гос-

ударственными стандартами регламентируется выпуск более десяти сортов оптических стекол с различными оптическими характеристиками, о необходимости которых будет упомянуто в данном пособии.

3. ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Плоское зеркало – тело, плоская полированная поверхность которого способна оптически отражать световые лучи в соответствии с законом отражения.

Чтобы построить изображенные точки в плоском зеркале, достаточно продлить отраженные лучи в пространство изображений до их пересечения (рис. 3.1).

Изображение в плоском зеркале является мнимым, равным предмету по размерам, одинаковым по форме, цвету и симметрично расположенным относительно зеркальной поверхности. Зеркальное изображение линий или тел является полуобращенным.

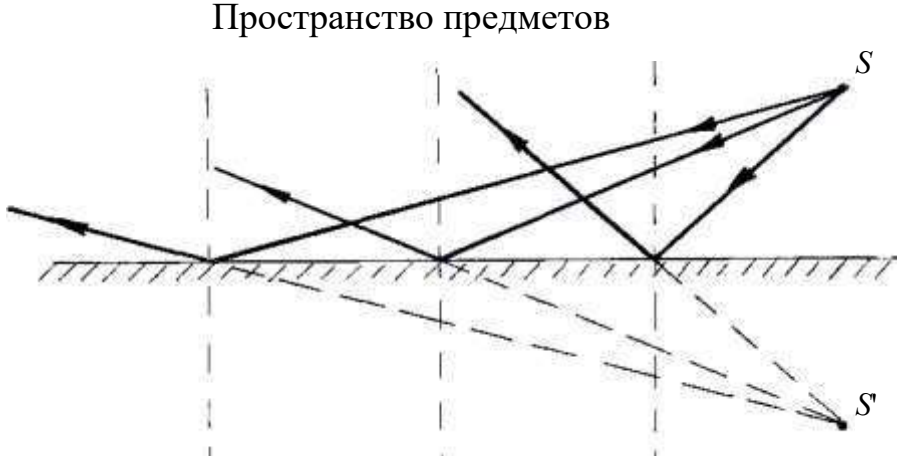


Рис. 3.1. Образование изображения в плоском зеркале

В маркшейдерско-геодезических приборах применяют отдельные плоские зеркала и системы зеркал для изменения направления луча, оборачивания изображения, параллельного смещения луча, для подсветки шкал, в компенсаторах наклона, для построения прямых и других углов.

На рис. 3.2…3.5 представлены случаи применения плоских зеркал.

Плоские зеркала имеют небольшой вес и не искажают изображения, в то же время их сравнительно трудно фиксировать в оптических системах приборов. Применение зеркал связано также с боль-

шими потерями света. Поверхность, амальгамированная алюминием, отражает до 95 % света, кроме того, металлические покрытия быстро тускнеют.

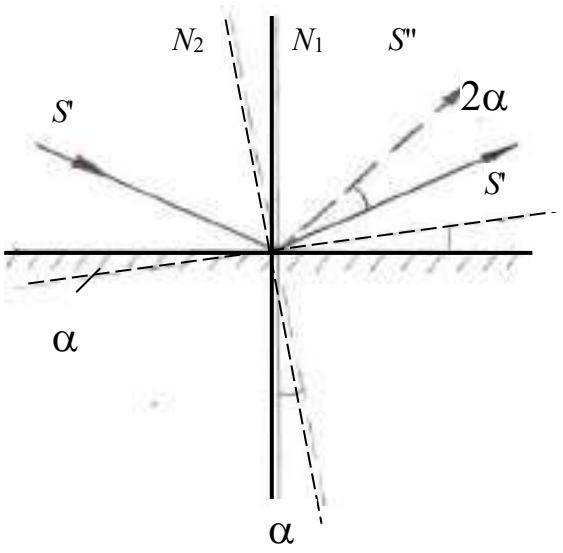


Рис. 3.2. Изменение направления луча при повороте отражающего зеркала

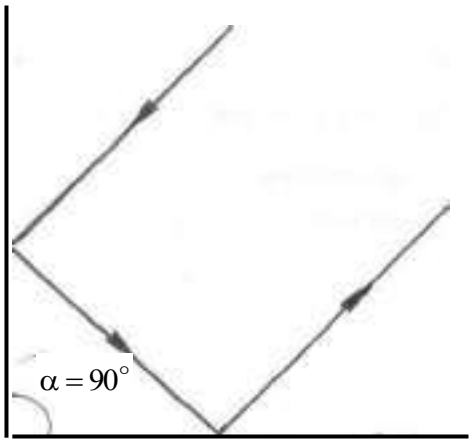


Рис. 3.3. Оборачивание луча системой двух зеркал

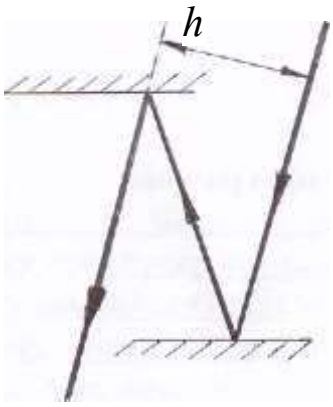


Рис. 3.4. Смещение луча двумя параллельными зеркалами

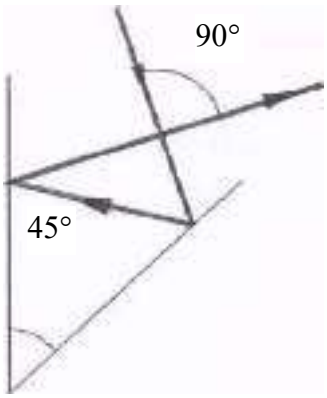


Рис. 3.5. Построение прямых углов эккером

Вследствие перечисленных факторов в оптических системах приборов чаще применяют призмы полного внутреннего отражения.

Плоскопараллельная пластинка – прозрачное тело, ограниченное двумя параллельными полированными гранями.

Луч света, падающий на грань, преломляется и идет к противоположной грани, после встречи с которой под углом падения преломляется в воздух, т. е. происходит параллельное перемещение луча на величину *y* и удлинение хода луча (рис. 3.6).

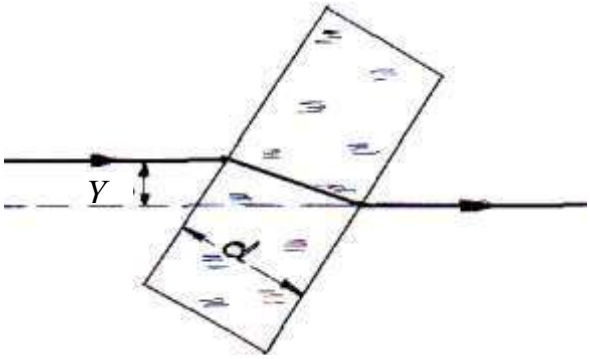


Рис. 3.6. Ход луча через плоскопараллельную пластину

Плоскопараллельные пластины применяют в микрометрах маркшейдерско-геодезических приборов для точного отсчитывания по шкалам, путем измерения малых интервалов. Плоскопараллельными пластинами являются лимбы приборов и различные защитные стекла.

Преломляющая призма – прозрачное тело с плоскими преломляющими гранями, расположенными под некоторым углом друг к другу.

В маркшейдерско-геодезических приборах используют призмы с малыми преломляющими углами ($\Theta < 6°$), называемые оптическими клиньями (рис. 3.7).

На рис. 3.7 видно, что оптический ахроматический клин состоит из двух склеенных призм (флинт и крон), имеющих разные показатели преломления.

Склейкой ахроматического клина из двух стекол добиваются уничтожения дисперсии (разложение белого цвета на составляющие цвета). Пучок лучей, выходящий из склеенного клина, будет снова белым, так как лучи, вышедшие из клина, параллельны (см. рис. 3.7).

Оптические клинья широко применяли в ранее выпускавшихся оптических дальномерах и дальномерных насадках, а в настоящее время используют в оптических микрометрах отсчетных микроскопов теодолитов.

Отражательные призмы имеют отражательные грани и отличаются от преломляющих тел тем, что угол падения любого луча на входную грань равен углу преломления этого луча на выходной грани.

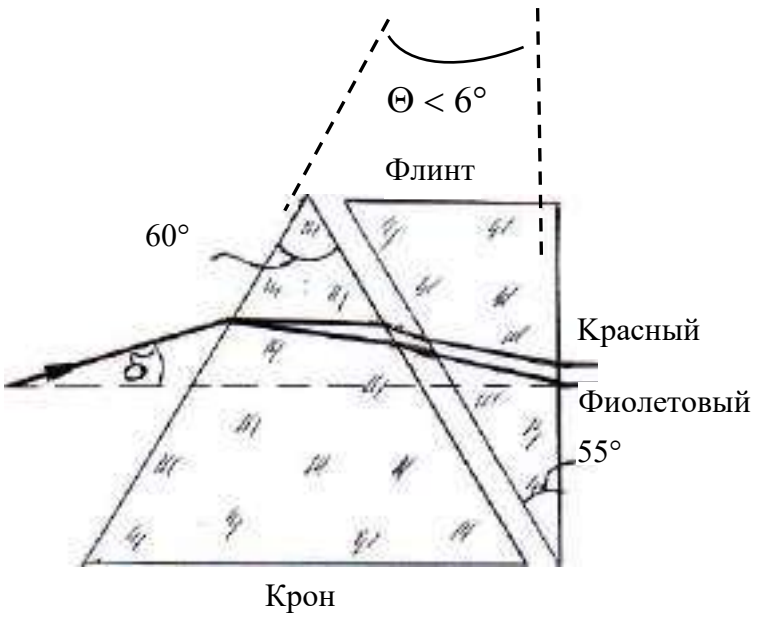


Рис. 3.7. Преломление луча оптическим ахроматическим клином

В маркшейдерско-геодезических приборах, как правило, используют призмы полного внутреннего отражения. Они предназначены для изменения направления светового луча и оборачивания изображения объекта, рассматриваемого через оптические системы приборов, удлинения габаритного хода луча, разделения пучков лучей.

По сравнению с плоскими зеркалами призмы обладают следующими преимуществами:

угол между отражающими гранями строго постоянен;

отражающие поверхности не соприкасаются с воздухом, поэтому не подвергаются порче;

изображения получаются ясными и четкими;

при помощи одной призмы можно получить многократное отражение луча;

призмы надежно устанавливаются и фиксируются в приборах;

в призмах отсутствует двоение изображения.

Существенным недостатком призм полного внутреннего отражения являются потери света в связи с частичным преломлением лучей на отражающих поверхностях. По этой причине отражательные грани, как правило, амальгамируются.

На рис. 3.8 представлены некоторые призмы с одной (*а, б*), двумя (*а*, *г*, *д*, *е*) и тремя (*ж*, *з*, *и*) отражающими гранями.

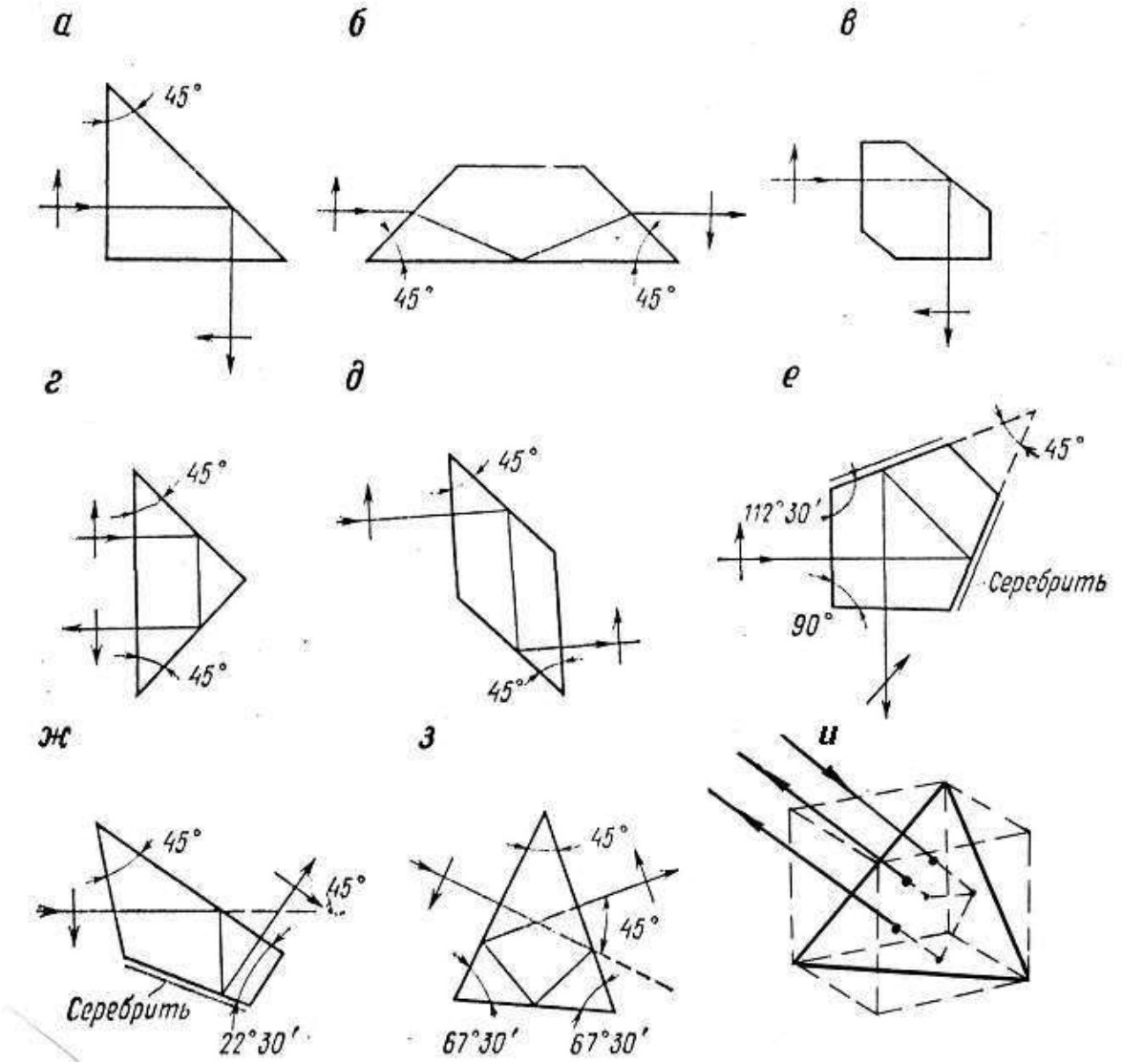


Рис. 3.8. Ход лучей в призмах полного внутреннего отражения

Стрелками на входящих лучах показано положение предмета, а на выходящих – положение его изображения. Призма, изображенная на рис. 3.8, и называется зеркальной триппель-призмой (тройное зеркало) и предназначена для использования в качестве отражателя электрооптических дальномеров.

На рис. 3.9 представлены составные призмы, дающие зеркальное (полуобращенное) изображение (*а* – куб-призма, *б* – призма Аббе). В зрительных трубах с прямым изображением, как правило, используется призма Аббе.

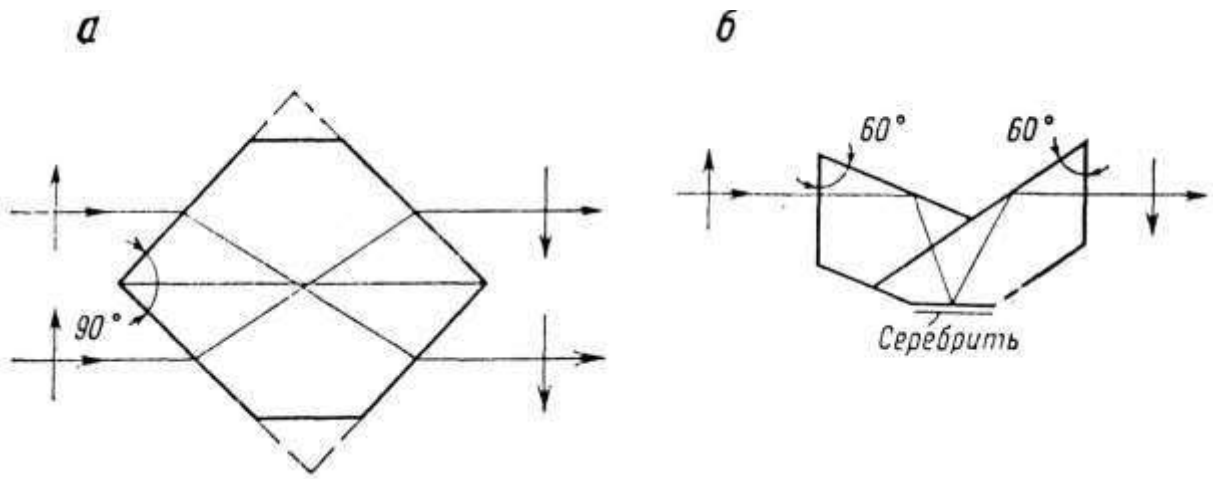


Рис. 3.9. Ход лучей в составных призмах

Наряду с оптическими деталями, ограниченными плоскими отражающими и преломляющими поверхностями, в маркшейдерско-геодезических приборах широко применяют детали со сферическими преломляющими поверхностями. Как правило, они объединены в центрированные оптические системы линз и призм. В оптической центрированной системе центры кривизны всех преломляющих поверхностей оптических деталей располагаются на одной прямой, называемой *оптической осью системы*.

Линза – прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими или одной сферической и одной плоской поверхностями. Линзы и системы линз, как правило, предназначены для построения увеличенных или уменьшенных изображений наблюдаемых предметов.

В зависимости от того, больше или меньше толщина линзы в ее середине, чем у ее края, различают линзы собирательные и рассеивающие. Типы линз и схемы построения изображений приведены на рис. 3.10.

Линия, соединяющая центры кривизны обеих ограничивающих линзу сферических поверхностей, называется *оптической осью линзы*.

После прохождения через собирательную линзу лучи, идущие до этого параллельно оптической оси на малом от нее расстоянии (*параксиальные лучи*), пересекаются в одной точке, называемой *фокусом*. Фокус пространства изображений (задний фокус) F' является изображением бесконечно удаленной предметной точки, лежащей на оптической оси.

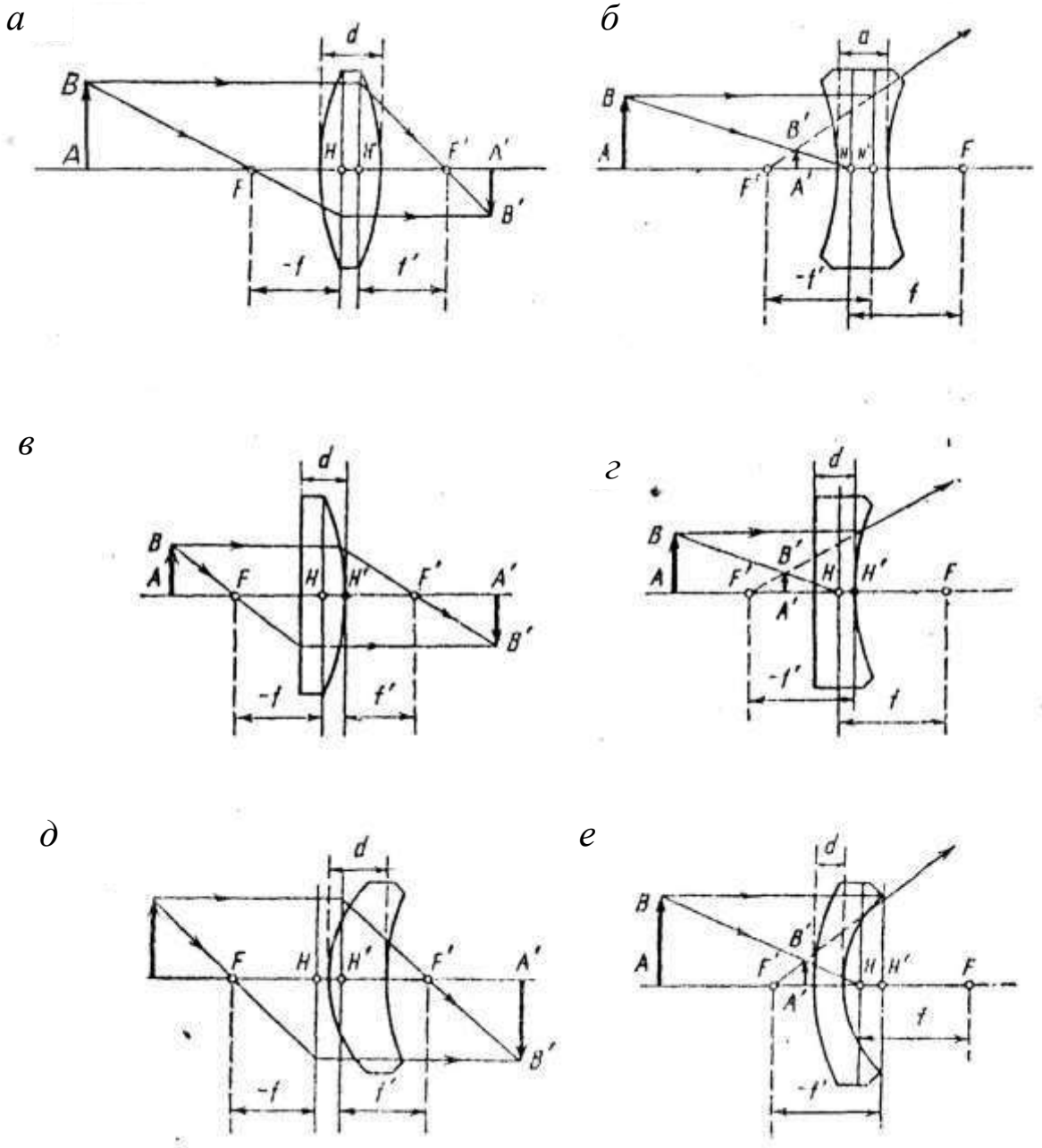


Рис. 3.10. Основные типы линз.
Ход лучей, построение изображений:
собирательные линзы: *а* – двояковыпуклая; *б* – плоско-выпуклая;
в – вогнуто-выпуклая (собирательный мениск);
рассеивающие линзы: *г* – двояковыпуклая; *д* – плоско-вогнутая;
е – выпукло-вогнутая.
F, F' – передний и задний фокусы; *AB*, *A'B'* – предмет и его изображение;
d – толщина линзы; *f, f'* – переднее и заднее фокусные расстояния

Расчеты конструктивных элементов оптических систем ведутся с линзами конечной толщины.

Применяя дважды формулу Аббе к первой и второй сферическим поверхностям линзы с радиусами r_1 и r_2 и учитывая толщину d линзы, получим формулу для линзы конечной толщины:

$$\Phi = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{(n-1)^2}{n}\left(\frac{d}{r_1 r_2}\right), \qquad (3.1)$$

где Ф – оптическая сила линзы, диоптрии (1 диоптрия – оптическая сила собирательной линзы с задним фокусным расстоянием 1 м); n - показатель преломления стекла.

По формуле (3.1) можно вычислить оптическую силу, фокусные расстояния по заданным или выбранным радиусам кривизны поверхностей, показателю преломления оптического стекла и толщине линзы. При этом фокусные расстояния и радиусы поверхностей линзы принимались положительными для направления слева направо, т. е. из пространства предметов в пространство изображений.

Например, для двояковыпуклой линзы имеем: $r_1 > 0$; $r_2 < 0$.

$$\Phi = (n-1)\left(\frac{1}{|r_1|} + \frac{1}{|r_2|}\right) + \frac{(n-1)^2}{n}\left(\frac{d}{|r_1 r_2|}\right).$$

Оптическая сила двояковыпуклой линзы всегда больше нуля (Ф > 0), линза собирательная, поскольку второе слагаемое формулы (3.1) меньше первого (для тонких линз, применяемых в маркшейдерско-геодезических приборах) в 20-60 раз.

Двояковогнутая линза имеет: $r_1 < 0$; $r_2 > 0$.

$$\Phi = (n-1)\left(\frac{1}{|r_1|} + \frac{1}{|r_2|}\right) - \frac{(n-1)^2}{n}\left(\frac{d}{|r_1 r_2|}\right) < 0.$$

Оптическая сила линзы всегда отрицательная – линза рассеивающая.

В маркшейдерско-геодезических приборах, как правило, применяют системы из двух, трех линз и более, для которых рассчитывают суммарные (эквивалентные) фокусные расстояния и прочие параметры, характеризующие одиночную линзу.

4. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

4.1. Недостатки (аберрации) оптических систем

Для реальных оптических систем узкий (параксиальный) пучок лучей дает недостаточную освещенность изображения, поэтому на практике имеют дело с преломлением достаточно широких пучков лучей, в результате чего возникают различного рода искажения изображений, называемые *аберрациями*. Для систем маркшейдерско-геодезических приборов наиболее опасными являются сферическая и хроматическая аберрации, искажающие изображение объектов по всему полю зрения, в том числе в параксиальной области.

Сферическая аберрация. Опытным путем установлено, что при прохождении через линзу широкого пучка лучей внешние и центральные лучи пересекаются не в одной и той же точке на оптической оси. Точка пересечения (фокус) внешних лучей находится ближе к положительной линзе, чем соответствующая точка для параксиальных лучей. Для отрицательной призмы ближе к ней расположен задний фокус параксиальных лучей. Благодаря этому каждая точка рассматриваемого объекта изображается не в виде точки, а в виде кружка рассеяния, а изображение предмета получается расплывчатым. Этот вид искажения изображения называется сферической аберрацией.

Для уменьшения сферической аберрации чаще применяют комбинации положительных и отрицательных линз.

Наименьшая сферическая аберрация у положительной двояковыпуклой линзы с соотношением радиусов кривизны преломляющих поверхностей

$$\frac{|r_1|}{|r_2|} = 6.$$

Такая линза называется стеклом наилучшего вида (рис. 4.1):

$$|r_1| = 6|r_2|.$$

Параметрам стекла наилучшего вида приблизительно соответствуют параметры хрусталика человеческого глаза.

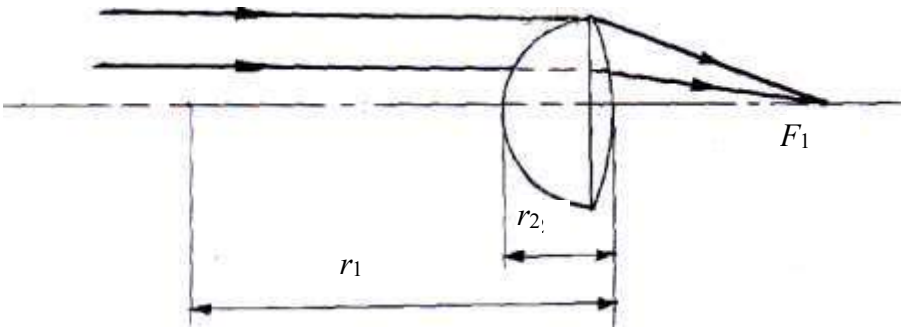


Рис. 4.1. Стекло наилучшего вида

Хроматическая аберрация (окрашивание изображения). Белый солнечный свет представляет собой сложное электромагнитное излучение, состоящее из волн различной длины, и после прохождения через призму луч света расходится веерообразно, образуя цветную полосу, называемую *спектром*. Аналогичное явление (хроматическая аберрация) имеет место при прохождении лучей белого света через оптические системы, состоящие из линз и призм.

Например, обыкновенная линза имеет большую оптическую силу (меньшее фокусное расстояние) для синих лучей, чем для красных, т. е. в силу указанного свойства сложный белый свет дает размытое и окрашенное по краям изображение.

Использование различных сортов стекла в сочетании с определенными фокусными расстояниями (кривизной преломляющих поверхностей) линз позволяет создать систему линз, называемую *ахроматом* (рис. 4.2).

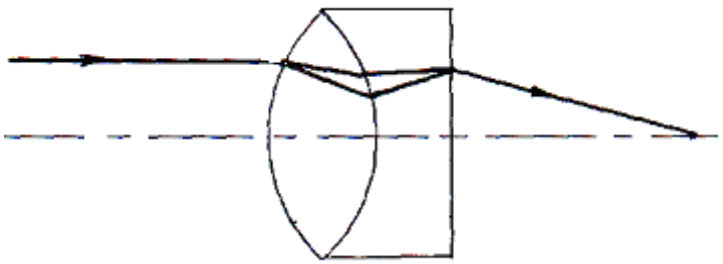


Рис. 4.2. Система линз с ослабленной хроматической аберрацией

Полное устранение хроматической аберрации практически возможно только для двух спектральных цветов, например красного и голубого. Для остальных цветов образуется так называемый вторичный спектр. Системы линз с уменьшенной интенсивностью вторичного спектра называются *апохроматическими системами* (*апо-*

хроматами). Апохроматами являются оптические системы зрительных труб теодолитов и тахеометров с погрешностью измерения углов менее 3″.

Астигматизм (неточечность) и ***кома*** – это аберрации, которые обусловливают изображение точки, лежащей вне оптической оси, в виде овального пятна рассеяния. Данные виды оптических искажений практически несущественны, поскольку визирные системы маркшейдерско-геодезических приборов работают в области, близкой к параксиальной.

Дисторсия – это называется нарушение геометрического подобия между изображением и предметом. Причиной появления дисторсии является непостоянство поперечного увеличения по полю зрения. Изображение квадратной сетки получается искаженным в виде «подушки» (положительная дисторсия) или в виде «бочки» (отрицательная дисторсия) (рис. 4.3).

Дисторсия определяется в процентах по формуле

$$\Delta Y = \frac{Y - Y_0}{Y} \cdot 100\%, \qquad (4.1)$$

где Y и Y_0 – величины изображений предмета соответственно на краю и в центре поля зрения системы.

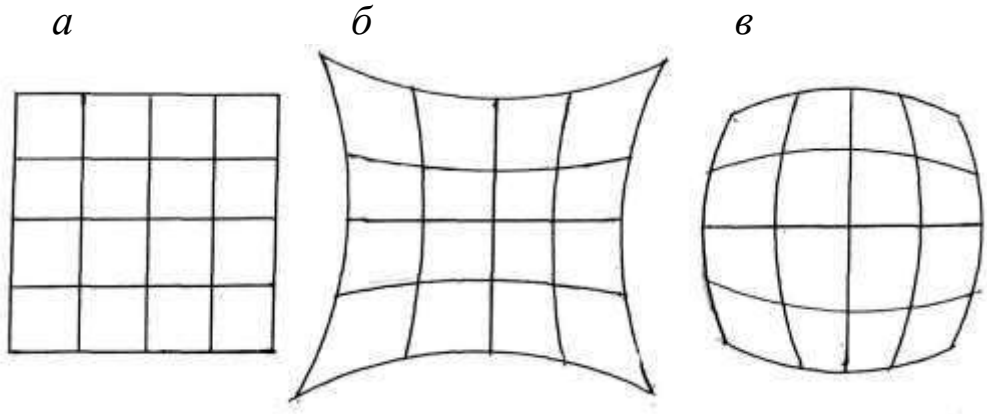


Рис. 4.3. Оптическое искажение, вызванное дисторсией:
а – свободное от дисторсии изображение;
б – положительная дисторсия; *в* – отрицательная дисторсия

Системы, свободные от дисторсии, называют *ортоскопическими*. К ортоскопическим системам относятся объективы фотограмметрических камер ($Y \leq 0{,}01$ %). Для объективов визирных зрительных труб маркшейдерско-геодезических приборов дисторсия не должка превышать 2 %, для окуляров – 10 %.

Качество изображения, ухудшаемое влиянием аберраций, исследуется при рассмотрении правильных геометрических фигур, изображенных на белом фоне и окрашенных черной тушью, либо таблицы штрихов («*миры*»).

Искажения формы фигур свидетельствуют о наличии в оптической системе трубы астигматизма или дисторсии. Окраска краев или всей площади фигуры в красноватый цвет свидетельствует о хроматической аберрации, а расплывчатость краев фигуры – о сферической аберрации.

Результирующее влияние аберрации на качество изображения характеризуется *разрешающей способностью* зрительных труб. Известно, что раздельное наблюдение двух близлежащих точек глазом или другой оптической системой возможно под углом не менее критерия Рэлея:

$$\psi'' = \frac{\rho'' \cdot 1{,}22\lambda}{D_{\text{вх}}}, \qquad (4.2)$$

где $\rho'' = 206255''$; λ – длина световой волны (0,00055 мм); $D_{\text{вх}}$ – диаметр зрачка входа системы (внутренний диаметр оправы объектива).

Таким образом, предел разрешающей способности идеальной оптической системы составляет 3,5" при D = 40 мм.

Разрешающая способность зрительных труб (предел разрешения) определяется по формуле

$$\text{Пр}'' = k\ 120\ / D_{\text{вх}}, \qquad (4.3)$$

где k – коэффициент, равный 1,4 – для труб прямого изображения.

Разрешающая способность, вычисленная по данной формуле, должна быть близка к определенной из результатов наблюдения «миры» по всему полю зрения зрительной трубы. В этом случае влияние аберраций расценивается как допустимое. Уменьшения аберраций добиваются повышением качества обработки преломляющих поверхностей, подбором линз с различными геометрическими и физико-химическими параметрами и применением различных диафрагм, ограничивающих периферийные лучи, поскольку максимум искажений дают края линз.

Обобщая положения, изложенные в данном разделе, следует отметить, что в реальных визуальных оптических системах допускаются аберрации, если они соответствуют назначению системы и условиям ее применения, т. е. должна быть обеспечена необходимая точность визирования на цели в нормальных атмосферных условиях;

при этом желательно, чтобы аберрации системы были ничтожны по сравнению с аберрациями нормального глаза.

4.2. Потери света в оптических системах

При прохождении света через оптическую систему имеют место *потери* за счет отражения при преломлении, поглощения световой энергии массой стекла и светорассеяния.

В оптической системе потери света за счет отражения зависят от марок оптических стекол линз и призм, а также от количества преломляющих поверхностей в системе.

Для оптического стекла «легкий крон» (ЛК-3) потери света, падающего на преломляющую поверхность параллельно оптической оси, составляет 5,8 %, для «тяжелого флинта» (ТФ-10) – 8,3 %. Уменьшение потерь света за счет отражения при преломлении в 3-5 раз достигается *просветлением оптики*. На преломляющую поверхность методом напыления наносят пленку из материала с показателем преломления:

$$n_{\text{пл}} = \sqrt{n_{\text{ср}} n_{\text{ст}}},$$

где $n_{\text{ср}}$ и $n_{\text{ст}}$ – соответственно показатели преломления среды и стекла толщиной $d = k\lambda/4$; k – целое нечетное число; λ – длина световой волны (0,00055 мм).

Потери света за счет поглощения энергии толщиной стекла (для современных сортов оптического стекла) составляют 1 % на 1 см хода луча. *Светопоглощение* обусловлено наличием в стекле непрозрачных частиц.

Светорассеяние – вредное воздействие на изображение отраженных при преломлении или рассеянных толщей стекла пучков лучей. Рассеяние света вызывает блики и снижает контрастность изображения.

Суммарные потери света в трубах современных маркшейдерско-геодезических приборов не должны превышать 55 %.

4.3. Оптические системы

Лупа – короткофокусная положительная линза, предназначенная для рассматривания с увеличением близко расположенных предметов. В маркшейдерско-геодезических приборах с помощью луп рассматривают штрихи шкал, лимбов, контактные уровни и т. д.

Построение мнимого увеличенного изображения предмета, даваемого лупой, показано на рис. 4.4.

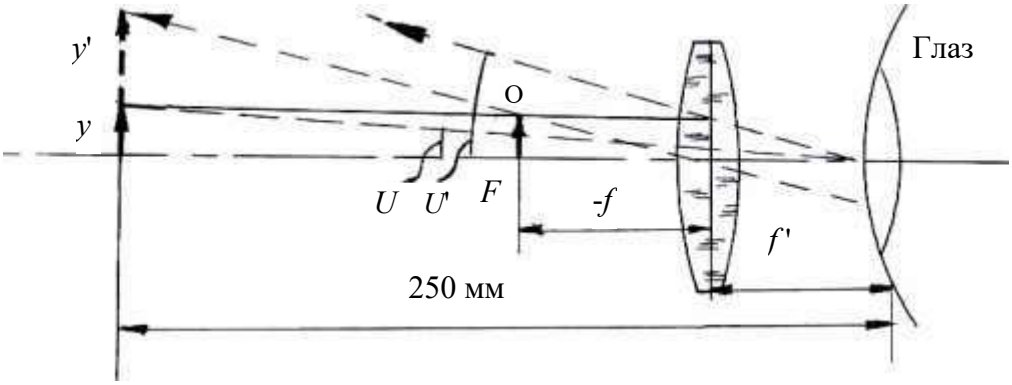


Рис. 4.4. Лупа. Построение изображения

Наблюдатель устанавливает глаз вблизи заднего фокуса F', а предмет S – между передним фокусом и линзой так, чтобы расстояние до мнимого изображения S' было около 250 мм (расстояние наилучшего зрения нормального человеческого глаза). Видимое (угловое) увеличение лупы определяется по формуле

$$V = \operatorname{tg} U / \operatorname{tg} U', \qquad (4.4)$$

где $\operatorname{tg} U = S / 250$ мм; $\operatorname{tg} U' = S / f'$.

Таким образом,

$$V = 250 / f',$$

где f' – заднее фокусное расстояние лупы.

Увеличение лупы беспредельно повышать нельзя, так как при $V = 20^{x}$ фокусное расстояние составит лишь 12,5 мм. Таким образом, однолинзовые лупы дают качественное изображение при увеличении $4...6^{x}$. Для улучшения качества изображений применяют многолинзовые лупы, увеличение которых достигает 20^{x}.

Микроскоп – оптическая система, предназначенная для рассматривания мелких предметов, в частности, делений шкал маркшейдерско-геодезических приборов.

Микроскоп как увеличительная оптическая система может действовать на порядок эффективнее луп.

Оптическая схема микроскопа и ход лучей в нем показаны на рис. 4.5.

Микроскоп состоит из двух собирательных систем (объектива и окуляра).

Рассматриваемый объект помещают между передним фокусом объектива $F_{об}$ и двойным фокусным расстоянием $2f_{об}$ объектива, который дает действительное обратное и увеличенное изображение, расположенное за двойным задним фокусным расстоянием объектива $2f'_{об}$ вблизи переднего фокуса окуляра $F_{ок}$. При использовании микроскопа в качестве отсчетного устройства в этой же плоскости помещают измерительную шкалу, которую затем рассматривают совместно с изображением штрихов лимба.

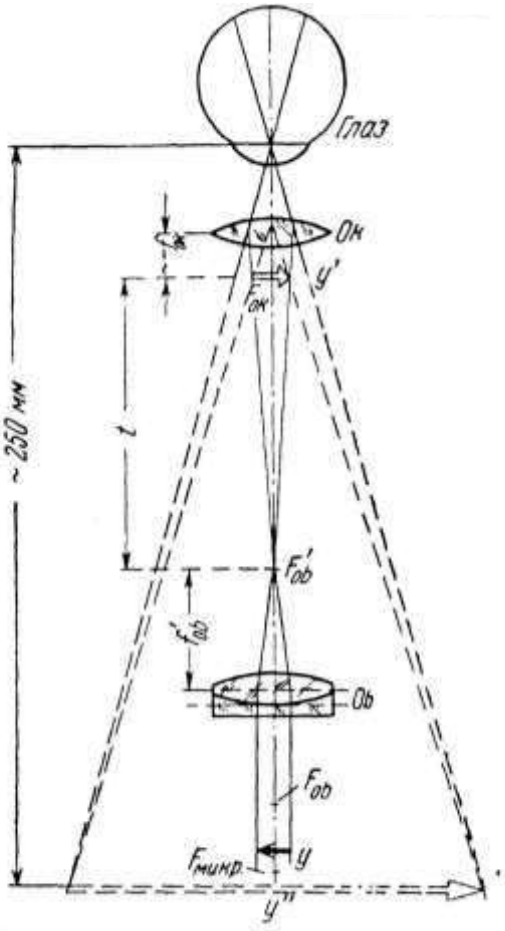


Рис. 4.5. Микроскоп

Окуляр микроскопа работает как лупа, при этом видимое изображение, даваемое микроскопом, в целом получится увеличенным, мнимым и обратным на расстоянии наилучшего зрения (250 мм) от глаза.

Отсчетные микроскопы применяют в современных приборах для того, чтобы иметь возможность различать весьма малые интервалы шкал, ширина которых измеряется десятыми и сотыми долями микрометра. По сравнению с лупой они обладают, кроме того, тем

преимуществом, что расстояние до рассматриваемого при их помощи лимба может быть значительно больше, поэтому окуляр отсчетного приспособления можно расположить рядом с окуляром зрительной трубы, а на пути оптического луча от лимба до окуляра микроскопа установить шкалу либо призмы оптического микрометра, а также призмы компенсатора индекса вертикального круга.

В современных оптических теодолитах отсчетные приспособления устанавливают внутри полых осей и стоек, поддерживающих зрительную трубу.

Отсчетные приспособления, главной частью которых является микроскоп:

для освещения шкал;

для сведения в поле зрения микроскопа изображений шкал обоих лимбов (по одному или по два отсчетных участка на горизонтальном и вертикальном кругах, с поочередным или одновременным их наблюдением);

для получения совмещенных изображений отдельных участков лимбов и шкал отсчетных приспособлений для взятия отсчетов.

Штриховой микроскоп (микроскоп-оценщик) –простейший отсчетный микроскоп с одним штрихом, нанесенным на сетке в качестве индекса, при помощи которого десятые доли интервалов шкал лимба определяют путем оценки на глаз (рис. 4.6).

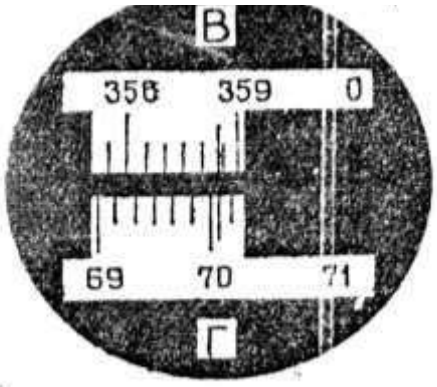


Рис. 4.6. Поле зрения штрихового микроскопа теодолита Т-30

Точность отсчитывания при таком способе сравнительно невысока, как правило, около 1'. При юстировке штрихового микроскопа добиваются резкого изображения шкал лимбов в плоскости штрихов сетки микроскопа. Штриховые микроскопы применяли в теодолитах малой точности (Т3О), а также иногда в нивелирах, снабженных горизонтальным кругом для отсчитывания по лимбу.

Шкаловый микроскоп. У шкалового микроскопа на сетке наносят шкалу, длина которой, при надлежащей юстировке, должна соответствовать расстоянию между изображениями соседних штрихов лимба. Оцифровка этой шкалы направлена навстречу оцифровке шкалы лимба.

Шкаловыми микроскопами, как правило, оснащают точные теодолиты со средней квадратической ошибкой измерения горизонтального угла m_β = 5"... 20". Поле зрения отсчетных микроскопов теодолитов 4Т5КП и 4Т3ОП показано на рис. 4.7, *а, б* соответственно.

а *б*

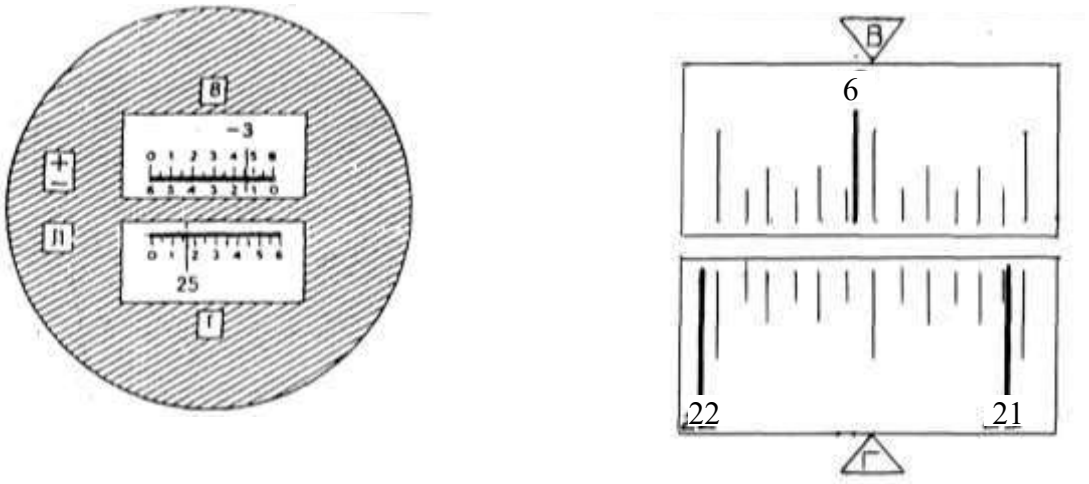


Рис. 4.7. Поле зрения микроскопа теодолитов:
а – 4Т5КП (отсчет по вертикальному кругу – 3°45'9";
отсчет по горизонтальному кругу – 25°17'1");
б – 4Т30П (отсчет по ВК – 6°26'00"; отсчет по ГК – 21°55'30")

Отсчетные микроскопы с оптическими микрометрами – наиболее точные отсчетные приспособления, широко применяемые в оптических приборах (теодолитах, нивелирах).

Схемы действия оптических микрометров отсчетных систем теодолитов и изображения поля зрения микроскопа представлены на рис. 4.8...4.11.

Основной частью оптических микрометров является оптическая система, содержащая, по меньшей мере, один подвижный отклоняющий элемент и снабженная шкалой для определения величины его перемещения. Подвижные детали оптического микрометра в поле зрения отсчетного микроскопа перемещают изображение участка (участков) шкалы лимбов. Поскольку шкалу микрометра наносят на

стекле, то ее изображение может быть воспроизведено в поле микроскопа рядом с изображением шкалы лимба.

В качестве подвижного отклоняющего элемента оптической системы отсчетного микроскопа могут служить:

плоскопараллельная пластинка, поворачивающаяся относительно некоторой неподвижной оси;

подвижный оптический клин, перемещающийся поступательно;

вращающийся оптический клин;

длиннофокусная линза, перемещающаяся перпендикулярно оптической оси.

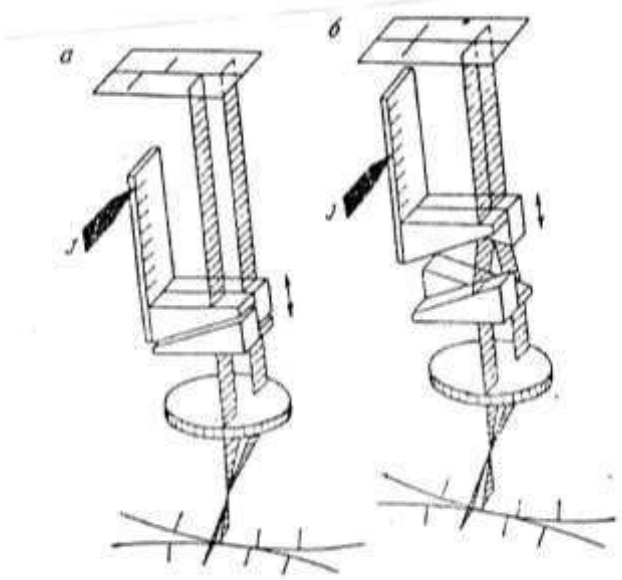


Рис. 4.8. Схема действия двухстороннего клинового оптического микрометра теодолитов 3Т2КП (Россия), Theo 010B (Германия), Wild T2 (Швейцария):
а – положение, соответствующее нулевому отсчету по шкале микрометра (изображения штрихов обеих шкал не совпадают);
б – положение, соответствующее рабочему отсчету по шкале микрометра (изображения штрихов обеих шкал лимба совмещены путем перемещения пары клиньев)

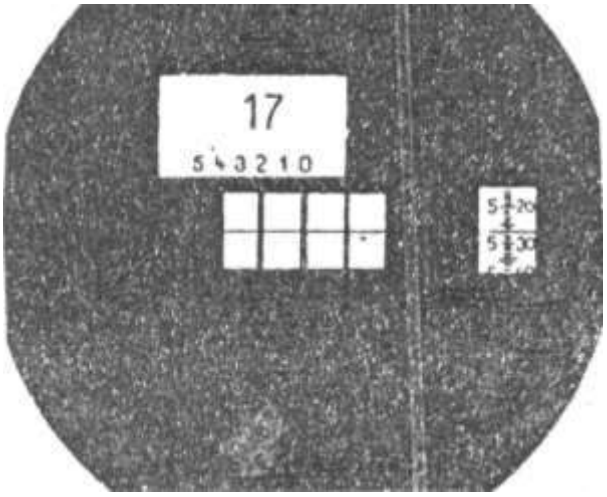


Рис. 4.9. Поле зрения отсчетного приспособления теодолита 3Т2КП. Отсчет по лимбу горизонтального круга равен 17°25'27"

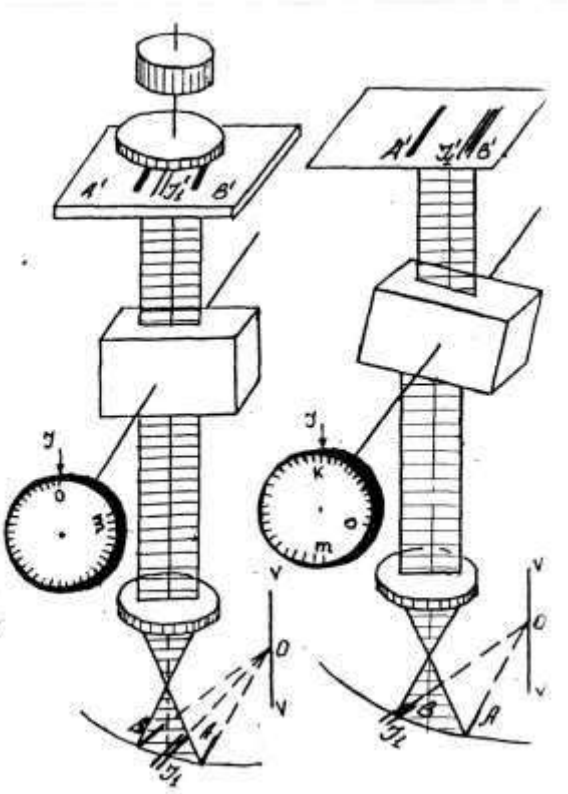


Рис. 4.10. Схема действия одностороннего оптического микрометра с плоскопараллельной пластинкой теодолитов ТТ-4 (Россия), Theo 015 B (Германия), Wild T1 (Швейцария)

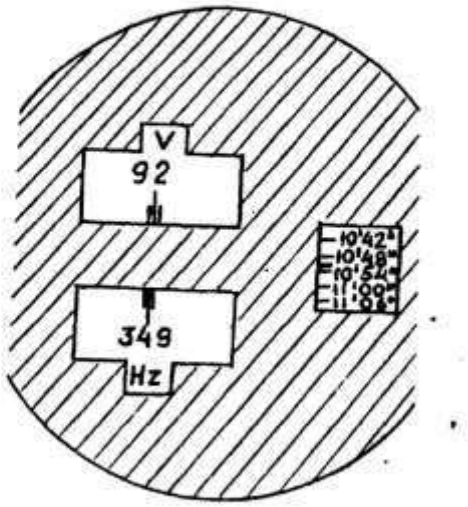


Рис. 4.11. Поле зрения одностороннего отсчетного приспособления теодолита Theo 015 B:
отсчет по ГК=349°10'52";
отсчет по ВК=92°10'52"

Если отсчетная система двухсторонняя (двухканальная), т. е. отсчеты берутся одновременно на двух диаметрально противоположных участках лимба, то применяют две пары подвижных **элементов**. В отсчетных микроскопах оптических теодолитов чаще всего используют микрометры с подвижным клином (клиньями) или плоскопараллельной пластинкой (пластинками).

При исследовании и юстировке отсчетных приспособлений определяют и устраняют "рен" (несоответствие длины шкалы отсчетного приспособления длине деления лимба), а также добиваются резкого изображения шкал в поле зрения отсчетного микроскопа.

Визирные зрительные трубы в маркшейдерско-геодезических приборах служат для рассматривания удаленных предметов и визирования на цели, а также для отсчитывания по шкалам реек.

Схема принципиального устройства оптической системы зрительной трубы представлена на рис. 4.12.

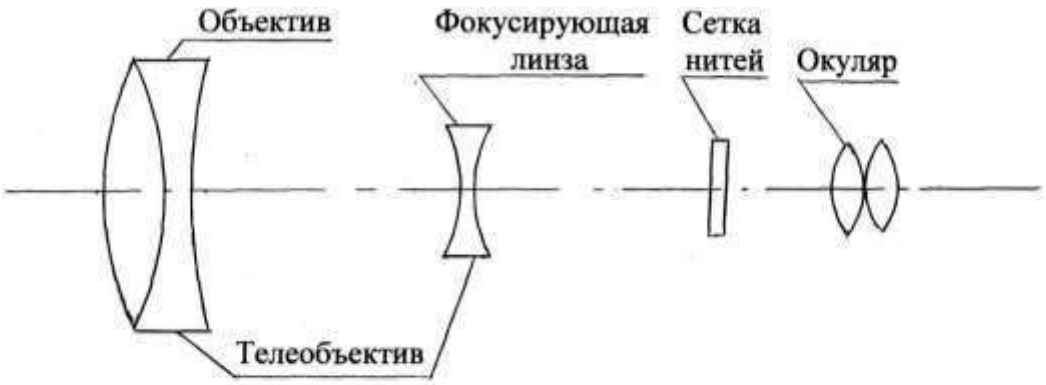


Рис. 4.12. Принципиальное устройство оптической системы зрительной трубы

Фокусировка трубы заключается в совмещении изображения наблюдаемого объекта, даваемого объективом, с плоскостью сетки нитей.

Сетка нитей – плоскопараллельная пластинка с нанесенным на ней перекрестием и другими штрихами.

В трубе с внутренней фокусировкой (см. рис. 4.12) сетка нитей закреплена на постоянном расстоянии от объектива в кольцевой оправе, играющей роль диафрагмы поля зрения трубы. Совмещение изображения предмета, даваемого объективом, с плоскостью сетки нитей достигается перемещением фокусирующей линзы, расположенной между объективом и сеткой нитей.

В современных трубах в качестве фокусирующей линзы, как правило, служит отрицательная линза.

Объектив трубы – многолинзовая оптическая система, дающая действительное обратное и уменьшенное изображение, которое рассматривается через окуляр.

Окуляр – многолинзовая положительная оптическая система, которая выполняет функцию лупы при рассматривании изображения, даваемого объективом.

Оправа объектива обычно является апертурной (световой) диафрагмой и *зрачком входа* трубы.

Изображение оправы объектива, видимое через окуляр, называется *зрачком выхода*.

К основным оптическим характеристикам трубы относятся: увеличение (*V)*, угол поля зрения α, разрешающая способность (ψ) при установке трубы на бесконечность, коэффициент нитяного дальномера (при наличии дальномерных штрихов на сетке нитей).

Увеличение зрительной трубы показывает, во сколько раз увеличиваются видимые размеры предмета, рассматриваемого в трубу, по сравнению с размерами того же предмета, видимого невооруженным глазом.

Наиболее удобно определять увеличение зрительных труб из соотношения диаметров входного $D_{вх}$ и $D_{вых}$ выходного зрачков:

$$V = \frac{D_{вх}}{D_{вых}}. \qquad (4.5)$$

В геодезических приборах технической точности применяют зрительные трубы с увеличением порядка 15... 20^x. В приборах точных и высокоточных увеличение зрительных труб составляет 25…60^x

Полем зрения зрительной трубы называется ограниченное конической поверхностью пространство, обозреваемое через трубу, установленную на «бесконечность».

Крайние лучи конической поверхности, вершина которой находится в центре объектива (входного зрачка), а основание ограничено оправой сетки нитей, образуют *угол поля зрения*. Угол действительного поля зрения маркшейдерско-геодезических приборов составляет 1...2°.

Понятие *разрешающей способности* труб описано в разделе 4.1 настоящего пособия, посвященном недостаткам оптических систем.

Величину *коэффициента дальномера k* конструкторы стремятся сделать равной какому-либо круглому числу, обычно 100; при этом длину зрительной трубы и расстояние между ее линзами подбирают с таким расчетом, чтобы эквивалентное фокусное расстояние f'_∞ трубы с внутренним фокусированием в точности равнялось *kp*, где *p* – расстояние между дальномерными штрихами сетки нитей. Точность заводской установки коэффициента дальномера, как правило, составляет от 0,5 до 1 %.

Конструкции различных типов зрительных труб современных маркшейдерско-геодезических приборов представлены на рис. 4.13 ... 4.16.

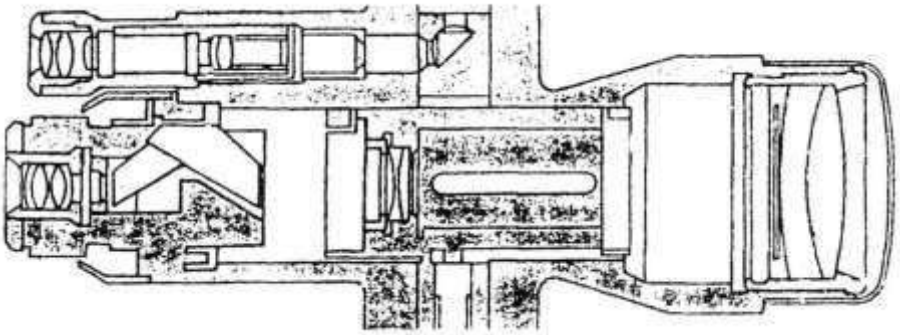


Рис. 4.13. Труба теодолита 4Т30П

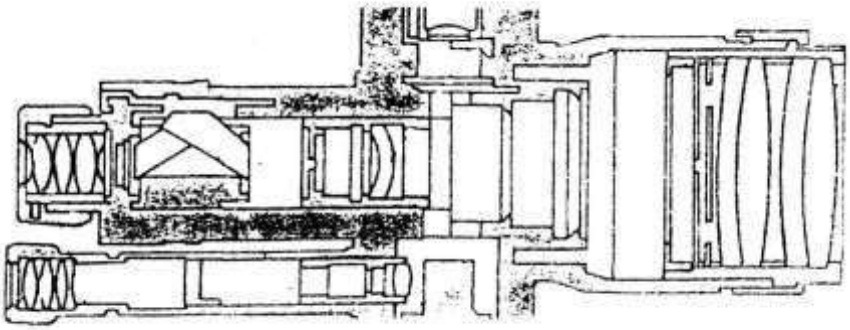


Рис 4.14. Труба теодолита 3Т5КП

а *б*

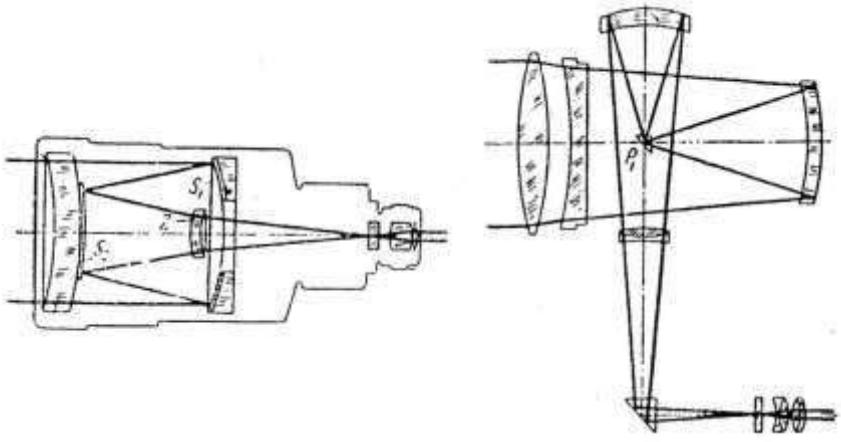


Рис. 4.15. Зеркально-линзовые зрительные трубы:
а – теодолит Theo-010 (Германия); *б* – теодолит DKM (Швейцария)

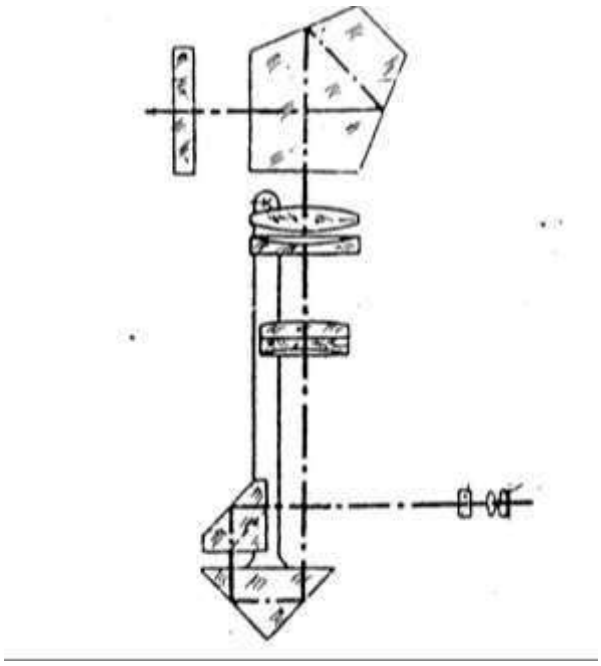


Рис. 4.16. Ломаная зрительная труба нивелира Ni-007

В процессе исследования трубы определяют описанные выше параметры и качество изображения, а также погрешность хода фокусирующей линзы.

Помимо отсчетного приспособления и зрительной трубы все современные теодолиты и тахеометры с точностью измерения горизонтального угла более 30" оснащены еще одной оптической системой – оптическим отвесом.

Оптический отвес – это ломаная зрительная труба с небольшим увеличением (3...5^{x}), встроенная в нижнюю часть теодолита (тахеометра). Визирная ось оптического отвеса должна совпадать с вертикальной осью вращения теодолита.

5. ОСИ ВРАЩЕНИЯ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

5.1. Вертикальные осевые системы теодолитов и электронных тахеометров

При рассмотрении конструкций осей вращения маркшейдерско-геодезических приборов любой теодолит условно можно разделить на четыре части: верхнюю (с алидадой), среднюю (с лимбом), нижнюю и трегер. Упомянутые части связаны между собой посред-

ством системы вертикальных осей таким образом, что верхняя и средняя части могут поворачиваться раздельно либо вместе. Раздельный либо совместный поворот лимбовой и алидадной частей теодолита вокруг вертикальной оси (главной оси теодолита) обеспечивается с помощью микрометренных (наводящих) и зажимных (закрепительных) винтов. Микрометренные винты через рычажные механизмы позволяют медленно вращать лимб и алидаду в пределах 2...3°.

Теодолиты, имеющие два микрометренных и два зажимных винта на вертикальной осевой системе, называются *повторительными*. Лимбовый закрепительный винт может быть заменен защелкой, скрепляющей лимб и верхнюю часть теодолита (алидаду), в этом случае также возможно измерение углов способом повторения.

Наряду с повторительными теодолитами, пригодными для измерения углов способами повторений и приемов, выпускаются приборы с *поворотным лимбом*, оснащенные винтом, предназначенным для вращения лимба. Для таких приборов совместное вращение лимба и алидады невозможно, т. е. для измерения углов может быть использован только более производительный «*способ приемов*», но при этом есть возможность в разных приемах использовать различные участки лимба.

Для обеспечения стабильности системы при необходимой легкости хода оси изготовляются достаточно длинными (их длина обычно в 3-4 раза больше диаметра) и должны вставляться во втулки не плотно, а с небольшим зазором, порядка 0,5 мкм. Оси делают цилиндрическими, с кольцевыми выступами, воспринимающими осевую нагрузку.

Несколько десятков лет тому назад пользовались преимущественно *коническими осями*. Коническая форма позволяла легко осуществлять точную подгонку оси к втулке и получать осевые системы высокого качества (с малыми люфтами), несмотря на низкий технический уровень приборостроения того времени.

Изготовление цилиндрических осей стало возможно только тогда, когда была получена высокосортная сталь, обладающая большой поверхностной твердостью, и разработаны техника и технология ее обработки.

При цилиндрических осях вся нагрузка от массы верхней части теодолита воспринимается, как правило, через шарикоподшипник торцевой частью заплечника оси (рис. 5.1, *б*) или ее концом (рис. 5.1, *б*).

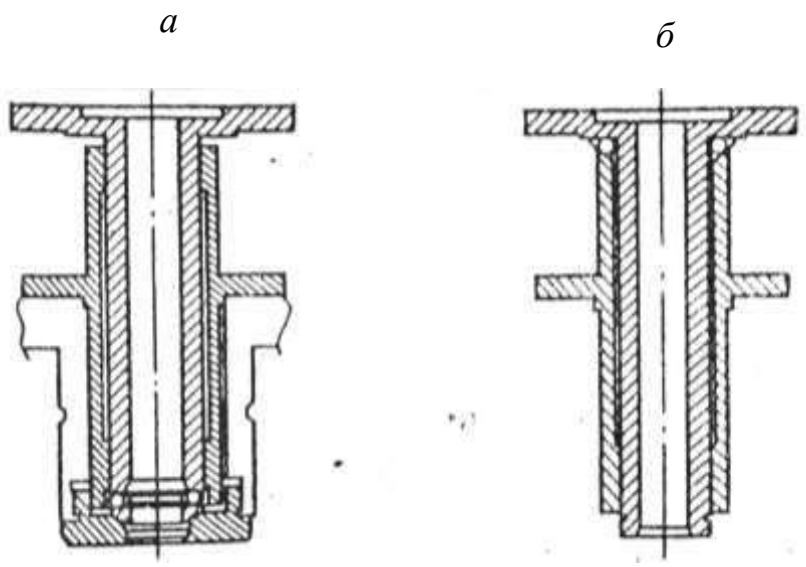


Рис. 5.1. Принципиальные схемы осей теодолитов:
2Т5КП (*а*), Theo 010B, 015B, 4Т5КП (*б*)

Наиболее распространенной в настоящее время является конструкция системы вертикальных осей, приведенная на рис. 5.1, *б*.

Для теодолитов технической точности (m_β > 20") применяют упрощенную конструкцию вертикальных осей (рис. 5.2).

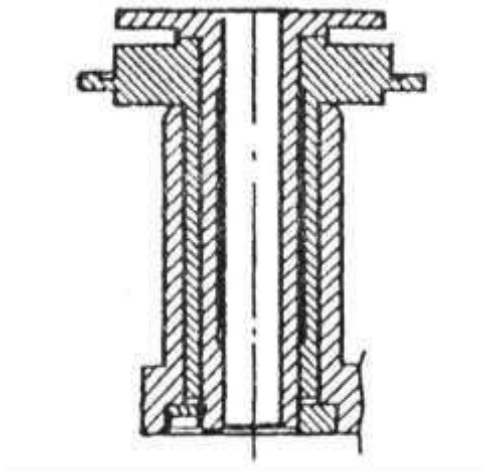


Рис. 5.2. Конструкция осей теодолитов технической точности (4Т3ОП)

Поскольку масса алидадной части теодолита технической точности сравнительно мала, то в качестве опоры могут быть использованы плоскости торцов осей и втулок.

5.2. Ось вращения визирной зрительной трубы

Основное требование, предъявляемое к оси вращения трубы, – неизменность, стабильность ее положения при вращении как по ходу, так и против хода часовой стрелки.

Достаточная стабильность оси вращения обеспечивается в основном конструкцией лагер (втулок). Например, в нижней части лагер делают выборки глубиной 0,1-0,15 мм (рис. 5.3), ограниченные центральным углом 90°.

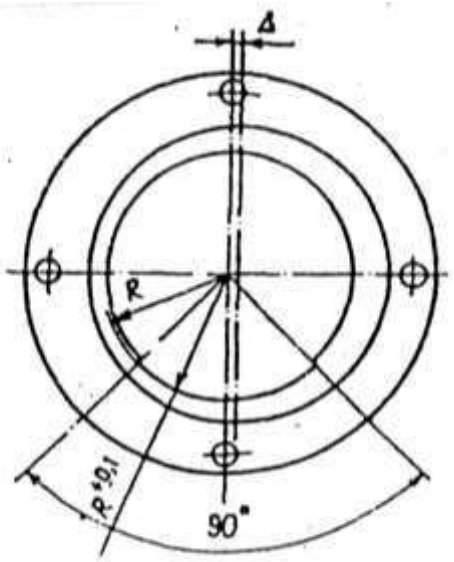


Рис. 5.3. Конструкция лагеры вращения трубы теодолита (4Т5КП)

В этом случае цапфа горизонтальной оси лежит устойчиво на двух точках касания, а не на одной, если бы этой выборки не было.

Ось посадочного отверстия лагеры делают смещенной относительно наружного диаметра (Δ), что дает возможность изменять наклон горизонтальной оси и устанавливать ее перпендикулярно к вертикальной оси прибора путем поворота лагеры.

Если для изготовления оси применена бронза, то с целью устранения возможности заклинивания при малых зазорах одну из деталей (чаще цапфу) изготавливают из твердой бронзы, а вторую (лагеру) – из отпущенной менее твердой.

Если детали горизонтальной осевой системы изготовлены из легких сплавов (2Т30П, 4Т30П), то их трущиеся поверхности (или хотя бы одна из поверхностей) покрываются твердой оксидной пленкой.

Конструкции осевых систем нивелиров сравнительно просты. Они, как правило, не являются причиной погрешностей определения превышений и поэтому в данном учебном пособии не рассматриваются.

6. УРОВНИ И САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ КОМПЕНСАТОРЫ

Уровни предназначены для установки вертикальных (горизонтальных) осей приборов относительно отвесной линии.

Основными конструктивными частями уровней являются ампулы с легкоподвижной жидкостью и оправа.

Все маркшейдерско-геодезические приборы оснащаются, как правило, двумя типами уровней – *круглым* (установочным) и *цилиндрическим* (точным).

Круглый уровень состоит из заключенного в оправу стеклянного сосуда, верхняя часть которого отшлифована по сферической поверхности (рис. 6.1).

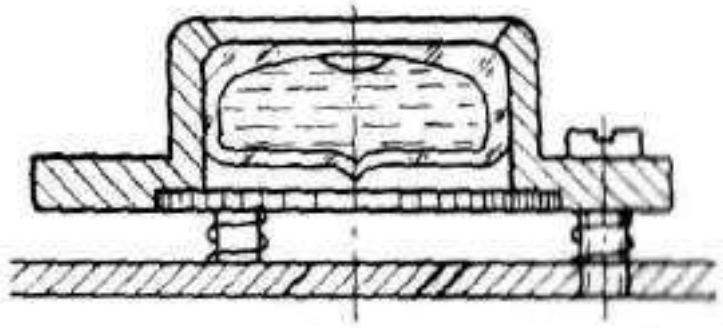


Рис. 6.1. Круглый уровень

Для установки пузырька уровня на верхней внешней поверхности ампулы наносят одну или несколько (с интервалом 2 мм) концентрических окружностей.

Юстировка круглого уровня выполняется с помощью специальных винтов и заключается в установлении нормали, пересекающей сферическую поверхность ампулы в центре концентрических окружностей, в отвесное положение, а пузырек уровня в этом случае при вращении прибора вокруг вертикальной оси будет всегда находиться в центре окружностей (нуль-пункте). Цена деления круглых уровней составляет 5' – 7'.

Цилиндрический уровень состоит из стеклянной трубки, внутренняя поверхность которой отшлифована в виде бочкообразного тела вращения, установленной в металлическом корпусе. Ампулы цилиндрических уровней изготавливаются из твердого молибденито-

вого стекла и заполняются, как правило, этиловым спиртом, испаряющимся при температуре выше 50 °С.

Для того чтобы можно было наблюдать за перемещением пузырька и определять его положение, на наружную поверхность трубки с интервалом 2 мм наносят деления.

Касательная к внутренней поверхности трубки уровня, проведенная через среднюю точку шкалы в направлении его длины, называется *осью цилиндрического уровня*. Если середина пузырька уровня совпадает с серединой шкалы, это означает, что ось уровня горизонтальна.

Конструктивно цилиндрические ампулы делят на простые АЦП (рис. 6.2, *а*), камерные АЦР (рис. 6.2, *в*) и компенсированные АЦК (рис. 6.2, *б*).

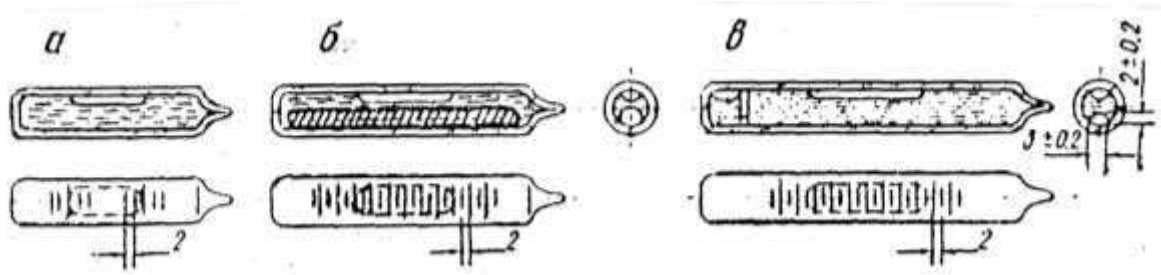


Рис. 6.2. Ампулы уровней

Изменение длины пузырька, связанное с температурным расширением жидкости, приводит к заметному изменению чувствительности уровня. В этой связи для ампул точных уровней (20" и менее) предпринимаются меры по стабилизации длины пузырька путем уменьшения количества жидкости в ампуле компенсированного уровня (внутрь ампулы помещается стеклянный стержень) либо перемещением излишней части пузырька за перегородку в камерном уровне (в настоящее время не применяется).

В маркшейдерско-геодезических приборах уровни устанавливаются различным образом и служат для различных целей:

– уровни для установки вертикальной оси прибора в отвесное положение (горизонтирование прибора), укрепляемые в корпусе прибора параллельно оси вращения трубы (4Т5КП, 3Т2КП) электронные тахеометры или перпендикулярно к ней (4Т30П);

– уровни вертикального круга для контроля положения индекса вертикального круга относительно отвесного направления (2Т5, 2Т2);

– уровни при зрительной трубе, жестко связанные с нею; они служат для приведения визирной оси в горизонтальное положение, а также для нивелирования при помощи теодолита (4Т30П);

– нивелирные контактные уровни, укрепляемые на зрительной трубе параллельно ее визирной оси, предназначены для приведения этой оси в горизонтальное положение (нивелир 3Н5Л).

Для нивелиров и вертикальных кругов теодолитов используют так называемые «*контактные уровни*», в которых приведение пузырька на середину производится путем совмещения изображений его концов в специальном оптическом устройстве. Точность установки таких уровней примерно вчетверо выше, чем у уровней обычного типа, а при условии применения оптических устройств, увеличивающих изображения пузырька, она может быть еще повышена в 2-3 раза.

Погрешности шлифовки внутренней поверхности уровня выявляются при определении фактической цены деления правой и левой частей шкалы уровня и при исследовании его чувствительности. Практически отклонения цены деления уровней от их паспортного значения встречаются редко, но возможны. В связи с этим для точных цилиндрических уровней с ценой деления 20" и менее следует рекомендовать исследование их качества.

В современных точных и высокоточных теодолитах уровень при вертикальном круге заменен самоустанавливающимся маятниковым компенсатором. Погрешность компенсации составляет 1-2".

Особенно эффективным явилось использование компенсаторов наклона визирной оси в нивелирах. Зарубежные и отечественные оптико-механические заводы уж более сорока лет выпускают нивелиры различной точности с самоустанавливающейся осью визирования.

Для оптических компенсаторов маркшейдерско-геодезических приборов характерно конструктивное разнообразие, прецизионность монтажа, которая не позволяет выполнять их регулировку и тем более ремонт маркшейдеру, не имеющему специальной подготовки. Маркшейдеру, эксплуатирующему теодолит или нивелир, надлежит контролировать работоспособность компенсатора и симметричность диапазона его работы относительно положения при отвесной установке вертикальной оси прибора.

7. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ

Даже при самом тщательном измерении углов результаты всегда содержат погрешности, причинами которых могут быть несовершенство инструмента (инструментальные погрешности), недостатки зрения наблюдателя (личные погрешности наблюдателя) или неблагоприятное состояние атмосферы (физическое состояние воздуха) в пространстве между инструментом и точкой визирования.

Причина инструментальных погрешностей может заключаться в том, что при изготовлении прибора не были строго соблюдены те или иные параметры конструкции, также упомянутые параметры могут изменяться в процессе эксплуатации прибора. Погрешности, обусловленные неправильным взаимным расположением геометрических элементов прибора (в частности, погрешности от неправильного расположения осей и погрешности от влияния эксцентриситетов в осевых системах), а также погрешности, вызванные неточностью нанесения делений на шкалах лимбов и отсчетных приспособлений, неправильным увеличением этих шкал в поле зрения отсчетного микроскопа, могут быть исключены или юстировкой прибора, или соответствующей методикой выполнения измерений.

Погрешности, обусловленные личными ошибками наблюдателя, возникают при наведении зрительной трубы на цель (визировании) и при взятии отсчетов по лимбам (отсчитывании).

Труднее всего учесть влияние погрешностей, вызванных физическим состоянием атмосферы (прежде всего ошибок за счет рефракции и неравномерной освещенности визирной цели). Поэтому при выполнении высокоточных работ следует выбирать благоприятные погодные условия. Таким образом, при достаточной квалификации наблюдателя, работающего с прибором на земной поверхности или в подземной горной выработке, в условиях отчетливой видимости визирных целей, основной причиной неточности измерений являются инструментальные погрешности.

Как было отмечено выше, влияние некоторых инструментальных погрешностей на результаты угловых измерений может быть исключено либо уменьшено при использовании специальных методик измерения. Большинство инструментальных погрешностей не влияют на точность результатов при измерении углов *полным приемом*.

Для электронных тахеометров данное утверждение справедливо не в полной мере. Измерения углов на каждой точке стояния электронного тахеометра следует начинать с фиксации «места зенита» (*MZ*) и «коллимации» (*C*) в памяти прибора для начального направления (измерения проводятся полным приемом). В последующие направления, которые, как правило рекомендуется измерять при одном положении вертикального круга (основное табло обращено к измерителю), зафиксированные значения *MZ* и *C* вводятся автоматически. В этом случае влияние ряда инструментальных погрешностей, которые рассмотрены в следующем разделе, будет ухудшать паспортную точность прибора, так как *MZ* и *C* для различных точек визирования могут отличаться от их значений, зафиксированных в памяти тахеометра для начального направления.

Влияние прочих погрешностей может быть уменьшено многократным отсчитыванием по лимбам (реализовано для всех типов электронных тахеометров) либо введением соответствующих поправок в результаты угловых измерений.

7.1. Инструментальные погрешности, исключаемые из результатов при измерении углов полным приемом

Данную группу инструментальных погрешностей объединяет то, что их величина может быть определена наличием и характером изменчивости *коллимации*.

Коллимационная погрешность – это погрешность от неперпендикулярности визирной оси (*ZZ*) к оси вращения трубы (*HH*) (рис. 7.1).

Коллимационная погрешность вычисляется по формуле (7.1) из отсчетов по горизонтальному лимбу теодолита (тахеометра) при вертикальном круге справа (КП) и слева (КЛ). *Наведение производится на одну и ту же визирную цель, находящуюся на горизонте теодолита*:

$$C = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2}. \qquad (7.1)$$

Устранение коллимационной погрешности для большинства приборов производится смещением сетки нитей в горизонтальном направлении, т. е. путем разворота визирной оси относительно оси вращения трубы. Значительное изменение положения визирной оси

относительно заводской установки может вызвать ее нестабильность при перефокусировке, поэтому иногда теодолиты оснащаются фиксированной сеткой нитей (2Т5К), в последних модификациях теодолитов (4Т5КП, 3Т2КП) операция разворота визирной оси может быть выполнена как смещением сетки нитей, так и поворотом клинового кольца, расположенного между объективом и осью вращения трубы.

Рассмотрим влияние коллимационной погрешности на точность угловых измерений.

Обозначим через ε проекцию коллимационной погрешности *C* на плоскость лимба – отсчеты по лимбу будут в двух разных местах: m_1 (КЛ) и m_2 (КП) (рис. 7.2).

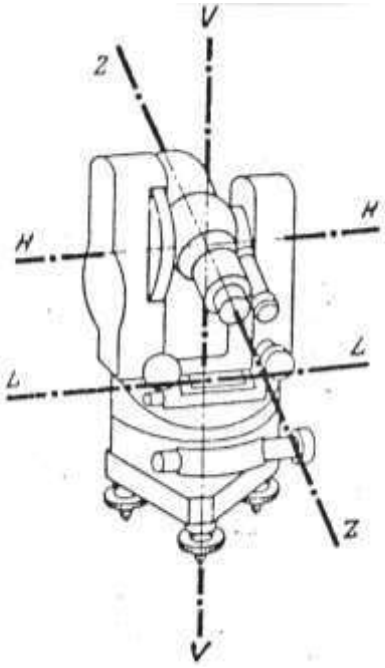


Рис. 7.1. Схема осей угломерного прибора:
VV – вертикальная ось;
LL – ось цилиндрического уровня;
HH – ось вращения трубы;
ZZ – визирная ось трубы

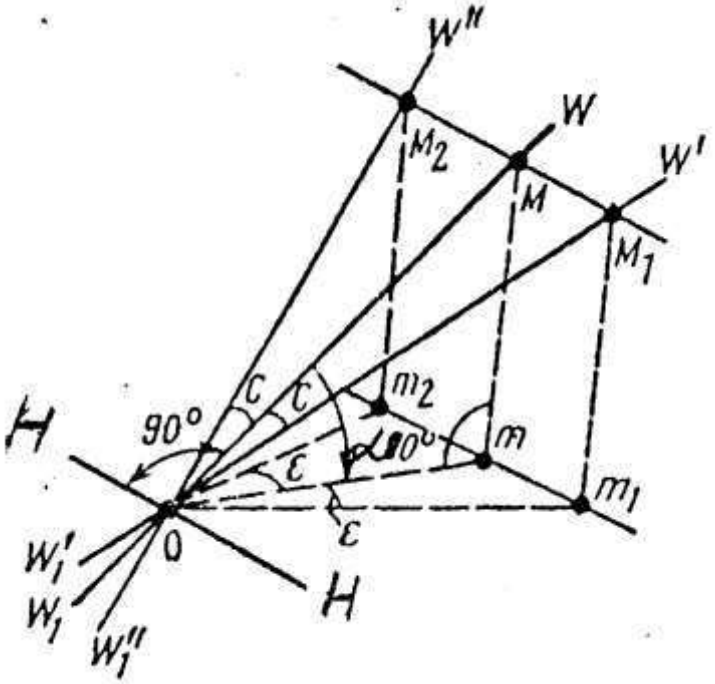


Рис. 7.2. Влияние коллимационной погрешности на отсчет по лимбу

Из треугольников OMM_1 и Omm_1:

$$\operatorname{tg}C = \frac{MM_2}{OM};\ \operatorname{tg}\varepsilon = \frac{mm_2}{Om}. \tag{7.2}$$

По построению $MM_2 = mm_2$, тогда

$$\frac{\operatorname{tg}C}{\operatorname{tg}\varepsilon} = \frac{Om}{OM} \approx \frac{C}{\varepsilon}, \tag{7.3}$$

где ε – погрешность в отсчете по лимбу за счет коллимации.

Из треугольника OMm:

$$\cos\alpha = \frac{Om}{OM},$$

где α – угол наклона визирной оси.

Следовательно,

$$\varepsilon = \frac{C}{\cos\alpha}. \tag{7.4}$$

Ошибка в угле, измеренном при одном положении круга:

$$\Delta C = C\left(\frac{1}{\cos\alpha_1} - \frac{1}{\cos\alpha_2}\right). \tag{7.5}$$

Таким образом, при $\alpha_1 \approx \alpha_2$, когда точки визирования находятся приблизительно под одним углом к горизонту, $\Delta C \approx 0$.

Если $\alpha_1 \neq \alpha_2$, то значение C, полученное при другом круге, будет иметь противоположный знак, поэтому среднее значение угла, измеренного при двух кругах, будет свободно от влияния коллимационной погрешности, пока C будет постоянной. Положение визирной оси, а следовательно, и коллимация могут изменяться при перефокусировке трубы, поэтому при измерении углов стремятся обеспечить равенство сторон, чтобы сохранить C = const.

Погрешность хода фокусирующей линзы возникает в связи с колебаниями фокусирующей линзы при ее перемещении по направляющим в зрительных трубах и обусловливает изменение направления визирной оси, особенно при визировании внутри нескольких первых десятков метров, когда фокусирующая линза перемещается на значительную величину. Поэтому погрешность хода фокусирующей линзы оценивают по изменению значения коллимационной погрешности C и места зенита Z (места нуля $M0$) при перефокусировке трубы. Изменения значений определяют по следующим формулам:

$$\Delta C_i = C_i - C_\infty;\ \ \Delta MZ = MZ_i - MZ_\infty,$$

где индексы при *C* и *MZ* относятся к конечному расстоянию (*i*) до визирной цели и к "бесконечности" (более 100 м).

Для определения *C* и *MZ* используют расстояния, указанные ниже:

Типы теодолитов…	Т2, Т5	Т15, Т30
Расстояние, м	…5; 10; ∞;	1,5; 5; 10; ∞.

Погрешность хода фокусирующей линзы не оказывает влияния на результаты угловых измерений, если наведения выполнялись при двух положениях вертикального круга КЛ и КП, т. е. при выполнении полного приема.

Погрешность от наклона оси вращения зрительной трубы (*HH*) возникает вследствие ее неперпендикулярности к вертикальной оси вращения теодолита (*VV*) (неравенство подставок) и погрешности установки последней в отвесное положение (негоризонтальность оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга).

Если ось вращения трубы (*HH*) не перпендикулярна к вертикальной оси теодолита (неравенство подставок), то при отвесном положении последней коллимационная плоскость будет наклонена, и в отсчете по лимбу при визировании на точку *M* появится погрешность ε_1 (рис. 7.3).

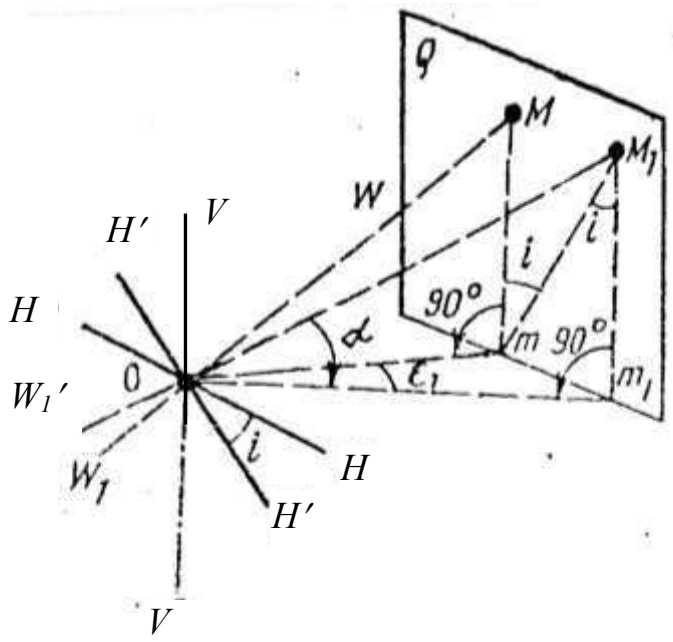


Рис. 7.3. Влияние наклона оси вращения трубы на отсчет по лимбу

На рис. 7.3 *HH* и *H′H′* – горизонтальное и наклонное положения оси вращения трубы соответственно.

При горизонтальном положении оси *HH* и угле наклона α визирная ось будет направлена на точку *M*, а точка *m* является ее горизонтальной проекцией на плоскость лимба. При наклонном положении *H'H'* труба будет наведена на точку M_1, горизонтальной проекцией которой будет точка m_1.

Из прямоугольных треугольников Omm_1 и M_1mm_1 найдем:

$$\sin \varepsilon_1 = mm_1 / Om.$$

$\mathrm{tg}i = mm_1/M_1m$, откуда $\sin\varepsilon_1 / \mathrm{tg}\, i = M_1m_1 / Om_1$.

Из треугольника OM_1m_1 $\mathrm{tg}\alpha = M_1m_1 / Om_1$. Так как ε_1 и i малы, можно записать:

$$\varepsilon_1 = i\, \mathrm{tg}\alpha. \qquad (7.6)$$

Погрешность в измерении угла Δi

$$\Delta i = i\,(\mathrm{tg}\alpha_1 - \mathrm{tg}\alpha_2). \qquad (7.7)$$

Если $\alpha_1 = \alpha_2$, то $\Delta i = 0$; при $\alpha_1 = -\alpha_2$ $\Delta i = 2i\,\mathrm{tg}\alpha$.

Если ось вращения теодолита *VV* отвесна, то среднее значение угла, полученного из двух полуприемов, будет свободно от этой погрешности.

Наличие наклона оси вращения трубы (неравенство подставок) определяется после устранения коллимационной погрешности проектированием высокорасположенной точки на шкалу линейки в горизонтальной плоскости при двух положениях круга. Разность отсчетов по линейке свидетельствует о наличии неравенства подставок. Ликвидация неравенства подставок производится только в условиях специализированной мастерской.

Конструкция и технология сборки современных теодолитов и тахеометров, как правило, гарантируют достаточно высокую точность и стабильность взаимного расположения оси вращения трубы и вертикальной оси прибора во время эксплуатации.

Эксцентриситет алидады – это несовпадение оси вращения алидады (*VV*) с точкой пересечения продолженных штрихов лимба.

Для определения эксцентриситета алидады теодолитов с односторонним отсчетом анализируют изменение коллимации при визировании на точки, расположенные через 30° по окружности вокруг теодолита, и на равных от него расстояниях 30-50 м (лимб неподвижен). При отсутствии эксцентриситета коллимация будет постоянной, а при его наличии график изменения величины коллимации будет иметь вид синусоиды.

В случае пользования теодолитами с односторонней отсчетной системой влияние эксцентриситета алидады можно исключить, вы-

числив среднее из отсчетов, взятых при двух положениях вертикального круга.

Двухсторонние оптические микрометры значительно снижают влияние эксцентриситета, т. е. каждый отсчет является средним из двух диаметрально противоположных отсчетов на лимбе.

Рассмотренные выше инструментальные погрешности теодолитов являются причиной определенных значений коллимации, которые могут носить переменный характер.

Величины отклонений значений коллимации и «места зенита», полученные при измерении углов, от их максимальных значений, определенных при исследовании инструментальных погрешностей теодолита, для качественных результатов измерения углов не должны превышать двойную точность (СКП измерения углов) прибора.

7.2. Погрешность от наклона оси вращения трубы (из-за невертикальности прибора)

Погрешность от наклона оси вращения трубы за счет невертикальности главной оси прибора (*VV*) – это погрешность, обусловленная неправильной установкой прибора по уровню при алидаде горизонтального круга.

При производстве угловых измерений на карьерах и в подземных горных выработках наклон линий визирования часто бывает значительным (5° и более). Именно в таких условиях погрешность в отсчетах по горизонтальному кругу за счет неотвесного положения оси *VV* теодолита (см. рис. 7.1) становится существенной, поскольку ее величина рассчитывается по формуле, аналогичной выражению (7.8):

$$\varepsilon_2 = i' \operatorname{tg}\alpha, \qquad (7.8)$$

где ε_2 – поправка в отсчет по горизонтальному кругу за счет невертикальности прибора (с); i' – негоризонтальность оси цилиндрического уровня (с); α – угол наклона линии визирования.

Влияние наклона вертикальной оси прибора на точность угловых измерений, в отличие от рассмотренных выше инструментальных погрешностей, не может быть исключено наблюдением при двух положениях трубы, так как этот наклон при неизменном положении трегера (подставки) и визировании на любые точки остается неизменным.

7.3. Погрешность измерения углов за счет эксцентриситета лимба

Эксцентриситет лимба – это результат несовпадения центра вращения лимба с точкой пересечения продолженных штрихов лимба.

Уменьшение влияния эксцентриситета лимба достигается одновременным взятием диаметрально противоположных отсчетов по лимбу (двустороннее отсчетное приспособление) или работой на разных участках лимба в разных приемах (перестановка лимба для односторонних и двусторонних отсчетных приспособлений).

При исследовании эксцентриситета горизонтального круга положение алидады остается неизменным, а круг (лимб) переставляется через 30° или 45°. Наведения выполняются на две марки, расположенные по обе стороны от теодолита (через 180°) при одном положении вертикального круга.

Используя полученные измерения значений угла, составляют разности для каждой установки круга:

$$v_1 = \varphi_i - 180°, \qquad (7.9)$$

где φ_i – величина измеренного угла.

Изменение разностей v_1, в зависимости от установки лимба, свидетельствует о наличии эксцентриситета горизонтального круга.

Все теодолиты имеют большую или меньшую погрешность центрирования вертикальной осевой системы. Поэтому отсчитанные по лимбу значения искажены влиянием практически всех элементов эксцентриситета, включая влияние качки вертикальной оси, из-за которой алидада может смещаться относительно центра деления лимба. В то же время в современных теодолитах эксцентриситеты, как правило, имеют незначительную величину.

7.4. Рен отсчетных приспособлений теодолитов

Несоответствие длины деления лимба длине шкалы микроскопа или микроскопа-микрометра называется *реном отсчетной системы*, величина которого зависит от увеличения микроскопа и эксцентриситетов алидады и круга. При исследовании рена производится сопоставление шкалы отсчетного приспособления с делениями лимбов, расположенными через 30°. Постоянная величина рена свидетельствует о недостаточном или избыточном увеличении микроскопа, которое может быть отрегулировано в специализированной мастер-

ской. Изменяющийся рен – следствие эксцентриситета, превышающего допустимую величину (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Некоторые нормативные метрологические характеристики теодолитов

Характеристика	Тип теодолита			
	Т2	Т5	Т15	Т30
Коллимационная погрешность, с	5	15	30	60
Погрешность хода фокусирующей линзы, с	2	3	6	20
Место зенита (место нуля) вертикального круга, с	10	15	60	120
Угловой эксцент алидады, с	30	30	30	30

Из вышеизложенного следует, что устранение рена отсчетной системы – достаточно сложная операция, не выполнимая в полевых условиях. Однако, если обстоятельства вынуждают использовать прибор, имеющий рены, то следует вводить поправки в отсчеты или иметь в виду, что точность измерения углов снизится приблизительно на величину рена.

На этом завершим рассмотрение основных инструментальных погрешностей теодолитов.

За пределами данного обзора осталась большая группа возможных неисправностей теодолитов, которые также ухудшают точность измерения углов либо делают прибор полностью непригодным к измерениям, например, разрушение или смещение деталей оптических систем, неисправности микрометренно-зажимных механизмов и т. д. Влияние такого рода неисправностей на точность измерения углов не может быть устранено методикой измерений, т. е. необходим ремонт прибора.

7.5. Инструментальные погрешности нивелиров

Гарантией безошибочного определения превышения между двумя точками с помощью оптико-механических нивелиров (в пределах паспортной точности) является горизонтальность визирной оси трубы и постоянство высоты прибора во время отсчитывания по рейкам.

Горизонтальность визирной оси обеспечивается при выполнении следующих технических требований, предъявляемых к нивелирам:

угол *i* нивелира (проекция на отвесную плоскость угла между визирной осью зрительной трубы и горизонтальной линией) должен быть не более 10" при температуре 20° +2 °С;

при изменении температуры на 1°С изменение угла *i* нивелира должно быть не более 0",5 – для высокоточных, 0",8 – для точных и 1" – для технических нивелиров;

у нивелиров с компенсаторами характеристики компенсатора должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

Исправление (юстировка) угла *i* выполняют путем изменения угла наклона ампулы уровня либо перемещением сетки нитей по вертикали (для нивелиров с компенсатором). Следует также помнить, что при соблюдении условия равенства расстояний от нивелира до реек (равноплечие) негоризонтальность визирной оси не влияет на точность определения превышения. Поэтому при выполнении высокоточного нивелирования (I, II, III классы) регламентируется строгое соблюдение условия равноплечия.

Таблица 7.2

Нормативные характеристики компенсаторов нивелиров (для приборов производства России)

Характеристика	Группа нивелиров		
	высокоточные	точные	технические
Диапазон работы компенсатора, не менее	± 8′	± 15′	± 30′
Систематическая погрешность работы компенсатора на 1′ наклона оси нивелира (погрешность недокомпенсации), не более	+ 0″,05	+ 0″,3	+ 0″,5
Время затухания колебаний подвесной системы, с, не более	2	2	2

Исправление (юстировка) угла *i* выполняют путем изменения угла наклона ампулы уровня либо перемещением сетки нитей по вертикали (для нивелиров с компенсатором). Следует также помнить, что при соблюдении условия равенства расстояний от нивелира до реек (равноплечие) негоризонтальность визирной оси не влияет на точность определения превышения. Поэтому при выполнении высокоточного нивелирования (I, II, III классы) регламентируется строгое соблюдение условия равноплечия.

Основные характеристики наиболее распространенных на маркшейдерских работах оптико-механических приборов приведены в табл. 7.3 – 7.4.

Таблица 7.3

Основные технические характеристики теодолитов

Тип прибора	Фирма-изготовитель	Увеличение трубы, крат	СКП гориз. углы / верт. углы	Тип отсчетного приспособления, (ОП)	Цена деления шкалы, ОП	Цена деления уровня при алидаде, с	Масса без футляра, кг
4Т30П	УОМЗ, Россия	20	20/30	Шкаловый микроскоп	5′	45	2,2
4Т15П	То же	20	15/30	Оптический микрометр	10″	45	2,4
3Т5КП	– // –	30	5/5	Шкаловый микроскоп	1′	30	4,3
3Т2КП	– // –	30	2/2,4	Оптический микрометр (двухстор.)	1″	15	4,7
Theo 080	Карл Цейс, Германия	18	20/25	Штриховой микроскоп	5′	45″	2
Theo 020B	То же	30	3/3	Шкаловый микроскоп	1′	30″	4,5
Theo 015B	– // –	30	2,5/2,5	Оптический микрометр (одностор.)	6″	30″	4,8
Theo 010B	– // –	30	1/1	Оптический микрометр (двухстор.)	1″	15″	4,8
TM 20H	Sokkia, Япония	–	20/25	Шкаловый микроскоп	5′	–	3
TM6	То же	–	6/6	Оптический микрометр (одностор.)	–	–	4,6
TM1A	– // –	–	1/1	Оптический микрометр (двухстор.)	1″	–	5,0
Ada Prof X2/X6	Китай	30	2/6	Оптический микрометр (двухсторон)	1″	30″	4,3
Ada Prof X15	Китай	28	15/15	Шкаловый микрометр	1′	30″	3

Таблица 7.4

Основные технические характеристики нивелиров

Тип нивелира	Фирма-изготовитель	Увеличение трубы, крат	СКП на 1 км двойного хода, мм	Диапазон, чувствительность компенсатора, мин, с	Масса нивелира, кг
2Н-10КЛ	УОМЗ, Россия	22	5	±30, 1	1,4
3Н-5Л	То же	20	5	Уровень	1,2
3Н-3КЛ	– // –	22	3	±15/0,5	1,3
4Н-2КЛ	– // –	30	1,5	±15/0,5	1,8
Н-05	Россия	42	0,5	Уровень	6
FG-040	Германия	25	2,5	±30/1	1,6
FG-L100	– // –	32	1	±10/0,5	2,0
FG-007	– // –	32	0,5	±10/0,5	2,2
FG-005	– // –	35	0,7	±10/0,3	2,2
L232	Trimble Германия	32	1	±10/0,3	1,6
C410	Sokkia, Япония	20	2,5	±15/0,5	1,0
C320	То же	24	2,0	±10/0,5	1,8
C300	– // –	28	2,0	±10/0,5	1,8
B200	– // –	32	0,8	±15/0,3	1,85

Стоимость оптико–механических приборов, как правило, ниже их электронных аналогов, поэтому их производство продолжается, и при небольших объемах полевых работ оптико-механические приборы остаются актуальными и в современных условиях.

8. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ТАХЕОМЕТРЫ

Для тахеометрической съемки открытых горных разработок могут быть использованы теодолиты, сетки нитей которых имеют дальномерные штрихи, электронные тахеометры либо номограммные тахеометры.

В настоящее время номограммные тахеометры не производятся, но информация об этих приборах для основных маркшейдерских измерений при открытой разработке месторождений полезных ископаемых может представлять определенный интерес.

Номограммные тахеометры отличаются от теодолитов тем, что позволяют отсчитывать по рейке горизонтальные проложения и превышения. Непосредственное определение горизонтальных расстояний и превышений обусловлено автоматически и закономерно изменяющимся расстоянием между дальномерными и высотомерными штрихами при вращении зрительной трубы.

Расстояния между штрихами можно изменять различными путями, например, с помощью специальных кулачков, кинематически связанных с осью вращения трубы (RTa 4 «Оптон» Германия). Наибольшее распространение получили устройства в виде дополнительного вертикального круга с номограммными кривыми, неподвижно закрепленного в подставке зрительной трубы. Изображение номограммных кривых, коэффициентов дальномера и высотомера передается в поле зрения трубы (рис. 8.1).

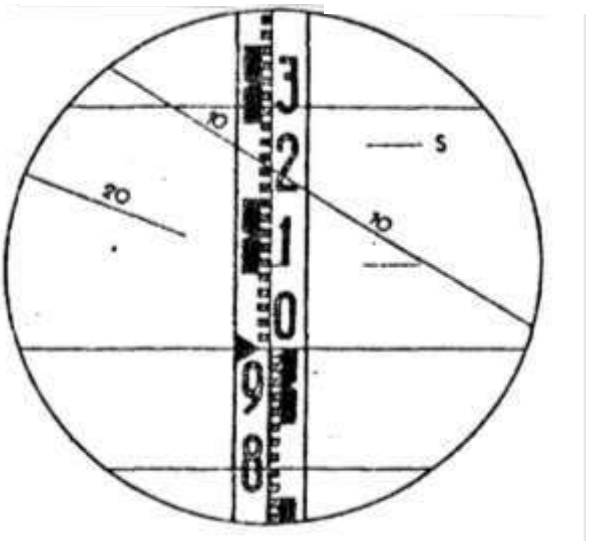


Рис. 8.1. Поле зрения зрительной трубы тахеометра ТаН

Маркшейдерские службы многих горнодобывающих предприятий России оснащены номограммными тахеометрами германского и отечественного производства, принципиальное устройство и точностные характеристики которых близки: 2ТН, ТаН (Уральский оптико-механический завод); Dalta O1OA, Dalta 010B (Германия).

Отечественные тахеометры 2ТН и ТаН разработаны на базе теодолита 2Т5К. Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний и превышений во многом зависит от используемого коэффициента номограмм и составляет:

для расстояния, равного 100 м при использовании коэффициента K_S = 100 – 0,1 м (1:1000), K_S = 200 – 0,25 м (1:400);

для превышения точки, удаленной на 100 м, при

K_h = 10 – 0,03 м (α = 0°…9°), K_h = 20 – 0,06 (α = 5°…11°),

K_h = 50 – 0,12 м (α = 11°…26°), K_h = 100 – 0,2 м (26°…45°).

В тахеометре ТаН кривые горизонтальных проложений (100 и 200) расположены по обе стороны от основной окружности. Кривая с K_S = 200 расположена у нижнего края поля зрения (рис. 8.2).

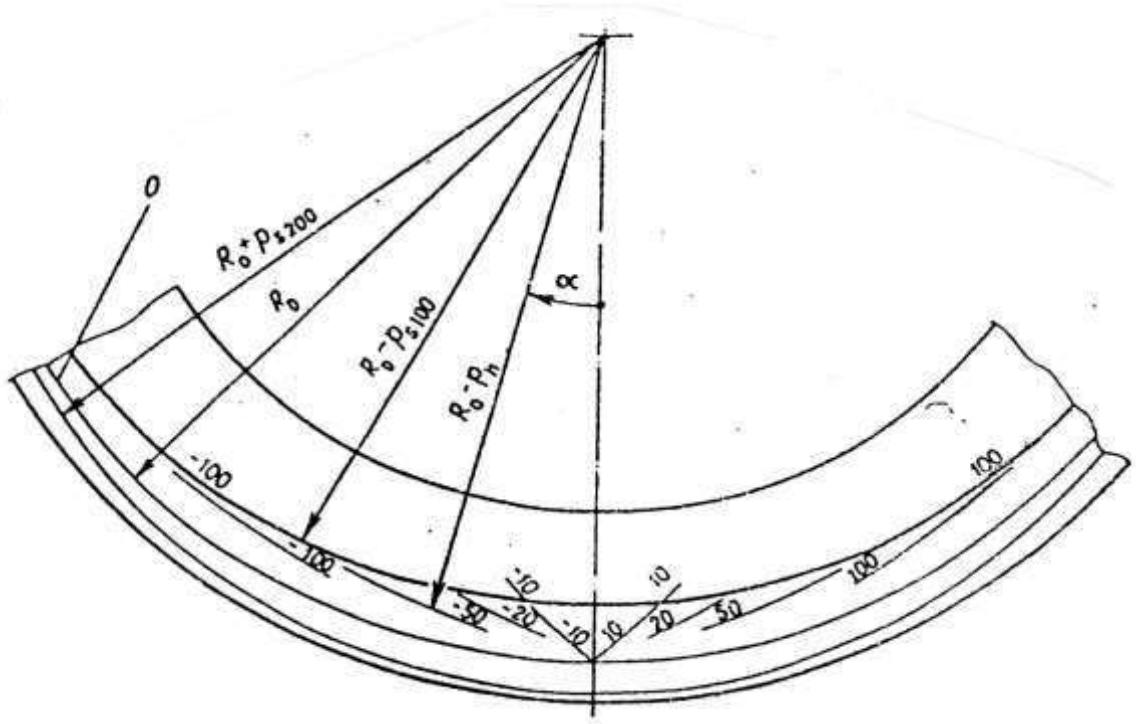


Рис. 8.2. Номограммный круг (ТаН)

Кривые превышений подписаны соответствующей цифрой значения коэффициента как для положительных, так и для отрицательных углов наклона.

При измерении горизонтального проложения или превышения сначала совмещают основную окружность с нулевой меткой рейки (высотой инструмента), после чего берут отсчет по рейке, используя ту или иную номограммную кривую.

Результатом измерения является произведение отсчета на коэффициент данной кривой.

Подготовка номограммных приборов заключается в следующем:

Определяют коэффициенты кривых по формулам:

$$K_S = K_{S_0}\frac{S_0}{S}; \quad K_h = K_{h_0}\frac{h_0}{h}, \tag{8.1}$$

где K_{S_0} = 100 и 200 – номинальные значения коэффициентов кривых горизонтальных проложений; K_{h_0} = + 10; + 50; + 100 – номинальные значения коэффициентов кривых превышений; S_0 и h_0 – точные (эта-

лонные) значения горизонтального проложения и превышения, определенные с погрешностями m_S/S = 1/3000; m_h = 3 мм; S и h – значения, измеренные по номограмме.

Базисы выбираются так, чтобы S = 60... 100 м; $\alpha \geq 3...5$.

Относительные погрешности определения K_S и K_h не должны превышать 0,1 %.

Таблица 8.1

Основные технические характеристики номограммных тахеометров

Тип тахеометра	Фирма-изготовитель, страна	Увеличение трубы, крат	СКП гор. проложения	СКП превышения при α<10°	Отсчеты приспособления, ОП	Цена деления шкалы ОП, с	Цена деления уровня на 2 мм, с	Диапазон и погрешность компенсатора	Масса без футляра, кг
ТаН	УОМЗ, Россия	27	100 мм на 100 м	50 мм на 100 м	Шкаловый микроскоп	60	30	3'/2"	4
Dhalta 010B	Карл Цейсс, Германия	25	То же	50 мм на 100 м	То же	60	30	4'/1"	4,9

Электронные тахеометры, сканеры и спутниковые системы являются более производительными средствами измерений, чем номограммные тахеометры и теодолиты, поэтому более широко применяются, в том числе маркшейдерами на современных горных предприятиях, несмотря на их сравнительно высокую стоимость.

9. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ГИРОТЕОДОЛИТЫ

9.1. Принцип работы гиротеодолитов

Гироскопические теодолиты служат для автономного определения азимутов направлений на земной поверхности и в подземных горных выработках. Конструктивно гиротеодолит является угломерным прибором, в котором объединены гироскоп как датчик направления меридиана и теодолит.

Большинство моделей гиротеодолитов, применяемых при геодезических и маркшейдерских работах, оснащены трехстепенными

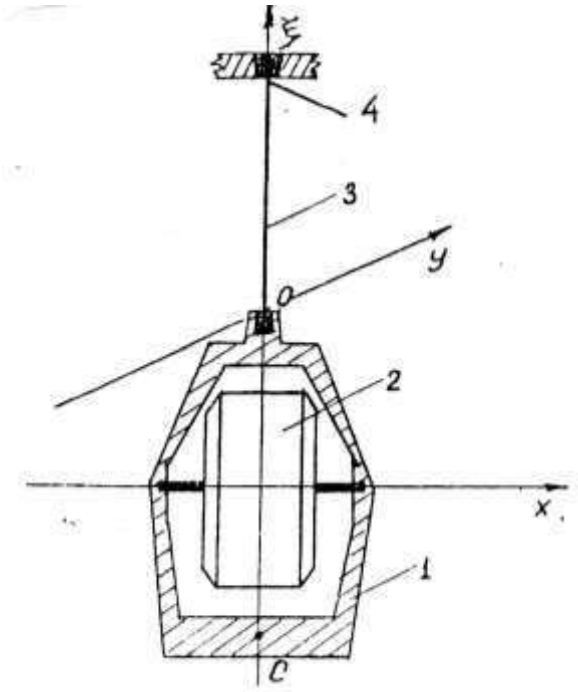


Рис. 9.1. Маятниковый гироскоп с торсионным подвесом чувствительного элемента (ЧЭ):
1 – ротор (гиромотор); *2* – вакуумированная гирокамера; *3* – торсион (металлическая лента); *4* – верхний зажим торсиона (вращающийся)

маятниковыми гироскопами. При современном уровне развития приборостроения лишь эта схема допускает создание гиротеодолитов высокой точности.

Все без исключения модели гиротеодолитов, получившие практическое применение, имеют в своем составе механические гироскопы. Под механическим гироскопом с тремя степенями свободы понимают массивное быстро вращающееся вокруг центральной оси симметрии (главной оси *X*) тело (ротор), которое обладает возможностью одновременно поворачиваться вокруг двух других осей – оси чувствительности (*У*) и оси прецессии (ξ) (рис. 9.1). Все три оси гироскопа располагаются взаимно перпендикулярно.

Ротором механического гироскопа в современных гиротеодолитах, как правило, служит ротор специального электрического двигателя переменного или постоянного тока (гиромотор).

Технические устройства, обеспечивающие свободу вращения ротора вокруг осей прецессии и чувствительности, составляют систему подвеса гироскопа. В гироскопах могут быть применены разнообразные по конструкции подвесы (например, карданов, жидкостный, электромагнитный, торсионный). Наибольшее распространение получил торсионный подвес гироскопа. Гирокамера *1* (см. рис. 9.1) с жестко укрепленным внутри нее гиромотором *2* подвешена на тонкой металлической ленточке *3* (торсионе), совмещенной при рабочем положении инструмента с вертикальной осью вращения угломерной части.

Точкой подвеса, вокруг которой происходит вращение гироскопа под действием внешних сил, является точка 0 закрепления нижнего конца торсионной ленты в теле гирокамеры.

Центр тяжести чувствительного элемента в трехстепенных гирокомпасах, снабженных торсионным подвесом, располагается ниже точки подвеса, в результате чего главная ось гироскопа (*X*) приобретает постоянное стремление занимать горизонтальное положение. Такие гироскопы называются маятниковыми.

Будучи установленным на поверхности Земли, маятниковый гироскоп работает в режиме гироскопического компаса, главная ось которого независимо от своего первоначального положения начинает двигаться в сторону плоскости меридиана и, стремясь совместиться с этой плоскостью, совершает относительно ее колебания.

В основе действия гироскопических приборов лежат свойства трехстепенного гироскопа, которые заключаются в его способности сохранять неизменным направление своей главной оси в мировом пространстве и поворачиваться (прецессировать) под действием внешних сил вокруг точки подвеса в направлении, определенном суммарным вектором внешних сил, повернутым на 90° в сторону собственного вращения ротора. *Установленный на поверхности Земли маятниковый гироскоп, реагируя на суточное вращение плоскости горизонта в мировом пространстве, совершает азимутальное прецессионное движение, направленное в начальный момент в сторону плоскости меридиана.* Для наблюдателя, также участвующего в суточном вращении Земли, это прецессионное движение гироскопа будет суммироваться с суточным вращением плоскостей меридиана к горизонту, в результате чего видимое движение конца главной оси гироскопа будет происходить по эллипсу, малая ось которого совмещена с плоскостью меридиана, а большая расположена в плоскости, наклоненной к плоскости горизонта на некоторый малый угол $\beta_{комп}$, называемый компенсирующим углом (угол наклона главной оси, при котором прецессия маятникового гироскопа по азимуту равна скорости суточного вращения плоскости меридиана).

Ось симметрии вынужденных колебаний, которые совершает в своем видимом движении гироскоп с быстро вращающимся ротором, определяет положение динамического равновесия главной оси гироскопа *X*, совпадающее с плоскостью меридиана.

Если соединить в одном инструменте маятниковый гироскоп и теодолит, то, проецируя каким-либо образом на горизонтальный круг теодолита крайние точки 1 и 2 вынужденных колебаний главной оси (точки реверсии), можно определить отсчет *N*, соответствующий

проекции положения динамического равновесия главной оси гироскопа на горизонтальный круг (рис. 9.2).

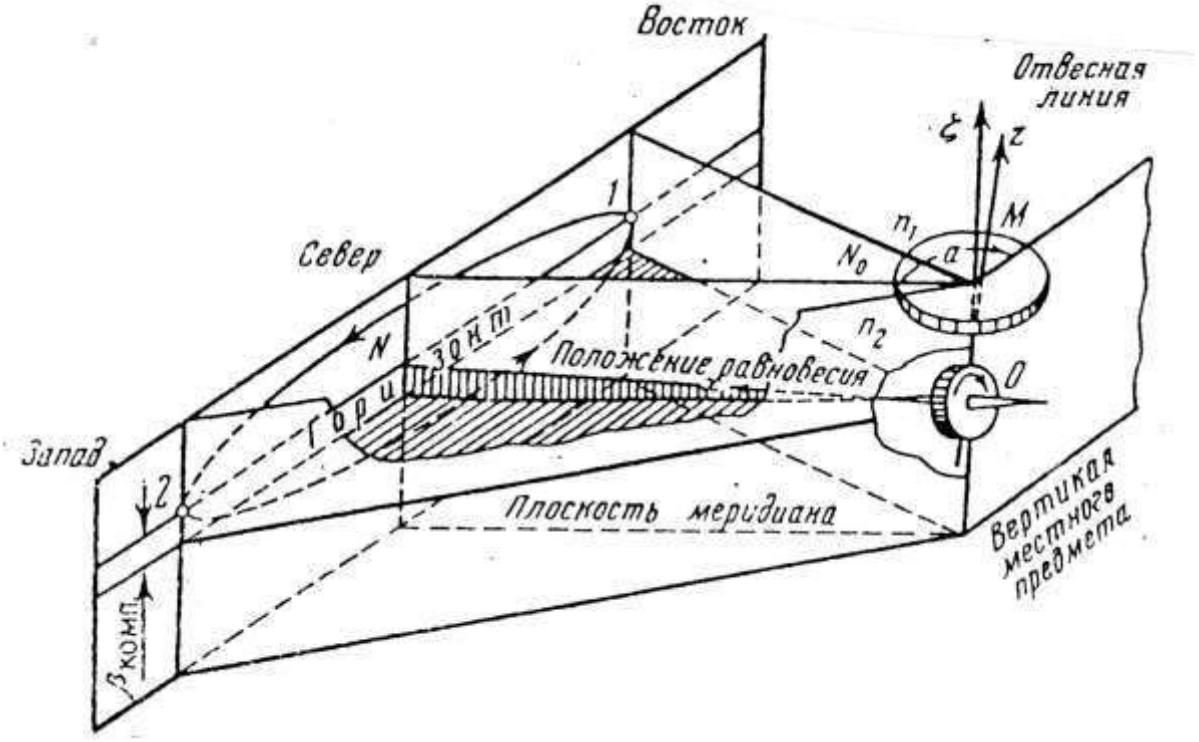


Рис. 9.2. Схема определения положения динамического равновесия главной оси гироскопа

Из наблюдений гиротеодолитом получают астрономический азимут, отнесенный к поверхности Земли, так как в основе действия такого прибора лежат суточное вращение плоскости горизонта, положение которой определяется направлением отвесной линии к точке наблюдений, и момент силы тяжести.

9.2. Принципиальная схема устройства гиротеодолита с маятниковым гироскопом

В комплект гироскопического теодолита, как правило, входят:

– съемный гироблок – чувствительный элемент (гироскоп) с системами подвеса, центрирования, токопровода, слежения, арретирования, магнитной защиты и кожуха взрывобезопасной защиты;

– угломерная часть с элементами следящей системы;

– блок питания с системами преобразования электроэнергии;

– штатив и соединительные кабели.

На рис. 9.3 показана принципиальная схема устройства гиротеодолитов МВТ2, МВТ4, Ги-Б2, Giroma + 300.

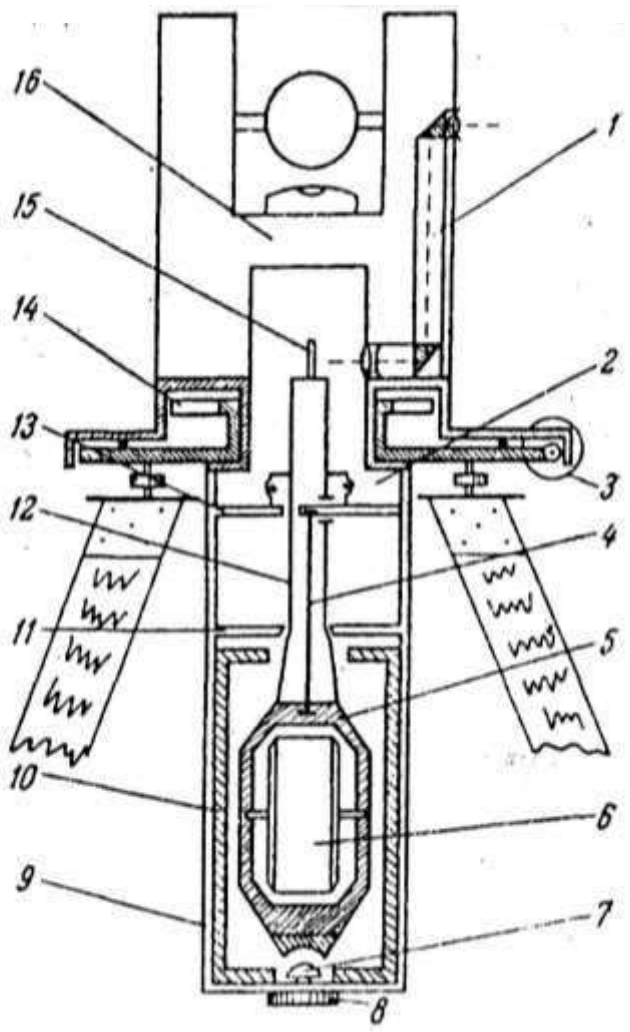


Рис. 9.3. Принципиальная схема устройства гиротеодолита
с маятниковым гироскопом

Для подвеса ЧЭ *5* и его центрирования относительно вертикальной оси вращения алидады угломерной части *16* прибора используется торсионная лента *4*. Подвод трехфазного тока к гиромотору 6 производится по двум источникам токопровода *2* и торсиону. Для наблюдения за движением чувствительного элемента и проектирования на горизонтальный круг *14* реверсионных точек его вынужденных колебаний служит следящая система, которая включает: автоколлиматор *1* и зеркало *15*, прочно укрепленное на штанге ЧЭ. ЧЭ размещен внутри гироблока, корпус *9* которого крепится винтами к корпусу алидады угломерной части. В прилив *13* корпуса гиробло-

ка вмонтированы концы ленточных токопроводов и верхний конец торсионной ленты.

Как и всякий гироскопический прибор, гиротеодолит должен иметь арретирующее устройство. Это устройство необходимо для скрепления ЧЭ с корпусом гироблока после окончания наблюдений. В схеме, изображенной на рис. 9.3, арретир имеет маховик *8* и шток *7* с грибообразной головкой. При вращении маховика шток арретира поднимается вверх ЧЭ, приподнимает его к опорному кольцу *11* корпуса гироблока.

Если во время вынужденных азимутальных колебаний ЧЭ алидада прибора будет оставаться неподвижной, то эти колебания будут сопровождаться закручиванием торсионной ленты и ленточных токопроводов, что исказит показания гиротеодолита и может неблагоприятно отразиться на механической прочности торсиона и токопроводов. Поэтому оператор, наблюдая через окуляр автоколлиматора отраженные от зеркала чувствительного элемента изображения штрихов шкалы автоколлиматора, синхронно с азимутальным движением ЧЭ поворачивает с помощью редуктора червячной передачи алидаду угломерной части, а вместе с ней корпус гироблока. Вместе с корпусом гироблока будут поворачиваться связанные с ним концы токопроводов и верхний зажим торсионной ленты, предотвращая тем самым их закручивание при вращении ЧЭ. При гироскопическом ориентировании (определении азимута стороны маркшейдерского опорного обоснования) отсчитывают по горизонтальному кругу положение проекции *n* 1 и *n* 2 на горизонтальный круг точек 1 и 2 (см. рис. 9.2) реверсий ЧЭ. По ним вычисляют отсчет N_O положения динамического равновесия ЧЭ, соответствующего направлению меридиана.



Рис. 9.4 Gyromat-3000 (Германия)

Современные модели гиротеодолитов имеют специальную систему сопровождения, автоматически поворачивающую зажимы торсионной ленты и токопроводов синхронно с азимутальным движением ЧЭ. Для большинства современных зарубежных гиротеодолитов предусмотрена сравнительно точная (не более 2º...4°) предварительная

установка основной оси гироскопа в северном направлении. При этом определение положения динамического равновесия ЧЭ производится автоматически, например, фиксированием точки, которой соответствует максимальная скорость прецессии ЧЭ.

В России для маркшейдерских работ на шахтах и объектах подземного строительства наибольшее применение нашли венгерские теодолиты ГИ-Б2, ГИ-БЗ и отечественные маркшейдерские гиротеодолиты во взрывоопасном исполнении МВТ2, МВТ4, МВБ4, Меридиан 1М, основные технические характеристики которых приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Основные технические характеристики гиротеодолитов

Характеристики	МВТ2 (1966)	МВТ4 (1974)	Меридиан 1М (1986)	НГВ-2 (насадка) (1995)	GPJ-2A Sokkia (2001)	Gyromat-3000 (2011)
Средняя квад. ошибка измерения определения гироскопического азимута 1-м пуском (4 точки реверсии) на широте 60º, секунда	30	30	20	30	20	3
Продолжительность пуска, мин	15…20	10...15	10…15	10…15	8	10…2
Масса комплекта в рабочем состоянии, кг	33	27,5	25	17 (с теодолитом)	13,8 (без теодолита)	11.5 (без теодолита)

Современные полностью автоматизированные гиротеодолиты для маркшейдерских работ представлены ограниченным количеством модификаций приборов. Среди них Gyromat-2000, Gyromat-3000 (Германия (рис. 9.4)), GPJ-2A (Sokkia, Япония).

Отечественные маркшейдерские гиротеодолиты конструировались в лабораториях института ВНИМИ (С.- Петербург) и выпускались на его опытном заводе.

10. ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАЛЬНОМЕРЫ

Применяемые для маркшейдерско-геодезических измерений светодальномеры, радиодальномеры, акустические дальномеры относятся к типу электронных средств измерений. В данном разделе рассмотрены общие теоретические вопросы, устройство и принцип действия отдельных дальномеров, наиболее удовлетворяющих требованиям маркшейдерских измерений. Значительное место уделено теории импульсных сигналов, которые применяются в современных электронных дальномерных приборах. Приведены примеры структурного построения дальномеров с непериодическим и периодическим режимом излучения сигнала. Проанализированы основные причины образования ряда систематических и случайных погрешностей измерений.

10.1. Измерительные сигналы дальномеров

Для измерений дальности в маркшейдерских и геодезических приборах используется свойство некоторых видов энергии распространяться в однородной среде с относительно постоянной скоростью и отражаться от встречных объектов. К таким видам энергии относят электромагнитные и акустические волны. В технической литературе данный метод измерений принято называть локационным (location – местонахождение).

К локационным средствам измерений могут быть отнесены и глобальные позиционные спутниковые системы (GPS) (Приложение 1). В данном пособии их устройство и технические возможности подробно не рассматриваются.

При локационном методе измерения дальность определяется по времени запаздывания (задержки) отраженного сигнала относительно излучаемого (опорного) сигнала.

Сигналом в общем понимании этого определения называют материальный носитель информации, представляющий собой некоторый физический процесс, один из параметров которого функционально связан с измеряемой физической величиной. Такой параметр называют информативным.

Измерительный сигнал – это сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине. Сигналом в дальномерных приборах может служить любой вид энергии,

имеющей свойство распространяться в пространстве, временные параметры которой известны или изменяются во времени по известному закону и могут быть использованы для измерения времени распространения данной энергии в пространстве. Измерительные сигналы делят на аналоговые, дискретные и цифровые. Аналоговые и дискретные сигналы широко используют в дальномерных приборах – цифровые в кодовых угломерных устройствах, в электронных уровнях электронных тахеометров.

Аналоговый сигнал – это сигнал, описываемый непрерывной или кусочно-непрерывной функцией, причём её аргумент t может принимать любое значение на заданном интервале от $t_{\min}$ до $t_{\max}$. Примером может служить кривая зависимости пройденного пути $L(t) = V_{\text{р}} \cdot t$ за время t равномерно движущимся телом (излучаемой энергией) с постоянной скоростью распространения $V_{\text{р}}$ (рис. 10.1).

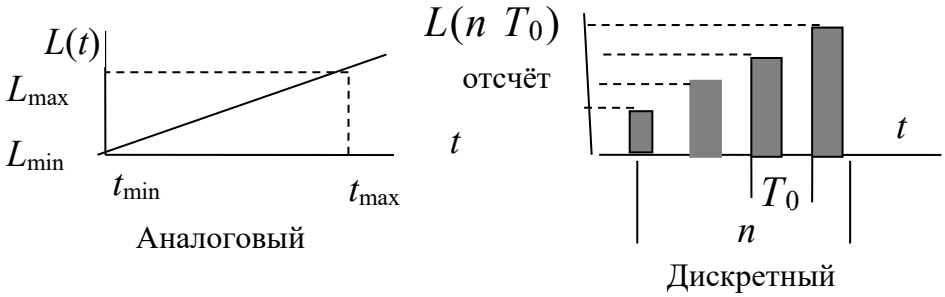


Рис. 10.1. Виды сигналов

Дискретный сигнал – это сигнал, дискретно изменяющийся во времени. Он может принимать в дискретные моменты времени $n \cdot T_0$, где $T_0 = \text{const}$ – интервал (период) дискретизации, $n = 0; 1; 2,\ldots$ целое, любые значения $L(n\,T_0)$, называемые ***отсчётами* (*выборками*)**.

Следует заметить, что в технической литературе приборы, в которых применяют дискретные сигналы, часто для отличия их от аналоговых называют цифровыми.

Переменный сигнал – это сигнал, параметры которого изменяются во времени. Переменные сигналы могут быть непрерывными во времени и импульсными.

Самым распространенным видом переменного сигнала является гармоническое (синусоидальное) колебание $U(t) = U_m\,(\sin\omega t + \varphi_0)$, которое при постоянном значении круговой (угловой) частоты $\omega = \text{const}$ приобретает свойство периодического сигнала.

Импульсный сигнал – это сигнал конечной энергии, существенно отличный от нуля в течение ограниченного интервала времени длительности импульса $\tau_и$ (рис. 10.2).

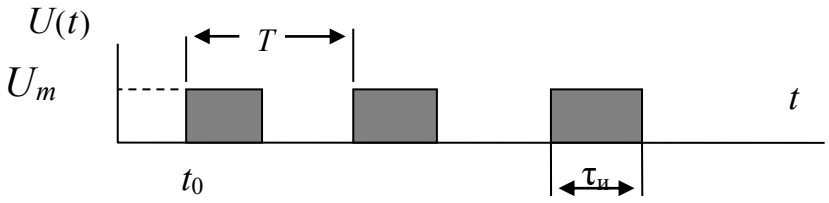


Рис. 10.2. Импульсный периодический сигнал

Идеальный прямоугольный импульс сигнала описывается уравнением

$$U(t) = U_m\,[1(t - t_0) - 1(t - t_0 - \tau_и)].$$

Импульсный периодический сигнал есть сумма одиночных прямоугольных импульсов:

$$U(t) = \sum_{k=0}^{\infty} U_m\,[1(t - nT) - 1(t - nT - \tau_и)],$$

мгновенные значения которых повторяются через постоянный интервал времени (период $T = \text{const}$).

Непериодический (апериодический) **сигнал** – сигнал с ненормированным значением периода (период $T \neq \text{const}$).

10.2. Измерение дальности

Отличие термина «дальность» от термина «расстояние» состоит в том, что расстояние – это длина между условной точкой дальномера, принятой за начало отсчёта, и объектом измерения. Для перехода от дальности к расстоянию необходимо в результат измерений внести поправки за систематические погрешности, геометрические параметры, зависящие от конструкции конкретного прибора. В общей теории, рассматривающей теоретические вопросы измерения расстояний, чаще используют термин «дальность».

В дальномерах основным параметром для определения дальности является время задержки сигнала $\tau_з = t_к - t_0$, затраченное на прохождение его по трассе измерения (рис. 10.3).

Время задержки с учетом двойного пути прохождения сигнала до объекта съемки и обратно

$$\tau_3 = \frac{2L}{V_\text{р}} = t_\text{к} - t_0, \qquad (10.1)$$

где $V_\text{р}$ – скорость распространения сигнала; L – длина пути, пройденная сигналом; t_0 – время регистрации момента начала излучения сигнала передатчиком; $t_\text{к}$ – время регистрации момента возврата в приемник отраженного сигнала от объекта измерения. Измерение временных моментов $t_\text{к}$ и t_0 относится к основным операциям измерений в дальномерах.

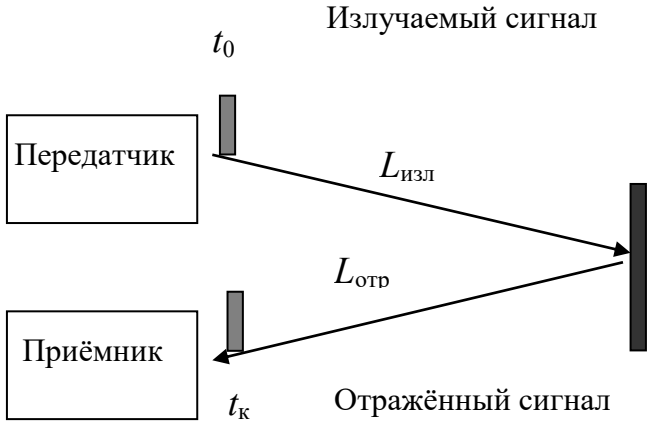


Рис. 10.3. Структурная схема локационного дальномера

Интервалу $\tau_з = t_к - t_0$ на основании (10.1) однозначно соответствует дальность:

$$L = 0{,}5 V_\text{р} \tau_3 . \qquad (10.2)$$

Скорость распространения сигнала в пространстве $V_\text{р}$ зависит от типа носителя («несущей»), то есть от вида применяемой энергии. Электромагнитные волны распространяются со скоростью $V_\text{р} = V_\text{с} \approx 299792458$ м/с. Скорость распространения акустических (звуковых, ультразвуковых) волн в воздушной среде $V_\text{р} = V_\text{ак} \approx$ ≈ 331 м/с.

По виду применяемой энергии дальномеры делят на светодальномеры (лазерные дальномеры), радиодальномеры, акустические дальномеры (эхолокаторы, эхолоты).

10.3. Светодальномеры и общие положения

Светодальномером стали называть первый дальномер с ламповым источником света академика А. А. Лебедева (1926), который имел точность порядка 2…3 м при дальности 3,5 км. В качестве источника света использовалась лампочка накаливания мощностью 4 Вт. Первоначально он предназначался для определения скорости света путём измерений известных длин. Идея измерения длин неизвестной величины с помощью света была очевидной. Однако внимание геодезистов из-за недостаточной точности данный светодальномер не привлёк. Первым светодальномером, с которого началась практическая реализация светодальномерных геодезических измерений, принято считать шведский геодиметр NASM-2 Э. Бергстранда (1949) с погрешностью измерений ± 2 см и дальностью до 40 км. Вскоре подобные приборы стали разрабатываться многими другими иностранными фирмами, отечественными предприятиями и институтами.

В 1968 г. Уральский оптико-механический завод (УОМЗ) приступил к серийному выпуску первых светодальномеров с полупроводниковым источником излучения КДГ-3, что расшифровывалось: «квантовый дальномер геодезический», открыв практически эпоху первых серийных отечественных **лазерных дальномеров** [1]. Одним из первых **цифровых дальномеров** можно назвать светодальномер 2СМ2 (1970) того же Уральского оптико-механического завода.

Название «цифровые» подчёркивало, что для измерений расстояний используется цифровая логика, цифровой метод обработки сигналов. Это было началом компьютеризации средств измерений расстояний. Развитие новой техники было столь стремительным, что возник определённый пробел в технической литературе по вопросам теории дальномерных систем. С поспешностью приспосабливалась теория фазовых методов измерений к лазерным дальномерам с импульсным режимом излучения, появились новые термины, определения: лазерные дальномеры, импульсные дальномеры, электронно-оптические, квантовые, инфракрасные, фазовые, безотражательные, диффузные, импульсно-фазовые, время-импульсные и т. д. – вот далеко не полный перечень наименований светодальномеров. В связи с возникшей неопределённостью в классификации данных средств

измерений, в данном учебном пособии за основу принята классификация из теории сигналов.

Теория сигналов [2] **делит все сигналы на два основных вида – непериодические (апериодические) и периодические.** Соответственно, и дальномеры по типу сигналов целесообразно разделить на два вида: **дальномеры с непериодическим сигналом** и **дальномеры с периодическим сигналом**.

10.4. Светодальномеры с непериодическим сигналом

Простейшим и самым распространенным видом такого сигнала является короткий одиночный световой импульс, излучаемый в течение короткого отрезка времени $\tau_и$. Дальномеры с данным видом сигнала называют **импульсными**.

Однако название **«импульсные»** не в достаточной мере отражает временные характеристики дальномеров данного класса. Более корректным будет название «моноимпульсные». «Моно» – в переводе с греческого – единственный. Необходимость замены термина «**импульсный»** на термин «**моноимпульсный»** заключается в том, что все современные светодальномеры с полупроводниковым источником излучения являются импульсными, включая и **фазовые.**

Отличаются они шкалой времени: в моноимпульсных дальномерах она является абсолютной, в импульсных с периодической последовательностью импульсов – периодической.

Принцип измерения дальности при моноимпульсном режиме излучения приведён на рис. 10.4.

Передатчик имеет лазерный (полупроводниковый) источник излучения, на который в момент t_0 подаётся электрический импульс $e(t)$, вызывающий генерацию (излучение) светового импульса $\Phi(t)_0$.

Отражённый от объекта измерения световой импульс $\Phi(t)_к$ поступает на фоточувствительный приёмник, где преобразуется в электрический импульс с временным моментом $t_к = t_0 + \tau_з$.

В дальномерном блоке последовательно фиксируются временные моменты t_0 и $t_к$, через которые определяется время задержки импульса $\tau_з = t_к - t_0$.

Основным принципом измерения дальности моноимпульсным дальномером (см. рис. 10.4, *а*) является однократное ручное включение передатчика в момент t_0 оператором. Повторное включение производится только после регистрации результата измерения.

В ряде дальномеров применяют режим периодического повторного включения $T_п >> \tau_м$, что уменьшает погрешность измерений путём вычисления среднего значения результатов измерений дальности и облегчает процесс измерений до движущегося объекта. В дальномерах с таким режимом измерений $T_п$ относится к управляющим, а не к измерительным сигналам.

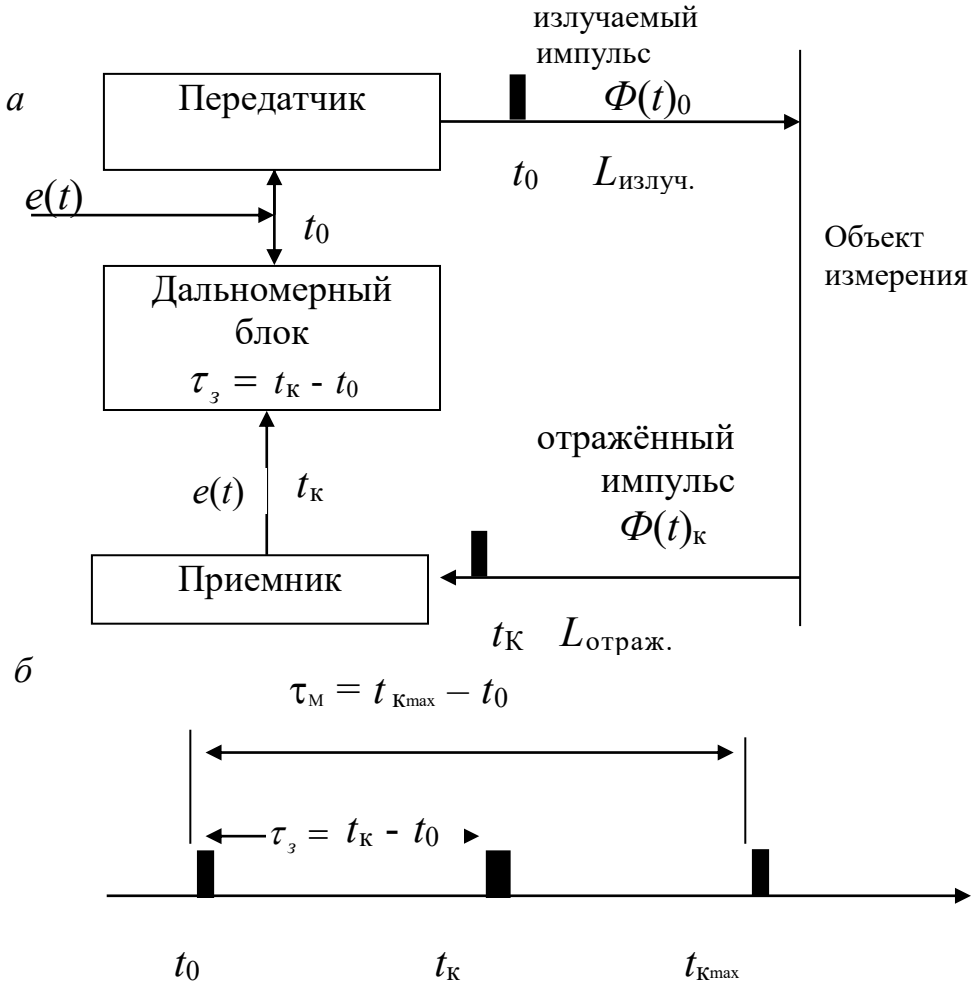


Рис. 10.4. Временное положение импульсов:
а – блок-схема дальномера; *б* – график зависимости времени задержки

Моноимпульсный дальномер является дальномером с абсолютной однозначностью результата измерения.

При моноимпульсном режиме измерения на оси времени t имеются только две точки временных моментов t_0 и t_K. Местоположение точки t_0 определяется моментом включения передатчика, излучающего импульс.

Положение точки $t_к$ зависит от степени удаленности объекта измерения от источника излучения.

В дальномерах предельная граница положения точки $t_{к\max}$ (см. рис. 10.4, *б*) определяется физической границей, за которой приемник не в состоянии обнаружить отраженный сигнал при имеющейся мощности излучения энергии передатчиком и чувствительности приемника.

Максимальной величине времени задержки $\tau_м = t_{к\max} - t_0$ соответствует максимальная дальность действия дальномера:

$$L_м = 0{,}5V \sum c\tau_м . \qquad (10.3)$$

Графическое изображение уравнения (10.3) есть прямая линия с углом наклона $\alpha = \operatorname{arctg} 0{,}5V_с$, проходящая через начало координат (рис. 10.5).

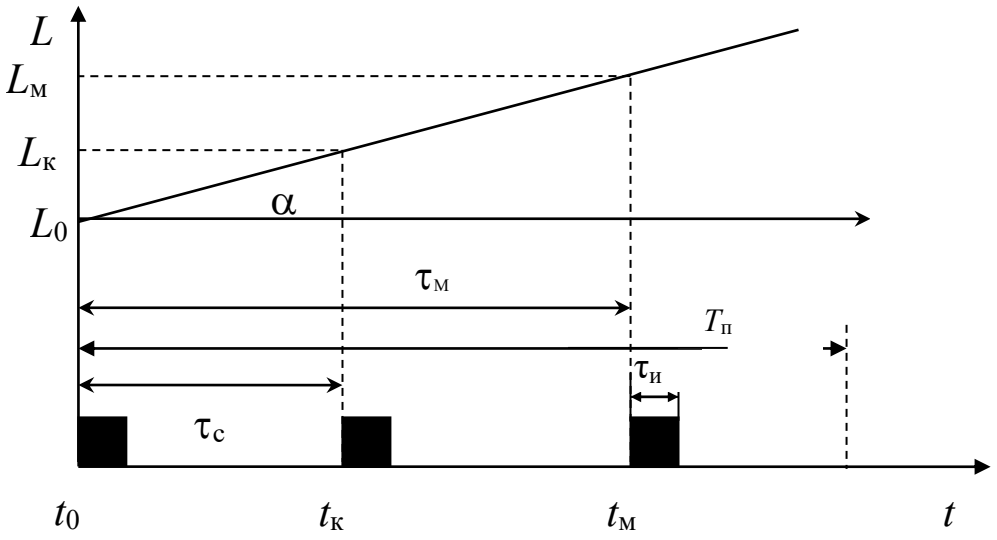


Рис. 10.5. Зависимость дальности от времени задержки

Дальномеры с апериодическим сигналом, как правило, имеют импульсную форму сигнала с длительностью импульса $\tau_и$ порядка $1\cdot10^{-9}$ с…$1\cdot10^{-10}$ с.

При импульсной форме сигнала (рис. 10.6) средняя мощность излучения

$$P_{ср} = \frac{1}{T_п}\int_0^{\tau_и} P_и\, dt = P_и \frac{\tau_и}{T_п}, \qquad (10.4)$$

где $\tau_и$ – длительность импульса; $P_и$ – импульсная (максимальная) мощность излучения; $T_п$ – период повторного излучения импульса.

При заданных значениях $T_п = 1$с, $P_{ср} = 1$ мВт (средняя мощность лазерных диодов) и $\tau_и = 1\cdot10^{-10}$ с импульсная мощность излучения

$$P_{и} = P_{ср} \cdot 10^{10} = 10^{7} \text{ Вт.}$$

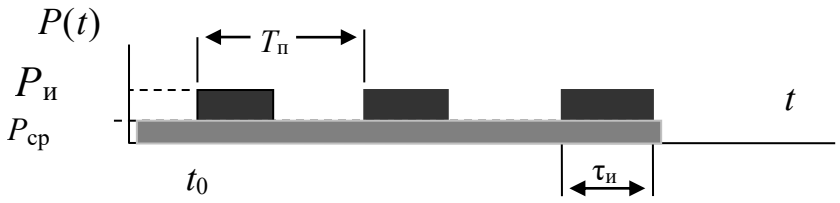


Рис. 10.6. Зависимость средней мощности импульсного сигнала от $\tau_{и}$ и $T_{п}$

Высокое значение импульсной мощности сигнала $P_{и}$ при малом значении $P_{ср}$ определяет основное назначение дальномеров с апериодическим сигналом – измерение расстояний большой дальности в безотражательном режиме до так называемых диффузных (естественных) поверхностей, имеющих малый коэффициент отражения по сравнению с призменными отражателями. Дальность действия дальномера зависит от мощности источника излучения. В грубом приближении дальность измерений до диффузных поверхностей $L_{м} \approx \sqrt[4]{P_{и}}\ k$ [3], где k – параметры, характеризующие оптическую систему, условия прохождения и отражения сигнала. Для увеличения дальности действия дальномера в 2 раза мощность должна быть увеличена в 16 раз.

Соответственно, малому значению средней мощности импульсного излучения соответствует малое значение средней мощности потребления передатчиком электрической энергии за счет снижения среднего значения потребляемого тока ($I_{ср} = I_{макс} \frac{\tau_{и}}{T_{п}}$), что важно для полевого прибора.

Выделим основное свойство дальномера с апериодическим сигналом: **моноимпульсный дальномер с апериодическим сигналом является дальномером однозначного измерения дальности в интервале от 0 до его максимальной дальности действия $L_{м}$.**

Конструктивно передатчик и приёмник сигнала располагают в одном корпусе, а оптическую схему разделяют на передающий и приёмный каналы.

Основное назначение **передающего канала** – формирование направленного излучения на измеряемый объект. В качестве источника излучения в современных светодальномерах применяют лазерный диод.

Лазерный диод является источником оптического излучения в диапазоне от $\lambda_{лаз} = 0{,}4$ мкм до $\lambda_{лаз} = 0{,}9$ мкм и выполняет роль носителя информации о временных параметрах измерительного сигнала.

В чистом полупроводнике количество свободных электронов и дырок одинаково. Однако концентрация их в чистом полупроводнике относительно небольшая. Отсутствуют при этом и неравновесные условия, так как число частиц на верхнем энергетическом уровне не может быть больше, чем на нижнем. Поэтому для создания неравновесных условий в полупроводник добавляют специальные примеси, которые обладают электронной или дырочной проводимостью. Эти примеси, добавленные в различные части полупроводника, образуют области проводимости, одна из которых называется ***областью электронной проводимости (n-область),*** а другая **– *областью дырочной проводимости* (*p*-область)**. Граница раздела (рис. 10.7) между двумя областями *p* и *n* называется «излучательным *p*-*n*-переходом».

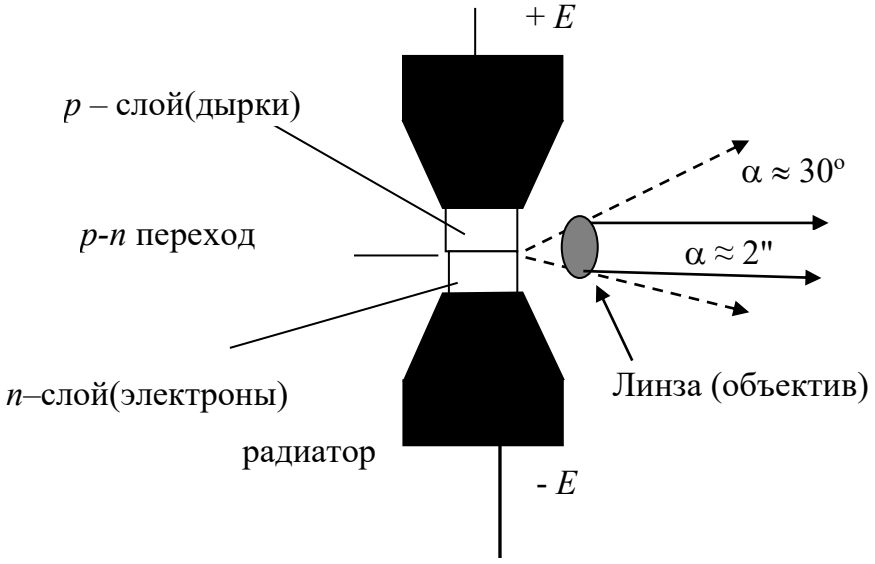


Рис. 10.7. Устройство лазерного диода с коллимирующей линзой

Толщина области перехода составляет единицы микрометров, что позволяет отнести полупроводниковый лазер к точечному источнику света. При пропускании через такой полупроводник электрического тока электроны и дырки двигаются навстречу друг другу. В области *p*-*n*-перехода они рекомбинируют, а освобождающаяся при этом энергия выделяется в виде квантов света.

При малом токе возбуждения (светодиоды) рекомбинирует небольшая часть носителей; этот процесс происходит хаотично, и излучение является некогерентным и немонохроматическим. При увели-

чении плотности тока до некоторого значения, при котором число фотонов, возникающих при рекомбинации, превышает число фотонов, которые поглощаются в веществе диода, излучение становится когерентным, ширина спектра излучения сужается и возрастает интенсивность. В качестве оптического резонатора, обеспечивающего лазерный режим излучения, используют отполированные грани *p-n*-перехода. При больших плотностях тока возникает опасность перегрева диода, в результате чего на лазерный диод подают короткие импульсы тока $e(t)$ (см. рис. 10.4), среднее значение которого не превышает порог допустимого уровня. Это позволяет увеличить импульсную мощность светового потока, которая определяет не только дальность действия дальномера, но и точность измерений. Основным недостатком лазерного диода является большой угол расходимости луча α, который устраняется применением коллимирующей линзы.

На рис. 10.8 представлена наиболее распространённая электрическая **схема формирования мощного импульсного излучения** лазерного диода, за счёт накопления электрического потенциала на конденсаторе *C*.

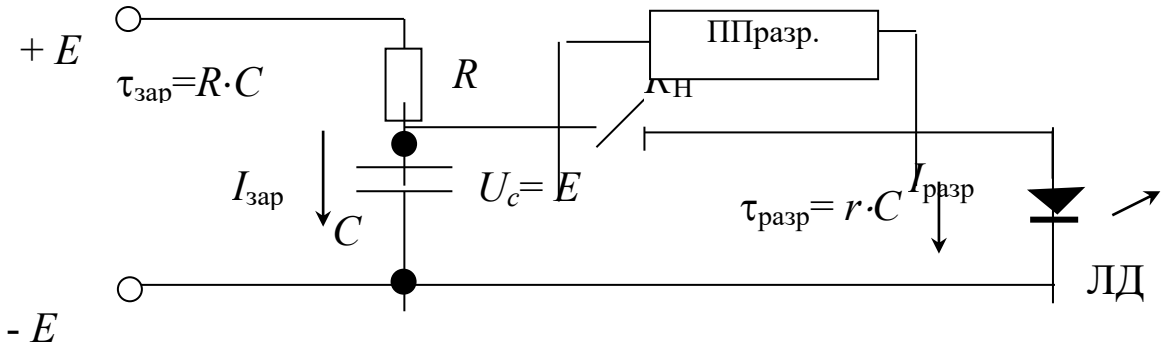


Рис. 10.8. Схема формирования импульсного излучения лазерного диода

Блок питания лазера состоит из источника ЭДС *E*, сопротивления *R* и конденсатора *C*. Сопротивление *R* и конденсатор *C* образуют времязарядную цепь с постоянной времени заряда $\tau_{зар} = R \cdot C$. Для упрощения временных диаграмм на рис. 10.9 не показаны направления токов.

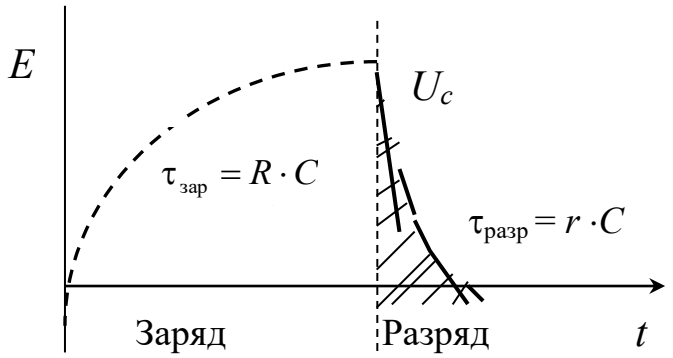


Рис. 10.9. Временная диаграмма формирования мощных импульсов тока

При достижении величины напряжения на конденсаторе C $U_c = E$ заряд прекращается. Нажатием кнопки $K_н$ (или автоматическим включением полупроводникового разрядника $ПП_{разр.}$) конденсатор C разряжается через внутреннее сопротивление лазерного диода r за время разряда $\tau_{разр} = r \cdot C$. Внутреннее сопротивление лазерного диода $r \approx 1$ Ом. При $C = 0{,}01$ мкф $\tau_{разр} = 10^{-8}$ с. Время заряда конденсатора C $\tau_{зар} = R \cdot C$, при $C = 0{,}01$ мкф и $R = 100$ кОм $\tau_{зар} = 10^{-3}$ с. При протекании через лазерный диод со средней мощностью $P_{ср} = 100$ мВт мощного импульса тока разряда $I_{разр} = Uc/r = 100$ В/1 Ом $= 100$ А, импульсная мощность излучения

$$P_и = P_{ср} \frac{\tau_{зар}}{\tau_{разр}} = P_{ср} \cdot 10^5.$$

Лазерные диоды с излучением в красной области оптического диапазона ($\lambda_{лаз} \approx 0{,}6$ мкм) имеют среднюю мощность излучения $P_{ср} \approx$ $\approx 10^{-3}$ Вт, соответственно, импульсная величина мощности излучения $P_и = 100$ Вт. Именно поэтому на всех лазерных дальномерах с мощностью излучения $P_{ср} \approx 10^{-3}$ Вт нанесена **предупреждающая надпись об опасности для глаз (класс II), при которой облучение глаза должно длиться не более четверти секунды.**

Кроме увеличения импульсной мощности, выигрыш по дальности в лазерных дальномерах получают за счёт увеличения яркости отражённого луча.

Для увеличения яркости точки отражения в лазерном передающем устройстве стремятся уменьшить площадь сечения луча по сравнению с обычными светодальномерами, где $S_{ср} \approx 1000$ мм^2 до

$S_л$ = 1 мм^2. Освещенность облучённой диффузной поверхности $E = Ф/S_о$ зависит от силы светового потока $Ф$ и площади $S_о$ светового пятна, которая повышается пропорционально уменьшению площади светового пятна. Это позволяет увеличить яркость точки отражения, восполняя тем самым потери за счет малого коэффициента отражения диффузных поверхностей ($k_д \approx 0{,}02…0{,}03$). Коэффициент отражения призменных отражателей $k_{пр} \approx 0{,}9$.

Лазерный диод из-за малого размера излучательного *p-n* перехода можно отнести к точечным источникам излучения.

На рис. 10.10 приведена оптическая схема передающего канала лазерного дальномера.

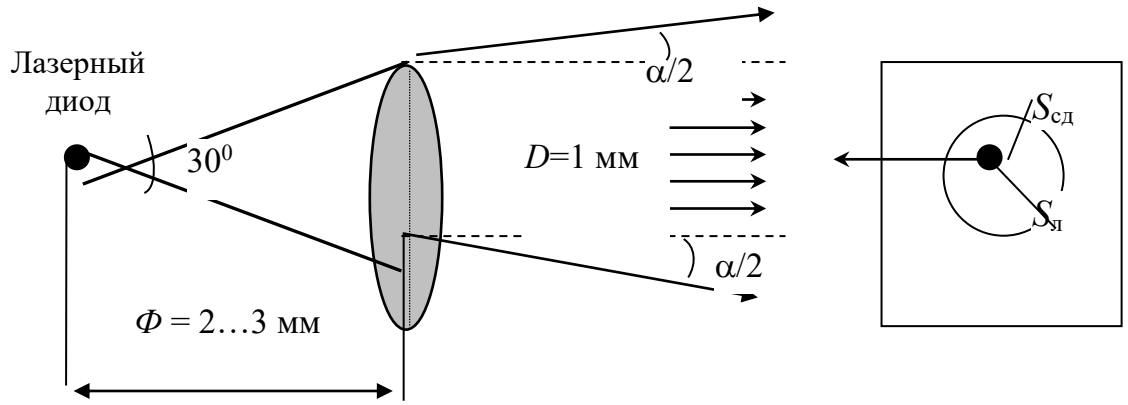


Рис. 10.10. Оптическая схема передающего канала

Точечный источник излучения, помещенный в точку фокуса положительной короткофокусной линзы (объектива), позволяет получить на выходе линзы почти параллельный пучок излучения с незначительной расходимостью $\alpha \approx (1…2)$" и малой площадью сечения луча (1…2) мм. Это обеспечивает достаточную мощность отраженного излучения от объекта измерения для его обнаружения светочувствительным фотоприемником.

В качестве фотоприемника в приёмных каналах современных лазерных дальномеров применяют фотодиоды.

Фотодиод представляет собой полупроводниковый диод с безизлучательным *p-n*-переходом. При поглощении фотонов падающего излучения в зоне *p-n*-перехода может происходить процесс, обратный рекомбинационному излучению, – образование электронно-дырочных пар (свободных электронов и носителей положительного заряда – дырок). Инерционность фотодиодов удается довести до долей нано-

секунды, поэтому приемники с такими фотодиодами можно применять для приема даже очень коротких лазерных импульсов.

От внешнего источника питания на фотодиод подается напряжение, полярность которого препятствует протеканию тока через *p-n*-переход (в отличие от случая, когда полупроводниковый диод используется для генерации оптического излучения). Поэтому при отсутствии облучения текущий через фотодиод ток (так называемый темновой ток) достаточно мал. При попадании в область *p-n*-перехода фотонов оптического излучения за счет генерации электронно-дырочных пар ток через диод возрастает и на сопротивлении нагрузки появляется напряжение, повторяющее форму светового импульса. Таким образом, фотодиод является всего лишь преобразователем светового импульса в электрический. Чувствительность фотодиодов на основе полупроводников (Si, Ga, As) в оптимальном для них диапазоне волн (для широко распространенных кремниевых диодов этот диапазон соответствует 0,6 – 0,9 мкм) достигает 0,4 – 0,5 А/Вт. Для повышения чувствительности приёмного канала *p-n*-переход фотодиода, площадь которого не более 1 мм^2, устанавливают в фокальной плоскости объектива, тем самым увеличивая силу светового потока (рис. 10.11). В оптоэлектронных системах это принято называть коэффициентом усиления $k = \Delta\Phi'/\Delta\Phi$, который определяется отношением потока $\Delta\Phi'$, на чувствительной площадке фотодиода к световому потоку $\Delta\Phi$, который попал бы на неё без объектива или без учёта потерь в оптике, $k = S_{об} / S_{фд}$, где S – площади входных зрачков. Исходя из данных зависимостей, среднее значение диаметра приёмного объектива в малогабаритных дальномерах выбирают равным 30…40 мм.

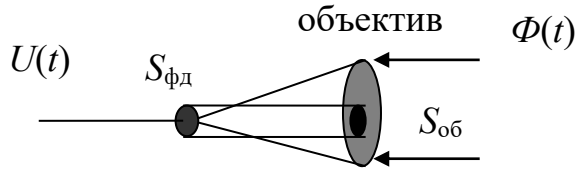


Рис. 10.11. Увеличение входного зрачка фотодиода

При $S_{об} \approx 1000$ мм^2 и $S_{фд} \approx 1$ мм^2 $k \approx 1000$. Это указывает на то, что приёмный объектив является одним из важнейших элементов оптической схемы светодальномера.

Структурная схема цифрового дальномера с апериодическим сигналом показана на рис. 10.12.

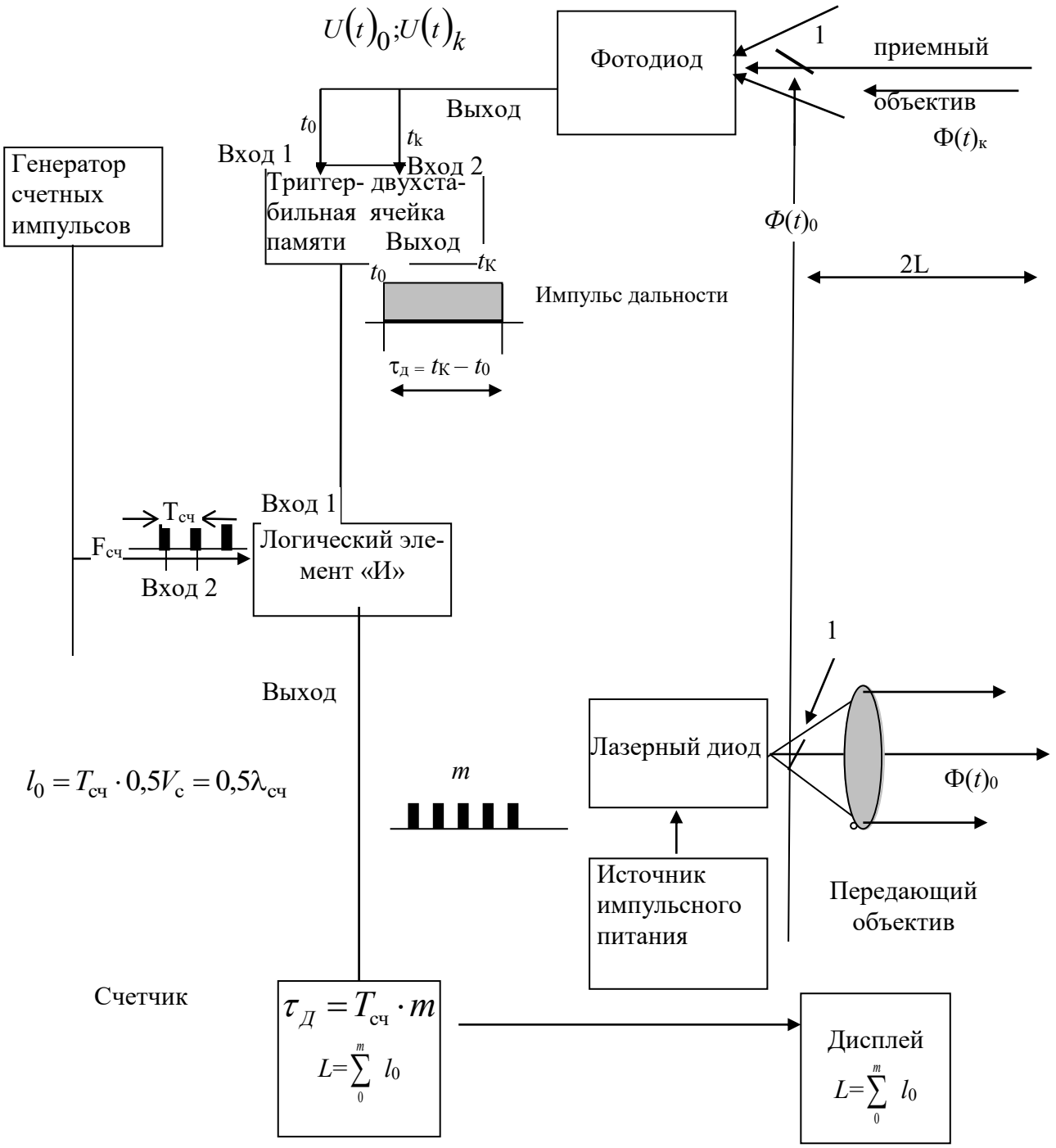


Рис. 10.12. Структурная блок-схема светодальномера с непериодическим сигналом

В момент действия электрического импульса тока $e(t)$ лазерный диод излучает короткий световой импульс $\Phi(t)$. С помощью полупрозрачной отражающей плоскопараллельной пластинки 1 часть излучения $\Phi(t)_0$ попадает по кратчайшему пути на фотодиод, на выходе которого формируется электрический импульс $U(t)_0$ опорного сигнала с начальным временным моментом t_0. Импульс $U(t)_0$ поступает на вход 1 двухстабильной ячейки памяти (триггер со счетным входом)

и переключает выход ячейки памяти в состояние высокого потенциала $U_в \approx 5$ В, который соответствует логической "1" двоичной системе счисления.

Отраженный от объекта измерения световой импульс $\Phi(t)_к$ принимается приёмным объективом и направляется на фотодиод.

В фотодиоде $\Phi(t)_к$ преобразуется обратно в электрический импульс $U(t)_к$ с временным моментом $t_к$ и поступает на вход 2 и переводит двухстабильную ячейку памяти из состояния "1" в состояние "0".

Таким образом, время задержки $\tau_{зад}$ (рис. 10.13) преобразуется в длительность импульса дальности $\tau_д = \tau_{зад} = t_к - t_0$.

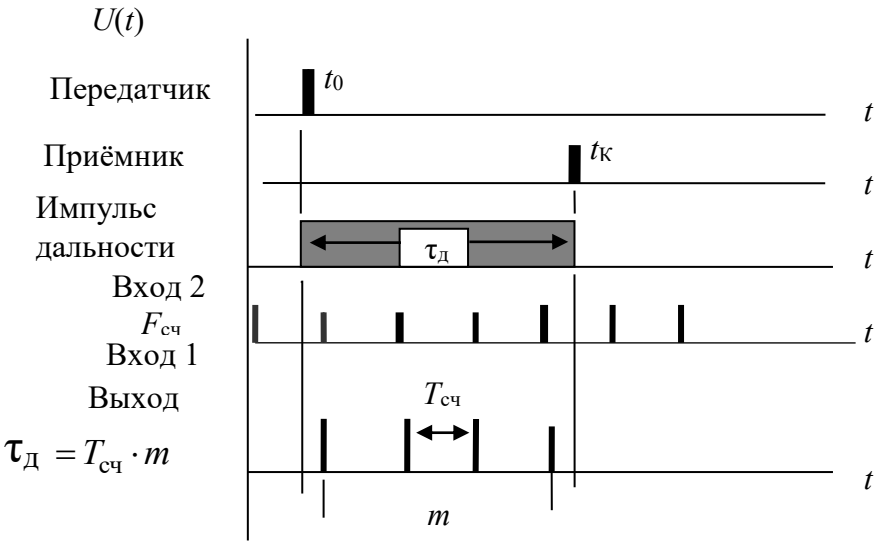


Рис. 10.13. Временная диаграмма процесса измерения дальности

Электрический импульс дальности с длительностью $\tau_д$ поступает на логический цифровой элемент "И", который работает по следующему принципу: высокий потенциал $U_в$ появляется на выходе только в том случае, если на обоих входах "1" и "2" имеется высокий потенциал $U_в$. Другими словами, на выход элемента "И" пройдёт столько импульсов (дискретов) счёта m, поступающих на вход "2", сколько будет продолжаться время длительности импульса $\tau_д$ на входе "1" (см. рис. 10.12).Таким образом, аналоговая величина – длительность импульса дальности $\tau_д$, преобразуется в дискретную (цифровую) величину

$$\tau_д = T_{сч} \cdot m = \sum_0^m T_{сч} .$$

Если величину единичного импульса (дискрета) выразить в принятых единицах длины $l_0 = T_{сч} \cdot 0{,}5V_р = 0{,}5\lambda_{сч}$, то счетчик зафиксирует измеренное значение дальности $L=\sum_0^m l_0$ в соответствующих единицах длины и результат измерения отобразится на дисплее.

Величина $F_{сч}$ в современных счетчиках приближается к 10^9 Гц и, соответственно, к $T_и \approx 10^{-9}$с. Отсюда $l_0 = T_{сч} \cdot 0{,}5V_р \approx 10^{-9} \cdot 15 \cdot 10^8$ м ≈ ≈ 1,5 м, что соответствует характеристикам известных моноимпульсных дальномеров США серии impulse 1000 XL, 2000XL (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Технические характеристики серии лазерных дальномеров Impulse

Технические характеристики	Impulse 1000 LP	Impulse 2000 LP	Impulse 1000 XL	Impulse 2000 XL
Размер	152×64×127 мм			
Вес	1 кг			
Питание	2 батареи типа AA, 3В			
Время работы	Примерно 20 часов непрерывных измерений			
Температура	–30 – +60 °С			
Влагозащищенность	IPx6, полная защита от прямого попадания воды			
Угловые измерения				
Диапазон измерения угла	–	± 90°	–	± 90°
Линейные измерения без отражателя				
Погрешность	3-5 см	3-5 см	1-2 м	1-2 м
Дальность	575 м	575 м	2220 м	2220 м
Интерфейс пользователя				
Экран	Шестисимвольный жидкокристаллический экран с подсветкой			
Клавиатура	6 клавиш			
Ввод/вывод данных	Запись и передача данных через порт RS 232			

Наиболее точными являются импульсные дальномеры с периодическим сигналом, с преобразованием частоты и длительностью излучаемого импульса около10^{-10} с.

Работы в этом перспективном направлении ведутся в России и за рубежом. Высокоточный безотражательный дальномер (с $\tau_и = 10^{-9}$ с) был разработан и внедрён в практику маркшейдерских измерений на

кафедре маркшейдерского дела СГИ (УГГУ) в 1982 году, которому было присвоено название СМБ – светодальномер маркшейдерский безотражательный [4]. Название «безотражательный» подчёркивало свойство нового светодальномера – измерение расстояний без применения специальных отражателей.

За основу схемы дальномера СМБ была выбрана схема с преобразованием частоты. Новым в СМБ был способ повышения точности за счёт выделения высших гармоник импульсного сигнала с эквивалентной частотой повторения $F_п$ = 1,5 МГц с наносекундной длительностью импульса. Это был первый безотражательный дальномер с периодическим сигналом с миллиметровой точностью измерения дальности до недоступных объектов.

10.5. Светодальномеры с периодическим сигналом

В светодальномерах с периодическим сигналом излучается световой поток Ф, у которого регулярно повторяются мгновенные значения излучаемой мощности светового потока через заданный интервал времени (период), удовлетворяющий условию

$$\Phi(t) = \Phi(t_0 + T \cdot n),$$

где T – период повторения (колебания) мгновенных значений излучаемой мощности светового потока; n – целое число периодов; t_0 – начальный момент времени включения периодического сигнала.

Простейшими видами периодического сигнала являются непрерывные незатухающие гармонические (синусоидальные) колебания, а также непрерывная последовательность импульсов с периодом колебания (повторения) $T_с = T_П$ (рис. 10.14).

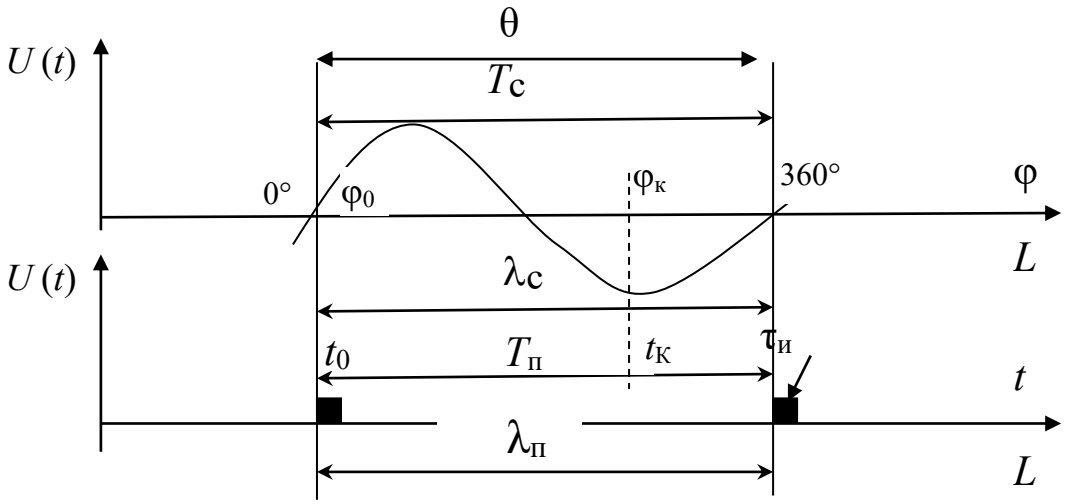


Рис. 10.14. Виды периодического сигнала

С точки зрения соответствия основных точек временных (фазовых) параметров $T_п$, $T_с$, t_0, $t_К$, φ_0, $\varphi_к$ оба эти сигнала (см. рис. 9.14), идентичны, отличаются друг от друга только величиной максимальной мощности излучения, которая, при одинаковом значении периодов $T_п = T_с$, при импульсной форме сигнала, на основании формулы (9.5), на порядки больше, чем при синусоидальной форме сигнала, где $P_{макс} = P_{ср}\left(\frac{T_с}{0{,}5T_с}\right) = 2P_{ср}$ за счёт уменьшения длительности импульса $\tau_и$ по отношению к периоду $T_п$:

$$P_и = P_{ср} \cdot \frac{T_п}{\tau_и}. \qquad (10.5)$$

При цифровом методе измерений времени задержки $\tau_з$ синусоидального сигнала за точки отсчета принимаются моменты перехода синусоидального сигнала через ноль. Этим же точкам соответствует и положение импульсов на оси t при периодической импульсной последовательности при $T_п = T_с$. Именно это соответствие является основной причиной того, что дальномеры с периодической импульсной последовательностью часто относят к «фазовым» [5], что является в определённой мере условным.

В фазовых дальномерах, до создания цифровых, измерялся сдвиг фаз $\Delta\varphi = \varphi_к - \varphi_0$ по фазовой оси φ с помощью фазового детектора и фазосдвигающего устройства (МСД1м (СССР), ЕОК-2000 (Германия)).

Затем через относительное значение фазового сдвига $\Delta\varphi/\theta$ определяли длину как долю длины волны $\lambda_с$:

$$L_ф = \Delta\varphi / \theta \cdot 0{,}5\ \lambda_{с,} \qquad (10.6)$$

где $\theta = 360°$.

В цифровых дальномерах измеряют непосредственно величину временного сдвига $\Delta t = t_К - t_0$, затем через величину относительного временного сдвига Δt / $T_п$ определяют дальность как долю длины волны $\Delta\lambda_п$:

$$L_{цифр} = \Delta t / T_п \cdot \lambda_п = \Delta\lambda_п, \qquad (10.7)$$

где $\lambda_п$ – мера длины, для измерения которой и предназначены дальномеры (2СМ2 (СССР)).

Следует заметить, что в устройствах цифровых фазовых измерений основной операцией являются преобразования сдвига фаз $\Delta\varphi$ во временной сдвиг Δt.

Из приведённых формул (10.6), (10.7) следует однозначный вывод, что «фазовые» дальномеры не являются, как принято считать, более точными, чем «импульсные. При равных значениях $\lambda_{п} = \lambda_{с}$ и $\Delta\varphi / \theta = \Delta t / T_{п}$ **фазовые и импульсные дальномеры с периодическим сигналом имеют одинаковую точность.** В ряде случаев при значениях $\lambda_{с} \geq 2L_{м}$ фазовые дальномеры имеют меньшую точность, чем даже моноимпульсные. Относительная погрешность измерения фазового и временного сдвига в полевых приборах, как показывает анализ точности измерений ряда приборов, $\Delta\varphi / \theta = \Delta t / T_{п} \approx 10^{-3}..10^{-4}$. Величина относительной линейной погрешности при том и другом методах измерения (при $\lambda_{п} = \lambda_{с} = 2$ км) $\Delta l / L \approx 1$м/км. Относительная погрешность моноимпульсных дальномеров при измерении расстояний порядка 1…2 км у отдельных моделей (см. табл. 10.1) не уступает фазовым. **Точность дальномеров, как импульсного, так и фазового, зависит от длины волны измерительного сигнала, а не от метода измерений временных параметров.**

Остановимся на отличительных особенностях периодического сигнала.

Основной особенностью дальномера с периодическим сигналом (см. рис. 10.14) является установившийся процесс следования излучаемых импульсов с частотой повторения

$$f_{п} = \frac{1}{T_{п}}$$

и длиной волны

$$\lambda_{п} = T_{п} \cdot V_{с} = \frac{V_{с}}{f_{п}},$$

где $\lambda_{п}$ – путь, пройденный импульсом сигнала за один период повторения импульсной последовательности.

На рис. 10.15 приведён график зависимости измеренного значения дальности от времени задержки периодического сигнала. (Учитывая равенство периодов $T_{п}$ и $T_{с}$, значения $\lambda_{с}$ и $\lambda_{п,}$ в дальнейшем для упрощения обозначают без подстрочного символа).

При периодической последовательности импульсов нет отдельного излучаемого или отраженного импульса.

Имеется периодическая последовательность импульсов, излучаемых во временные моменты $t_{о}+T \cdot n$, и периодическая последовательность отраженных импульсов с временными моментами $t_{к} + T \cdot n$,

для которых **время задержки приобретает свойства временного сдвига:**

$$\tau_з = (t_к + T \cdot n) - (t_0 + T \cdot n) = t_к - t_0 = \tau_с. \qquad (10.8)$$

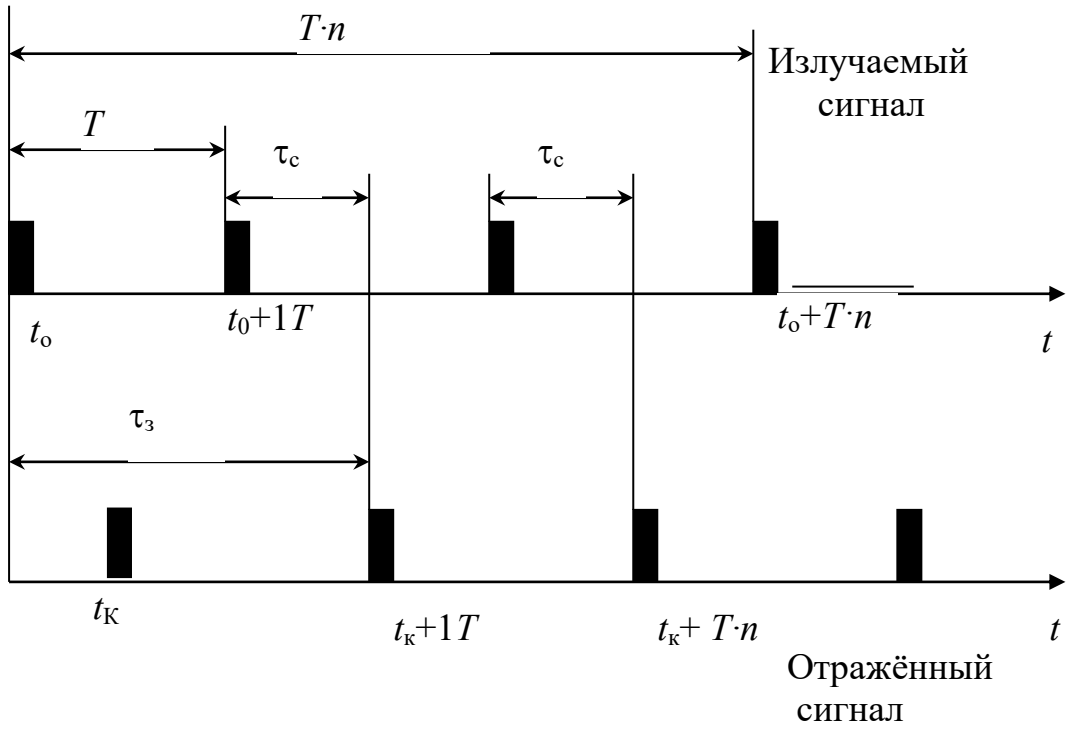


Рис. 10.15. Периодическая последовательность импульсов

Временной сдвиг отличается от временной задержки тем, что при любой дальности величина $\tau_с$ (см. рис. 10.15) является внутрипериодической величиной $\tau_с = \Delta T$ ($0 \le \tau_с \le T$) и не может быть больше периода T. В этом и проявляется «неоднозначность» результата измерений $\tau_з$ при периодическом сигнале.

Величина дальности при $\tau_с = T$ называется пределом однозначного измерения L_λ. Для локационных дальномеров с учетом двойной длины пути прохождения импульса энергии до объекта измерения и обратно предел однозначного измерения

$$L_\lambda = 0{,}5 \cdot V_с \cdot T = 0{,}5 \cdot \lambda. \qquad (10.9)$$

Следовательно, при любых значениях измеряемой дальности $L_х > L_\lambda$ результат измерений $L_{изм}$ в дальномерах с периодическим сигналом не может быть больше L_λ. При $L_х > L_\lambda$

$$L_x = (L_x / L_\lambda) \cdot L_\lambda + \Delta L_\lambda = n \cdot L_\lambda + \Delta L_\lambda,$$

где L_x – неизвестная величина измеряемой длины; $n = L_x / L_\lambda$ – 1, 2, 3… целое неизвестное число L_λ, зависящее от длины L_x. Для того чтобы $L_{изм} = L_x$, необходимо увеличить предел однозначного измерения L_λ до значения $L_\lambda > L_м$, при котором $n = 0$.

Отсюда следует основное положение дальномера с периодическим сигналом:

для однозначного измерения дальности длина волны периодического сигнала должна удовлетворять условию

$$\lambda \geq 2\, L_м\,, \tag{10.10}$$

что соответствует значению масштабной частоты

$$f_{мч} \leq \frac{V\text{c}}{2L_м}. \tag{10.11}$$

Так как частота $f_{мч}$ определяет предел (масштаб) однозначного измерения дальности от 0 до 0,5 λ, в дальномерной технике частота $f_{мч}$ получила название ***масштабная частота*** **(**для синусоидального сигнала – ***масштабная частота колебаний*** $\boldsymbol{f_{мч}}$, для периодической последовательности – ***масштабная частота повторений*** $\boldsymbol{f_{мп}}$).

Так как τ_c является внутрипериодической величиной $\tau_c = \Delta T$, то для теоретических объяснений и вычислений удобно пользоваться относительным временным сдвигом:

$$\Delta T / T = \tau_c / T. \tag{10.12}$$

На рис. 10.16 приведён график зависимости L от τ_c в пределах одного периода T.

Используя теорему подобия

$$\frac{\tau_c}{T} = \frac{L_к}{0{,}5\lambda}; \tag{10.13}$$

находим:

$$L_к = \frac{\tau_c}{T} 0{,}5\,\lambda\,. \tag{10.14}$$

Величина $\dfrac{\tau_c}{T}$ является безразмерной величиной, характеризующей долю периода T и, соответственно, долю длины волны λ.

Длина волны λ в дальномерах с периодической последовательностью является мерой, хранящей заданную единицу длины.

В начале раздела было отмечено, что для обеспечения условий измерений, при которых $L_{изм} = L_x$, необходимо увеличить предел однозначного измерения до значения $L_\lambda > L_{изм}$.

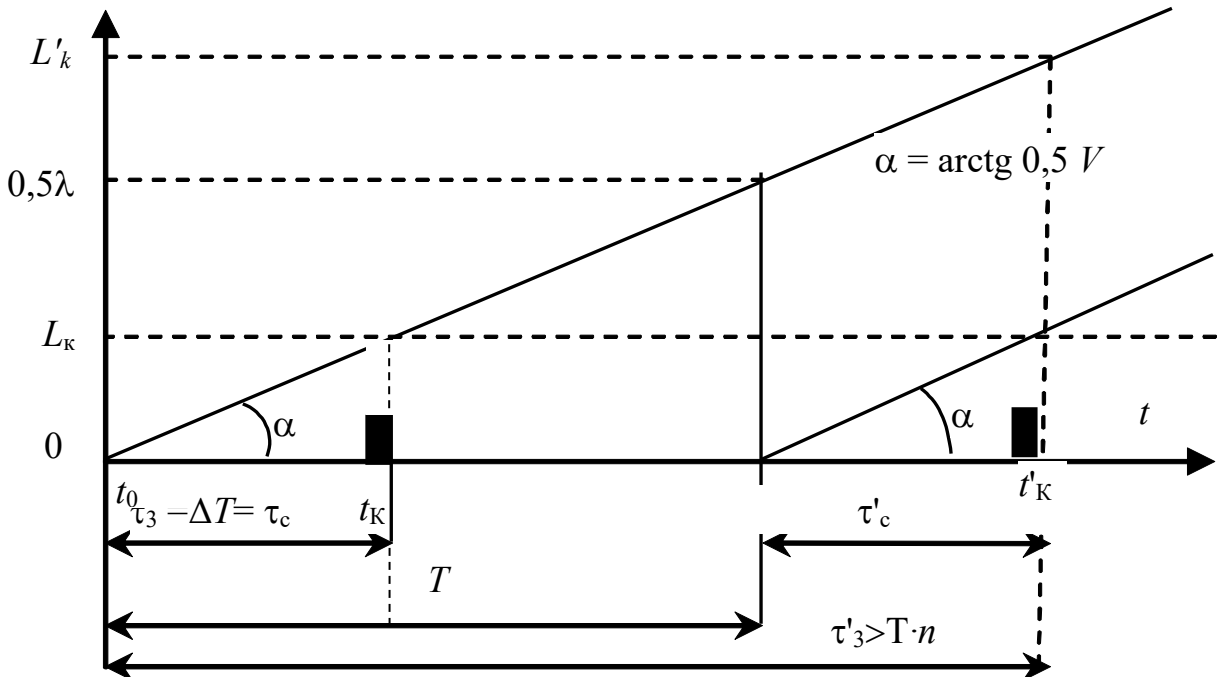


Рис. 10.16. Зависимость дальности от времени задержки

Рассмотрим особенности измерения дальности, когда $\tau_3 > T$, или $L_x > 0{,}5\lambda$.

При $\tau'_3 > T \cdot n$ временной момент прихода отраженного сигнала

$$t'_к = T \cdot n + \tau'_с .$$

Отсюда теоретическое значение дальности

$$L'_к = 0{,}5V_\rho \cdot T \cdot n + 0{,}5\tau'_с \cdot V\rho. \qquad (10.15)$$

Или, принимая во внимание, что $T \cdot V\rho = \lambda$,

$$L'_к = 0{,}5\lambda n + \frac{\tau'_с}{T} \cdot 0{,}5\lambda . \qquad (10.16)$$

Однако при $\tau'_3 > T \cdot n$ на основании выражения (10.8), $\tau'_3 = \tau'_с = \tau_с$, $n = 0$, и, следовательно, независимо от числа периодов $T \cdot n$, измеренное значение дальности $L_{изм} = L'_к$ и не соответствует τ'_3:

$$L'_к = L_к = \frac{\tau'_с}{T} \cdot 0{,}5\lambda .$$

Это свойство периодического сигнала при $\tau'_3 > T \cdot n$ называется неоднозначностью измерения.

Для однозначного измерения дальности при периодическом сигнале применяют принцип измерения на нескольких масштабных частотах $f_{мч}$ или на нескольких длинах волн.

Одну из частот $f_{мч}$ (нижнюю – меньшую по величине) выбирают, как было сказано выше, из условия однозначности $\lambda_н > 2\,L_м$. При этом $\tau_З = \tau_с$, независимо от дальности, в диапазоне от 0 до $L_м$ будет внутрипериодической величиной с $n = 0$, и значению $\tau_З < T_н$ будет соответствовать однозначное значение $\tau_с$ и, соответственно, однозначное значение дальности.

Верхнее значение $f_{мч}$, с наименьшим значением длины $\lambda_{в,}$ выбирают исходя из заданной точности измерений ΔL:

$$\lambda_в = \Delta L\ (10^3 \ldots 10^4), \qquad (10.17)$$

где $(10^3 \ldots 10^4)$ – точность измерения периода T.

Точность – величина, обратная относительной погрешности измерения временного сдвига σ_τ / T или линейного – $\sigma_l / 0{,}5\,\lambda$.

Применение для измерений нескольких масштабных частот позволяет не только разрешить проблему неоднозначности, но и обеспечить требуемую точность.

В дальномерах с периодическим сигналом однозначность разрешается путём исключения *n* выбором $\lambda_н > 2\,L_м$:

$$L_н = \frac{\tau_н}{T_н} 0{,}5\lambda_н,$$

где $\tau_н$ – величина временного сдвига на нижней частоте.

Если погрешность измерений

$$\sigma_{L_н} = \frac{\sigma_{\tau н}}{T_н} 0{,}5\lambda_н, \qquad (10.18)$$

где $\frac{\sigma_{\tau н}}{T_н}$ – среднее квадратическое значение относительной погрешности измерения временного сдвига на нижней частоте, большее $(0{,}3 \ldots 0{,}5)\lambda_в$; выбирают другое, более низкое значение $\lambda_в$, при котором

$$\sigma_{L_н} \le (0{,}3 \ldots 0{,}5)\lambda_в. \qquad (10.19)$$

Если эти условия не выполняются, выбирают дополнительные промежуточные значения длин волн, при которых последовательно обеспечивается приведенное условие в формуле (10.19). Чаще всего при выборе применяют принцип обеспечения декадной пропорциональности между $\lambda_в$ и $\lambda_н$. **Таким образом, для однозначного измерения дальности дальномерный периодический сигнал должен состоять из нескольких масштабных частот** от $f_н$ до $f_в$, которым

соответствуют значения длины волн от $\lambda_н$ до $\lambda_в$. **Нижние частоты обеспечивает грубое однозначное измерение дальности. Наивысшая частота – точное измерение.** В этом просматривается полный аналог отсчета времени по периодическим шкалам часов от более грубого – к более точному: час + мин + сек.

Если проанализировать формулу (10.18), то из неё следует основополагающий вывод: **погрешность измерений при периодическом сигнале может быть уменьшена за счёт двух факторов: уменьшения длины волны и уменьшения погрешности измерения временного сдвига σ_τ.**

Возможность изменения размерности шкалы переключением значения частоты $f_м$ является одним из основных достоинств дальномеров с периодическим сигналам, позволяющим повысить точность измерений за счёт уменьшения длины волны $\lambda_в$.

Другим достоинством дальномеров с периодическим сигналом является **возможность переноса процесса измерения дальности с высокой масштабной частоты $f_м$ на более низкую частоту – промежуточную $F_{пр}$** без изменения величины масштабной частоты и, соответственно, длины волны λ.

Если в формуле дальности

$$L = \frac{\tau_с}{T} 0{,}5\lambda = \frac{\tau_с k}{Tk} 0{,}5\lambda \qquad (10.20)$$

числитель и знаменатель уменьшить или увеличить в одинаковое количество раз k, то значение L не изменится.

Структурная схема преобразования частоты представлена на рис. 10.17.

Способ уменьшения частоты, сохраняющий относительный сдвиг $\tau_с / T$ без изменения, называется преобразованием частоты.

Рассмотрим процесс преобразования частоты на примере простейшего гармонического колебания.

На преобразователь частоты (см. рис. 10.17) поступают два сигнала: масштабной частоты $f_м$ ($U_м \sin\omega_м$) и от дополнительного вспомогательного генератора $f_г$ ($U_г \cdot \sin \omega_г t$).

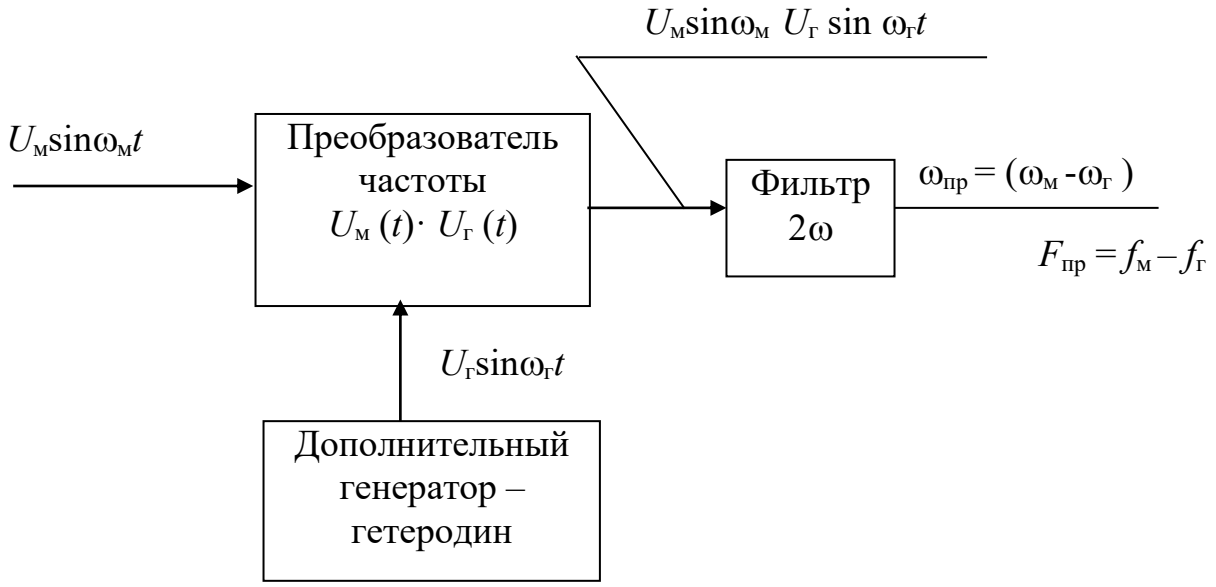


Рис. 10.17. Структурная схема преобразования частоты

Сигнал на выходе преобразователя, который выполняет функции перемножителя входных сигналов, в соответствии с тригонометрической формулой $\sin\alpha \cdot \sin\beta$:

$$U(t) = U_м \sin(\omega_м t + \omega_0) U_г \sin(\omega_г t + \varphi_г) = \\ = \frac{1}{2} U_м U_г \cos(\omega_м - \omega_г)t + ... \qquad (10.21)$$

Из полученного выражения видно, что на выходе преобразователя появилась новая разностная (промежуточная) частота $\omega_{пр} = (\omega_м - \omega_г)$ или с учетом $\omega = 2\pi F$, $F_{пр} = f_м - f_г$. Другой член уравнения (10.21) $(\omega_м + \omega_г)$ отфильтровывается и в измерениях не участвует.

Величина $k_{пр} = f_м / f_п$ называется коэффициентом преобразования частоты или коэффициентом преобразования периода $k_{пр} = T_м / T_{пр}$. Отсюда $T_{пр} = T_м k_{пр}$. Так как $\tau_с = \Delta T$, то на промежуточной частоте величина $\tau_{сп} = \tau_с k_{пр}$. Относительные значения $\frac{\tau_{сп}}{T_{пр}} = \frac{\tau_с}{T_м}$ остаются без изменения.

Процесс переноса измерений дальности на более низкую разностную (промежуточную) частоту в дальномерах с периодическим сигналом имеет важное значение для повышения точности измерений, так как это эквивалентно увеличению частоты счётных импульсов в $k_{пр}$ раз и уменьшает погрешность измере-

ния временных характеристик за счёт увеличения периода $T_{пр}$ (10.18).

Принцип действия светодальномера с периодическим сигналом поясняется структурной схемой, приведённой на рис. 10.18.

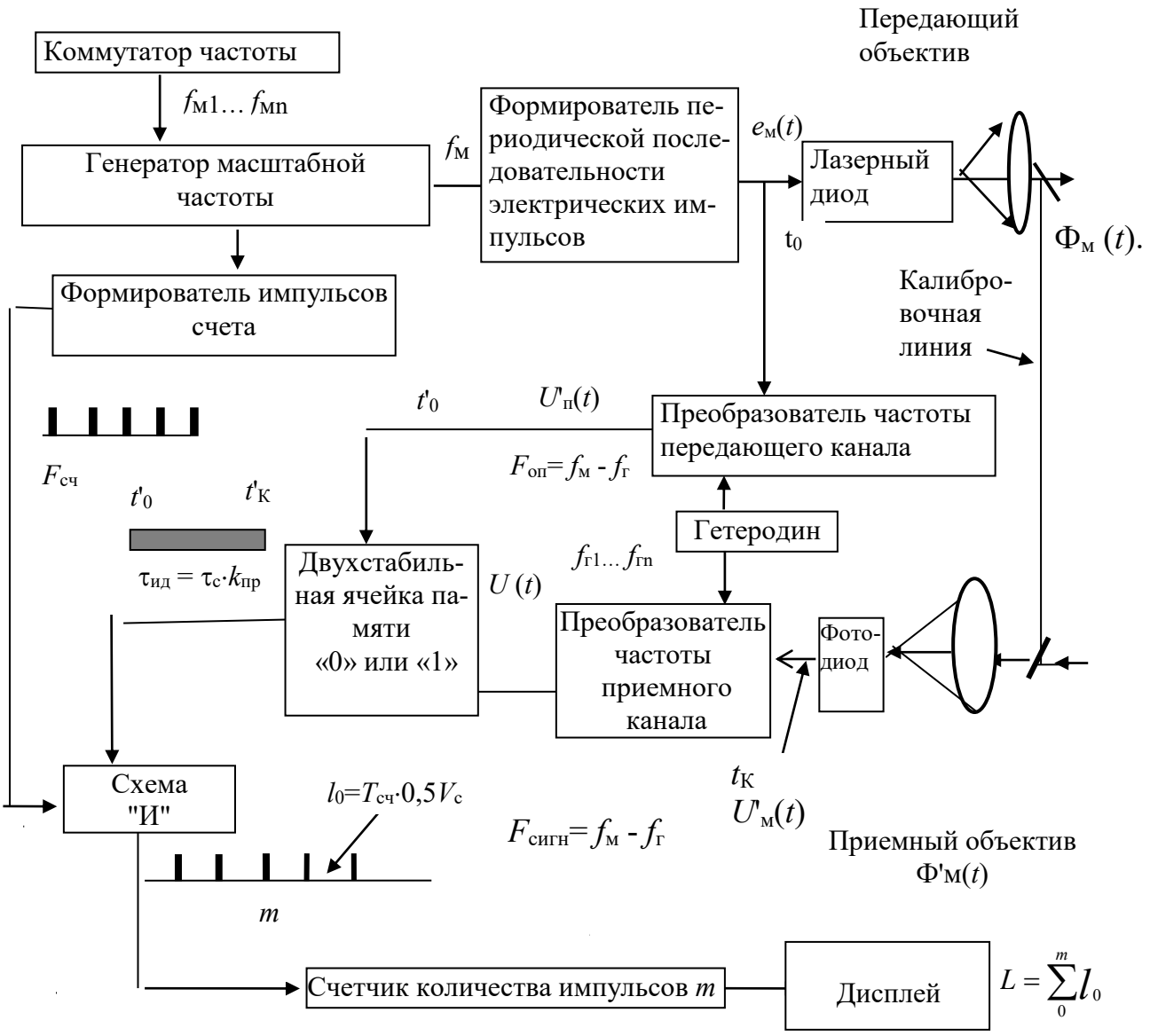


Рис. 10.18. Структурная схема светодальномера с периодическим сигналом

В светодальномерах с периодическим сигналом для определения расстояния используется измерение временного сдвига между излучаемой и отражённой от объекта периодической последовательностью световых импульсов, следующих с частотой повторения $f_п = f_м$ ($f_м$ - масштабная частота).

Периодическая последовательность электрических импульсов $e_м(t)$ с частотой $f_п$, заданной генератором масштабной частоты, поступает на лазерный диод, вызывая генерацию периодической последовательности световых импульсов $Ф_м(t)$.

С помощью передающей оптической системы излучение лазерного диода направляется на объект измерения. Отраженные (сигнальные) световые импульсы возвращаются и через приемную оптическую систему поступают на фотодиод.

В фотодиоде периодическая последовательность световых импульсов $Ф_м(t)$ преобразуется снова в электрическую периодическую последовательность импульсов $U'_м(t)$, содержащую информацию о времени сдвига отраженных импульсов $\tau_с = t_К - t_0$ относительно излучаемых (см. рис. 10.18).

С выхода фотодиода и с входа лазерного диода напряжение масштабной частоты $U'_м(t)$ поступает на преобразователи частоты приёмного и передающего каналов, на которые подаются напряжения вспомогательного генератора- гетеродина $U_г(t)$ с частотой $F_г$.

На выходе преобразователей выделяют разностные (промежуточные) частоты $F_{пр} = F'_{пр\,г}$ с периодом $T_{пр} = T_п \cdot k_{пр}$. Величина временного сдвига на промежуточной частоте $\tau_{пр} = \tau_с k_{пр}$. Применение преобразования масштабной частоты позволяет увеличить длительность дальномерного импульса $\tau_{ди}$, что эквивалентно повышению частоты счётных импульсов в $k_{пр}$ раз, или - уменьшению цены младшего разряда счётчика в $k_{пр}$ раз, что также позволяет повысить точность измерения.

При выборе величины промежуточной частоты руководствуются и тем, и другим в зависимости от функциональных возможностей применяемых элементов электрической схемы.

Величина $\tau_{пр}$ с помощью двухстабильной ячейки памяти, как и в дальномере с моноимпульсным сигналом, преобразуется в длительность импульса дальности $\tau_{ид}$.

Длительность $\tau_{ид}$ с помощью логического элемента «И» разделяют на дискреты, размерность которых выбирают не в единицах времени, а в единицах длины $l_0 = L_\lambda \cdot 10^{-M}$, где M – выбранное количество дискретов величины L_λ.

Рассмотрим это на примере светодальномера СТ-10 (Россия, УОМЗ).

Предел однозначного измерения на точной масштабной частоте $f_в$ = 14985500 Гц L_λ=10^4 мм. Размерность одного дискрета при $M = 4$

$l_0 = L_\lambda \cdot 10^{-4} = 1$ мм. Для $f_н = 14985{,}500$ Гц, обеспечивающей однозначный результат измерений, предел однозначного измерения $L_\lambda = 10^4$ м, $l_0 = 1$ м. Следовательно, величина дискрета, которая определяет точность измерения, в СТ-10, как и в других светодальномерах, меняется только за счёт изменения масштабной частоты. Дальнейшее увеличение величины N с целью повышения точности целесообразно, если предельно допустимое значение случайной погрешности $3\sigma_т \le l_0$. Режим переключения частот автоматизирован. Результаты измерений последовательно записываются в регистры памяти.

Измеренное количество дискретов $m_н$, полученных при выбранных значениях $f_н$, суммируется с результатом измерений $n_в$, полученного при измерениях на $f_в$. Суммарная величина как результат измерения отображается на дисплее.

10.6. Основные погрешности дальномеров

10.6.1. Погрешности дальномеров с нониусной системой

В **импульсных** дальномерах с апериодическим сигналом мерой длины, с учётом двойного пути, является длина полуволны счётных импульсов 0,5 $\lambda_{сч}$.

Если $\lambda_{сч} = 2$ мм, то при $V_р \approx 300000$ км/с расчётное значение величины дискрета $T_{сч} \approx 6 \cdot 10^{-12}$ с. Измерение столь малых временных интервалов дискрета в полевых моноимпульсных дальномерах ещё не реализовано. В некоторых моделях этот недостаток частично устраняется применением нониусной системы измерений. Нониусный метод основан на использовании дополнительной точной шкалы. Данный метод широко используется в механических средствах измерений линейных размеров. Принцип нониуса заключается в том, что период (интервал) нониусной шкалы $T_н$ отличается от периода (интервала) шкалы счётных импульсов $T_{сч}$ на величину отсчёта по нониусной шкале. При заданной величине отсчёта по нониусу 0,1 $T_{сч}$ период $T_н = 1 - 0{,}1 = 0{,}9\ T_{сч}$. При десятичной шкале нониуса 10 интервалов нониуса m должно укладываться в 9 интервалов шкалы $T_{сч}$. Величина, отсчитанная по нониусной шкале: $\Delta\ T_{сч} = m\ T_н = \Delta\tau_з$.

На рис. 10.19 показаны импульс с временным моментом $t_к$ и серия счетных импульсов $t_{сч}$.

Импульс $t_к$ запускает нониусное устройство, период повторения импульсов которого $T_н$ несколько отличается от периода счетных

импульсов $T_{сч}$. Пусть $T_н < T_{сч}$. Импульсы нониусного устройства прекращаются в момент совпадения счетного и нониусного импульсов.

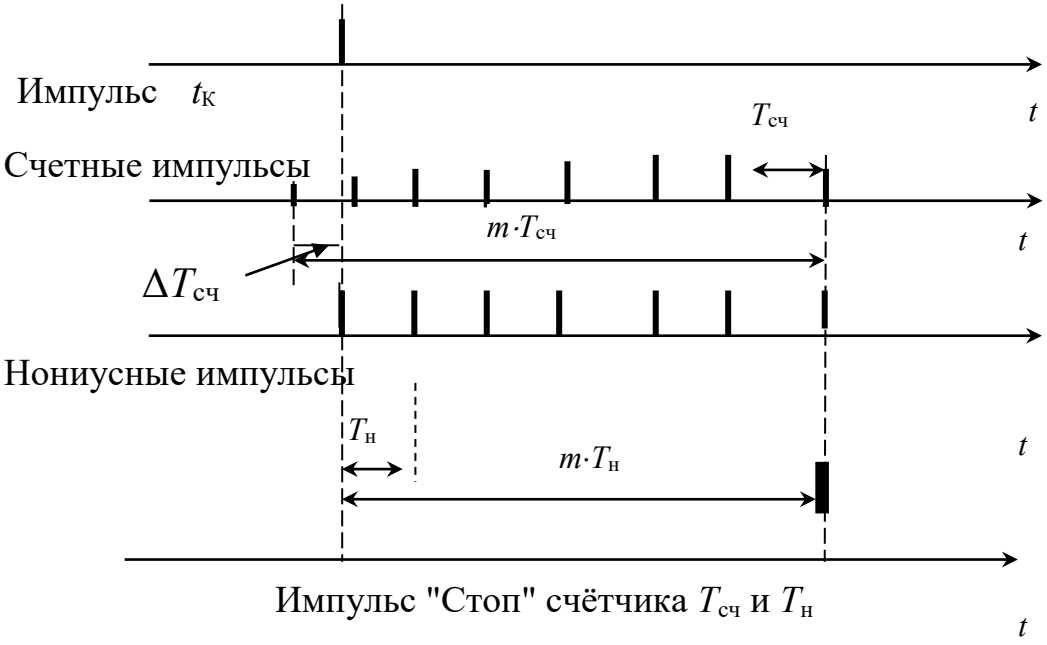


Рис. 10.19. Нониусный метод измерения дальности

Такое совпадение наступает при выполнении условия

$$t_к = m(T_{сч} - T_н),$$

где m – целое число, фиксируемое по номеру нониусного импульса.
В этом методе величина $t_к$ измеряется с точностью до $\Delta T_{сч} = T_{сч} - T_н$ или при выбранных параметрах $T_н = 1 - 0{,}1 = 0{,}9\ T_{сч}$ до $0{,}1\ T_{сч.}$

Основное назначение моноимпульсных дальномеров - измерение больших расстояний (единицы и десятки километров), при сохранении малого значения относительной погрешности.

10.6.2. Погрешность дискретизации

Независимо от типа сигнала в современных дальномерах с цифровой обработкой сигнала аналоговую величину преобразуют в дискретную.

Погрешность, обусловленная дискретностью отсчета $l_о$, зависит от того, согласовано положение счетных импульсов с началом импульса дальности t_0 или не согласовано.

При согласованном положении счетных импульсов с передним фронтом импульса дальности $\tau_д$ считанное число импульсов m остается неизменным при изменении дальности в пределах дискрета $l_о$ (рис. 10.20, *а*).

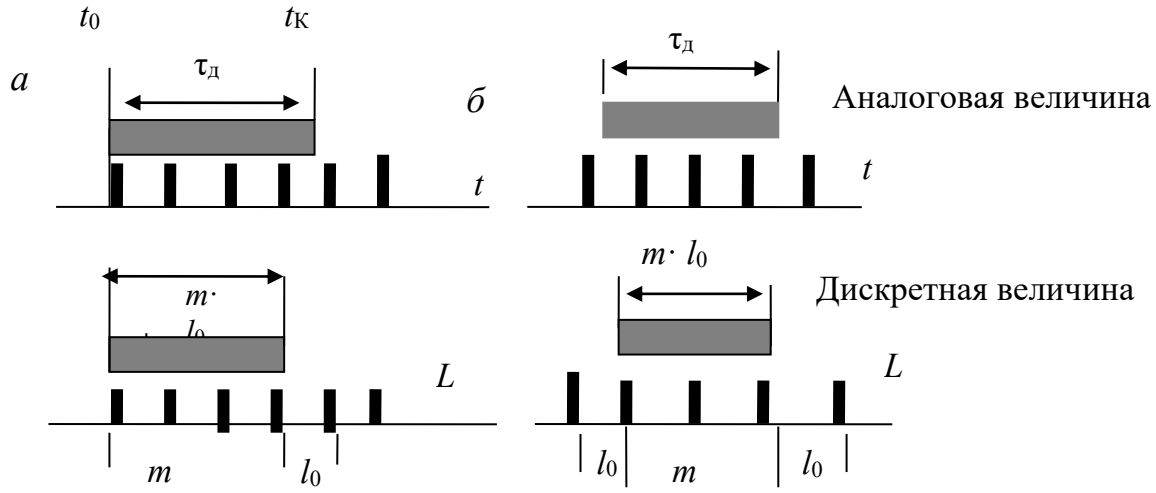


Рис. 10.20. Диаграмма процесса считывания импульсов:
а – согласованное начало отсчета; *б* – несогласованное начало отсчета

Так как любое истинное значение $\tau_д$ в интервале $l_о$ равновероятно (равномерное распределение), средняя квадратическая погрешность измерения дальности

$$\sigma_L = \frac{l_0}{2\sqrt{3}} \approx 0{,}3 l_0 . \qquad (10.22)$$

Систематическая погрешность $\delta_L = -l_0$, т. е. подсчитанное счетчиком значение дальности меньше на величину $-l_0$.

При несогласованном положении счетных импульсов (рис. 10.20, *б*) относительно начала отсчета импульса $\tau_д$ интервал систематической погрешности удваивается $\delta_L = 2l_0$, а среднеквадратическое значение возрастает в $\sqrt{2}$ раз:

$$\sigma_L = \frac{l_0}{2\sqrt{6}} \approx 0{,}5 l_0 . \qquad (10.23)$$

В светодальномерах типа 2СМ2, СТ5, СТ10 уменьшение погрешности за счет дискретизации достигнуто измерением среднего значения $\tau_д$ в 1600 периодах $T_{сч}$, что теоретически уменьшает случайную погрешности в $\sqrt{1600}$ раз. Это еще одно из преимуществ периодического сигнала.

10.6.3. Погрешности нестабильности масштабной частоты

Из формулы $\lambda = \frac{V_p}{F_м}$ следует, что значение λ зависит от стабильности частоты $F_м$. Допустимое значение отклонения частоты может быть определено из формулы

$$\frac{\Delta F_м}{F_м} = \frac{\Delta l}{L}, \qquad (10.24)$$

где $\Delta F_м$ – отклонение масштабной частоты от номинального значения; Δl – допустимое значение погрешности измерения дальности L.

При допустимом значении относительной погрешности $\frac{\Delta l}{L} = \frac{\Delta F_м}{F_м} = 1 \cdot 10^{-6}$ (1 мм/км) допустимое отклонение масштабной частоты $\Delta F_м = F_м \cdot 10^{-6}$. Масштабная частота дальномерного блока тахеометра 4Та5, светодальномеров СТ5, СТ10 $F_м$ = 14985500 Гц. Допустимое отклонение $\Delta F_м = 14985500 \cdot 10^{-6} \approx 15$ Гц. Столь жесткое требование к стабильности $F_м$ обеспечивается использованием в качестве датчика частоты $F_м$ кварцевого резонатора, в высокоточных дальномерах его термостатированием (СП2, СТ 10) или введением поправки за температурный уход частоты.

Кварцевые резонаторы характеризуются температурным коэффициентом частоты ТКЧ. Среднее значение ТКЧ составляет $5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$. Для указанного значения ТКЧ изменение температуры на ±10 °С приводит к образованию систематической погрешности (на основании выражения (10.24)) $\Delta L = \pm 5$ мм/км.

Кристаллы кварца подвержены старению во времени, которое также приводит к изменению частоты. Всё это определяет **периодичность поверки масштабной частоты $F_м$ не реже чем 1 раз в год в метрологических центрах** или подтверждает достаточную стабильность измерением эталонных длин.

10.6.4. Влияние флюктуационных оптических и электрических помех

В светодальномерах с моноимпульсным или импульсным периодическим сигналом излучаемый и отраженный сигналы при прохождении через атмосферу подвергаются искажениям из-за флюктуации (случайного отклонения) показателя преломления атмосферы, ее турбулентности, фоновых солнечных засветок, которые способствуют образованию фоновых электрических шумов фотодиода. При попадании флюктуирующего импульсного светового потока и фоновой (солнечной) засветки на фотодиод на выходе фотодиода выделяется сумма двух напряжений - напряжения сигнала и шумов $U_{\Sigma}(t) = U_{с}(t) + U_{ш}(t)$, где $U_{ш}(t)$ – случайные (шумовые) флюктуации напряжения (электрические шумы) на нагрузке фотодиода из-за перечисленных причин.

В результате взаимодействия импульсов сигнала и шумов происходит случайное изменение амплитуды сигнала и случайное смещение временного момента $t_{К}$ по оси времени. Рассмотрим это подробнее. На выходе фотодиода образуется искаженный импульс, одна из реализаций которого имеет вид, показанный на рис. 10.2 тонкой линией. Для достаточно больших отношений сигнал/шум $U_{с}(t) / U_{ш}(t)$ крутизна импульса отражённого сигнала $K_{фр} = \mathrm{arctq}\ U_m / \tau_{ф}$ практически не изменяется и равна крутизне импульса чистого сигнала (сплошная линия на рис. 10.21).

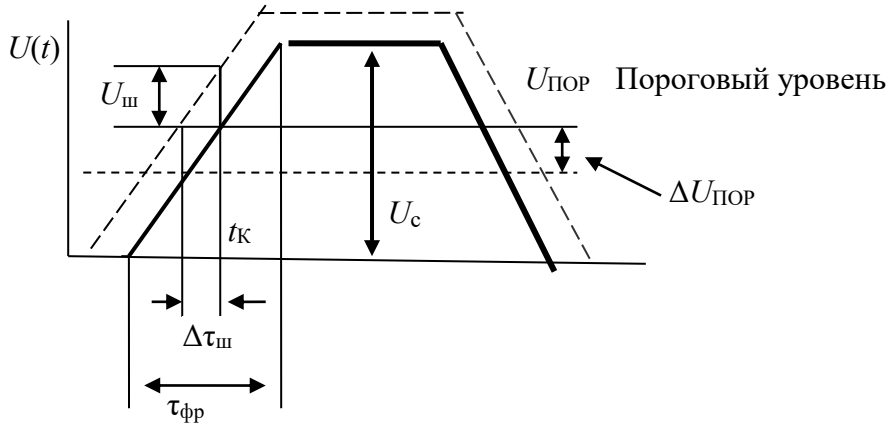


Рис. 10.21. Влияние шумовой помехи и величины порогового уровня на измерение $\tau_{з}$

При малых значениях $U_с$ или больших значениях $U_ш$ в момент пересечения передним фронтом импульса нормированного порогового уровня возможен, за счёт выбросов амплитуды шума $U_ш$ по оси $U(t)$, случайный сдвиг временного момента $t_к$ по оси времени t на величину $\Delta\tau_ш$,что приведёт к образованию случайной погрешности измерения временного момента $t_к$ и, соответственно, к погрешности определения времени задержки $\Delta t_з$.

Отсюда величина линейной погрешности из-за влияния шумовой помехи $\Delta L_ш = 0{,}5 \cdot V_р \cdot \Delta t_з$.

Для оценки влияния электрических шумов на **погрешность измерения дальномеров с импульсным периодическим сигналом при отсутствии временных параметров импульсов** можно построить простую векторную диаграмму (рис. 10.22), представив смесь сигнал+шум в виде суммы двух векторов $\overline{U_с}$ и $\overline{U_ш}$.

Под воздействием $U_ш$, величина которого имеет случайные мгновенные значения $U_{ш\,i}$ и случайной круговой скорости $\omega_{ш\,i}$, результирующий вектор $\overline{U}_R = U_с + U_ш$ будет колебаться в пределах $2\Delta\varphi$.

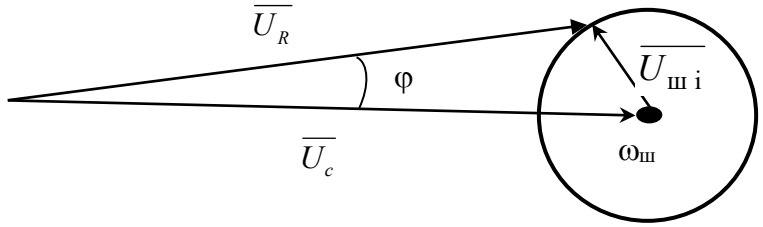


Рис. 10.22. Диаграмма влияния φ от $U_ш$

Для малых значений $U_ш$

$$\Delta\varphi_ш = \frac{U_ш}{U_с}\ \text{рад};\ \Delta\varphi^\circ = \frac{U_ш \cdot 57^\circ}{U_с}.$$

Для реального значения отношения $U_с/U_ш = 1000$, при $L = 1000$ м и $\lambda = 20$ м, максимальное значение погрешности измерения дальности

$$\Delta l = \frac{2\Delta\varphi}{360^0} \cdot 0{,}5\lambda \approx 3{,}0\ \text{мм},$$

что соответствует второму члену уравнения погрешности светодальномеров СТ-5, СТ-10 и т. д., величина средней квадратической погрешности которых СКП = $(5 + 3 \cdot 10^{-6} L)$ мм, где L в мм. Первый член данного уравнения характеризует неисключённые систематические погрешности и фактически определяет инструментальную погреш-

ность дальномера, второй член зависит от отношения сигнал/шум $U_с/U_ш$.

Выбор условий прохождения сигнала, энергетических характеристик отражателей имеет важное значение для снижения случайных погрешностей измерений.

10.6.5. Переменная систематическая погрешность

Переменная систематическая (циклическая) погрешность – это погрешность дальномеров с периодическим сигналом. Причиной ее образования является проникновение в приемный канал части излучаемого сигнала в виде электромагнитной или оптической помехи $U_п$ (рис. 10.23, 10.24). В результате на вход измерительного устройства поступает сигнал, который при периодическом сигнале можно представить в виде суммы двух векторов $\overline{U_с} + \overline{U_п}$ с начальным угловым положением векторов $\varphi_с = 0$ и $\psi = 0$. При измерении дальности вектор $U_с$ изменяет свое угловое положение на величину $\Delta\theta° = (\tau_с/T) \cdot 360$.

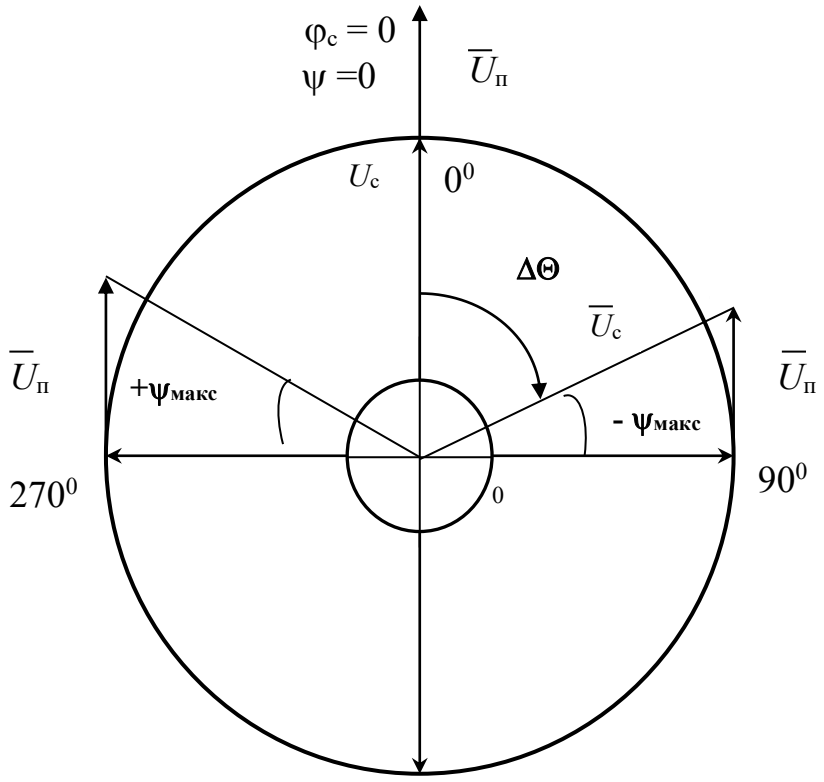


Рис. 10.23. Зависимость циклической погрешности от $U_п$

Угловое положение вектора $\overline{U_п}$ не зависит от дальности, так как образуется за счет внутренней паразитной межканальной (передатчик-приемник) связи и остаётся постоянным. Угловое положение

θ вектора $U_с$ изменяется при изменении дальности в интервале от 0 до 0,5 λ от 0 до 360°.

В точке θ = 0 угловой сдвиг ψ между $\overline{U_с}$ и $\overline{U_п} = 0$.

В точке θ = 90° угол ψ между векторами $\overline{U_с}$ и $\overline{U_п}$ будет иметь максимальное значение с отрицательным знаком.

В точке θ = 180° ψ = 0.

В точке θ = 270° угол ψ будет иметь максимальное значение, но с положительным знаком + $\psi_{макс.}$ В общем виде величина ψ = $= \arcsin \frac{U_п}{U_с}$ или, при малых значениях $U_п$, $\psi = \frac{U_п}{U_с}$, рад.

С учетом зависимости ψ от θ:

$$\psi = \arcsin \frac{U_п}{U_с} \sin \Theta .$$

График зависимостей ψ и Δ L от дальности в пределах от 0 до 0,5λ изображен на рис. 10.24.

Для перевода угловой погрешности в линейную можно использовать формулу $L = \frac{\Delta T}{T} \cdot 0{,}5\lambda$, заменив значения ΔT и T на фазовые (угловые) эквиваленты. $\Delta L = \frac{\psi}{\Theta} \cdot 0{,}5\lambda$. Для $\frac{U_п}{U_с} = 0{,}01$ $\psi \approx 0{,}57°$.

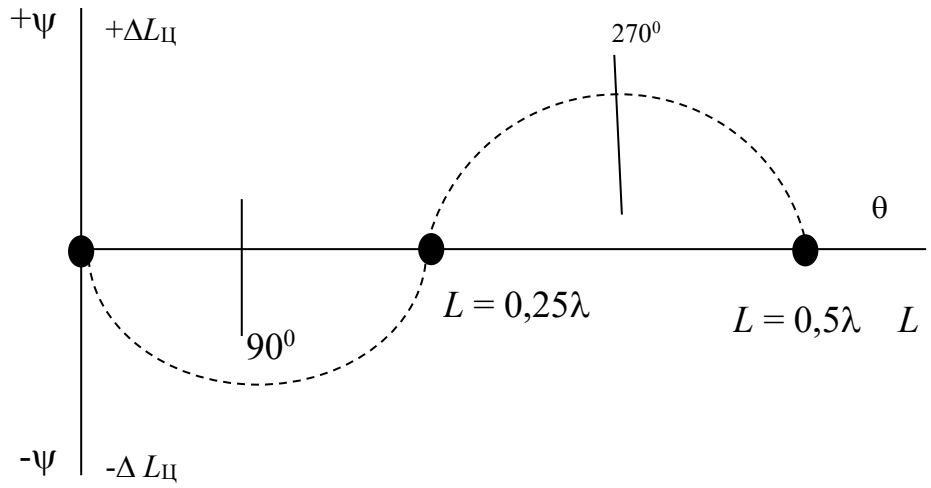


Рис. 10.24. График зависимости Δl от L

В светодальномерах типа СТ10, тахеометрах 4ТА5 (0,5λ = = 10000 мм) при $\frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{с}}} = 0{,}05$ $\Delta L_{\text{ц}} = \frac{0{,}2}{360} \cdot 10000\text{мм} \approx 5\text{ мм}$.

Из рассмотренных примеров следует, что основным способом уменьшения влияния циклической погрешности является повышение отношения $U_{\text{с}} / U_{\text{п}} > 1000$. Другим способом уменьшения $\Delta L_{\text{ц}}$ является контрольный сдвиг временного момента $t_{\text{К}}$ на полпериода 0,5Т с вычислением среднего значения $L_{\text{изм}}$, что позволяет уменьшить влияние погрешности $\Delta L_{\text{ц}}$. Такой способ зарекомендовал себя в светодальномере КДГ-3. Аналогичная методика уменьшения погрешности эксцентриситета применяется в теодолитах с двухсторонним отсчётом.

Одной из основных причин прохождения излучаемого сигнала в виде помехи $U_{\text{п}}$ в приёмный канал является применение однообъективной оптической схемы.

Световой излучаемый импульс с высоким уровнем излучаемой мощности, при применении совмещённой однообъективной оптической системы, после многократного переотражения в объективе на поверхностях раздела стекло-воздух, попадает в приемный канал, минуя дистанцию, в виде $U_{\text{п}}$ (рис. 10.25), что способствовало образованию циклической погрешности $\Delta L_{\text{ц}}$ за счет оптической помехи $U_{\text{п}}$.

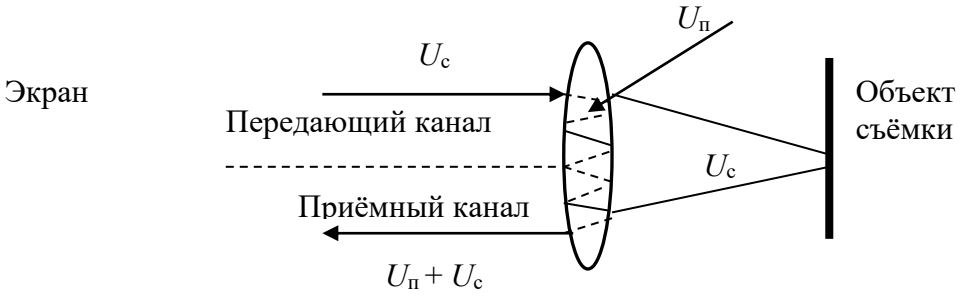


Рис. 10.25. Принцип образования оптической межканальной помехи

После разделения оптической системы на два независимых объектива проблема образования циклической погрешности для дальномеров с мощным сигналом не исчезла. При наличии задымленности, тумана, пыли на пути луча возникает объёмная отражающая среда (рис. 10.26).

За счет отражения от пыли, дождя, снега при больших уровнях $U_{\text{п}}$ величина максимального значения погрешности $\Delta l_{\text{ц}} = \Delta T_{\text{п}}/T \cdot 0{,}5\lambda$ в отдельных случаях может достигать долей метров. Нередко даль-

номер при наличии отраженного сигнала от цели прекращает процесс измерения из-за конфликтной ситуации между сигналами.

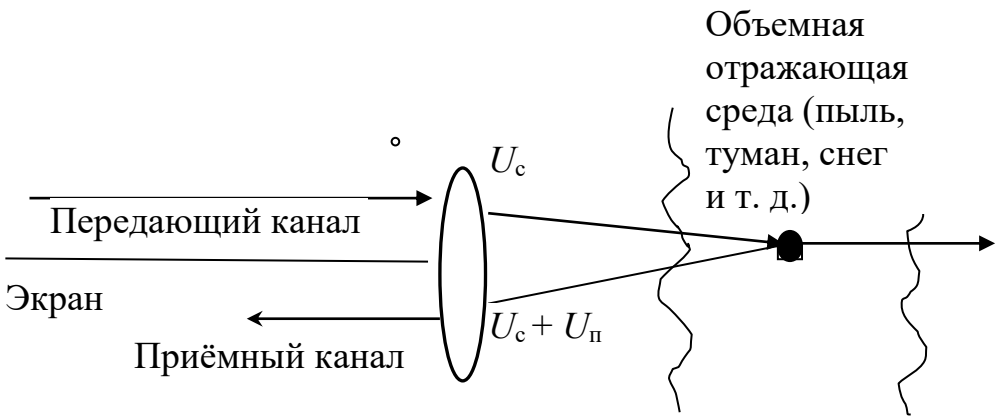


Рис. 10.26. Влияние внешней отражающей среды

Такой же эффект можно получить при отражении сигнала от шнура отвеса, ветки и других объектов, расположенных на линии луча. Отмечено, что влажные стены способствуют образованию эффекта зеркального отражения, и излучаемый сигнал не возвращается в приёмный канал. Кроме того, при высотах неровностей диффузной (шероховатой) поверхности, близких к 0,5 $\lambda_{лазера}$ (0,0005 мм), возможно образование темных полос интерференции, что уменьшает яркость светового пятна. Все это требует внимательного подхода к окружающей среде и объектам съёмки при применении безотражательного режима измерений.

10.6.6. Погрешность дрейфа нуля

Светодальномер – сложнейшее электронное устройство с множеством электрических элементов и цепей. Изменение их параметров вызывает изменение временных характеристик сигнала. Ниже рассмотрена одна из возможных причин.

Отсчёт временных моментов в электронных средствах измерений производится в моменты пересечения амплитудного значения сигнала через заданный уровень напряжения (пороговый уровень) $U_{пор}$. В качестве примера можно привести график, представленный на рис.10.2, на котором показан процесс определения временного момента $t_К$ по оси t. В реальных устройствах не существует идеального значения напряжения порогового уровня. Изменение температуры окружающей среды, нагревание сопротивлений электрической схемы

за счёт протекающего через них тока, согласно закону Ома, приводит к изменению (дрейфу) $U_{пор}$ на величину $\Delta U_{пор} = I \cdot \Delta R$. Составив простейшее уравнение $\Delta U_{пор} / U_{пор} = \Delta t_к / \tau_{задержки}$, получим величину систематической погрешности измерения момента $t_к$ для импульсного сигнала:

$$\Delta t_к = (\Delta U_{пор} / U_{пор})\, \tau_{задержки},$$

для периодического сигнала

$$\Delta t_к = (\Delta U_п / U_п)\, \tau_{сдвига.}$$

На графике (см. рис. 10.21) величина $\Delta t_к$ для упрощения графика совмещена с величиной максимального отклонения $\Delta t_{з.}$

На основании формул (10.12), (10.13) величина линейной погрешности

$$\delta_l = (\Delta t_к / T) \cdot 0{,}5\lambda.$$

В светодальномерах типа СТ10, СТ5 $\lambda = 20000$ мм.

При изменении порогового уровня на 0,01 от заданного систематическая погрешность измерения длины $\delta_l = 20$ мм.

Для исключения погрешности дрейфа нуля в светодальномерах устанавливают контрольную линию измерений (см. рис. 10.26).

Измерение производится в два приёма: сначала измеряют длину контрольной линии $L_к \pm \delta_{l,}$ затем длину до измеряемого объекта $L_д \pm \delta_{l.}$ Переключение производится в автоматическом режиме с помощью управляющего процессора.

По встроенной программе вычисляют величину результата измерений, свободную от влияния дрейфа:

$$L_{изм} = (L_д \pm \delta_l) - (L_к \pm \delta_l).$$

10.6.7. Постоянная систематическая погрешность

Постоянная систематическая погрешность зависит от геометрических параметров конструкции и оптики. Её величина определяется уравнением

$$\Delta L_{пп} = 2L - (L_{изл} + L_{отр}),$$

где $2L$ – длина между центрами вертикальных осей дальномера и отражателя 3; $(L_{изл} + L_{отр})$ – фактическая длина, пройденная сигналом от излучателя «1» до приёмника «2», включая путь, пройденный по электрическим цепям дальномера (рис. 10.27).

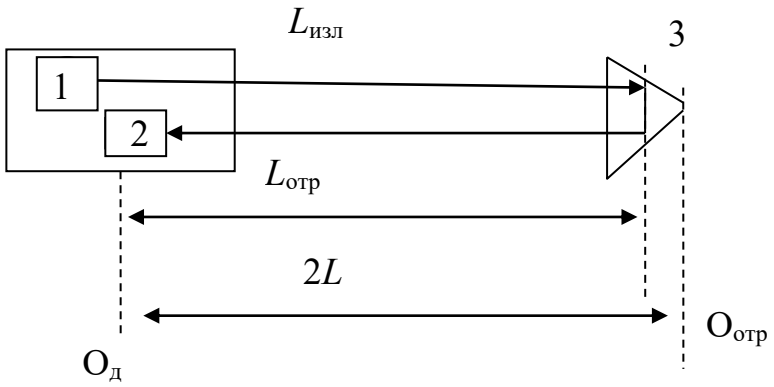


Рис. 10.27. Геометрическая схема образования постоянной систематической погрешности

Если $(L_{изл} + L_{отр}) > 2L$, то в результат измерений вводится постоянная поправка $\delta_{пп} = -\Delta L_{пп}$ или её величина вводится в память дальномера. При применении некомплектного отражателя, имеющего разные геометрические размеры и способы крепления, в обязательном порядке необходимо проверить величину $\delta_{пп}$ измерением эталонных длин.

10.6.8. Амплитудно-временная погрешность

Величина временных моментов t_0 и $t_к$ измеряется в момент пересечения передним фронтом импульса $U_с$ заданного порогового уровня постоянного напряжения $U_{пор}$ (рис. 10.28).

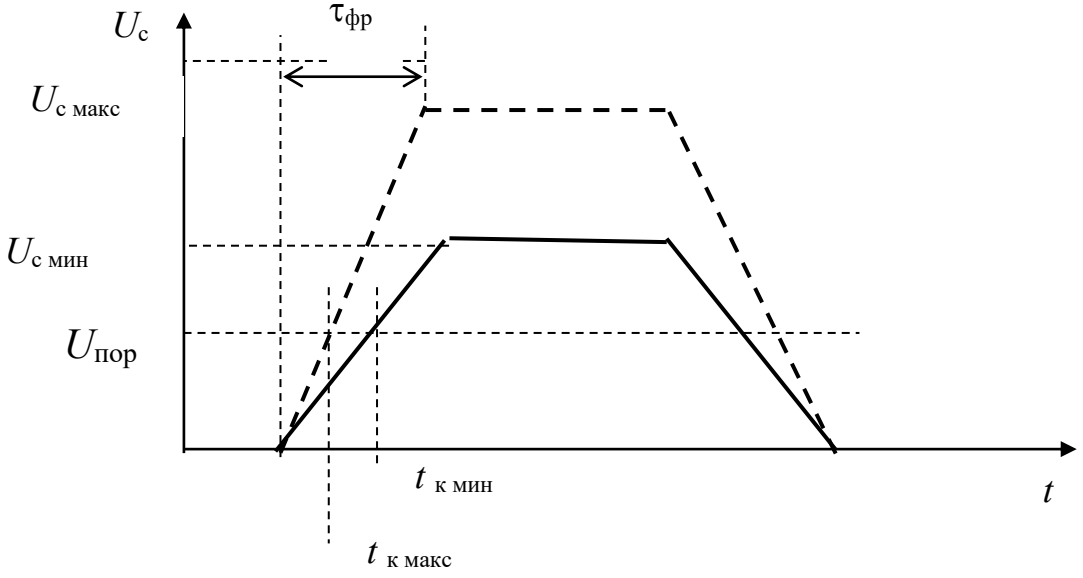


Рис. 10.28. График зависимости $t_к$ от уровня $U_с$

При измерении больших расстояний величина сигнала $U_{\text{с}}$ изменяет свое значение в некоторых пределах от $U_{\text{с макс}}$ до $U_{\text{с мин}}$ за счет ослабления светового потока в атмосферной среде и за счет наличия угловой расходимости луча, площадь сечения которого с определенного расстояния превышает площадь отражателя.

Изменение уровня сигнала от $U_{\text{с макс}}$ до $U_{\text{с мин}}$ вызывает смещение начала отсчета временного момента $t_{\text{к}}$ на величину

$$\Delta t_{\text{ур}} = t_{\text{к макс}} - t_{\text{к мин}} ,$$

что, соответственно, приводит к образованию систематической линейной погрешности:

$$\pm\delta_{\text{ур}} = \Delta t_{\text{ур}} \cdot 0{,}5 \cdot V_{\text{с}}.$$

Знак погрешности зависит от того, увеличивается или уменьшается величина $U_{\text{с}}$ относительно порогового уровня $U_{\text{пор}}$.

Для уменьшения погрешности $\delta L_{\text{ур}}$ в дальномерах предусмотрена либо ручная, либо автоматическая регулировка уровня $U_{\text{с}}$ до нормированного значения $U_{\text{с}} = U_{\text{пор}}$.

10.6.9. Погрешность от влияния временной неоднородности p-n-перехода полупроводникового лазера и фотодиода

На отдельных участках *p*-*n*-перехода полупроводникового лазера рекомбинация электронов и дырок происходит не одновременно. Это вызвано, в первую очередь, тем, что электрический ток $I_{\text{м}}$ импульса $U_{\text{м}}$, поступающий на *p*-*n*-переход, не в состоянии изменить свою величину мгновенно, скачком от нуля до заданного максимального значения. Элементы конструкции и сам *p*-*n*-переход имеют собственную емкость *C*, сопротивление *r* и индуктивность *L*, для которых постоянная времени заряда (разряда):

$$\tau_{\text{зар}} = rC = \frac{L}{r}.$$

Для разных точек *p*-*n*-перехода величины *C*, *r*, *L* имеют различное значение, так как идеальных технологий выращивания кристаллов, соединений *p* и *n* структур не может быть в принципе.

Все это способствует образованию продольной и поперечной временной (фазовой) неоднородности по сечению *p*-*n*-перехода. В реальных устройствах временные моменты t_0 и $t_{\text{к}}$ характеризуются средним групповым временным моментом:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i ,$$

где n – количество элементарных площадок излучения (зон рекомбинации).

При точном наведении на отражатель (согласованный режим) величина n не меняет своего значения. При смещении луча относительно отражателя при расстояниях, на которых величина площади сечения луча больше отражателя (несогласованный режим), количество элементарных площадок изображения p–n-перехода уменьшается, что вызывает изменение $t_{\text{ср}}$ на величину:

$$\Delta t_{\text{неодн}} = t_{\text{ср. согл.}} - t_{\text{ср. несогл.}}.$$

Временной погрешности $\Delta\ t_{\text{неодн}}$ соответствует величина линейной погрешности

$$\Delta L_{\text{неодн}} = \Delta t_{\text{неодн}} \cdot 0{,}5 \cdot V_{\text{с}}.$$

Для уменьшения влияния $\Delta L_{\text{неодн}}$ рекомендуется выполнять несколько приемов наведения в вертикальной и горизонтальной плоскостях на отражатель.

Сказанное в полной мере относится и к полупроводниковому фотоприемнику - фотодиоду из-за общих принципов формирования p–n-переходов. При перемещении фокусированного пятна по p–n-переходу фотодиода также наблюдается картина изменения среднего значения временного момента $t_{\text{ср. ф.д.}}$

10.6.10. Погрешность измерения дальности от изменения показателя преломления атмосферы

Состояние атмосферы характеризуется ее метеорологическим полем. Всю толщу земной атмосферы условно делят на две области: область нижних, зависимых от земной поверхности слоев атмосферы, и верхние, не зависимые от состояния земной поверхности воздушные слои – так называемая «свободная» атмосфера.

Распределение метеофакторов в нижних слоях обусловливается интенсивностью солнечного облучения, состоянием погоды, характером земной поверхности, интенсивностью и характером перемещения воздушных масс, временем года и суток и другими факторами, которые на различных высотах над земной поверхностью действуют на состояние атмосферы по-разному.

Практически метеоданные определяются, как правило, лишь в двух точках траектории (для коротких расстояний только на одном его конце с последующей экстраполяцией на другом), и поэтому значение показателя преломления получают большим приближением.

Скорость электромагнитных волн в реальной среде v связана со скоростью света в вакууме c через одну из важнейших характеристик среды – показатель преломления n:

$$v = V_c / n. \qquad (10.25)$$

Показатель преломления в электродинамике определяется из соотношения $n = \sqrt{\varepsilon}$, где ε – диэлектрическая проницаемость среды.

Различают два понятия скорости электромагнитных волн в среде, вводя представления о фазовой и групповой скоростях. Понятие *фазовой скорости* относится к идеальной монохроматической волне.

Фазовой скорости $v_ф$ соответствует *фазовый показатель преломления*:

$$n_ф = V_c / v_ф. \qquad (10.26)$$

Фазовый показатель преломления, а следовательно, и фазовая скорость в среде зависят от частоты (длины волны), и эта зависимость называется *дисперсией.*

Реальная электромагнитная волна не является монохроматической, а состоит из набора волн различных частот ω, группирующихся в некотором спектральном интервале Δω. Если Δω << ω, то такой набор называют *группой волн.*

Поэтому для характеристики движения немонохроматической волны вводят понятие *групповой скорости*, определяемой выражением

$$v_{гр} = V_c / n_{гр.} \qquad (10.27)$$

Коэффициент преломления

$$n = \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{1 + (\varepsilon - 1)} \cong 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2}$$

близок к единице. Поэтому удобнее пользоваться так называемым коэффициентом преломления, выраженным в N-единицах:

$$N = (n - 1).10^6 = \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot 10^6.$$

Применяя для смеси газов (воздуха) закон парциальных давлений Дальтона, получим:

$$N = \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot 10^6 = K_1 \frac{p_1}{T} + K_2 \frac{e}{T} + K_3 \frac{e}{T^2},$$

где p_1 и e – парциальные давления сухого воздуха и водяных паров соответственно. Атмосферное давление $p = p_1 + e$. Коэффициент K_1 характеризует поляризуемость, т. е. влияние смещения электрических зарядов молекул сухого воздуха; коэффициент K_2 учитывает этот же эффект для молекул воды. Коэффициент K_3 связан с дипольным моментом полярных молекул воды и отражает влияние изменений их электрической ориентации, т. е. поляризацию ориентации.

Коэффициенты K_1, K_2, K_3 неоднократно определялись экспериментальным путем.

Приняв для коэффициентов средние условия, т. е. при $N^0_{\text{гр}} = 305$; $T = 288$ K; $p = 1013$ мб и $e = 10$ мб, получим следующее выражение для световых волн:

$$dN_{\text{гр}} = 0{,}3dp - 1{,}0dT - 0{,}4de, \qquad (10.28)$$

где dp и de выражены в миллибарах и dT – в градусах. Соответствующие средние квадратические погрешности индекса преломления для световых волн:

$$\sigma_N = \sqrt{(0{,}3m_p)^2 + 1{,}0m_t)^2 + (0{,}04m_e)^2}\ .$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что погрешности измерения метеорологических элементов зависят от погоды; при этом с повышением температуры и в особенности влажности воздуха погрешности σ_t и σ_e возрастают. При наиболее благоприятных условиях (при температуре около 0 °С ночью и в пасмурную погоду днем) измеренные температура и влажность получаются, как правило, с наименьшими погрешностями: $\sigma_t = 0{,}1 - 0{,}2$ °С; $\sigma_e = 0{,}2 - 0{,}3$ мб. При высокой температуре и влажности, в особенности в ясную погоду днем, ошибка измерения температуры достигает 0,6 – 0,8 °С, а ошибка измерения влажности – 1,3-1,5 мб. Положив средние квадратические ошибки метеорологических элементов: $\sigma_p = \pm 0{,}7$ мб; $\sigma_t = \pm 0{,}4$ °С; $\sigma_e = \pm 0{,}7$ мб, найдем по формулам (10.28), (10.29) средние квадратические погрешности индекса преломления для световых волн для средних условий:

$$\sigma_N = \sqrt{0{,}04 + 0{,}16 + 0{,}00} = \pm 0{,}4\ .$$

В табл. 10.2 приведены относительные средние квадратические погрешности от изменения метеофакторов для температуры $T = 290$ К, давления $P = 760$ мм. рт. ст, влажности (парциального давления) $e = 10$ мм. рт. ст, длины волны красного лазерного диода $\lambda = 0{,}63$ мкм и $N^0_{\text{гр}} = 1{,}0002922$.

Таблица 10.2

Относительные средние квадратические погрешности от влияющих факторов

$\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)_{t0} = \left(\frac{\sigma_n}{n}\right)_{t0}$	$\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)_{p} = \left(\frac{\sigma_n}{n}\right)_{p}$	$\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)_{e'} = \left(\frac{\sigma_n}{n}\right)_{e'}$
$\frac{1}{1000000}$	$\frac{1}{2500000}$	$\frac{1}{1700000}$

Из табл. 10.2 следует, что **точность измерения дальности светодальномером в большей степени зависит от погрешности определения температуры и давления.**

Погрешности определения метеоданных: температуры, давления и влажности воздуха – зависят как от погрешности измерения этих величин с помощью соответствующих метеорологических приборов, так и в гораздо большей степени от того, что эти величины не остаются постоянными на всем рабочем участке траектории луча. Иными словами, атмосфера неоднородна, и принятое нами предположение, что скорость распространения электромагнитных волн во всех точках рабочего участка траектории луча остается постоянной, приближенно. Следовательно, мы имеем дело не с равномерным прямолинейным распространением, а с гораздо более сложным видом движения. Однако пройденный путь будет равен пути, вычисленному для равномерного прямолинейного распространения, если скорость этого фиктивного движения принять равной среднеинтегральному значению.

Эта задача невыполнима при измерении длин линий, проходящих над карьером, над холмистой местностью, так как не представляется возможным определить изменение температуры в нескольких точках линии. Для определения поправок за коэффициент преломления к дальномерам прилагаются соответствующие таблицы или номограммы. В современных светодальномерах установлены датчики автоматического определения температуры и давления, либо их значения вводятся в память для внесения соответствующих поправок.

10.7. Устройства отображения информации цифровых дальномеров

Для отображения информации на дисплее в цифровых дальномерах аналоговую величину преобразуют в дискретную, имеющую вид последовательности электрических импульсов. В дискретном представлении измеренное значение дальности $L = \sum_{0}^{m} l_0$, т. е. задача измерения сводится к подсчету количества импульсов (дискретов) m при выбранном значении размерности l_0.

Формирование суммы дискретов выполняют счетчики с двоичной системой счисления.

Структурная схема счетчика представлена на рис. 10.29.

Регистр дальности состоит из n-го числа двухстабильных ячеек памяти (триггеров со счетным входом).

Каждый триггер переключается из состояния "0" в состояние "1" с поступлением каждого следующего импульса.

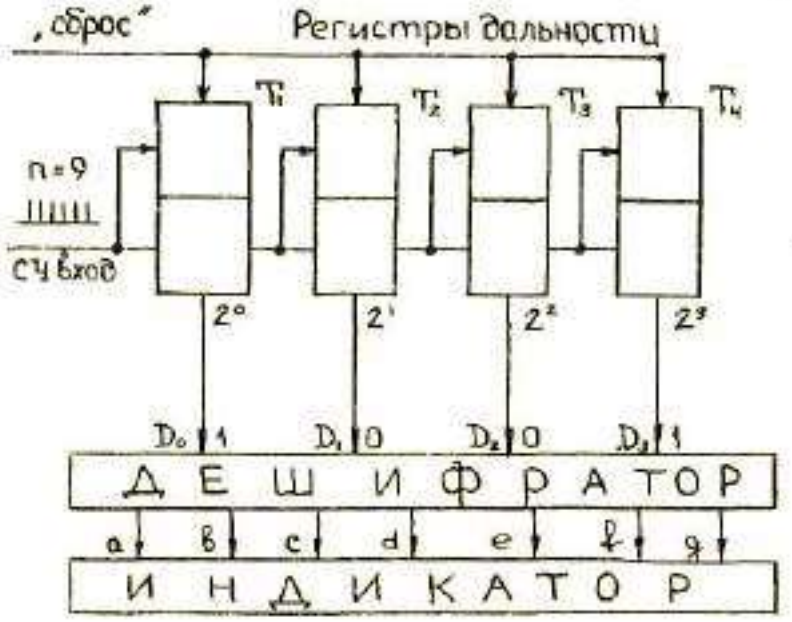


Рис. 10.29. Структурная схема счетчика

Назовем переключение из состояния "0" в "1" прямым, а из "1" в "0" – обратным.

На вход триггера разряда 2 поступают электрические импульсы счета. Каждый поступающий импульс переключает триггер из"0" в "1" и обратно. В результате на выходе получаются широкие импульсы, число которых в два раза меньше, чем на входе (рис. 10.30).

Далее этот процесс повторится на всех последующих триггерах, осуществляя последовательное деление количества импульсов на "2".

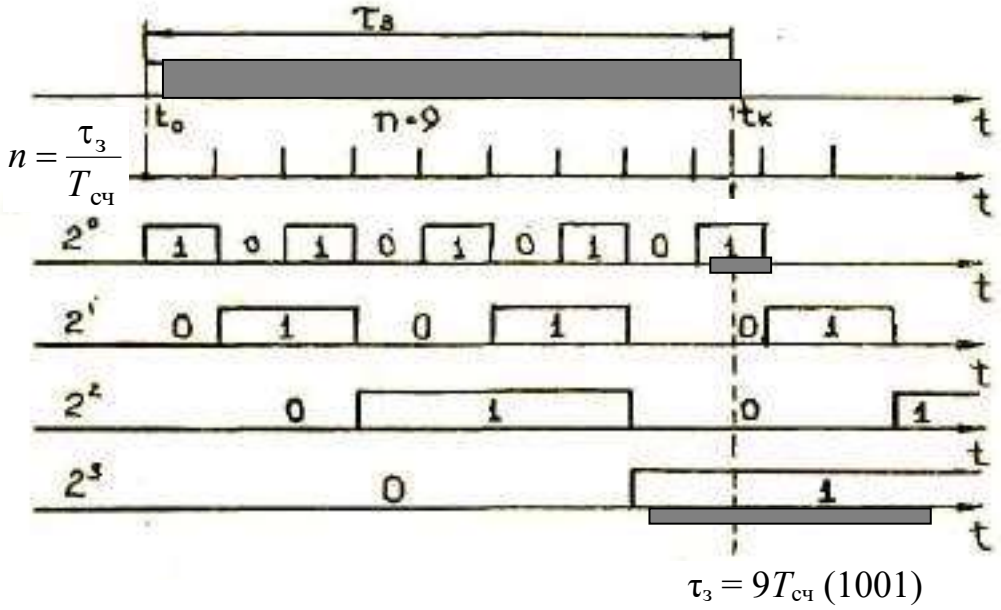


Рис. 10.30. Диаграмма состояния выходов счетчика

Таким образом, "1" на выходе первого триггера указывает число сосчитанных нечетных единиц, на выходе второго – число нечетных двоек, на выходе третьего - число нечетных четверок и т. д. Четное число единиц, двоек, четверок дает в каждом данном разряде"0" и перенос "1" в старший разряд, следовательно, единица каждого разрядного триггера имеет цену своего разряда в двоичной системе 1, 2, 4, 8...

Высокий потенциал на выходе триггера представляет логическую "1", а низкий – "0". В приведенном примере в регистре дальности записано число 1001 - это двоичное представление десятичного числа 9.

Данная кодовая комбинация поступает на дешифратор, который двоичный код преобразует в десятичный, или, например, как показано ниже, в восьмеричный светодиодных или жидкокристаллических дисплеев.

Кодовая комбинация на входе дешифратора 1001 преобразуется на выходе дешифратора в код 11110111 (рис. 10.31).

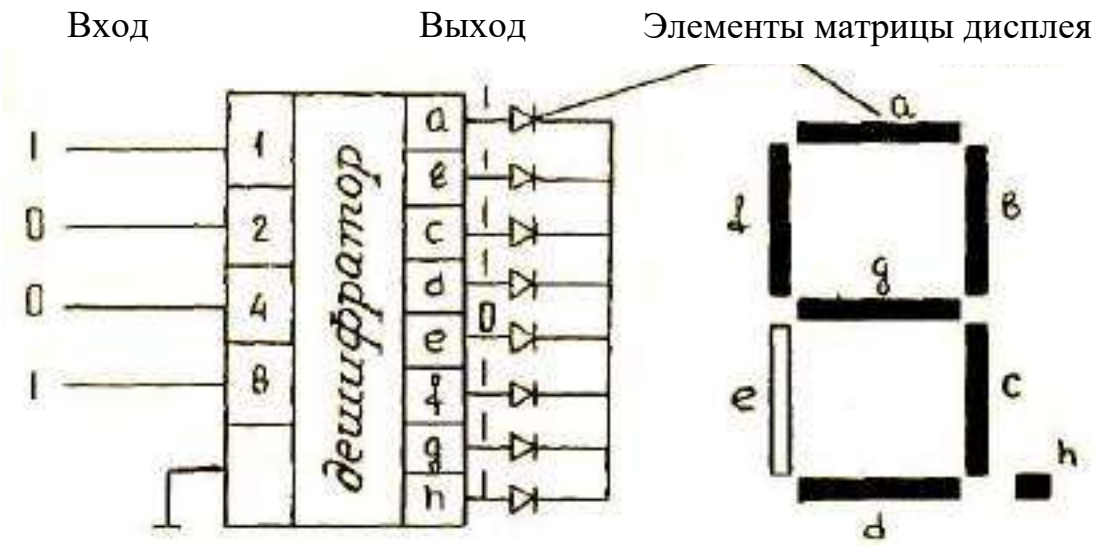


Рис. 10.31. Схема дешифратора дисплея

Количество дешифраторов и индикаторов определяется количеством значащих разрядов измеренной дальности. Имеются счетчики, у которых один дешифратор поочередно со скоростью 30 мс переключается от одного знакового индикатора к другому. В каждом цикле меняется кодовая комбинация дешифратора, и благодаря высокой скорости переключения изображения на всех индикаторах наблюдается как непрерывное свечение суммы результата измерений. Дешифратор часто выполняется на базе постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), с программой преобразования двоичного кода в код символа дисплея.

10.8. Типы дальномеров

Светодальномеры как самостоятельное средство измерения расстояний в настоящее время промышленностью практически не производятся, кроме специализированных геодезических с дальностью измерений не менее 50 км. Светодальномеры с полупроводниковым лазером стали неотъемлемой частью электронных тахеометров, сканеров. Исключение составляют **лазерные портативные** дальномеры, которые нашли широкое применение в строительных разметочных работах и при маркшейдерских измерениях недоступных объектов (табл. 10.3).

Таблица 10.3

Технические характеристики лазерных дальномеров Disto (Швейцария)

Характеристика	Disto Lite	Disto classic	Disto Pro	Disto Pro A
Точность измерений (СКП), мм	± 3	± 3	min ± 3 max ± 5	min ± 1,5 max 2
Мин. разряд дисплея, мм	1	1	1	1
Дальность измерения, м	0,2 – свыше 200	0,2 – свыше 200	0,3 – свыше 100	0,3 – свыше 100
Время измерения расст., с	0,5 … около 4	0,5… около 4	0,5 … около 4	0,5 … около 4
Время измерения трекинг, с	0,16 …. около 1	0,16 …. около 1	0,16 …. около 1 с	0,16 …. около 1
Батарея, тип ААА, 4×1,5 В	Более 1000 измерений	Более 1000 измерений	Более 3000 измерений	Более 3000 измерений
Лазер, нм	Видимый луч; 635	Видимый луч; 635	Видимый луч; 635	Видимый луч; 635
Диаметр лазерного пятна	–	6/30/60 мм (10/50/100 м)	6/30/60 мм (10/50/100 м)	6/30/60 мм (10/50/100 м)
Память данных	–	15 значений	800 значений	800 значений
Клавиатурная память для констант	9	9	9	9
Габариты, мм; вес, г	142×73× 45×290	172×73× 45×310	188×70× 47×440	188×70× ×47×440
Температурный диапазон: хранение работа	 –40 °С до + 70 °С –10 °С до + 50 °С	 –40 °С до + 70 °С –10 °С до + 50 °С	 –40 °С до + 70 °С –10 °С до + 50 °С	 –40 °С до + 70 °С –10 °С до + 50 °С

Портативные лазерные дальномеры («лазерные рулетки») относятся к дальномерам с периодическим сигналом. Они вобрали в себя все лучшие энергетические качества импульсных дальномеров: короткие импульсы излучения, малую площадь сечения луча, высокую частоту повторения импульсов – до 10^9 Гц.

10.9. Акустические дальномеры

Данный тип дальномеров в отличие от светодальномеров (лазерных дальномеров) имеет важное отличительное свойство: звуковая волна способна распространяться по изогнутым звуководам (искривлённым скважинам), отражаться от зеркальных, влажных поверхностей, прозрачных жидкостей, проходить через запылённую, загазованную, задымлённую среду (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Технические характеристики акустических дальномеров SONIN (Япония)

Параметры	SONIN-45	SONIN-60 PRO	SONIN COMBO PRO	SONIN-75
Измеряемое расстояние, м	До 13	До 18	До 18 в одиночном режиме; до 75 в режиме работы с приемником	До 18
Встроенные функции	Сложение, вычитание, вычисление площади и объема			
Точность измерения	0,5 % измеряемого расстояния **(± 6 мм)**	0,5 % измеряемого расстояния **(± 6 мм)**	0,5 % измеряемого расстояния **± 6 мм** в режиме без приемника; 0,5 % измеряемого расстояния (± 13 мм) в режиме с приемником;	0,5 % измеряемого расстояния **(± 6 мм)**
Память	Запоминание семи измерений			

Специальные типы акустических дальномеров способны измерять рельеф дна, что важно при гидравлических и дражных работах. Структурная схема акустических дальномеров подобна схемам светодальномеров с периодическим сигналом. Отличаются они типом излучателя и приёмника, которые выполнены из пьезоэлектрического материала.

При подаче на пьезоизлучатель электрических импульсов последний генерирует акустические (звуковые или ультразвуковые) импульсы, которые создают ударную волну в измеряемой среде.

Периодическая последовательность импульсов или одиночный импульс после отражения от объекта измерений (эхо – сигнал) принимается пьезокристаллическим приёмником (аналог чувствительного микрофона) и преобразуется в электрический сигнал. Дальномерным устройством, как и в светодальномерах, определяют $\tau_{задержки}$ или $\tau_{сдвига}$ и дальность: $L = 0{,}5 \cdot V_{звука}\ \tau_{сдвига}$. Соответственно, все времен-

ные длительности ($T_п$, $\tau_{сдвига}$, $T_{сч}$) будут во столько раз больше, во сколько раз скорость звука меньше скорости света. Это позволяет увеличить количество дискретов при выполнении операции дискретизации импульса дальности $\tau_д$ и получить миллиметровую точность измерений.

11. ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАХЕОМЕТРЫ

11.1. Общие сведения

В настоящее время для маркшейдерско-геодезических измерений отечественными и зарубежными производителями выпускается широкий спектр электронных тахеометров. Наиболее популярные фирмы-изготовители: Уральский оптико-механический завод – серия Та; Leica (Швейцария) – серия ТС; Sokkia, Topcon, Nikon (Япония); серии – GTS, DTM, Trimble Elta (США, Германия); Spektra Precision (Швеция) – серия Geodimeter. За сравнительно короткий срок электронные тахеометры прошли практически революционный путь развития.

В тахеометрах **первого поколения** (70-80-е годы) были автоматизированы процессы измерения расстояний, считывания направлений и углов по кодовым дискам. Результаты измерений выдавались на электронное табло.

У **второго поколения** (конец 80-х годов – первая половина 90-х годов) была реализована возможность записи результатов в накопители данных (карты памяти типа PCMCIA), с передачей этих данных с помощью интерфейсных устройств (адаптеров) в компьютер.

Третье поколение тахеометров (со второй половины 90-х годов до настоящего времени) отличалось от предыдущих наличием постоянной памяти и возможностью передачи данных из тахеометра непосредственно в персональный компьютер и обратно, без дополнительных интерфейсных устройств. Приборы стали выполнять функции полевого журнала: наличие вспомогательных программ, позволяющих эффективно работать в поле, например: программы выноса точек в натуру со смещениями по углу и расстоянию; определения высоты и расстояния до недоступного объекта; выполнения обратной засечки; измерения углов и расстояний с использованием полигонального режима и многие другие.

Четвёртое поколение – это тахеометры с безотражательным режимом измерения расстояний, что расширило функциональные возможности тахеометров. К одним из первых можно отнести маркшейдерский безотражательный тахеометр СМБР, который был разработан на кафедре маркшейдерского дела СГИ (УГГУ) в 1982 году [6].

Пятое поколение – это автоматизированные тахеометры типа TSA, TPS, имеющие режим автоматического поиска отражателя – марки, автоматический режим измерений и регистрации информации. Для облегчения выполнения разбивочных работ современные тахеометры снабжены указателем направления, расположенным в корпусе зрительной трубы. Его оптическая ось находится в коллимационной плоскости и параллельна оси зрительной трубы. Излучение указателя направления разделено по вертикали коллимационной плоскостью на два красных световых луча: один постоянный, другой мигающий. При выносе в натуру отражатель устанавливают в плоскости разделения сигналов на непрерывный и мигающий лучи. Современные тахеометры имеют лазерный отвес, инфракрасный порт для бескабельной передачи данных в компьютер и управления, радиомодемный модуль для передачи информации о состоянии измерений по выбранному адресу, что сделало возможным автоматизировать полевые измерения.

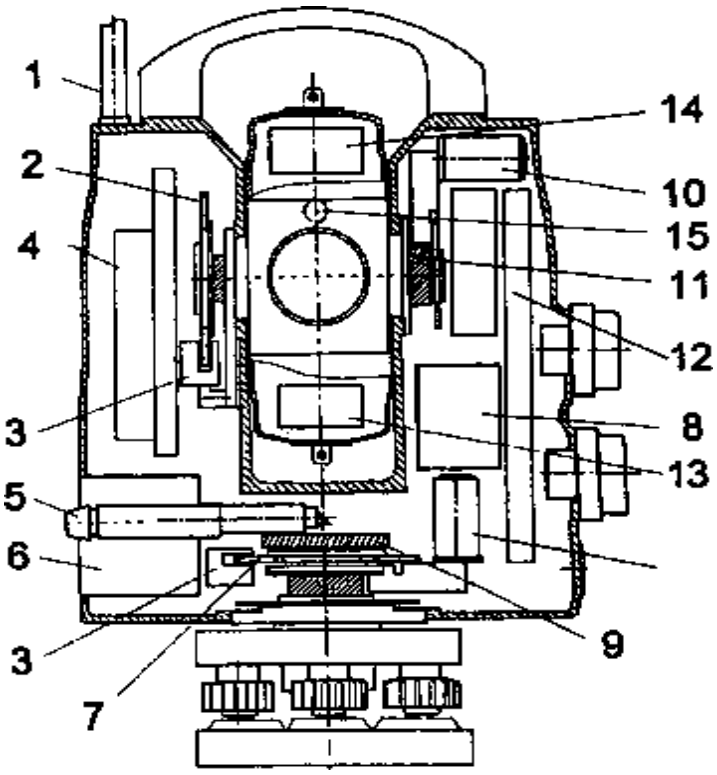


Рис. 11.1. Обобщенная структурная схема современного электронного тахеометра:
1 – антенна; *2* – вертикальный кодовый диск; *3* – считывающие устройство вертикального и горизонтального кругов; *4* – радиомодем; *5* – центрир; *6* – аккумуляторы; *7* – горизонтальный кодовый диск; *8* – датчик наклона; *9* – вертикальная ось; *10* – мотор; *11* – горизонтальная ось; *12* – микропроцессор; *13* – устройство наведения; *14* – светодальномерный блок; *15* – указатель направления

Все перечисленные выше усовершенствования улучшили качественные характеристики тахеометров, способствовали повышению производительности труда.

Конструктивное содержание современного электронного тахеометра представлено на рис. 11.1.

Антенна *1* радиомодема служит для обмена по радиоканалу служебной и измерительной информацией; кодовые диски *2*, *7*, считывающие устройства *3*, преобразуют измеренные величины углов в электрический код, поступающий в микропроцессор *12*; светодальномерный блок *14* имеет один или два излучателя (красный и инфракрасный) для обеспечения режимов измерений «с отражателем» и «без отражателя», фотоприёмник для приёма отражённого излучения, устройство измерения расстояний; датчик углов наклона осей тахеометра *8* для преобразования углов наклона в электрический код; мотор *10* для обеспечения режима автоматического поиска визирной цели; указатель направления *15* служит для быстрого поиска направления визирного луча при полевых измерениях.

Основные характеристики современных электронных тахеометров приведены в приложении 2.

11.2. Устройства считывания направлений и углов

Несмотря на различия в принципах действия, большинство оптико-электронных систем считывания с кодовых дисков направлений и углов являются абсолютными, в которых величина углового направления определяется путём считывания закодированной величины в том или ином секторе кодового диска. Это можно сравнить с процессом считывания угловой величины с лимба теодолита. При абсолютном считывании нулевое направление на кодовом диске не зависит от положения алидады в момент включения прибора и сохраняется в памяти после его отключения. Существуют три основных типа устройств абсолютного считывания: *кодовые*, *динамические*, *накопительные* (инкрементальные) с маркировкой нулевого направления.

Рассмотрим принципы действия этих устройств.

11.2.1. Кодовые устройства считывания направлений и углов

В кодовых устройствах считывания, по аналогии с оптическими, измеряемое значение направления считывается непосредственно с кодового диска (лимба), на котором нанесен двоичный код. Теневое изображение нанесённого на диск кода с помощью светодиода, опти-

ческой системы проецируется на фотодиодную линейную ПЗС – матрицу (полупроводниковый прибор с **з**арядовой **с**вязью), формируя на ней изображение кода. Фотодиодная линейная матрица состоит из *n* фоточувствительных элементов – пикселей. Основное назначение фотодиодной матрицы – преобразование визуального изображения кода в электрические потенциалы. Как известно, переменные в кодовой логике могут принимать два значения – «0» или «1»: Черному (непрозрачному) штриху, перекрывающему световой поток на пути светодиода, соответствует низкий уровень освещенности фотодиода матрицы и соответственно низкий уровень потенциала электрического напряжения на выходе неосвещённого фотодиода. Низкий потенциал соответствует «0». Высокий потенциал освещённого фотодиода, в положительной логике, соответствует «1» двоичного кода. Ниже приведён пример реализации считывания значения угловой величины с кодового диска тахеометра ТС1600. **В тахеометре ТС1600 для реализации грубого отсчёта диск разделен на 128 секторов**, границами которых являются широкие штрихи *S* (рис. 11.2). Каждый из этих 128 секторов имеет свой закодированный номер. Номер сектора записан в двоичном коде с помощью дополнительных семи штрихов **(*N* = 2^7 =128)**, расположенных между штрихами *S*. Штрихи кода отличаются друг от друга по ширине в зависимости от своего значения **(«0» – широкий , «1» – узкий).** На 102 элементах (пикселях) линейной фотодиодной матрицы формируется изображение одного сектора. Каждый диод имеет чувствительную поверхность площадью 25×15 мкм^2 (1 мкм = 0,001 мм). Расстояние между центрами фотодиодов равно 25 мкм**. Грубый отсчет с точностью до 400 гон/128 = = 3,125 гон (2° 48′ 45") осуществляется определением по коду номера сектора. Точное считывание происходит путем определения положения на фотодиодной матрице крайнего левого штриха *S*, ограничивающего сектор**.

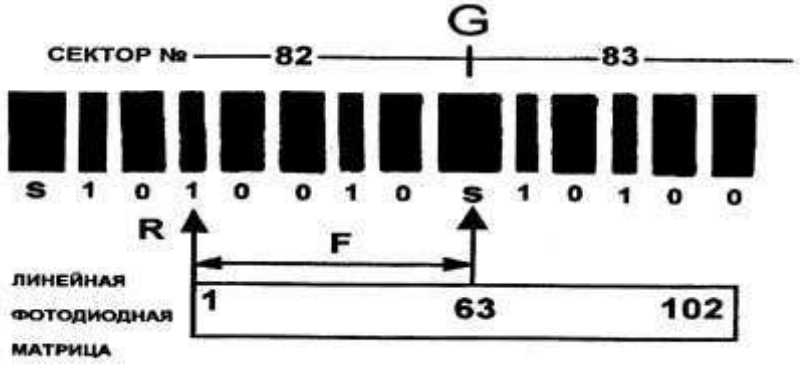


Рис. 11.2. Принцип считывания направлений
в электронных тахеометрах ТС1600

Для точного отсчета служат, наряду с широким штрихом *S*, все штрихи, формирующие двоичный код. Это уменьшает влияние погрешностей нанесения штрихов. Информация о распределении потока излучения между чувствительными площадками фотоприемника (пикселями), преобразованная в электрический цифровой код, сравнивается с хранящимся в памяти эталонным распределением, точно соответствующим нанесенному на диске коду. При этом рассчитывается функция корреляции между сигналом с выхода линейной фотодиодной матрицы $x(k\Delta)$ и эталонным сигналом x' $(k\Delta t+\tau)$, находящимся в памяти микроЭВМ тахеометра:

$$R_{xx'}(\tau) = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} x(k\Delta t)\cdot x'(k\Delta t + \tau)\,. \qquad (11.1)$$

Своё максимальное значение функция достигает в том случае, когда функции x $(k\Delta t)$ и $x'(k\Delta t+\ \tau)$ наилучшим образом совпадают в так называемой схеме совпадения коррелятора. Значение τ определяет положение штриха-индекса *S* относительно левого края линейной фотодиодной матрицы (интервал *F*). Таким образом, **ПЗС выступает в роли устройства, определяющего грубое значение угловой величины в *гонах* и точное значение в *миллигонах* по количеству пикселей ПЗС.** Полное значение величины направления $R_{x\ x'}$, соответствующей положению кода на фотодиодной матрице, определяется как

$$R_{x\ x'} = (G - F)\ 400/128 = (83 - 63/102)\ 400/128 = 257{,}4469 \text{ гон.}$$

Гон = 1/400 угловой величины окружности, тысячная доля гона 1 мгон = 3,24".

Средняя квадратическая погрешность определения $R_{x\ x'}$ в электронном тахеометре ТС1600 составляет 0,5 мгон (1,6″).

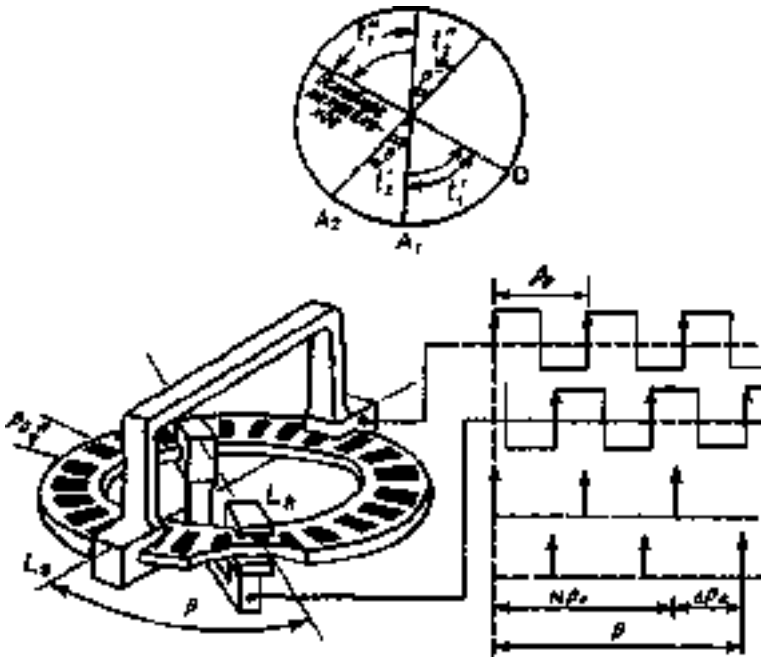
11.2.2. Динамические (времяимпульсные) системы считывания направлений и углов

В качестве меры угла можно использовать время. Для этого достаточно в вершине измеряемого угла поместить вращающийся диск

с маркой и измерять прохождение этой марки от левой до правой стороны измеряемого угла. Формула для вычисления угла

$$\beta = \Omega\, t,$$

где Ω – угловая скорость вращения марки; t – время, затраченное на поворот диска на угол β. Устройство, реализующее динамический (времяимпульсный) способ измерений углов, представленное на рис. 11.3, состоит из равномерно вращающегося кодового диска с маркой, источника и приемника излучения, жёстко связанных с алидадой и зрительной трубой (направление L_R), задающих направление визирования; источника и приемника излучения, жестко соединенных с неподвижным в момент измерения основанием тахеометра (направление L_s) для определения опорного направления (здесь можно провести аналогию с нулевым отсчетом по лимбу). Ориентация горизонтального круга прибора в этом случае сохраняется после его выключения – включения, поэтому динамические системы отсчитывания также относятся к абсолютным. Когда марка проходит опорное направление L_s, в фотодиоде возникает первый электрический импульс, который включает счетчик электрических масштабных (счётных) импульсов заполнения с длительностью τ. После прохождения маркой измеряемого направления L_R возникает второй импульс, который выключает счетчик масштабных импульсов (рис. 11.3).



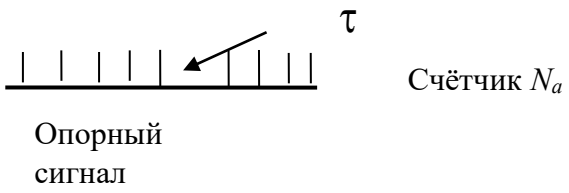


Рис. 11.3. Принцип измерений углов
в динамических угломерных устройствах

Время t можно определить, зная число масштабных импульсов N_a длительностью τ, которые поступают в счетчик числа импульсов при повороте лимба в пределах измеряемого угла от опорного направления L_s до измеряемого направления L_R, используя формулу

$$t = N_a \, \tau.$$

Отсюда величина измеряемого угла

$$\beta = L_R - L_s = \Omega \cdot N_a \cdot \tau. \qquad (11.2)$$

Из выражения (11.2) следует, что при динамическом способе измерений углов необходимо знать точное значение угловой скорости вращения лимба, учитывая, однако, что за один оборот угловая скорость Ω имеет высокую стабильность за счет инерционности кодового диска. **Данный принцип измерений применён в высокоточных угломерных устройствах фирмы Leica Geosystems AG, средняя квадратическая погрешность которых 0,5"**.

11.2.3. Накопительные устройства считывания направлений и углов

В накопительных (инкрементальных) устройствах величина угла получается как сумма штрихов (электрических импульсов), заключенных в его дуге $\beta = \sum\beta_ш$, где $\beta_ш$ – угловая величина между штрихами. Такой код называется единичным последовательным кодом. Примером реализации данного метода измерений является отечественный тахеометр Та3м. На кодовом диске Та3м нанесено 10000 штрихов. С помощью оптической системы на фотодиод проецируются левый и правый края кодового диска, с изображениями штрихов, вращающиеся навстречу друг другу. Таким образом, в плоскости фотодиода перемещается удвоенное количество изображения штрихов, которому соответствует такое же количество электрических импульсов на выходе фотодиода. Отсюда угловая величина интервала между

штрихами (импульсами), при выбранной системе единиц, выраженных в гонах, как было сказано выше, гон = 1/400 угловой величины окружности:

$\beta^g = 400/20000 = 0{,}02$ гон = 20 мгон.

1 мгон = 360·60·60/400000 = 3,24".

В канале грубого отсчёта (ГО) с диска считывается целое количество мгон подсчётом количества штрихов между направлениями. В канале точного отсчёта (ТО) с помощью электронного интерполятора измеряются сотые доли интервала между штрихами с точностью до 0,2 мгон. В Та3м имеется режим пересчёта результата измерения из «гоновской» системы единиц в «градусную» и обратно. Средняя квадратическая погрешность измерения углов в электронных тахеометрах Та3м составляет 3,0″.

11.2.4. Комбинированные системы считывания направлений

Сама по себе накопительная система не является абсолютной. Для реализации измерений направлений необходимо определять полным приёмом величину исходного (начального) направления $\alpha_0 = 0$, что усложняет процесс измерений. Учитывая простоту изготовления простых штриховых (растровых) кодовых дисков в накопительных устройствах, для реализации измерений углов в абсолютной системе применяют дополнительные штрих-кодовые марки на кодовом диске. Для регистрации этой марки считывающей системой необходимо после включения прибора медленно вращать алидаду в диапазоне 360° и наклонять зрительную трубу в рабочем диапазоне. Значение исходного направления, после визирования на цель, в горизонтальной плоскости задаётся клавишей «установка нуля». Основным недостатком накопительных систем считывания является необходимость заново ориентировать тахеометр после выключения питания или разряда аккумулятора. Это создает неудобства в работе, не позволяет использовать энергосберегающий режим электропитания, предусматривающий автоматическое отключение прибора при вынужденном простое, исключает возможность повышения точности измерений путем введения поправок за влияние систематических составляющих погрешностей измерений с помощью микропроцессора прибора.

11.3. Конструктивные особенности тахеометров

11.3.1. Электронные уровни (датчики наклона)

В современных электронных тахеометрах, с целью уменьшения погрешностей измерений углов, вводят в результаты измерений поправки за наклон оси вращения алидады.

На рис. 11.4 показан принцип действия электронного датчика наклона.

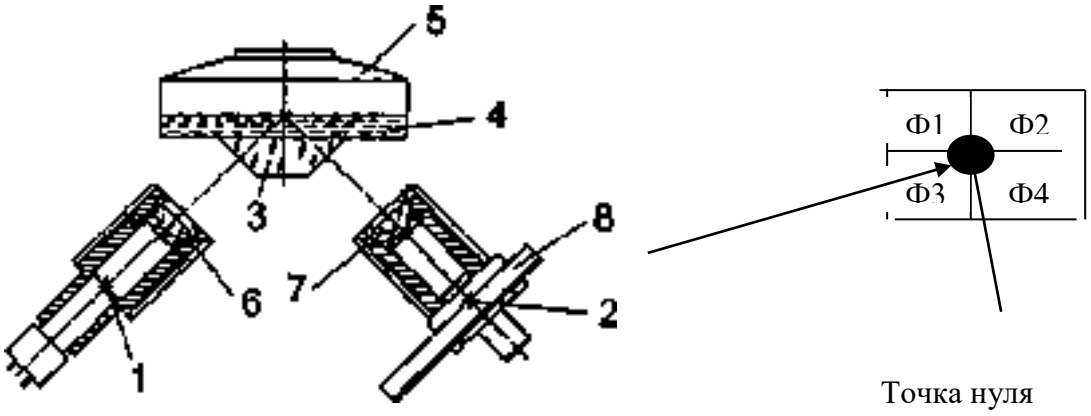


Рис. 11.4. Двухосный датчик наклона:
1 – источник излучения света; *2* – плоскость формирования изображения; *3* – призма; *4* – жидкость; *5* – стеклянный сосуд; *6*, *7* – объектив; *8* – четырёхэлементный приемник

Для измерения углов наклона алидады в этом датчике используется свойство полного внутреннего отражения от поверхности жидкости *4*, заключенной в стеклянный сосуд *5*. В качестве жидкости используется силиконовое масло. Излучение от источника света *1* (световой диаметр пучка равен 0,1 мм) проходит через объектив *6*, призму *3*, отражается от поверхности жидкости *4* и фокусируется объективом *7* на чувствительной площадке четырехэлементного приемника излучения *8*, формируя изображение *2*.

Четырёхэлементный фотодиод в процессе монтажа устанавливается относительно визирной оси и горизонтальной оси вращения зрительной трубы таким образом, чтобы при вертикальном положении оси вращения инструмента измеряемые датчиком наклона углы в коллимационной и перпендикулярной ей плоскостях были близки к нулю, что соответствует равенству электрических напряжений на всех четырёх элементах.

При наклоне алидады луч светодиода смещается в сторону того или иного элемента, увеличивая или уменьшая электрические по-

тенциалы на элементах Ф1, Ф2, Ф3, Ф4. С помощью микропроцессора по величине потенциалов определяют величину и знак угла наклона, и в результат измерения углов вносится поправка за наклон. Погрешности за неточное определение «места нуля» датчика в обоих направлениях определяют в процессе калибровки (определение *M*0 и *MZ*) прибора, значения которых записывают в память прибора.

Обычно все электронные угломерные приборы, относящиеся согласно ГОСТ 23543-88 к высокоточным, погрешности измерения углов которых менее 1,5", а также приборы, погрешность измерения углов которых составляет 2…3", имеют двухосевые датчики наклона. Диапазон работы этих датчиков составляет примерно 3 …4', а погрешность измерения углов наклона – от 0,5 до 1,5".

11.3.2. Автоматизированные системы наведения электронных тахеометров

Системы автоматизированного наведения (АСН) тахеометров выполняют следующие операции: поиск (распознавание) объекта и предварительное наведение на него оптической системы тахеометра. Эта операция может быть выполнена оператором с помощью визира или автоматически, с помощью поисковой системы.

На рис. 11.5 приведена оптическая схема автоматизированного тахеометра.

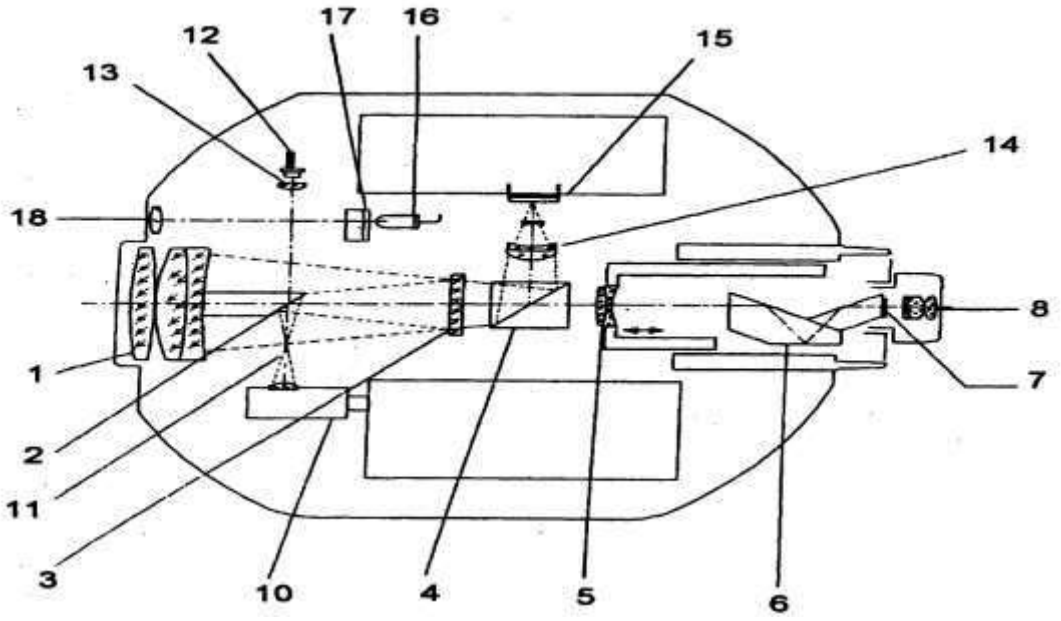


Рис. 11.5. Строение зрительной трубы тахеометра с автоматизированным наведением на цель Elta *S*10/ Elta S20 (Carl Zeiss)

В трубе тахеометра (см. рис. 11.5) расположено три системы различного назначения:

– **зрительная труба**, состоящая из объектива *1*, спектрального отражающего зеркала *3* (прозрачного для видимого спектра и отражающего инфракрасную область спектра); светоделительной призмы *4*, фокусирующего компонента *5*, переворачивающей изображение призмы Аббе *6*, окуляра *8*, в фокальной плоскости расположена сетка нитей *7*;

– светодальномерный блок *10*, инфракрасное излучение которого отражается от поверхности призмы *2*, от спектроделительного зеркала *3* и проходит объектив *1* как в прямом, так и в обратном ходе. Тахеометр имеет совмещенные приемо-передающие каналы светодальномера;

– устройство точного наведения имеет собственные приемный и передающий каналы. Свет от лазерного диода *12* отражается от поверхности призмы *2* и проходит через объектив *1*, формирующий излучение луча расходимостью около 0,5°. Центральная часть объектива *1* используется в передающем канале, а периферийная – в приемном. Отраженное излучение от установленной над точкой трипель-призмы проходит в обратном ходе через объектив *1*, пропускается зеркалом *3*, прозрачным для излучения лазерного диода *12*, отражается от светоделительной грани призмы *4* и фокусируется оптической системой *14* на чувствительной площадке фотоприёмного устройства *15*;

– **устройство автоматического наведения (АСН)** для облегчения процесса выноса точек в натуру состоит из двух (красного и зелёного) светодиодов *16*, разделительного экрана *17*, объектива *18*, формирующего излучение лазера расходимостью около 3°. Излучение разделено по вертикали коллимационной плоскостью на красный и зеленый сектора. При выносе направления в натуру отражатель устанавливают в плоскости разделения цветов.

Автоматическое наведение происходит следующим образом. При повороте прибора вокруг вертикальной оси осуществляется сканирование лазерной плоскостью в диапазоне 360°. Угловая скорость сканирования равна 90°/с. Приемником в точке визирования регистрируется излучение передатчика, и сигнал об этом передается по радиосвязи на прибор. Прибор медленно поворачивается в направлении приемника и отражателя. Определяется точное значение горизон-

тального угла, соответствующее моменту регистрации отраженного сигнала. Передатчик устройства автоматического наведения отключается. Наведение в вертикальной плоскости осуществляется путем автоматического наклона зрительной трубы.

Процедура поиска отражателя в вертикальном направлении аналогична процедуре поиска в горизонтальном направлении. После того как отражённый от отражателя луч попадает в измерительную область системы точного наведения, с помощью фоточуствительной ПЗС-матрицы автоматически измеряются малые угловые рассогласования между визирной осью и направлением на центр трипельпризмы.

Сначала с помощью ПЗС-матрицы измеряют линейные рассогласования между визирной осью и направлением на центр трипельпризмы, затем пересчитывают в угловые с учетом геометрооптических соотношений в АСН и расстояния до отражателя**. Точность автоматизированного наведения на трипельпризму, установленную на расстоянии до 1 км, значительно выше «ручного», у ряда приборов она приближается к 1".**

12. ЦИФРОВЫЕ НИВЕЛИРЫ

12.1. Общие сведения

В цифровых нивелирах отсчитывание по рейке реализуется с помощью фоточувствительного ПЗС-приемника, который преобразует визуальное изображение штрих-кода рейки в электрический цифровой код и распознаёт его методом сравнения с хранящейся в памяти нивелира его электрической копией.

Первый цифровой нивелир NA 2000 (Leica Ceosystets AG) появился в начале 90-х годов. Средняя квадратическая погрешность измерений, равная ± 1,5 мм на 1 км двойного хода, свидетельствовала о перспективности развития нового направления. Современные цифровые нивелиры DNA 03 (Leica Ceosystets AG), DINI 03, DINI 07 (Trimble), DL-102C (Topcon), SDL 30 (Sokkia) удовлетворяют требованиям нивелирования II - IV классов.

Основные преимущества цифровых нивелиров:

– автоматизация процесса измерений;

– малая вероятность появления грубых промахов;

– автоматизация измерений позволяет снизить утомляемость оператора, исключаются случайные ошибки отсчитывания по рейке. Автоматическое осреднение результатов измерений при дрожании воздуха в нижних слоях атмосферы повышает точность отсчитывания в данных условиях;

– прибор может работать полностью в автономном режиме. Он незаменим при непрерывном контроле деформаций и малых перемещениях в вертикальном направлении;

– автоматическая регистрация измеряемых значений исключает возможность описок при записи данных в полевом журнале. С помощью интегрированных в прибор программ тотчас же рассчитываются и отображаются на дисплее превышения, исключается необходимость проводить отдельные вычисления;

– подсветка нивелирной рейки позволяет выполнять работы не только в течение дня, но и в сумерках и ночью.

Цифровой нивелир может использоваться для измерений в динамическом режиме, например, для контроля прямолинейности направляющих по вертикали. Для этого достаточно рейку, установленную на каретке, перемещать с помощью канатной тяги по направляющим с небольшой скоростью и брать отсчеты с помощью цифрового нивелира. При этом возможно отслеживать не только вертикальную, но и горизонтальную компоненты перемещений объекта с помощью дополнительной призмы, устанавливаемой перед объективом.

Технические и метрологические характеристики цифровых нивелиров приведены в приложении 3.

12.2. Конструкция и принцип отсчитывания цифровых нивелиров фирмы Leica GEOSISTEMS AC

На рис. 12.1 представлена схема нивелира NA 2002. При измерениях изображение штрихов кодовой шкалы рейки *1* через светоделительный блок *7* проецируются на чувствительную площадку ПЗС-приемника 10.

Светоделительный блок *7* разделяет падающее излучение в спектральной области на инфракрасное и видимое, в то время как излучение, лежащее в инфракрасной области спектра, отражается от светоделительной грани в сторону ПЗС-приемника *10*, видимая часть беспрепятственно пропускается светоделительным блоком и формирует визуальное изображение рейки в плоскости сетки нитей для вы-

полнения операции наведения на рейку. С помощью ПЗС-приемника происходит преобразование визуального изображения кода нивелирной рейки в электрические потенциалы.

ПЗС-приемник состоит из 256 фоточувствительных элементов (пикселей), расстояние между которыми равно 25 мкм (1 мкм = = 0,001 мм). Оптическая система нивелира имеет угол поля зрения, равный 2°, так что при минимальном расстоянии визирования, равном 1,8 м, на чувствительную площадку ПЗС-приемника проецируется участок рейки длиной 61 мм, а при расстоянии 100 м – 3,5 м.

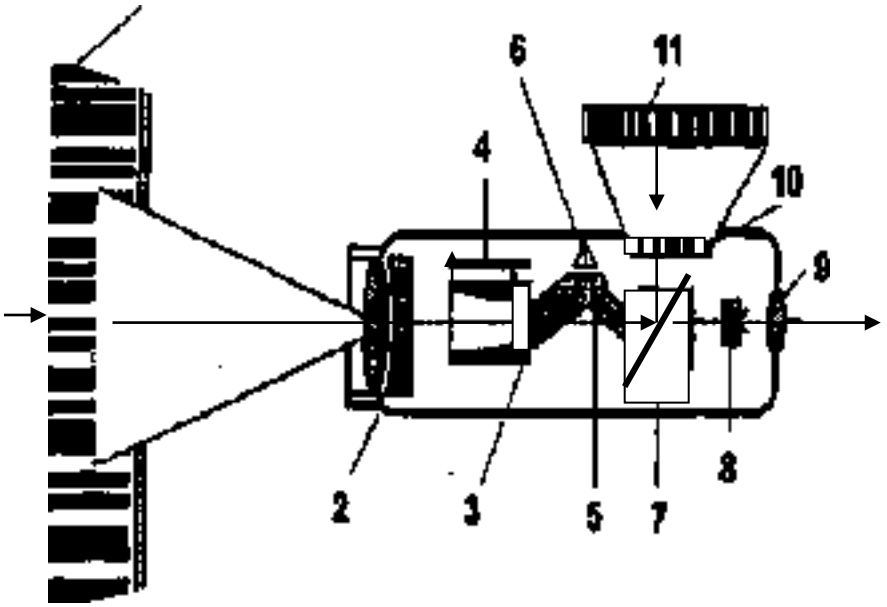


Рис. 12.1. Цифровой нивелир NA 2002:
1 – штрих-кодовая нивелирная рейка; *2* – объектив; *3* – фокусирующий компонент; *4* – датчик положения фокусирующего компонента; *5* – блок компенсатора; *6* – блок контроля положения компенсатора; *7* – светоделительный блок; *8* – сетка нитей; *9* – окуляр; *10* – ПЗС-приемник; *11* – изображение кода нивелирной рейки

Цифровые нивелиры NA 2000, NA 2002 имеют оригинальное оптоэлектронное дальномерное устройство. Расстояние до рейки измеряется с помощью электронного датчика линейного перемещения, соединённого с фокусирующим оптическим компонентом.

При перефокусировании зрительной трубы в диапазоне от 1,8 до 100 м фокусирующий компонент перемещается на 14 мм. Положение фокусирующего компонента регистрируется электронным датчиком положения. Через величину перемещения фокусирующего компонента измеряется расстояние до рейки:

$$L = k/s,$$

где k – постоянная оптической системы; s – линейное положение фокусирующей линзы.

ПЗС-приемник преобразует изображение штрихов кода рейки в электрические потенциалы, аналогично рассмотренной выше в электронных тахеометрах.

На вход «запись» в сдвиговый регистр микропроцессора нивелира с выходов 256 пикселей ПЗС-приемника поступают электрические потенциалы, имеющие 256 уровней потенциала. Чёрному штриху соответствует высокий потенциал («1»), светлому пробелу – низкий потенциал («0»). С помощью импульсов генератора тактовых импульсов (ГТИ), поступающих на вход «чтение», электрические потенциалы сдвигового регистра поступают на вход коррелятора.

ГТИ, вырабатывающий непрерывную последовательность тактовых импульсов, сдвигает опорный сигнал на дискретную величину τ, 2τ, 3τ и т. д. до совпадения с рабочим сигналом, сформированным ПЗС–матрицей (рис. 12.2).

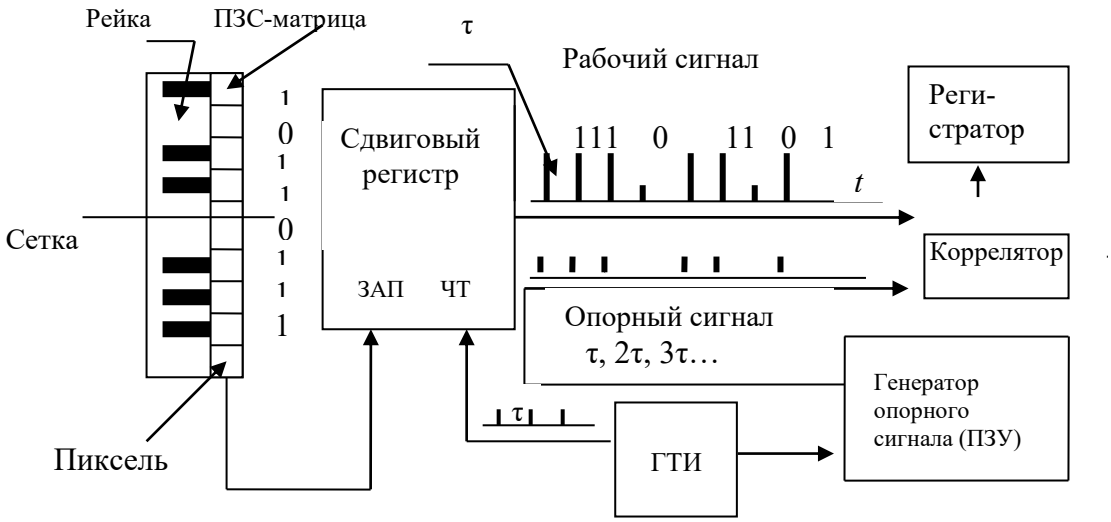


Рис. 12.2. Структурная схема цифрового нивелира

Таким образом, процесс измерений цифрового нивелира базируется на принципе корреляции. Электрические потенциалы штрихового двоичного кода, формируемые с помощью ПЗС-приёмника, сравниваются в корреляторе с двоичным кодом, записанным в памяти прибора (опорный сигнал).

Измерения с помощью ПЗС-матрицы основаны на корреляционном методе. Формируемая в опорном канале точная копия измеря-

емого сигнала перемножается (тахеометры) или интегрируется (нивелиры) с сигналом ПЗС-матрицы. Пусть копия сигнала $u(t+\tau)$ или $u(t-\tau)$ смещена относительно сигнала $u(t)$ на интервал времени τ. Для количественной оценки степени связи этих сигналов используем автокорреляционную функцию (АКФ)

$$R_{(\tau)} = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t-\tau)\,dt.$$

Для объяснения этого определим АКФ единичного прямоугольного импульса, полученного в результате преобразования визуального изображения кода рейки с помощью ПЗС-матрицы, имеющего длительность $\tau_{и} = 5\,\tau$.

Если копию опорного сигнала сдвигать дискретно на $n\,\tau$ ($n = 0,1\ldots5$), то оценка функции корреляции $R^*_{(\tau)} = (\tau_{И} - |n\tau|)$ при временном сдвиге $|n\tau| \le \tau_{И}$.

Из графика, представленного на рис. 12.3, видно, что моменту совпадения сигналов соответствует максимальное значение энергии на выходе коррелятора. При совпадении кода какого-либо участка рейки с кодовой последовательностью опорного сигнала (см. рис. 12.3) на дисплей выдаётся десятичное значение результата измерений, соответствующее максимуму корреляционной функции.

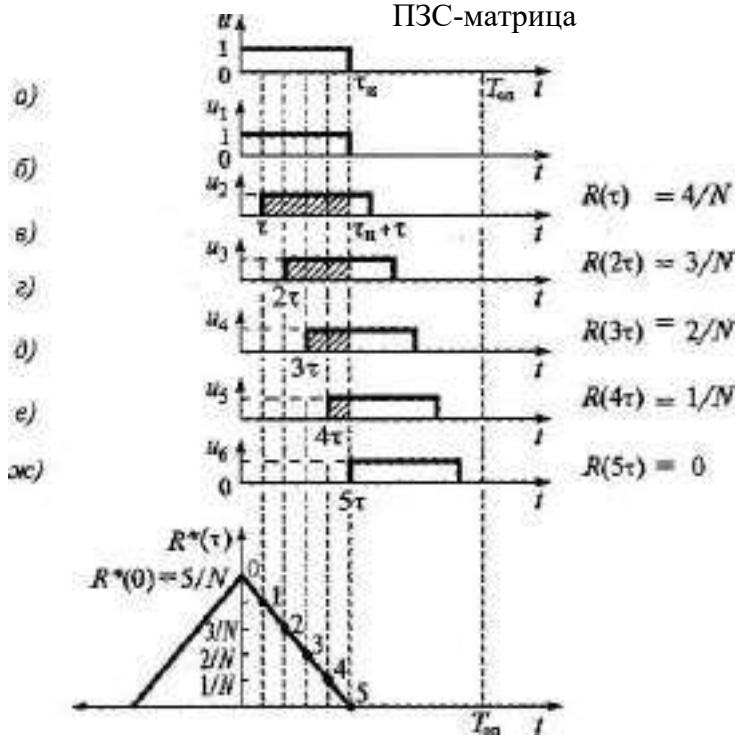


Рис. 12.3. График автокорреляционной функции

На рис. 12.4 показано типичное протекание процесса корреляции внутри измеряемой области.

Там, где сигнал, полученный с выхода ПЗС-приёмника, в большей степени совпадает с опорным сигналом, можно распознать ярко выраженный пик в функции корреляции. Из координат максимума определяются расстояние и высота.

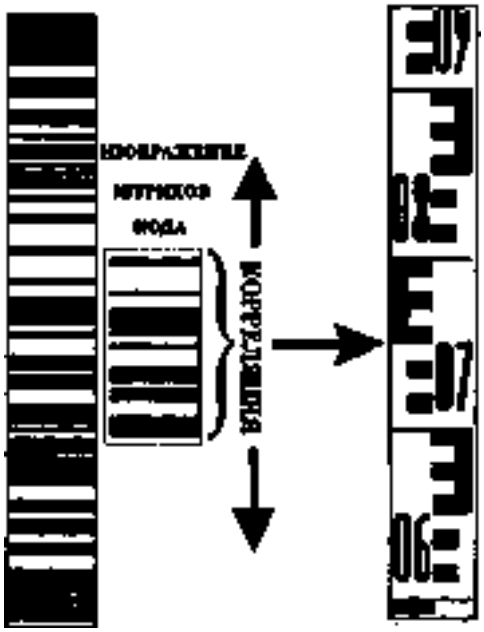


Рис. 12.4. Принцип отсчитывания по штрих-кодовой рейке
у нивелиров фирмы Leica Ceosystets AG

Для того чтобы найти положение максимума функции корреляции (рис. 12.5), необходимо осуществить поиск во всей области возможных значений расстояний (L = 1,8... 100 м) и измеряемых высот (H = 0... 4,05 м). Для решения данной задачи необходимо вычислить около 50000 коэффициентов корреляции.

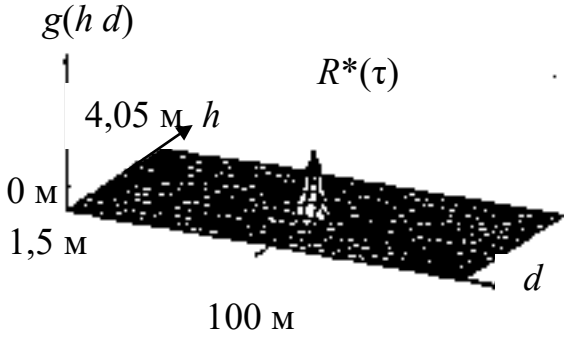


Рис. 12.5. Функция корреляции

Так как в процессе измерений происходит поиск координат максимального значения корреляционной функции в области значений расстояний и высот, то, благодаря наличию автономного устройства измерения расстояния до рейки, область поиска значительно сокращается.

12.3. Определение положения визирной оси при измерениях по кодовой рейке

Для нормальной работы цифрового нивелира должны быть выполнены определенные требования: обеспечение соосности цифровой и визирной оси, однозначность фокусировок по глазу и датчику штрихового кода, настройка коэффициента дальномера, обеспечение минимальности погрешности измерений из-за негоризонтальности линии визирной оси, минимальное воздействие на отсчет недокомпенсации оптического компенсатора.

Соблюдение горизонтальности линии визирной оси является главным условием эксплуатации нивелира.

Все приведенные выше условия достигаются еще при сборке прибора на заводе. Сборка нивелира начинается с тщательной юстировки круглого уровня. Затем перед установкой компенсатора совмещаются сетка нитей DiNi с сеткой нитей коллиматора, то есть устраняется угол *i* и совмещается визирная ось с оптической. В этом положении оси нивелир фиксируется. После этого производится установка и юстировка положения компенсатора. Одновременно устраняется недокомпенсация и поверяется угол *i* с помощью перемещения сетки нитей нивелира. После этого настраивается коэффициент нитяного дальномера.

При помощи имитатора датчика штрихового кода и технологического микроскопа, перемещением делительной призмы достигается соосность и однозначность фокусировок на датчике штрихового кода и сетке нитей цифрового нивелира. Только после этого начинаются компьютерные тесты и настройки.

После сборки и технических тестов производится компьютерный контроль считывания темных и светлых участков штриховой ко-

довой рейки, обеспечивается максимум сигнала по центру рейке. На базисе определяется и вписывается в процессор постоянная дальномерная ошибка, которая не должна превышать 0,005 м на предельном рабочем расстоянии 100 м. Определяется угол i (ΔC-) и вычисляется поправка для устранения влияния угла i. Цифровой нивелир автоматически вводит при измерениях поправки $\pm\Delta h = L \cdot \operatorname{tg} i$, что позволяет во многих случаях отказаться от соблюдения равноплечия.

12.3.1. Методы поверки положения визирной оси

Существует четыре основных метода поверки нивелира – метод Ферштнера, Нобауера, Куккамэки, японский метод:

Метод нивелирования с разными плечами
(*метод Ферштнера*)

Устанавливают две рейки (*A* и *B*) на расстоянии около 45 м друг от друга (рис. 12.6).

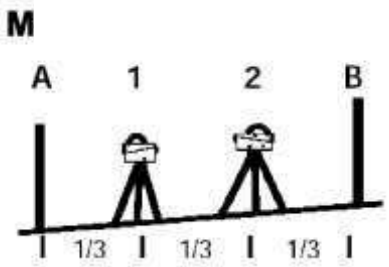


Рис. 12.6. Метод Ферштнера

Расстояние делят примерно на три части и определяют две нивелирные станции на расстоянии примерно 15 м от реек между ними (1, 2). Выполняются измерения на обе рейки с каждой из этих станций.

Метод нивелирования с разными плечами
(*метод Нобауера*)

Юстировка положения визирной оси нивелира методом Нобауера аналогична таковой по методу Ферштнера. Разбивают линию примерно 45 м длиной и делят ее примерно на три части (рис. 12.7).

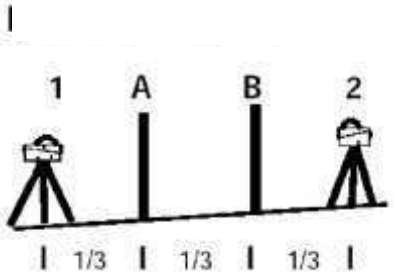


Рис. 12.7. Метод Нобауера

Закрепляют две нивелирные станции (*1* и *2*) по обе стороны от реек *A* и *B*, установленных на расстоянии 15 м друг от друга, примерно в 15 м от них. Затем выполняются измерения с нивелирной станции *1* на обе рейки. После этого необходимо сменить точку стояния на вторую нивелирную станцию и также повторить измерения на обе рейки *A* и *B*.

Метод нивелирования из середины в сочетании с нивелированием вперед (метод Куккамэки)

Сущность метода Куккамэки заключается в следующем. На расстоянии примерно 20 м друг от друга устанавливают две рейки (*A* и *B*) (рис. 12.8). Посредине этого расстояния устанавливают нивелирную станцию *1* и с нее выполняют измерения на обе рейки (сначала на рейку *A*, затем на *B*).

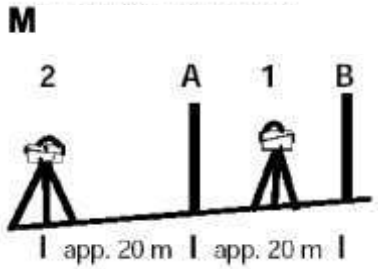


Рис. 12.8. Метод Куккамэки

После наблюдения со станции *1* повторно производят измерения, но уже со станции *2*, которая расположена на продолжении линии, соединяющей обе рейки приблизительно на расстоянии 20 м от вынесенного расстояния.

Японский метод

Этот метод идентичен предыдущему (рис. 12.9).

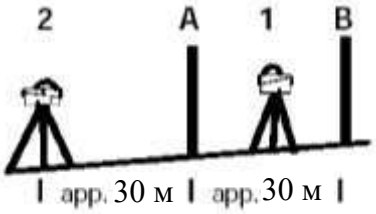


Рис. 12.9. Японский метод

Отличие состоит в том, что расстояние между рейками должно быть около 30 м, а нивелирная станция *2* должна находиться в 3 м за рейкой *A*.

12.3.2 Пример выполнения поверки по методу Ферштнера

Рассмотрим поверку на примере цифрового нивелира Trimble DiNi 22 по методу Ферштнера как наиболее зарекомендовавшему себя. Две рейки (*A* и *B*) устанавливают на расстоянии около 45 м друг от друга. Затем это расстояние необходимо поделить примерно на три части и определить две нивелирные станции на расстоянии примерно 15 м от реек между ними. Нивелирным станциям присваивают порядковые номера *1* и *2*. Для выполнения поверки в пункте меню Adjustment (Юстировка) имеется четыре указанных способа поверки и юстировки.

После вызова функции поверки на дисплее появляется предыдущее значение поправки за наклон визирной оси (рис. 12.10).

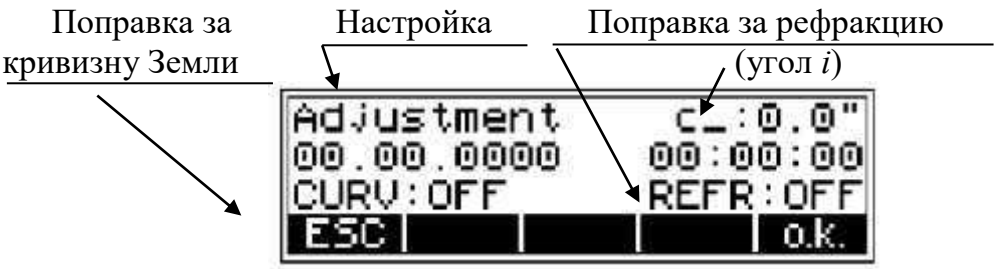


Рис. 12.10. Дисплей поправок

Следующим шагом калибровки прибора является поочередное наблюдение кодовых реек с нивелирных станций в следующей очередности: со станции *1* производится наведение и снятие показаний с рейки *A*, затем с рейки *B*. После этого программа нивелира попросит поменять станцию наблюдения и перейти на точку *2*. С новой станции производятся аналогичные наблюдения реек *A* и *B*.

После успешного завершения процесса юстировки новое значение поправки за наклон визирной оси подсчитывается автоматически. После выполнения измерений выполняют проверку 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* (ΔC-) (рис. 12.11).



Рис. 12.11. Вывод значения угла *i*

Одновременно с этим задается вопрос о подтверждении полученного значения для дальнейшего использования поправки в процессе измерений (рис. 12.12). При уверенности, что все условия юстировки были соблюдены, для подтверждения значения необходимо нажать функциональную клавишу Yes.



Рис. 12.12. Старое и новое значения угла *i*

Новое значение угла будет записано в память, при этом старое значение будет удалено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Маркшейдерско-геодезические приборы являются основной инструментальной базой при выполнении маркшейдерских измерений. Внедрение в технику измерений новых приборов привело к возникновению новых методов выполнения маркшейдерско-геодезических работ. Рассмотренные в учебном пособии основные теоретические положения оптических приборов, принципы действия электронных тахеометров, цифровых нивелиров, анализ источников погрешностей дают более полное представление о преимуществах применения новой измерительной техники.

Приложение 1

Спутниковое оборудование

Логотип фирмы	Leica Geosystems	SOKKIA	TOPCON		Trimble		SOUTH		УОМЗ
Название	Leica	Sokkia	Topcon		Trimble		South		УОМЗ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Фото									
Марка прибора	Viva Uno 10, Viva Uno 15	GSX2	NET-G3A	HiPer+	R5	R7	H68	S86T	ГСА-5
Поддерживаемые системы	GPS, ГЛОНАСС (опция)	GPS, ГЛОНАСС, SBAS	GPS, ГЛОНАСС, Galileo	GPS, ГЛОНАСС (опция)	GPS, ГЛОНАСС, SBAS	GPS, ГЛОНАСС, SBAS	GPS, SBAS	GPS, ГЛОНАСС, SBAS, Compass, Galileo	GPS, ГЛОНАСС, SBAS
Принимаемые частоты	L1	L1, L2 (опция)	L1 (C/A), L2, L2C, L5	L1, L2 (опция)	L1 (C/A), L2, L2C	L1 (C/A), L2, L2C	L1	L1 (C/A), L2, L2C, L5	L1, L2
Число каналов	14	120	144	40	72	72	14	220	54
Точность измерений (статика): План (мм/км) Высота (мм/км)	5 + 0.5 10 + 0.5	3 + 0.5 5 + 0.5	3 + 0.5 5 + 0.5	3 + 0.5 5 + 0.5	3 + 0.1 3.5 + 0.4	3 + 0.1 3.5 + 0.4	3 + 1 5 + 1	3 + 1 5 + 1	5 + 1 10 + 1
Точность измерений (кинематика): План (мм/км) Высота (мм/км)	10 + 1 20 + 1	10 + 1.0 15 + 1.0	-	10 + 1.0 15 + 1.5	10 + 1 20 + 1	8 + 1 15 + 1	10 + 1 20 + 1	10 + 1 20 + 1	15 + 1.0 20 + 1.0
Температурный диапазон работы (°С)	-30 - +65	-20 - +65	-40 - +65	-30 - +60	-40 - +65	-40 - +65	-40 - +70	-40 - +70	-20 - +50
Время непрерывной работы (час)	до 9	до 20	до 40	до 14	10	11	до 16	до 14	до 16
Вес (кг)	0.74/0.90)	0,85	3,1	1.72	1.5	1.5	0.6	1.35	1.0

Тахеометры

Логотип фирмы	Leica					SOKKIA						
Название	Leica					Sokkia						
1	2	3	4	5	6	7	6	9	10	11	12	13
Фото												
Серия	FlexLine	Builder	TS30	Viva	Nova	CX	50RX	FX	Set X	DX	SX	NET
Марка прибора	TS02power (Arctic), TS06plus R1000 (Arctic), TS09plus R1000 (Arctic), TS09plus R500 (Arctic)	505 (Arctic), 509	TS30	TS11(I) R1000 Arctic, TS11 R400 Arctic, TS15 I/P R1000, TS15 P R400	MS50, TM50, TS50	CX-102(L), CX-103, CX-105(L), CX-106	SET 250RX(L), SET 350RX, SET 550RX(L), SET 650RX	FX-101, FX-102, FX-105,	SET1X, SET2X, SET3X, SET5X	DX-101AC, DX-103AC, DX-105AC	SX-101, SX-103, SX-105	NET05AX , NET05X, NET1AX, MONMOS
Hz СКП (x")	1",2",3",5"	5",9"	0,5"	1",2",3"5"	0,5",1"	2",3",5",6"	2",3",5",6"	1",2",5"	1",2",3",5"	1",3",5"	1",3",5"	0,5",1"
Единицы младшего разр	1"	5"	0,5"	1"	0,5"	2"	2"	1"	1"	1"	1"	0.5"
Увеличение(X)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Система считывания	Абсолют. непрерыв., диаметрал.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.
Компенсатор (° ' ")	4'	4'	4'	4'	4'	6'	6'	6'	4'	6'	6'	3',4'
Расстояние,м												
Без отражателя	400/500/1000	250	1000	1000	1000/2000	500	400	500	500	1000	1000	40/100/400
На отражатель	3500/7500	500/3500	3500/10000	3500/ 10000	3500/ 10000	5000	5000	5000	5000	5000	6000	3500
СКП (мм/км)	2+2	1,5/2+2	2/3+2	0,6/2+1/2	0,6/1/2+ 1/1,5/2	2+2	2+2	2+2	2+2	1.5+2	1,5/2+2	0,5/0.6/1/3 +1/2

Логотип фирмы	TOPCON					Trimble		
Название	Topcon					Trimble		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фото								
Серия	Серия ES	Серия OS	Серия IS	Серия PS (Power Station)	Серия Quick Station	M3 DR	S	VX
Марка прибора	ES-102(L), ES-103, ES-105(L)	OS-101L, OS-103L, OS-105L	IS-301, IS-303, IS-305	PS-101, PS-103, PS-105	QS1A, QS3A, QS5A, QS1M	M3 DR 1", M3 DR 2", M3 DR 3", M3 DR 5", M3 DR 5" W (Arctic)	S3 2",S3 5", S6 1", S6 2", S6 1", S6 3", S6 5", S8 DR Plus (HP)	VX Spatial Station
Hz СКП (x")	2",3"5"	1",3"5"	1",3"5"	1",3"5"	1",3"5"	1",2",3",5"	0.5",1",2",3", 5"	1"
Единицы младшего разр.	2"	1"	1"	1"	1"	1"	0.5"	1"
Увеличение (X)	30	30	30	30	30	30	30	30
Система считывания	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.
Компенсатор (° ' ")	6’	6’	6’	6’	6’	3,5’	5’/5.4’	5.4’
Расстояние, м								
Без отражателя	500	500	250, 2000 (сверхдал. режим)	1000	250, 2000 (сверхдал. режим)	500 (W - 400)	800	800
На отражатель	5000	5000	3000	6000	3000	5000	2500/5000/5500	2500/5500
СКП (мм/км)	2/3+2	2/3+2	2/2/10+ 2/3/10	1,5/2+2	2/3/10+ 2/2/10	2/3+2/3	0,8/1/2/4/5+ 1/2	1/2/5+2

Логотип фирмы	SOUTH			Nikon				УОМЗ		
Название	South			Nikon				УОМЗ		
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12
Фото										
Серия	NTS 360	NTS 370	R	DTM-322	NPL-322	Nivo M	3Та5	4Та5	5Та5	6Та3
Марка прибора	NTS 362, NTS 365r	NTS 372, NTS 375	R10	DTM-322 3", DTM-322 5"	NPL-322 (2"), NPL-322 (5")	2.M (LP), 3M (LP), 5M (LP/W)	3Та5Р(Д)	4Та5Н	5Та5	6Та3
Hz СКП (x")	2",5"	2",5"	2"	3",5"	2",5"	2",3",5"	5"	5"	5"	3”
Единицы младшего разр.	2"	2"	2"	3"	2"	2"	5"	5"	5"	3”
Увеличение (X)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Система считывания	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.	Абс., непр., диам.
Компенсатор (° ' ")	3’	3’	3’	3’	3’	3.5’	5’	5’	5’	5’
Расстояние, м										
Без отражателя	300	350	1000	-	200	500	400	-	-	700
На отражатель	5000	5000	5000	2300	3000	3000/5000	800/2800	1000	3000	5000
СКП (мм/км)	2/3+2	2/5+2	2/5+2	3+2	2/3+2/3	2/3+2	3+2	3+2	5+3	3/5+2

Цифровые нивелиры

Логотип фирмы	Leica Geosystems	Trimble	TOPCON			SOKKIA		SICONG	
Название прибора	Leica		Trimble	Topcon			Sokkia		Sicong	
Марка прибора	DNA03	DNA10	DiNi 0.3	DL101C	DL102C	DL103AF	SDL30	SDL50	DL321	DL320
Внешний вид										
СКП (мм/км)										
инварная	0,3	0,9	0,3	0,4			0,6		0,3	0,5
стандартная	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,8	1,0		1,5	1,5
Оптическое изм., мм	2,0	2,0	1,5	1,0	1,5	2,5	1,0	2,0		
Время измерения, с	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
Расстояние, м	1,8 -110	1,8 -110	1,5 – 100	2 – 60 (invar) else 2 -100	2 – 100	2 – 60	1,6 – 100			
Погрешность	10 мм 20 м	10 мм 20 м	20-25 мм 20 м	10 мм 50 м	10 мм 50 м	20мм 20 м	20 мм 20 м (100 мм – 50 м)			
СКП комп	0,3"	0,8"	0,2"	0,3"	0,5"	0,5"			0,3"	0,3"
Диапазон комп.	± 10'	± 10'	± 15'	± 12'	± 15'	± 10'	± 15'	± 15'	± 12'	± 12'

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

К главе 1

1. Дайте определение показателя преломления оптических средств.

2. В чем различие сортов стекол «крон» и «флинт».

К главе 2

1. Дайте определение преломляющей призмы.

2. Назовите оптические детали маркшейдерских приборов, для изготовления которых используется плоскопараллельная пластина.

3. Что такое ахроматический клин?

4. Каковы назначение и виды призм полного внутреннего отражения, применяющиеся в конструкциях маркшейдерских приборов?

5. Каковы назначение и типы линз, применяемых в конструкциях маркшейдерских приборов?

6. Что такое оптическая сила линзы?

К главе 3

1. Назовите виды аберраций (оптических искажений).

2. Какова размерность значения дисторсии?

3. Какова размерность разрешающей способности оптической системы?

4. Перечислите причины потерь света в оптических системах.

5. Какова предельная величина качественного увеличения лупы?

6. Штриховой микроскоп. Каковы его точность, устройство?

7. Шкаловый микроскоп. Каковы его точность, устройство?

8. Назовите разновидности оптических микрометров. Каковы его точность, устройство?

9. Что такое рен отсчетного приспособления?

10. Перечислите основные характеристики визирных зрительных труб.

11. Перечислите оптические детали визирной зрительный трубы.

К главе 4

1. Каковы отличия повторительных теодолитов от прочих?

2. Назовите отличия вертикальной осевой системы теодолитов типа Т2 и Т5 от Т30.

3. Перечислите детали теодолита, относящиеся к теодолитной части.

4. Каковы основные требования, предъявляемые к работе горизонтальной осевой системы теодолитов?

К главе 5

1. Назовите типы уровней.

2. Перечислите функции уровней в конструкциях маркшейдерских приборов.

3. Для каких целей переназначен контактный уровень?

4. Для чего предназначены самоустанавливающиеся компенсаторы?

5. В чем заключается полевой контроль работы (состояния) компенсаторов.

К главе 6

1. Опишите последовательность работ при исправлении неперпендикулярности вертикальной оси вращения прибора к оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.

2. Объясните геометрический смысл коллимационной оптики.

3. Каким образом можно исправить коллимационную ошибку теодолита?

4. Объясните геометрический смысл понятия «место нуля (зенита)» вертикального лимба теодолита.

5. Почему рекомендуется производить измерения углов при двух положениях вертикального круга (справа и слева относительно наблюдателя)?

6. Каким образом можно уменьшить влияние эксцентриситета лимба на точность угловых измерений?

7. Назовите требования к горизонтальности визирной оси нивелиров.

8. Объясните геометрический смысл необходимости соблюдения условия «равноплечия» при нивелировании.

К главе 7

1. Для каких пространственных измерений предназначен тахеометр?

2. Для каких маркшейдерских и геодезических работ предназначен номограммный тахеометр.

3. Охарактеризуйте закономерности изменения погрешностей номограммных тахеометров в зависимости от расположения визирных целей.

4. Назовите марки наиболее распространенных оптико-механических тахеометров.

К главе 8

1. Назовите основные части конструкции гиротеодолита.

2. Объясните принцип определения истинного азимута стороны полигонометрического хода с помощью гиротеодолита.

3. Назовите причину вынужденных колебаний маятника гироскопа.

4. Назовите марки и точностные характеристики маркшейдерских гиротеодолитов.

К главе 9

1. Какое свойство видов энергии используется для измерения дальности в дальномерах?

2. В чём различие терминов «дальность» и «расстояние»?

3. По каким параметрам сигнала определяется дальность?

4. Чем отличается опорный сигнал от измерительного?

5. Какие виды сигналов применяются в дальномерах?

6. Что такое «предел однозначного измерения»?

7. В чём состоит преимущество апериодического сигнала перед периодическим сигналом и наоборот?

8. Какой вид сигнала обеспечивает более точный режим измерений?

9. Чем объясняется переход в светодальномерах от традиционных источников излучения к лазерным источникам?

10. На каком принципе основан способ отображения результата измерения дальности в цифровых дальномерах?

11. От каких основных параметров зависит случайная погрешность измерений светодальномера?

12. Какой вид помехи является причиной образования систематической погрешности?

13. В какой степени влияет изменение показателя преломления атмосферы на точность измерений?

14. Что такое «дрейф нуля» и каковы способы его устранения?

К главе 10

1. На каком принципе основано считывание направлений с кодовых дисков?

2. Что лежит в основе электронных методов измерения улов?

3. В чём преимущество применения кодовых дисков со штрих-кодовой дорожкой перед кодовыми дисками с периодической штриховой дорожкой?

4. На чём основан принцип динамического считывания направлений и углов?

5. Какие преимущества имеют тахеометры с автоматической системой наведения?

6. Какую функцию выполняют электронные компенсаторы?

К главе 11

1. Чем отличается рейка цифрового нивелира от рейки оптического нивелира?

2. На чём основан принцип преобразования визуального изображения штрих-кода в электрический сигнал?

3. Где и с чем сравнивается изображение сектора штрих-кода рейки в цифровом нивелире?

4. Каким образом устраняется влияние угла i на точность измерений при неравенстве плеч?

5. На чём основан метод определения угла i?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Промышленный образец светодальномера КДГ-3*: свидетельство на промышленный образец № 613 / Н. В. Кортев [и др.]. – Свердловск, 1969.

2. *Зиновьев А. Л., Филиппов Л. И.* Введение в теорию сигналов и цепей: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1968. – 280 с.

3. *Дулевич А. И.* Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие. – М.: Советское радио, 1964. – 717 с.

4. *Захаров А. И.* Справочник по геодезическим приборам. – М.: Недра, 1989. – 314 с.

5. *Новые методы и приборы локационной съемки*, разработанной в СГИ / Н. В. Кортев [и др.] // Сборник докладов Международного VII маркшейдерского конгресса. – Т. VI. 1998. – С. 48-50.

6. *Корсунская М. М.* Геодезические приборы. – М.: Институт оценки природных ресурсов, 2002. – 186 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 3
1. ПРОСТЕЙШИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ПРИБОРЫ ... 4
2. ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ ... 8
3. ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ... 12
4. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ... 20
4.1. Недостатки (аберрации) оптических систем ... 20
4.2. Потери света в оптических системах ... 24
4.3. Оптические системы ... 24
5. ОСИ ВРАЩЕНИЯ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ... 34
5.1. Вертикальные осевые системы теодолитов и электронных тахеометров ... 34
5.2. Ось вращения визирной зрительной трубы ... 37
6. УРОВНИ И САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ КОМПЕНСАТОРЫ ... 38
7. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ... 41
7.1. Инструментальные погрешности, исключаемые из результатов при измерении углов полным приемом ... 42
7.2. Погрешность от наклона оси вращения трубы (из-за невертикальности прибора) ... 47
7.3. Погрешность измерения углов за счет эксцентриситета лимба ... 48
7.4. Рен отсчетных приспособлений теодолитов ... 48
7.5. Инструментальные погрешности нивелиров ... 49
8. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ТАХЕОМЕТРЫ ... 52
9. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ГИРОТЕОДОЛИТЫ ... 55
9.1. Принцип работы гиротеодолитов ... 55
9.2. Принципиальная схема устройства гиротеодолита с маятниковым гироскопом ... 58
10. ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАЛЬНОМЕРЫ ... 62
10.1. Измерительные сигналы дальномеров ... 62
10.2. Измерение дальности ... 64
10.3. Светодальномеры и общие положения ... 66
10.4. Светодальномеры с непериодическим сигналом ... 67
10.5. Светодальномеры с периодическим сигналом ... 79
10.6. Основные погрешности дальномеров ... 90
10.6.1. Погрешности дальномеров с нониусной системой ... 90
10.6.2. Погрешность дискретизации ... 91
10.6.3. Погрешности нестабильности масштабной частоты ... 93

10.6.4. Влияние флюктуационных оптических и электрических помех ... 94
10.6.5. Переменная систематическая погрешность ... 96
10.6.6. Погрешность дрейфа нуля ... 99
10.6.7. Постоянная систематическая погрешность ... 100
10.6.8. Амплитудно-временная погрешность ... 101
10.6.9. Погрешность от влияния временной неоднородности *p-n*-перехода полупроводникового лазера и фотодиода ... 102
10.6.10. Погрешность измерения дальности от изменения показателя преломления атмосферы ... 103
10.7. Устройства отображения информации цифровых дальномеров ... 107
10.8. Типы дальномеров ... 109
10.9. Акустические дальномеры ... 111
11. ЭЛЕКТРОННЫЕ ТАХЕОМЕТРЫ ... 112
11.1. Общие сведения ... 112
11.2. Устройства считывания направлений и углов ... 114
11.2.1. Кодовые устройства считывания направлений и углов ... 114
11.2.2. Динамические (времяимпульсные) системы считывания направлений и углов ... 116
11.2.3. Накопительные устройства считывания направлений и углов ... 118
11.2.4. Комбинированные системы считывания направлений ... 119
11.3. Конструктивные особенности тахеометров ... 119
11.3.1. Электронные уровни (датчики наклона) ... 119
11.3.2. Автоматизированные системы наведения электронных тахеометров ... 121
12. ЦИФРОВЫЕ НИВЕЛИРЫ ... 123
12.1. Общие сведения ... 123
12.2. Конструкция и принцип отсчитывания цифровых нивелиров фирмы Leica GEOSISTEMS AC ... 124
12.3. Определение положения визирной оси при измерениях по кодовой рейке ... 129
12.3.1. Методы поверки положения визирной оси ... 130
12.3.2. Пример выполнения поверки по методу Ферштнера ... 132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 134
Приложение 1. Спутниковое оборудование ... 135
Приложение 2. Тахеометры ... 136
Приложение 3. Цифровые нивелиры ... 139
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ... 140
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ... 144

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Г. В. Земских, А.А. Шевелёв

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Учебно-методическое пособие

к курсовой работе и практическим занятиям
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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.

$$\psi_г'' = (d_г / \phi_г)\,\rho,$$

где $d_г$ – расстояние между светочувствительными элементами глаза (≈ 0,005мм);

$\phi_г$ – 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, $\rho'' = 206265''$, $S_м$ – максимальная величина расстояния до шкалы в мм, при котором чётко различается интервал d.

При расстоянии S = 50м, d = 0,5мм, $\psi_\Sigma = 2''$.

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 $S \geq 150$ 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: $2C = КЛ - КП \pm 180°$.

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 M0 (MZ); таких серий должно быть выполнено не менее двух.

Значения *C* и M0 (MZ) вычисляют по формулам, приведенным в инструкциях по эксплуатации приборов.

Расхождение отдельных значений *C* и M0, относящихся к одним и тем же расстояниям, не должны быть более указанных в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Нормативные расхождения определяемых *C* и M0.

СКП измерения углов (секунды)	*Z*	5	15	30
Допустимые расхождения для *C* и M0 (MZ), секунды	2,5	10	15	60

Изменения *C* и M0 (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:

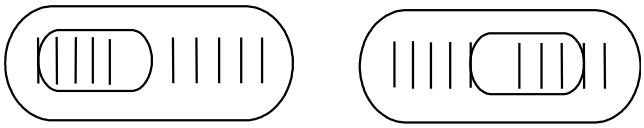
$$\tau = 2\rho \frac{\sin(\Delta\alpha/2) \cdot \sin v}{n},$$

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 «*a*» 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).

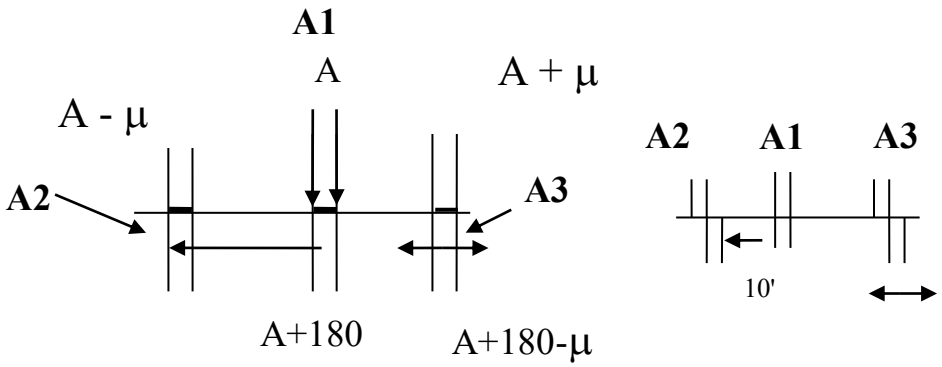


Рис. 1.2. Схема перемещения и совмещения штрихов

Рен верхнего и нижнего изображений находят по формулам

$$r_в = (A_1 – A_2)\mu_0 + \mu / 2;$$

$$r_н = (A_1 – A_3)\mu_0 + \mu / 2,$$

где μ_0 – цена деления шкалы микрометра.

Далее вычисляют среднее значение рена

$$r = (r_в + r_н) / 2.$$

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"

$$v = (v' + v'') / 2; \quad v° = v_0 + x\sin\varphi + y\cos\varphi;$$

$$v_0 = \sum v / 6 = + 26"; \quad \operatorname{tg}\varphi_{эк} = \frac{-\sum v\cos\varphi}{\sum v\sin\varphi} = \frac{-1,9}{21,2} = - 0,09;$$

$$x = \frac{\Sigma v\sin\varphi}{n/2} = \frac{+21,2}{3} = + 7,1"; \quad \varphi_{ЭК} = 355°;$$

$$y = \frac{-\Sigma v\cos\varphi}{n/2} = \frac{-1,9}{3} = - 0,6"; \quad \varepsilon_{г.к.} = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2} = 3,6";$$

$$l_{г.к.} = \varepsilon_{г.к.} \cdot R / \rho" = \frac{3,6 \cdot 45000}{206265} = 0,76 \text{ мкм},$$

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.

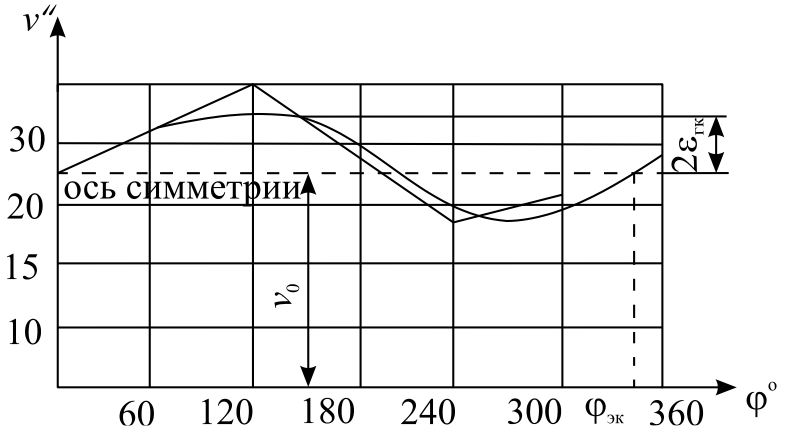


Рис. 1.3. График углового эксцентриситета лимба и определение его элементов $2\varepsilon_{г.к.}$ $\varphi_{эк}$

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})

$$\varepsilon_{оси} = \sqrt{\varepsilon_a^2 - 2\varepsilon_a \cdot \varepsilon_{гк} \cdot \cos(\varphi_{эа} - \varphi_{эк}) + \varepsilon_{гк}^2}\ ;$$

$$\varepsilon_{max} = \varepsilon_{оси} + \varepsilon_{г.к.}$$

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 $a_{пр}$ полным приемом. Затем меняют теодолит и визирную цель местами и измеряют угол $a_{обр}$ в обратном направлении, сохранив при установке теодолита высоту горизонтальной оси l.

Максимальное влияние эксцентриситета вертикального круга определяют по формуле

$$\varepsilon_{вк} = \frac{a_{пр} - a_{обр}}{2\cos\alpha},$$

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).

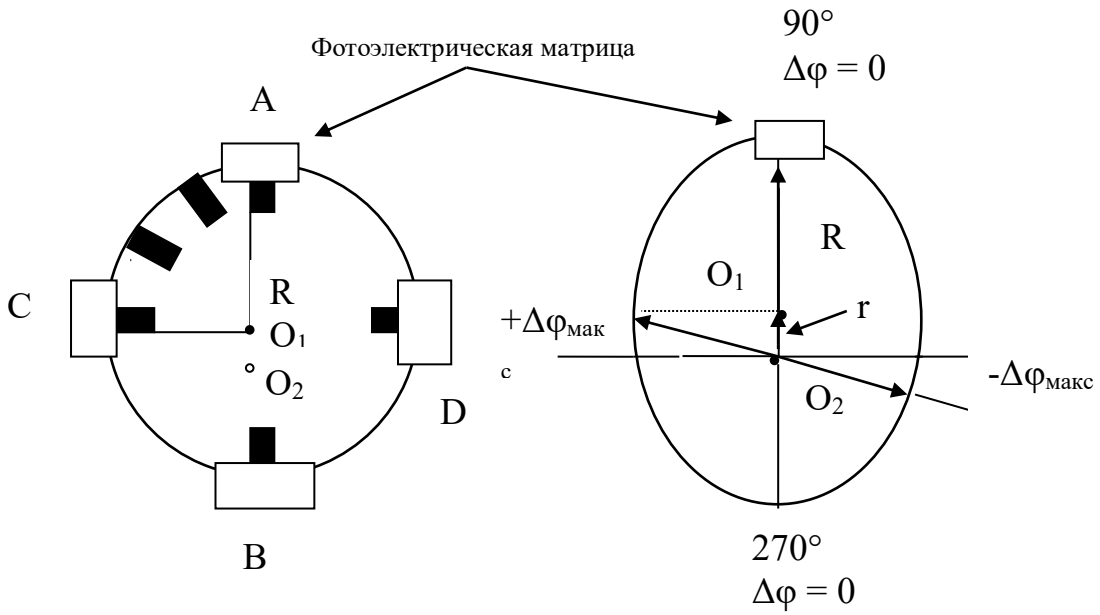


Рис. 2.1 Зависимость погрешности Δφ от угла поворота алидады.

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.

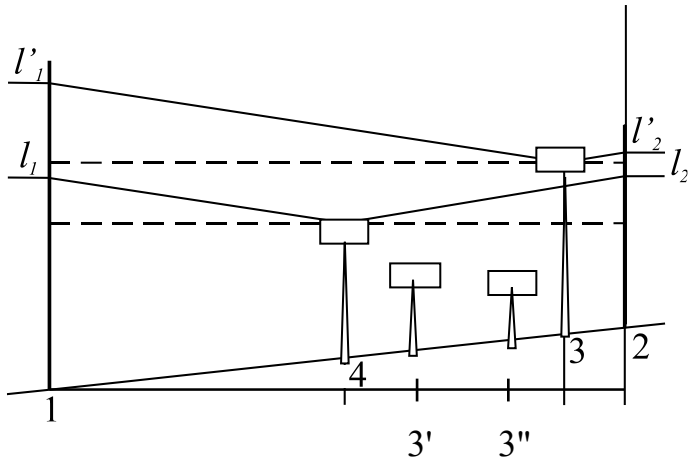


Рис.3.1. Взаимное расположение нивелира и реек при определении угла *i*

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.

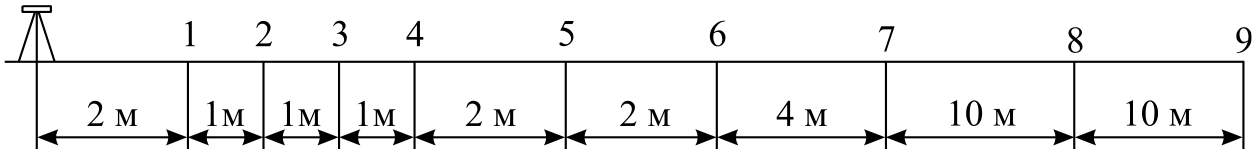


Рис.32. Схема базиса для исследования хода фокусирующей линзы

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 $\Delta h_i = h_{ср i} - h_{э i}$ 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.

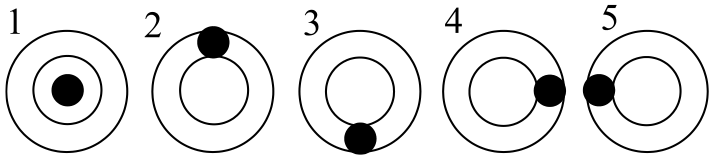
3.9. Определение ошибки недокомпенсации (для нивелиров с компенсаторами)

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 $m_{1,\ 2,\ \ldots\ 10}$ – 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.

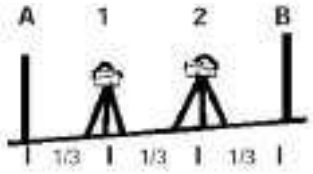


Рис 4.1 - Метод Ферштнера

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.

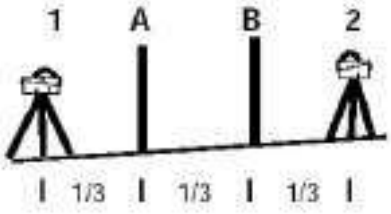


Рис 4.2 - Метод Нобауера

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 (A и B). Посредине этого расстояния устанавливается нивелирная станция 1 и с нее выполняют измерения на обе рейки (сначала на рейку A, затем на B).

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.

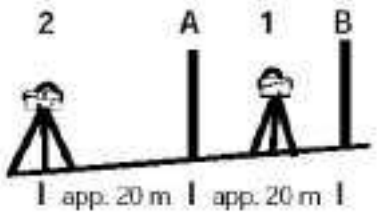


Рис 4.3 - Метод Куккамэки

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 A.

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 A 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.

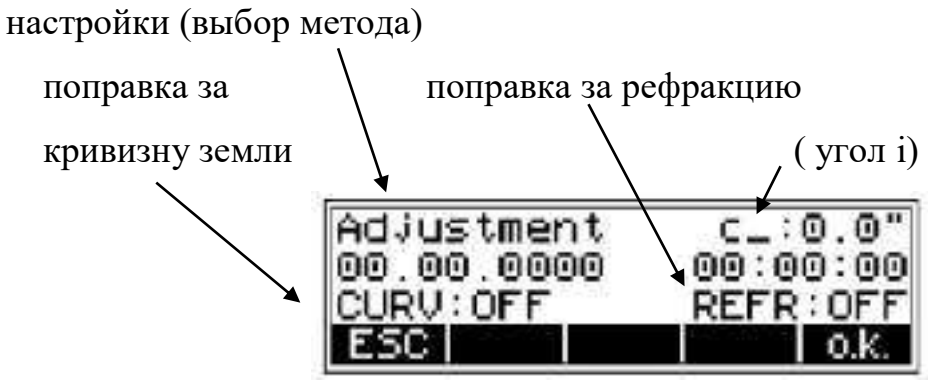


Рис. 4.4 - Дисплей поправок

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).

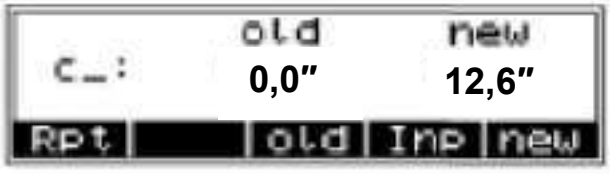


Рис 4.6 - Старое и новое значение угла i

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 $i_к$:

$\Delta h = S \cdot tg\ i_к$, 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

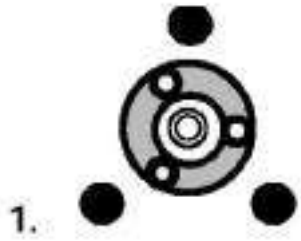
Для надёжности рекомендуется повторить юстировку.

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).

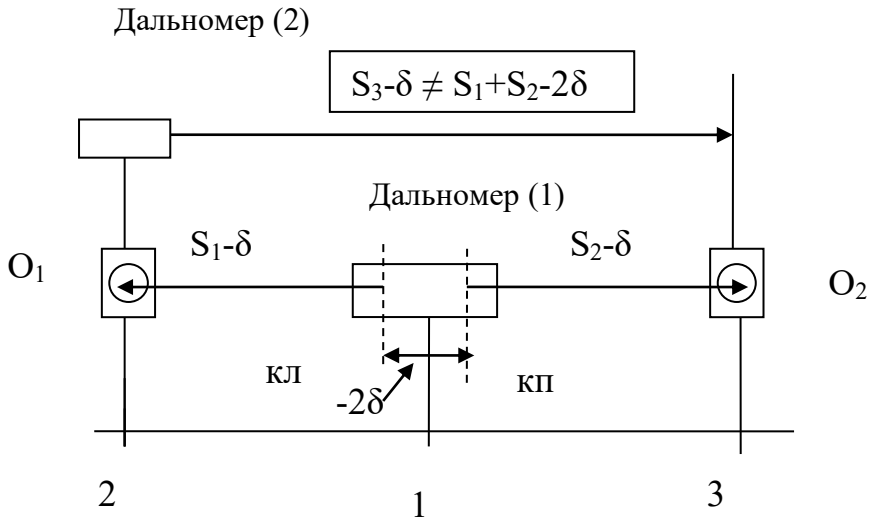


Рис.5.1 Определение постоянной поправки дальномера

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 $1+1\cdot10^{-6}$ 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.

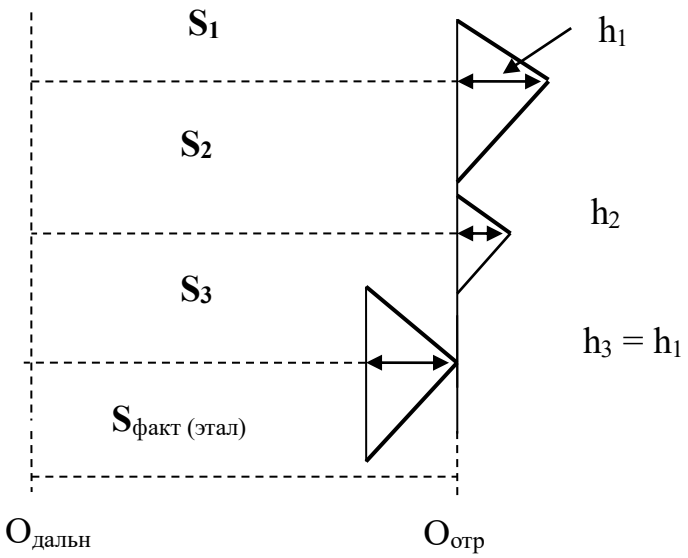


Рис.5.2. Определение постоянной поправки призмы

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 α1 = +30˚(± 2') от горизонта (коллиматор А) и α2 = -30˚(± 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 α1.

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 α2.

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 ±45˚ или ±25˚ 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 профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



Земских Г. В.

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург – 2019

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕСИТЕТ

Кафедра маркшейдерского дела

УТВЕРЖДАЮ:
проректор по учебно-методическому комплексу

_____ доц. С. А. Упоров

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе
по дисциплине для студентов специальности
21.05.04 «Горное дело»
специализации маркшейдерское дело

Екатеринбург - 2019

Маркшейдерско-геодезические приборы: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» / Г.В. Земских; Уральский государственный горный университет, кафедра Маркшейдерского дела. - Екатеринбург: 2019. – 13 с.

Материал пособия охватывает все разделы дисциплины в соответствии с учебным пособием [1].

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов специальности «Горное дело» специализации Маркшейдерское дело».

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры маркшейдерского дела «09» апреля 2019 г., протокол № 19

© Земских Г.В.
© Уральский государственный горный университет, 2019

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



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.В. Жабко, А.П. Бадулин

ГЕОМЕХАНИКА

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение устойчивости бортов карьеров важнейшая задача технологии отработки месторождений полезных ископаемых открытым способом. С устойчивостью бортов карьеров связаны безопасность горных работ, обоснование предельных углов наклона бортов, предельная глубина карьеров и объемы вскрышных работ.

При большой глубине карьеров изменение предельного угла наклона бортов на $3-4^{\circ}$ приводит к изменению объема вскрышных работ на миллионы кубометров. Например, при глубине карьера 300 м увеличение угла наклона борта с 30 до 34° приводит к сокращению объема вскрышных работ на 10,8 млн $м^3$ с 1 км протяженности борта. Если учесть, что протяженность бортов действующих и строящихся карьеров измеряется десятками километров, то становится очевидным значение определения оптимальных углов наклона устойчивых бортов карьеров. Завышенные углы откосов приводят к возникновению оползней и обрушений, которые причиняют значительный ущерб предприятиям, нарушая нормальный технологический процесс добычных и вскрышных работ, ведут к большим потерям готового к выемке полезного ископаемого (вопрос охраны недр) и вызывают необходимость многократной перевалки оползающих масс горных пород. Обрушения бортов представляют опасность для работающих в карьере людей, механизмов и транспортных коммуникаций.

Помимо бортов карьеров и уступов откосов на горных предприятиях имеются откосы многоярусных отвалов и дамб хвостохранилищ (хвостовые хозяйства). Нарушение устойчивости любого из этих ответственных объектов неизбежно приведет к остановке предприятия и повлечет колоссальные расходы на их восстановление.

Отличительной особенностью геотехнических сооружений (карьеры, отвалы, дамбы хвостохранилищ) являются их размеры (сотни метров в высоту и километры в плане), чрезвычайно высокая стоимость (миллионы долларов), высокая изменчивость физико-механических характеристик (сотни процентов) и, как следствие, высокая степень неопределенности при принятии решений о параметрах сооружения на стадии их проектирования, а значит, потенциальная угроза разрушения при эксплуатации. При занижении предельных геометрических параметров сооружения резко возрастает стоимость его строительства. Ошибка при проектировании геотехнических сооружений может привести к гибели десятков людей, создать условия невозможности или нецелесообразности разработки месторождений полезных ископаемых. Помимо уже отмеченных трудностей, связанных со сложным статистическим распределением свойств горного массива, добавляется проблема слабой изученности закономерностей протекания геомеханических явлений, факторов, определяющих предельные геометрические параметры откосов, и т. д. Таким образом, актуальность рассматриваемой проблемы обосновывается безопасностью эксплуатации геотехнического сооружения и экономической эффективностью произ-

водства и эксплуатации, измеряемыми человеческими жизнями и миллионами долларов соответственно.

Погрешность используемых на сегодняшний день методов расчета устойчивости откосов оценить достаточно сложно, вместе с тем рекомендуемые действующим нормативным документом методы расчета предусматривают их относительное расхождение, равное 20 %. Что касается погрешностей прогнозирования механических характеристик горных пород, отметим, что ошибка оценки угла внутреннего трения редко превышает 2 – 3 градуса. Иначе обстоит дело с оценкой величины сцепления массива трещиноватых горных пород. При его обосновании разными методами результаты могут отличаться между собой в 2 – 4 раза (200 – 400 %), что делает расчет и найденные предельные параметры откосов недостоверными.

Для снижения риска, вызванного погрешностями определения физико-механических характеристик, незнанием или неучетом других факторов, используют нормативный коэффициент запаса устойчивости. Обоснование величины нормативного коэффициента запаса устойчивости бортов карьера в условиях неопределенности сложнейшая задача, так как его значение, с одной стороны, определяет безопасность, а с другой – экономическую эффективность открытых горных работ.

Мизерная информация о свойствах горного массива и их изменчивости обусловливает использовать необоснованно завышенные значения нормативного запаса устойчивости при проектировании сооружений либо постановку на объекты инструментальных маркшейдерских наблюдений.

Безусловно, инструментальные маркшейдерские наблюдения являются весьма эффективным инструментом предупреждения опасных геомеханических ситуаций. Однако если с точностью наблюдений на сегодняшний день проблем не существует (современные маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы, в том числе спутниковые, позволяют достичь практически любой точности определения координат реперов), то с интерпретацией получаемой информации возникают объективные трудности. Во-первых, неизвестны критические значения смещений, деформаций, скоростей смещений и т. д., соответствующие предельному состоянию сооружения. Во-вторых, смещения отдельно взятых реперов небольших, по сравнению с размерами сооружения (например, призма смещения), не всегда свидетельствуют о смещениях и деформациях самого сооружения.

Все перечисленное выше составляет предмет науки о геомеханических явлениях и процессах, сопровождающих разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Учебное пособие написано сотрудниками кафедры маркшейдерского дела Уральского государственного горного университета. Введение, главы 2 – 5, заключение и приложения написаны доц., к.т.н. Жабко А. В., глава 1 и заключение написаны проф., к.т.н. Бадулиным А. П.

1 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА НАЗЕМНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ В КАРЬЕРЕ

1.1 Виды деформаций, факторы, их определяющие, и цели наблюдений за деформациями

Все деформации откосов разделяют на пять видов.

1. **Осыпи** образуются в результате выветривания и действия внешних техногенных факторов, например взрывных работ. Они проявляются в виде отрыва (отделения) отдельных кусков породы от массива и их перемещения по поверхности откоса. Очевидно, условием возникновения осыпей является превышение угла откоса над углом трения $\alpha > \varphi'$ (брусок на наклонной плоскости). Осыпи, как правило, не представляют какой-либо опасности, однако из-за их массовости они засоряют или полностью заполняют предохранительные бермы, создавая условия для перепуска породы на нижележащие горизонты.

2. **Обрушения** представляют собой быстрое разрушение и перемещение части горного массива в выработанное пространство без ярко выраженной поверхности скольжения (разрушения). Данный вид деформаций является наиболее опасным и разрушительным.

3. **Оползень** представляет собой достаточно медленное перемещение горных масс вдоль ярко выраженной поверхности скольжения. Оползень может продолжаться от десятков минут до нескольких месяцев и даже лет. Оползни гравитационного типа разделяют: на оползни изотропных массивов, фильтрационные оползни, покровные, контактные, оползни выпирания и т.д.

4. **Оплывины –** перемещение насыщенных водой рыхлых горных масс в виде потока и их последующее растекание по площадке под углами $4-6^{\circ}$.

5. **Просадки** – вертикальное опускание прибортовых участков высокопористых рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности скольжения.

Отметим, что четкой границы между отдельными видами деформаций не существует.

Факторы, влияющие на устойчивость карьерных откосов, можно подразделить на несколько групп.

1. Геологические факторы.

1.1. Прочность горных пород в образце.

1.2. Трещиноватость и тектоника горных массивов.

1.3. Выветривание горных пород.

1.4. Способность к набуханию рыхлых глинистых отложений.

1.5. Сейсмические воздействия.

2. Гидрогеологические факторы.

2.1. Гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление (гидростатическое давление).

2.2. Суффозия (механический вынос частиц водным потоком).

2.3. Выщелачивание (карстогенез).

2.4. Тиксотропное разжижение пылеватых песков (плывуны).

3. Климатические условия.

3.1. Количество атмосферных осадков.

3.2. Температурный режим (глубина промерзания).

3.3. Рельеф (заболоченность).

4. Горнотехнические факторы.

4.1. Способ производства буровзрывных работ.

4.2. Заоткоска уступов.

4.3. Применение бортов выпуклого профиля.

4.4. Подработка подземными горными работами.

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 низкая точность определения расчетных механических характеристик массива горных пород, слагающих борт.

Для прогнозирования развития деформаций во времени с увеличением глубины карьера и принятия мер по предотвращению их роста до критической величины рекомендуется проводить инструментальные наблюдения за деформациями откосов.

Цели маркшейдерских наблюдений следующие:

1. Установление границ распространения и вида деформаций горных пород.

2. Определение величины и скорости смещений горных пород.

3. Определение критической скорости смещений, предшествующих началу активной стадии в виде оползня или обрушения.

4. Предрасчет развития смещений во времени при углубке карьера.

Маркшейдерские наблюдения за деформациями бортов должны проводиться одновременно с началом развития вскрышных работ. Для этого на поверхности карьера и на откосах бортов закладываются специальные наблюдательные станции.

1.2 Подготовительные работы

В технических проектах отработки карьера должны содержаться и проекты наблюдательных станций по изучению деформаций бортов в целом и деформаций отдельных участков бортов с неблагоприятными условиями устойчивости. В случае отсутствия проектов наблюдательных станций в техническом проекте отработки месторождения последние составляются маркшейдерской службой предприятия или специализированными организациями и согласовываются с органами Ростехнадзора.

В программу подготовительных работ по разработке проекта наблюдательной станции на карьере включают:

1. Изучение инженерно-геологической документации строящегося карьера.

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.

5. Выбор места заложения и конструкции наблюдательной станции.

Наиболее полные данные о характере деформаций откосов получают путем визуальных наблюдений и наблюдений за смещением реперов, заложенных в местах наибольших углов борта карьера. На оползнях больших площадей конструкция станции может иметь другой вид, более удобный для данных условий, чем профильные линии.

6. Выбор способа наблюдений, т. е. измерение длин, превышений и углов.

7. Определение точности маркшейдерских наблюдений и схемы привязки к пунктам опорного обоснования.

1.3 Разработка проекта наблюдательной станции

Наблюдательные станции закладываются на менее устойчивых участках борта, характеризующихся следующими признаками:

− наиболее крутым углом наклона борта;

− большой глубиной карьера (высотой борта);

− подрезкой слоев, контактов пород в основании борта;

− наличием тектонических нарушений, интенсивной трещиноватости, обводненности горных пород;

− нагрузкой уступов тяжелым оборудованием, промышленными сооружениями (например, скиповой подъемник, железнодорожные и автопути).

− прямолинейные или выпуклые в плане участки бортов.

Развитие наблюдений за деформациями откосов рекомендуется выполнять, руководствуясь принципом от общего к частному.

Наблюдения за деформациями можно разделить на три вида:

1) визуальные;

2) наблюдения за относительными деформациями;

3) наблюдения за абсолютными деформациями.

При незначительных подвижках реперов наблюдения проводят за абсолютными деформациями (специальные профильные линии, засечки, аналитические и полигонометрические сети) и общие визуальные наблюдения за состоянием устойчивости откосов. Время между сериями наблюдений за абсолютными деформациями – 1 год, между визуальными – 1 – 2 месяца.

Если абсолютными или визуальными наблюдениями установлены признаки прогрессирующего деформирования массива, то на этом участке сгущается

сеть профильных линий, отдельных реперов и наряду с наблюдениями за абсолютными деформациями проводят наблюдения за относительными деформациями, применяя методы коротких профильных линий, стереосъемку, парные реперы, рычажные устройства, маяки, индикаторные устройства.

Наряду с наблюдениями за абсолютными и относительными деформациями должны осуществляться систематические визуальные наблюдения. Они имеют большое значение: позволяют установить наличие ослабленных участков по различным видимым признакам деформирования горного массива без трудоёмких специальных работ.

Визуальные наблюдения проводят периодически, и обследуются откосы, предохранительные и транспортные бермы, прилегающая к карьеру земная поверхность, подземные выработки и инженерные сооружения, расположенные в зоне возможных сдвижений горного массива.

Маркшейдерские наблюдения за деформациями горного массива при открытой разработке должны проводиться по двум направлениям:

а) на обнаженной части карьерного поля проводятся одновременно с началом развития вскрышных пород;

б) в призме возможного обрушения в период эксплуатации месторождения.

На обнаженной части карьерного поля под наблюдательной станцией следует понимать систему реперов, заложенных на земной поверхности и на бермах уступов карьера. В зависимости от инженерно-геологических, гидрогеологических, горно-технологических условий отработки месторождения наблюдательные станции могут быть представлены в виде профильных линий или системы реперов, определенным образом (не обязательно упорядоченным) расположенных на поверхности бортов карьеров. Причем во втором случае для определения координат реперов используются методы геодезических засечек, аналитических, полигонометрических и комбинированных сетей. Кроме того, могут быть использованы упрощенные способы наблюдений за локальными проявлениями деформаций откосов.

1.3.1 Профильные линии

Реперы наблюдательной станции закладывают по профильным линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера (поперечные профильные линии), а при крутых откосах – вдоль простирания борта (продольные профильные линии). Расстояние между реперами, расположенными на земной поверхности, в зависимости от их удаления от верхней (проектной) бровки борта карьера, принимают: на участке призмы возможного обрушения (оползания) – $5-10-15$ м; ширина призмы возможного обрушения ориентировочно может быть принята для рыхлых пород $0{,}3H$, для полускальных – $0{,}2H$ и для скальных – $0{,}1H$, далее, по мере удаления от границы возможного обрушения, $15-30$ м. Расстояние между опорными реперами около 50 м.

На каждой берме (предохранительной или транспортной) закладывается не

менее двух реперов, располагаемых у нижней бровки вышележащего и верхней нижележащего уступов. По каждой профильной линии наблюдательной станции строится разрез (рис. 1.1, 1.2).

На плане и разрезах наблюдательной станции должно быть показано:

1. Фактическое состояние горных работ на момент составления проекта.

2. Проект дальнейшего развития горных работ.

3. Инженерно-геологическая ситуация на участке наблюдения (литологический состав пород, тектоника, гидрогеология и др.).

4. Расположение реперов профильных линий, пунктов маркшейдерского обоснования и инженерных сооружений.

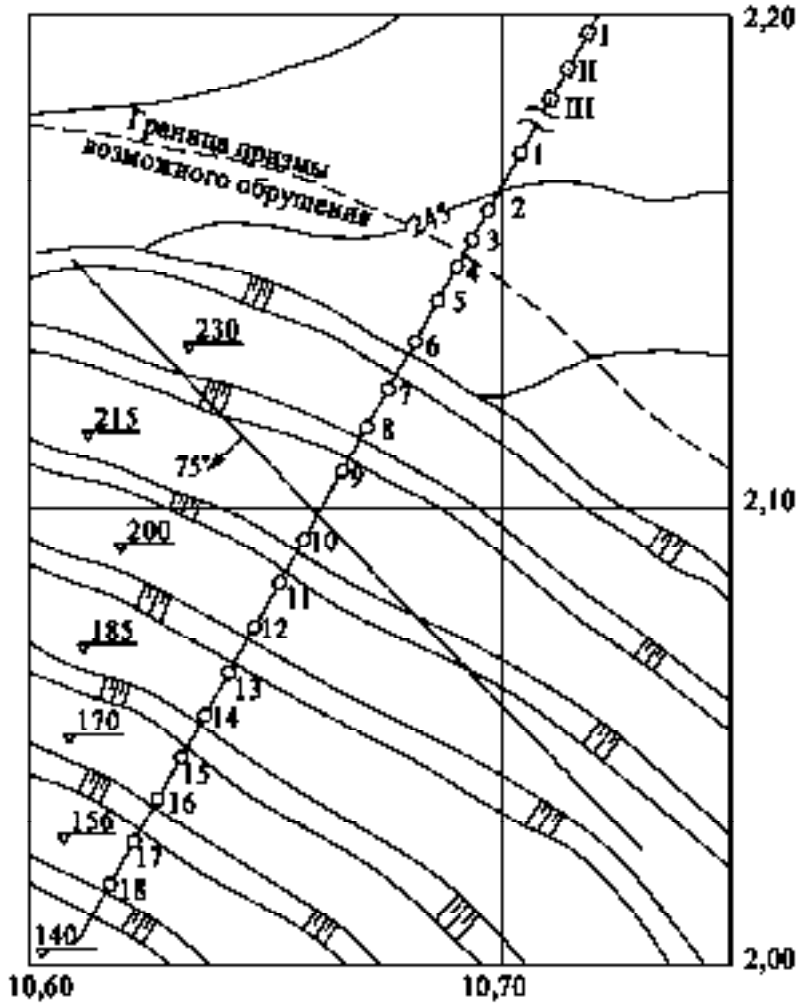


Рис. 1.1 План участка карьера с наблюдательной станцией

Длина профильных линий выбирается с расчётом, чтобы при максимальной глубине карьера часть реперов (опорные реперы) оставалась в недеформируемой зоне. Протяженность профильной линии без опорных реперов на поверхности, примыкающей к карьеру (см. рис. 1.1, 1.2), должна быть не менее $1{,}5H$ (где H – глубина карьера).

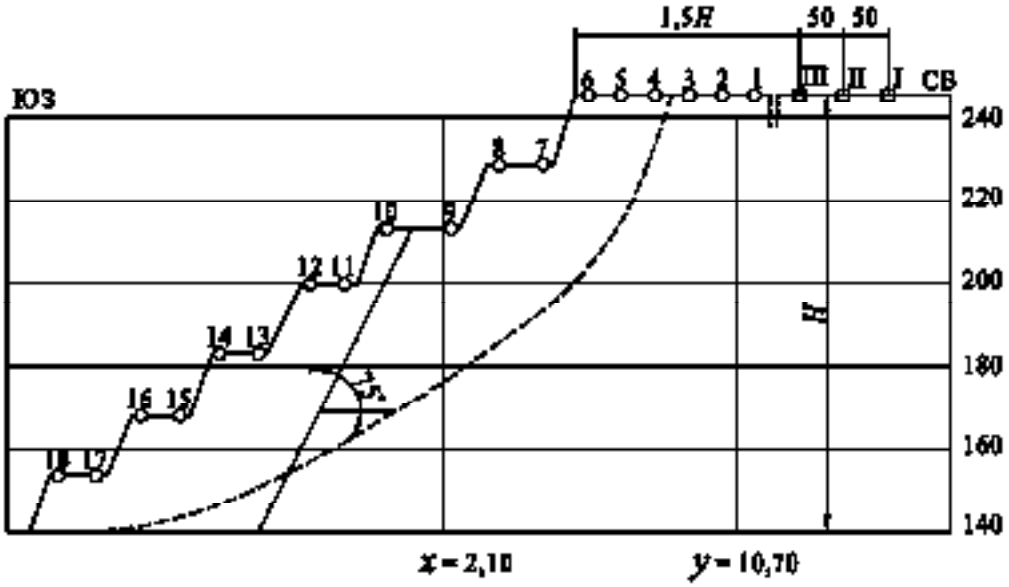


Рис. 1.2 Разрез по профильной линии

Длина опорной части профильной линии принимается равной 50 – 150 м в зависимости от условий местности, геологического строения борта и глубины карьера.

Конструкция реперов определяется свойствами грунтов в месте закладки и сроком их службы. Основные требования к конструкции репера заключаются в том, чтобы в течение всего периода наблюдений сохранялась надежная связь репера с грунтом, и его смещение отражало сдвижение пород.

Основные конструкции реперов, применяемые на практике, показаны на рис. 1.3.

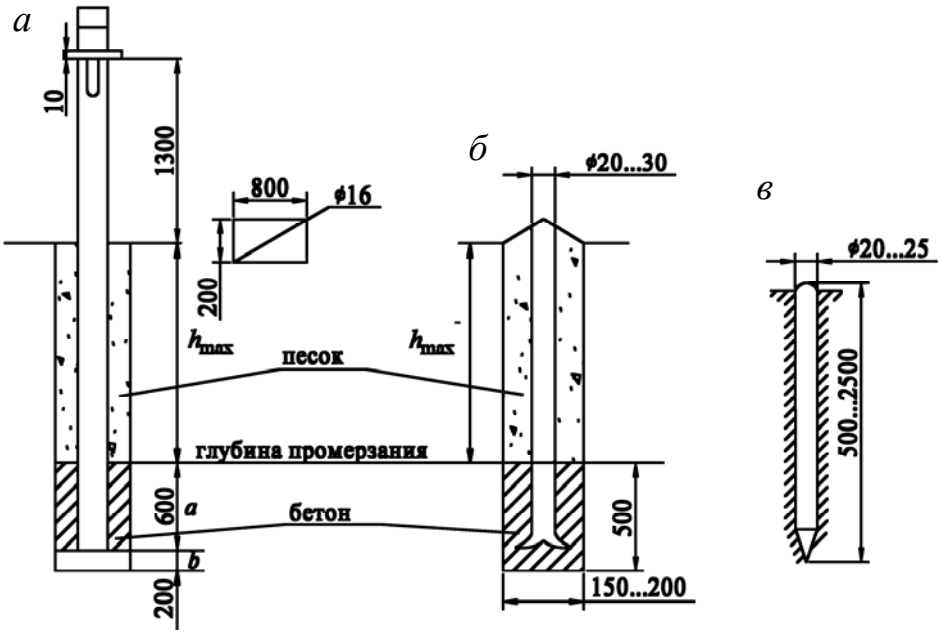


Рис. 1.3 Конструкция реперов наблюдательной станции:
а – труба со столиком; *б* – в скважине; *в* – забивной

Глубина закладки репера относительно земной поверхности должна определяться по формуле:

$$h = h_{\max} + a + b, \qquad (1.1)$$

где h – глубина закладки репера; $h_{\max}$ – максимальная 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).

Глубина закладки опорных и рабочих реперов в рыхлых породах должна быть не менее 1,5 м, но с учетом глубины промерзания грунта.

Дополнительно к профильным линиям, запроектированным на поверхности карьера, могут быть заложены наблюдательные станции в подземных дренажных выработках, пройденных в бортах карьера или в специально пробуренных скважинах (глубинные реперы). Наличие таких наблюдательных станций дает возможность выявить границу смещения пород с глубиной и мощность оползневого массива.

1.3.2 Аналитические и полигонометрические сети

Наблюдательные станции в виде аналитических сетей (триангуляции, трилатерации и различных геодезических засечек) для открытой местности состоят из отдельных реперов или группы реперов, закрепленных на прибортовой поверхности и уступах карьеров, в закрытой местности (нет прямой видимости между пунктами) применяют полигонометрические сети (рис. 1.4).

При проектировании линейно-угловых сетей исходят, прежде всего, из плотности рабочих реперов (пунктов), которая непосредственно связана конкретными задачами наблюдений. В большинстве случаев пункты располагают равномерно по всему периметру карьера. Расстояния между пунктами следует принимать равными ($1 – 1{,}5H$), где H – высота борта.

В случае отсутствия исходных пунктов в районе закладки наблюдательных станций различных видов, координаты опорных пунктов станций могут быть определены с помощью систем GPS и ГЛОНАСС.

Это позволит контролировать устойчивость бортов на всем протяжении, и развитая аналитическая сеть будет служить основой для расширения наблюдений и привязки реперов профильных линий, створов, засечек в случае их закладки в местах наибольшего проявления деформаций горного массива.

При больших глубинах карьеров рекомендуется закладывать внутрикарьерные аналитические сети, пункты которых располагают на площадках уступов. Эти сети позволяют быть основой для съемочных сетей, обслуживающих горное производство.

Опорные пункты аналитических и полигонометрических сетей закладывают вне зоны влияния горных работ. Инструктивными документами рекомендуется, чтобы расстояния от опорных пунктов до определяемых (рабочих) не превышали 2 км при минимальном количестве опорных пунктов, равно трем.

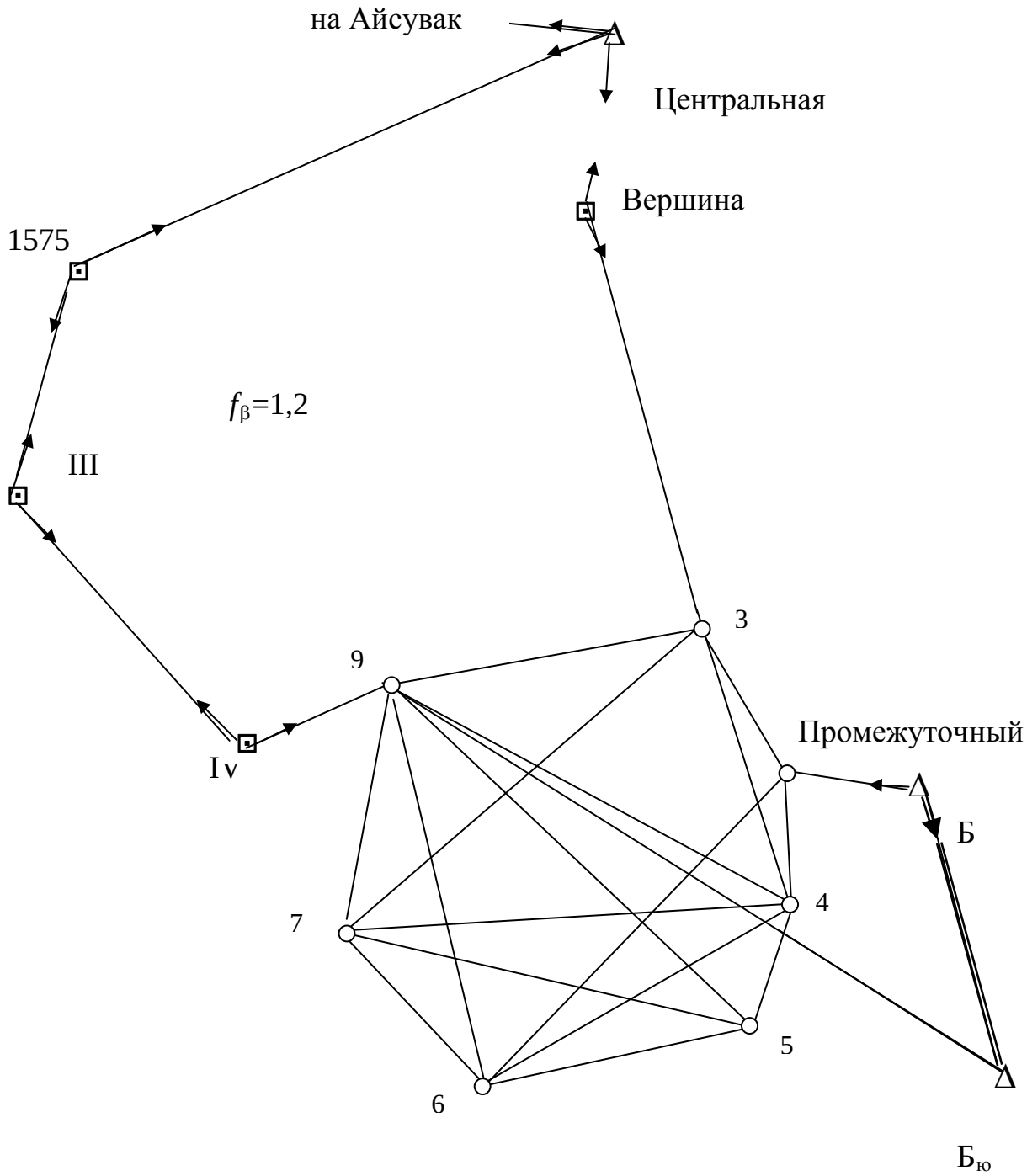


Рис. 1.4 Схема привязки аналитической сети на Сибайском карьере

Условные обозначения:

⧋ - дальномерный базис ⊙ - пункт аналитической сети

Δ - пункт триангуляции ⊡ - пункт полигонометрии

При расположении пунктов на площадках уступов рекомендуется использовать для наблюдений линейно-угловые пространственные сети.

1.4 Методика маркшейдерских наблюдений

Комплекс работ на наблюдательной станции состоит из следующих опера-

ций:

а) инструментальное определение величин 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 ведомостей 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 (массовых взрывов, вскрышных работ и т. п.).

Инструментальные наблюдения включают:

а) привязку опорных и исходных реперов наблюдательной станции к рудничной маркшейдерской опорной сети (к пунктам триангуляции, полигонометрии и нивелирным сетям);

б) начальные наблюдения для определения исходного положения реперов наблюдательной станции в горизонтальной, вертикальной плоскостях и установления периода последующих наблюдений;

в) систематические наблюдения за положением реперов для определения их сдвижения;

г) определение величин сдвижения в горизонтальной и вертикальной плоскостях, по результатам инструментальных наблюдений.

Промежуток времени между сериями наблюдений зависит от скорости смещений реперов и может составлять от 1 месяца до 1 года, чаще всего он составляет две-три серии в год – в весенний, летне-осенний и зимний периоды.

1.4.1 Наблюдения по профильным линиям

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. По разности высот и расстояний в смежных сериях или в последней и первой сериях определяют смещения каждого репера за период между наблюдениями (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Ведомость смещений реперов по профильной линии № 9

Интервалы	1-е наблюдение 29.05.78	2-е наблюдение 21.08.78	$2^{e} - 1^{e}$, мм	3-е наблюдение 25.10.78	$3^{e} - 2^{e}$, мм	$3^{e} - 1^{e}$, мм
Горизонтальные смещения						
1-2	26,844	26,860	+ 16	26,860	0	+ 16
1-3	115,255	115,263	+ 8	115,269	+ 6	+ 14
1-4	135,306	135,313	+ 7	135,319	+ 6	+ 13
…	…	…	…	…	…	…
1-11	307,794	308,058	+ 264	308,158	+ 100	+ 364

Окончание табл. 1.1

Вертикальные смещения						
1-2	376,129	376,129	0	376,129	0	0
1-3	374,864	374,860	- 4	374,851	-9	- 13
1-4	371,431	371,425	- 6	371,415	-10	- 16
…	…	…	…	…	..	…
1-11	297,357	297,340	- 17	297,329	-11	- 28

При закладке наблюдательной станции кроме опорных и рабочих реперов закладываются исходные реперы в количестве не менее трёх, от которых осуществляется проверка неподвижности опорных реперов. В качестве исходных реперов могут быть использованы существующие пункты маркшейдерской опорной сети карьера.

Привязка исходных и опорных реперов наблюдательной станции в горизонтальной плоскости осуществляется триангуляцией, трилатерацией или проложением замкнутых полигонометрических ходов 4-го класса от пунктов опорной маркшейдерской сети с относительной погрешностью $1:25000$. Высотной основой привязки являются реперы (пункты) государственной нивелирной сети 2-го класса.

Для определения начального положения реперов по профильной линии выполняют две независимые серии наблюдений с интервалом не более $3-5$ дней.

Измерение длин по профильным линиям производят дальномерами, тахеометрами, а в случае отсутствия их − стальной компарированной рулеткой в прямом и обратном направлениях.

Для определения вертикальных смещений рабочих реперов по профильным линиям на горизонтальных участках дневной поверхности и слабонаклонных (до $10-15^{\circ}$) проводится геометрическое нивелирование III класса, а на наклонных (более 15°) – тригонометрическое с измерением длин и углов в прямом и обратном направлениях. Измерение углов наклона при тригонометрическом нивелировании должно проводиться теодолитами с ценою деления вертикального круга не более $30''$ при двух положениях трубы (при круге «лево» и «право»).

Средняя квадратическая погрешность определения положения рабочих реперов относительно опорного в вертикальной плоскости m_h (при геометрическом нивелировании):

$$m_h = \pm 10\sqrt{L}\text{, или } m_h = \pm 2{,}6\sqrt{n}, \qquad (1.2)$$

где n – количество штативов; L – длина хода, км.

Расхождение в превышениях между реперами профильной линии из прямого и обратного хода не должны превышать 2 мм.

При измерении расстояния между реперами стальными рулетками, в полученные длины сторон вводятся, согласно требованию инструкции, соответствующие поправки: за компарирование каждого метра рулетки, за разность температур при измерении и при компарировании, за превышения одного репера

над другим, за провес рулетки.

Средняя квадратическая ошибка может быть определена по формулам:

$$m_L = \pm\frac{1}{10000}L, \tag{1.3}$$

$$m_L = \pm\sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2}, \tag{1.4}$$

что соответствует требованиям инструкции для полигонометрии 2 разряда.

μ – коэффициент, выражающий влияние случайных погрешностей на единицу измеренной длины; при углах наклона поверхности $<15^\circ$, $\mu = 0{,}0005$; $>15^\circ$, $\mu = 0{,}0015$; λ – коэффициент, выражающий влияние систематических погрешностей на единицу измеряемой длины; при углах наклона поверхности $<15^\circ$, $\lambda = 0{,}00005$; $>15^\circ$, $\lambda = 0{,}00010$; L – удаление данного рабочего репера от ближайшего опорного репера.

В практике установлено, что формула (1.4) представляет более жесткие требования к измерениям, чем формула (1.3). Поэтому формулу (1.4) рекомендуется использовать для более точных измерений.

При измерении длин сторон светодальномерами и тахеометрами погрешность принято характеризовать эмпирической формулой

$$m_L = \pm(a + b \cdot L), \tag{1.5}$$

где a – составляющая, обусловленная влиянием погрешностей, не зависящих от величины измеряемого расстояния; b – коэффициент, учитывающий влияние погрешностей, зависящих от величины измеряемого расстояния L.

Так, например, для светодальномера СП-2: $a = 1{,}5$ мм, $b = 2 \cdot 10^{-6}$, тогда $m_L = \pm\left(1{,}5 + 2 \cdot 10^{-6} L\right)$. Данный прибор может измерить расстояние до 2500 м.

При тригонометрическом нивелировании общая погрешность состоит из нескольких погрешностей:

1. Погрешность определения превышения за счет погрешности измерений длин сторон рулетками m_{H_L}, которая определяется по формуле (1.6)

$$m_{H_L} = m_L \cdot \sin\delta, \tag{1.6}$$

где m_L – погрешность измерения длин сторон, мм;

$$m_L = 0{,}00016\sqrt{L} + 0{,}000036L + 0{,}0025, \tag{1.7}$$

где L – расстояние между реперами, м; δ – углы наклона линий сторон между реперами, градус.

2. Погрешность определения превышений за счет погрешности измерения вертикальных углов m_{H_δ}, которая определяется по формуле

$$m_{H_\delta} = m_\delta \cdot L \cdot \cos\delta, \tag{1.8}$$

где m_δ – ошибка измерения вертикального угла,

$$m_\delta = \sqrt{m_o^2 + m_v^2}, \tag{1.9}$$

где m_o – средняя погрешность отсчета; m_v – ошибка визирования,

$$m_o = \pm\frac{t}{3{,}5};$$

$$m_v = \frac{60''}{\rho''}\cdot\frac{L}{v^x}.$$

3. Погрешности определения высоты инструмента m_i и высоты отражателей m_v принимаем для высоты инструмента 2 мм и высоты отражателя 3 мм. Общая погрешность

$$m_{D_H} = \pm\sqrt{m_{H_L}^2 + m_{H_\delta}^2 + m_i^2 + m_v^2}. \qquad (1.10)$$

Измерение длин линий светодальномерами для определения вертикальных и горизонтальных смещений реперов по профильным линиям с помощью тригонометрического нивелирования рекомендуется производить по двум направлениям или схемам:

– наблюдение по профильным линиям непосредственно на борту с уступа на уступ (рис. 1.5);

– наблюдение со створного репера с противоположного борта (рис. 1.6).

Угловые измерения при этом производят теодолитом, обеспечивающим среднюю квадратическую погрешность измерения вертикальных углов $3-5''$, а линейные – светодальномерами или тахеометрами (линейные измерения рулетками из-за больших погрешностей измерений могут быть рекомендованы контролем больших величин смещений на активных оползнях).

Расстояния по профильным линиям между реперами (см. рис. 1.5) при тригонометрическом нивелировании с использованием светодальномеров могут достигать значительных величин. При расстоянии свыше $150-200$ м значительное влияние на точность тригонометрического нивелирования оказывает вертикальная рефракция. Это связано с тем, что линии, измеряемые при наблюдениях на карьерах, проходят обычно близко к дневной поверхности, т. е. в неустойчивых слоях атмосферы.

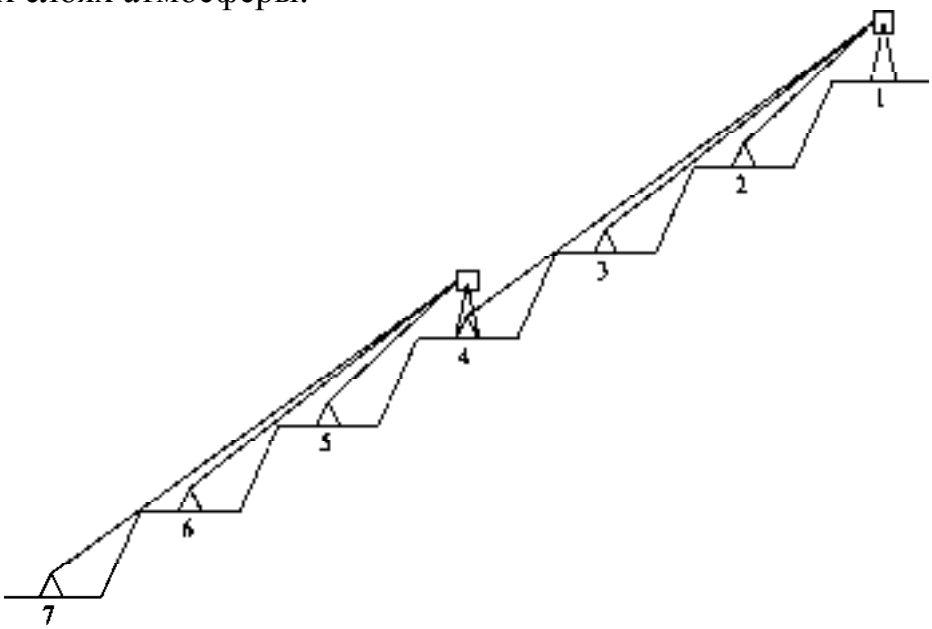


Рис. 1.5 Схема тригонометрического нивелирования
с использованием светодальномеров

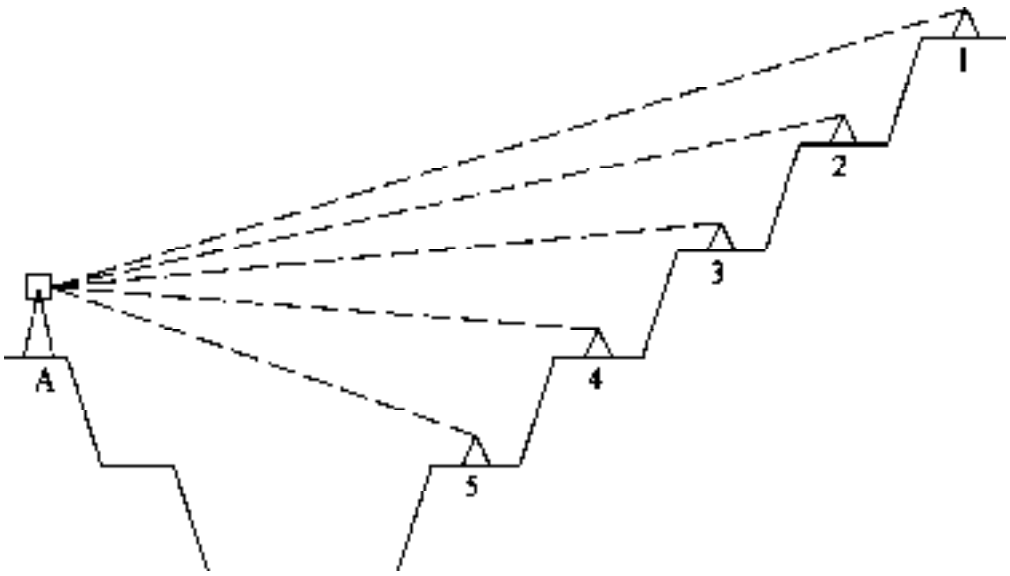


Рис. 1.6 Схема измерения расстояний, обеспечивающая относительно одинаковые условия для визирных лучей

Основными способами уменьшения влияния вертикальной рефракции являются:

– двухстороннее измерение вертикальных углов;

– определение превышений между двумя направлениями примерно в одинаковых условиях;

– выбор измеряемых интервалов при тригонометрическом нивелировании, обеспечивающих минимальное влияние рефракции.

При двухстороннем тригонометрическом нивелировании погрешности определения горизонтального проложения m_L, превышений m_{Δ_H} определяют по формулам:

$$m_L^2 = \left(\frac{\cos\delta}{\sqrt{2}} m_D\right)^2 + \left(\frac{D\sin\delta}{\rho\sqrt{2}} m_\delta\right)^2 + \left(\frac{D^2\sin^2\delta}{4R} m_{\Delta_k}\right)^2; \qquad (1.11)$$

$$m_{\Delta_H}^2 = \left(\frac{\sin\delta}{\sqrt{2}} m_D\right)^2 + \left(\frac{D\cos\delta}{\rho\sqrt{2}} m_\delta\right)^2 + \left(\frac{D^2\cos^2\delta}{4R} m_{\Delta_k}\right)^2 + 2m_i^2, \quad (1.12)$$

где D – наклонное расстояние между точками, м; δ – угол наклона линии, градус; R – средний радиус земли, м; m_D, m_δ, m_i – соответственно погрешности измерения расстояния, вертикального угла и высоты приборов; m_{Δ_k} – погрешность, вызванная неоднородностью коэффициентов рефракции при прямых и обратных измерениях.

Для данных условий, примерно при одинаковых метеоусловиях, погрешность m_{Δ_k} можно принять равной ± 0,5.

Для обеспечения равных условий для визирных лучей измерения следует выполнять по схеме (см. рис. 1.6). При измерениях тахеометр или светодальномер устанавливают на створном репере A, который находится на противопо-

ложном борту. До рабочих реперов последовательно измеряют наклонное расстояние D и угол наклона δ.

В этом случае исключается погрешность определения высоты инструмента, присутствует погрешность определения высоты отражателя, марки m_v, значительно уменьшается влияние вертикальной рефракции, m_{Δ_k} можно принять равной $0{,}1 - 0{,}2$.

Погрешности искомых величин определяются по формулам:

$$m_L^2 = 2[m_D^2 \cos^2\delta + (m_\delta^2/\rho^2)D^2\sin^2\delta] + [(D^4\sin^4\delta)/4R^2]m_{\Delta_k}^2; \quad (1.13)$$

$$m_{\Delta_H}^2 = 2[m_D^2 \sin^2\delta + (m_\delta^2/\rho^2)D^2\cos^2\delta + m_v^2] + [(D^4\cos^4\delta)/4R^2]m_{\Delta_k}^2. \quad (1.14)$$

Превышение $\Delta H_{i,i+1}$ и горизонтальное проложение $L_{i,i+1}$ между реперами по профильной линии определяют по формулам:

$$\Delta H_{i,i+1} = \Delta H_{A,i+1} - \Delta H_{A,i}; \quad (1.15)$$

$$L_{i,i+1} = L_{A,i} - L_{A,i+1}. \quad (1.16)$$

При производстве тригонометрического нивелирования с использованием светодальномеров возможны следующие схемы:

– с независимым (раздельным) измерением длин сторон и углов наклона линий;

– с последовательным выполнением угловых и линейных измерений;

– с одновременным измерением длин и углов наклона;

– измерения с помощью светодальномерной насадки, закрепленной непосредственно на зрительной трубе теодолита.

Тригонометрическое нивелирование с раздельным выполнением угловых и линейных измерений (рис. 1.7) теодолитом и светодальномером, устанавливаемыми над точкой A.

Например, сначала устанавливают теодолит в точке A на высоте i_T, а в точке B на высоте v_T марка (сигнал), измеряют вертикальный угол наклона линии, затем на других высотах i_c и v_o устанавливают в точке A светодальномер, а в точке B отражатель.

Для вычисления горизонтального проложения и превышения между точками A и B необходимо привести измеряемое расстояние к лучу визирования теодолита или наоборот.

В обоих случаях предварительно определяют вспомогательную величину h (см. рис. 1.7):

$$h = (i_c - i_T) - (v_o - v_T). \quad (1.17)$$

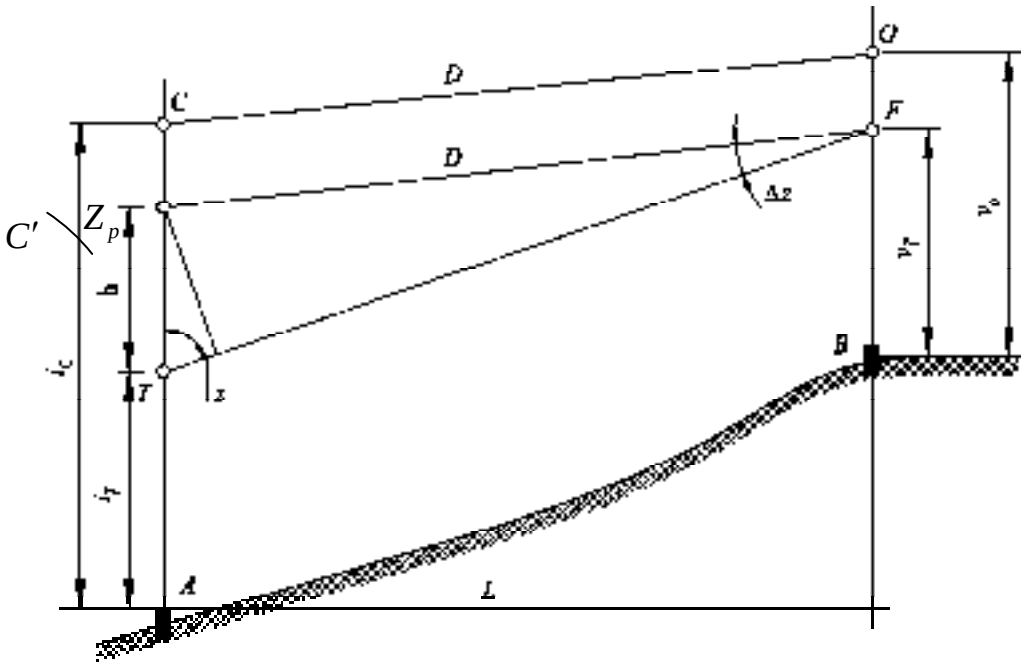


Рис. 1.7 Соотношение геометрических элементов при раздельном выполнении угловых и линейных измерений

Приведение измеренной длины к линии визирования осуществляют по формулам:

– горизонтальное проложение $L = D_z \cdot \sin Z$; (1.18)

– превышение $H = D_z \cdot \cos Z + i_T - v_m$; (1.19)

– приведенная длина $D_z = D - \dfrac{\left(h^2 \sin^2 Z\right)}{2D} + h \cdot \cos Z$, (1.20)

где Z – зенитное расстояние; D – измеренное расстояние между точками A и B; L – горизонтальное проложение линии AB.

При приведении измеренного зенитного расстояния к измеренной длине пользуются формулами:

– горизонтальное проложение $L = D \cdot \sin Z_p$; (1.21)

– превышение $H = D \cdot \cos Z_p + i_c - v_T$, (1.22)

где $Z_p = Z + \arcsin\left(\dfrac{h \sin Z}{D}\right)$ или $Z_p = Z + \left(\dfrac{h \sin Z}{D}\right)\rho''$ – приведенное зенитное расстояние.

Тригонометрическое нивелирование с последовательным выполнением линейных и угловых измерений производят в следующем порядке. На точке, с которой выполняют наблюдения, устанавливают светодальномер и измеряют наклонное расстояние до отражателя, расположенного на другом конце линии. После этого светодальномер извлекают из подставки (трегера) и на его место устанавливают теодолит и измеряют зенитное расстояние Z на центр отражателя. В данном случае $v_c = v_T = v$, поэтому

$$h = i_c - i_T. \quad (1.23)$$

При этом величина h является постоянной при таком сочетании свето-

дальномера и теодолита и может быть определена точно до начала полевых работ.

Схема определения горизонтального проложения, превышения между реперами с помощью теодолита с дальномерной насадкой представлена на рис. 1.8.

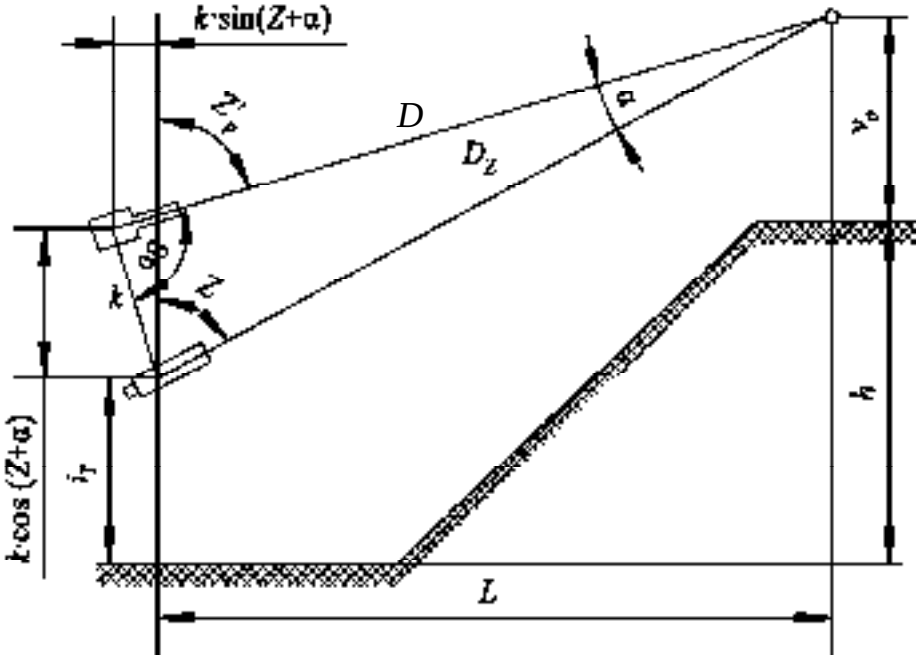


Рис. 1.8 Тригонометрическое нивелирование при креплении светодальномерной насадки на трубе теодолита

В этом случае проложение и превышение вычисляют по формулам:

– горизонтальное проложение $L = D \cdot \sin Z'_p - k \cdot \cos Z'_p$; (1.24)

– превышение $H = D \cdot \cos Z'_p + k \cdot \cos Z'_p + i_c - v_o$; (1.25)

– приведенное зенитное расстояние $Z'_p = Z + \operatorname{arctg}\frac{k}{D}$, (1.26)

где k – превышение насадки над осью вращения зрительной трубы, конструктивный параметр, м.

Горизонтальные смещения реперов профильных линий по результатам наблюдений определяются по формуле

$$\xi = S_{n+1} - S_n, \quad (1.27)$$

где S_{n+1}, S_n – горизонтальные проложения от опорного репера до определяемого соответственно из начальной и последующей серий наблюдений.

Вертикальные смещения реперов профильных линий определяют по формуле:

$$\eta = H_{n+1} - H_n, \quad (1.28)$$

где H_{n+1}, H_n – высотная отметка репера соответственно из начальной (предыдущей) и последующей серий наблюдений.

Полный вектор смещения рабочих реперов определяют по формуле:

$$B = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}. \quad (1.29)$$

Горизонтальные деформации интервала за период между двумя наблюде-

ниями определяют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{d_2 - d_1}{d}, \tag{1.30}$$

где d, d_1, d_2 – горизонтальные длины интервалов соответственно из начального, предыдущего и последующего наблюдений.

Величина сдвига γ или угол сдвига определяется как отношение разности полных смещений соседних реперов к расстоянию между этими реперами по нормали к направлению их смещения (рис. 1.9):

$$\gamma = \frac{\Delta b_{n+1} - \Delta b_n}{m}, \tag{1.31}$$

где Δb_{n+1} – полное смещение переднего репера; Δb_n – полное смещение заднего репера; m – расстояние между реперами по нормали к направлению смещения векторов.

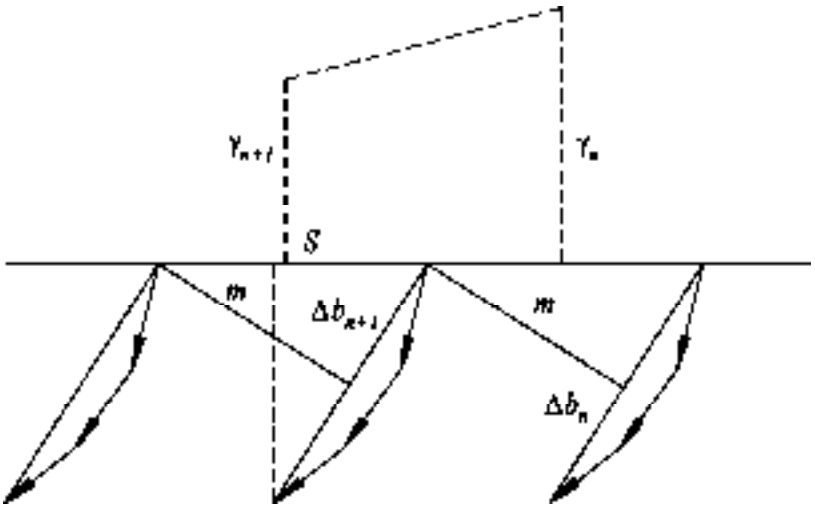


Рис. 1.9 Вектор смещения реперов

Величина сдвига относится к середине интервала. Масштабы горизонтальных и вертикальных смещений должны быть одинаковыми.

1.4.2 Наблюдения при использовании аналитических сетей

В настоящее время для построения государственных геодезических и местных инженерно-геодезических сетей используют спутниковые методы определения координат пунктов измерений. Этот метод может быть применен для привязки опорных и исходных пунктов маркшейдерских наблюдательных станций.

Ранее указывалось, что аналитические сети применяются в открытой местности, и они представлены, главным образом, трилатерацией и триангуляцией.

Сети трилатерации, создаваемые для решения инженерно-геодезических задач, часто строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных типовых фигур: геодезических треугольников, четырехугольников, центральных систем

или комбинаций с треугольниками. Углы в треугольнике трилатерации (рис. 1.10) вычисляют по одной из следующих формул:

$$\sin\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}; \tag{1.32}$$

$$\cos\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{b(p-a)}{bc}}; \tag{1.33}$$

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \tag{1.34}$$

$$p=\frac{a+b+c}{2}. \tag{1.35}$$

Средняя квадратическая ошибка вычисленного угла может быть определена по формуле:

$$m_\alpha^2=p^2(Am_a^2+B^2m_b^2+C^2m_c^2), \tag{1.36}$$

где m_a, m_b, m_c – средние квадратические ошибки измерения сторон.

$$A=\frac{1}{h_a};\qquad B=A\sqrt{1-\left(\frac{h_a}{b}\right)^2};\qquad C=A\sqrt{1-\left(\frac{h_a}{c}\right)^2}, \tag{1.37)–(1.39}$$

где h_a – высота треугольника, опущенная из вершины на сторону a.

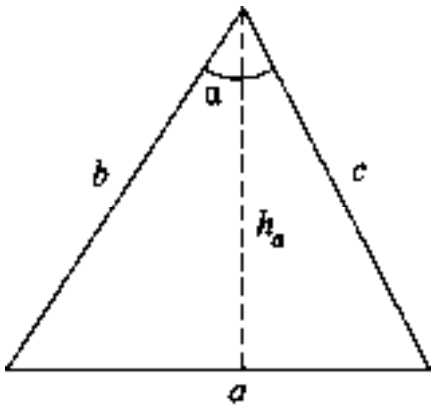


Рис. 1.10 Схема треугольника трилатерации

Для линейно-протяженных объектов сеть трилатерации создается из цепочки треугольников и четырехугольников (рис. 1.11).

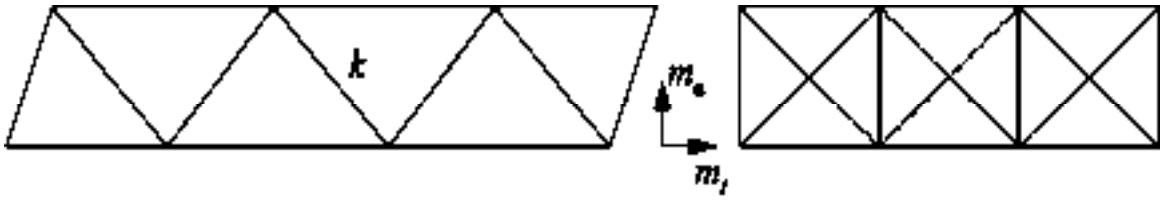


Рис. 1.11 Схемы сети трилатерации из цепочки треугольников

Средняя квадратическая ошибка продольного сдвига для равносторонних треугольников определяется по формуле:

$$m_t = m_s\sqrt{\frac{N}{2}} \text{ (при } N \text{ четном)}, \quad (1.40)$$

где N – число фигур ряда; m_s – ошибка измерения длин сторон;

$$m_t = m_s\sqrt{\frac{N-1}{2}} \text{ (при } N \text{ нечетном)}. \quad (1.41)$$

Средняя квадратическая ошибка поперечного сдвига m_n определяется по формуле:

$$m_n = m_s\sqrt{0{,}111k^3 + 0{,}25k^2 + 1{,}3k}, \quad (1.42)$$

где k – порядковый номер связующей стороны.

Средняя квадратическая ошибка дирекционного угла связующей стороны определяется по формуле:

$$m_{\alpha_k} = \frac{m_s\rho}{S}\sqrt{1{,}33k + 0{,}67}, \quad (1.43)$$

где S – длина сторон треугольников.

Оценка точности ряда геодезических четырехугольников (геодезических четырехугольник является более жесткой фигурой – измеряется шесть сторон, причем одна из них (любая) является избыточной) может быть выполнена по формулам:

$$m_t = m_s\sqrt{0{,}9N}; \quad (1.44)$$

$$m_n = m_s\sqrt{0{,}67N^3 - 0{,}13N^2 + 0{,}98N + 1{,}4}; \quad (1.45)$$

$$m_{\alpha_k} = \frac{m_s\rho}{S}\sqrt{2N}. \quad (1.46)$$

Трилатерационные сети в инженерно-геодезических работах используются в качестве основы для топографических съемок и разбивочных работ, а также для наблюдений за деформациями сооружений. В основном они применяются для измерения смещений недоступных точек и для контроля устойчивости исходных опорных пунктов, а также других объектов. Характерной особенностью трилатерационных сетей для этого вида работ являются высокие требования к точности определения координат пунктов $(1-2$ мм$)$ при небольших длинах сторон.

При развитии инженерно-геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными их фигурами являются цепи треугольников (для линейно-протяженных объектов), центральные системы (для городских и промышленных территорий), геодезические четырехугольники (для мостовых, гидротехнических сооружений). Возможны и комбинированные системы (рис. 1.12).

При разработке проектов триангуляционных сетей расчет ожидаемой точности производят на ЭВМ, используя различные программы.

Для предварительной оценки ожидаемой точности некоторых применяемых в практике схем сетей можно использовать приближенные формулы.

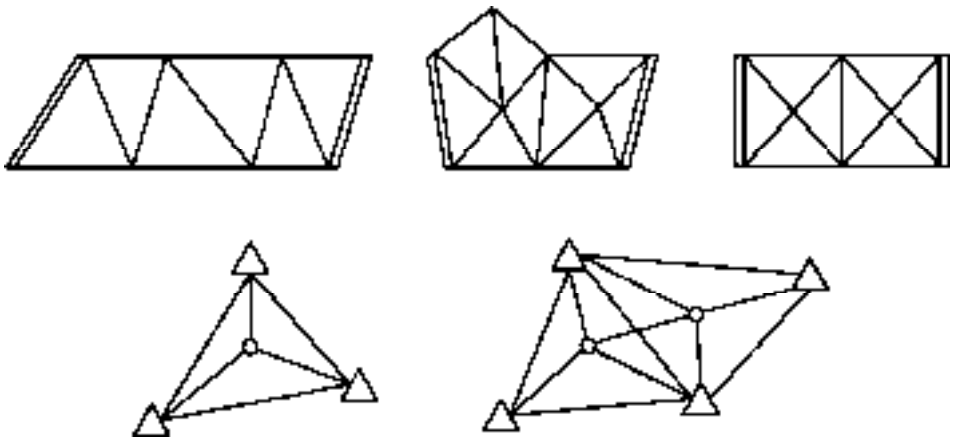


Рис. 1.12 Инженерно-геодезические сети триангуляции

Продольный сдвиг ряда, состоящий из приближенно равносторонних треугольников, при уравнивании его за условие фигур по направлениям вычисляется по формуле:

$$m_L = L\sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \frac{4n^2+3n+5}{9n}}, \qquad (1.47)$$

где n – число промежуточных сторон в диагонали ряда L; $\frac{m_b}{b}$ – относительная средняя квадратическая ошибка измерения базисной стороны; m_β – средняя квадратическая ошибка измерения угла; знак плюс перед $3n$ принимается при четном числе треугольников в ряде, знак минус – при нечетном.

Поперечный сдвиг этого ряда треугольников и при тех же условиях вычисляется по формулам:

при четном числе треугольников в ряде:

$$\overline{m}_q = \frac{L}{\rho}\sqrt{m_\alpha^2 + \frac{2}{15}m_\beta^2 \frac{n^2+n+3}{n}}; \qquad (1.48)$$

при нечетном числе треугольников в ряде:

$$\overline{m}_q = \frac{L}{\rho}\sqrt{m_\alpha^2 + \frac{2}{15}m_\beta^2 \frac{2n^2+5n+5}{n}}, \qquad (1.49)$$

где $\overline{m}_\alpha$ – средняя квадратическая ошибка дирекционного угла исходной стороны.

Средняя квадратическая относительная ошибка длины связующей стороны треугольника с номером K вычисляется по формуле:

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)_K = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3}\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 K}. \qquad (1.50)$$

То же для дирекционного угла по формуле:

$$m_{\alpha_K} = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2 \frac{2K+5}{10}}. \qquad (1.51)$$

Триангуляционные сети предназначены для наблюдений за плановыми

смещениями различных сооружений, создаются с высокими требованиями к точности определения плановых координат (2 – 5 мм).

1.4.3 Наблюдения при использовании полигонометрических сетей

Полигонометрические сети применяют на объектах, имеющих линейно-протяженную форму на закрытой или застроенной местности. Эти сети наиболее маневренные в создании опорных, исходных маркшейдерско-геодезических систем и применяются для всех видов инженерно-геодезических работ, включая наблюдения за смещениями сооружений. Наиболее широко применяются сети 4-го класса и 1, 2 разрядов.

В настоящее время при измерении длин сторон широко используются высокоточные электронные приборы (светодальномеры, тахеометры), появляется высокая надёжность результатов измерений.

В отдельных случаях разрешается увеличивать длины привязочных сторон до 30 % (относительно табличных значений, изложенных в инструкциях). В порядке исключения допускается абсолютная невязка 10 см в коротких ходах полигонометрии I разряда длиной до 1 км.

Оценка наблюдательной станции в виде полигонометрических сетей заключается в определении ожидаемых ошибок координат узловых пунктов, относительных ошибок ходов и сравнении с допустимыми. Выполняется оценка строгими и приближенными методами; строгими, как правило, выполняется на ЭВМ по специальным программам.

Для вытянутого хода светодальномерной полигонометрии средняя квадратическая ошибка μ в положении конечной точки хода выражается формулой:

$$\mu^2 = m_S^2 n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}, \qquad (1.52)$$

где m_β, m_S – соответственно ошибки угловых и линейных измерений; n – число сторон в ходе; L – длина хода.

Приближенная оценка одиночных светодальномерных полигонометрических ходов примерно с одинаковыми сторонами, опирающимися на два исходных пункта, вычисляется по формуле (1.52), а для изогнутого хода по формуле:

$$\mu^2 = m_S^2 n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2}[D_{o,i}^2], \qquad (1.53)$$

где $D_{o,i}$ – расстояние от каждой вершины хода до его центра тяжести.

По вычисленной ожидаемой ошибке μ определяют предельную относительную невязку хода и сравнивают ее с допустимой. При этом используют формулу:

$$\frac{2M}{[S]} \le \frac{1}{T}, \qquad (1.54)$$

где $[S]$ – сумма длин сторон или длина хода; T – знаменатель допустимой от-

носительной ошибки хода соответствующего класса (разряда).

Для упрощения расчетов ожидаемой ошибки проектируемых ходов произвольной формы ее значение вычисляют по формуле для вытянутого хода. В этом случае получается несколько преувеличенное значение M, что создает некоторый запас по отношению к реальной.

1.4.4 Наблюдения с использованием линейно-угловых сетей

Широкое внедрение в практику инженерно-геодезических работ светодальномеров, электронных тахеометров, систем GPS привело к распространению наблюдательных станций с линейно-угловыми измерениями. В линейно-угловых сетях измеряются все или часть углов и сторон. По сравнению с триангуляцией и трилатерацией сеть, в которой удачно сочетаются угловые и линейные измерения, в меньшей степени зависит от геометрии фигур; уменьшается зависимость между продольным и поперечным сдвигами; обеспечивается жесткий контроль угловых и линейных измерений.

Линейно-угловая сеть позволяет вычислить координаты пунктов точнее примерно в 1,5 раза, чем в сетях триангуляции и трилатерации.

В этой связи линейно-угловые сети целесообразно использовать в начальной стадии деформирования горного массива для выявления абсолютных деформаций.

При уравнивании линейно-угловых сетей рассматривается вопрос соотношения ошибок угловых и линейных измерений. Это соотношение считается приемлемым при выполнении условия:

$$\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{m_S}{S}. \qquad (1.55)$$

В производственной практике стремятся это соотношение выдержать в пределах

$$\frac{1}{3} < \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{S}{m_S} < 3. \qquad (1.56)$$

Так, при $\frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{S}{m_S} \le \frac{1}{3}$ линейные измерения практически не превышают точность элементов сети; при $\frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{S}{m_S} \ge 3$ влияние угловых измерений на повышение точности элементов сети незначительно.

При проектировании линейно-угловых сетей стремятся располагать пункты равномерно по всему периметру карьера (рис. 1.13).

Расстояние между пунктами следует принимать $(1-1{,}5)H$, где H – глубина карьера.

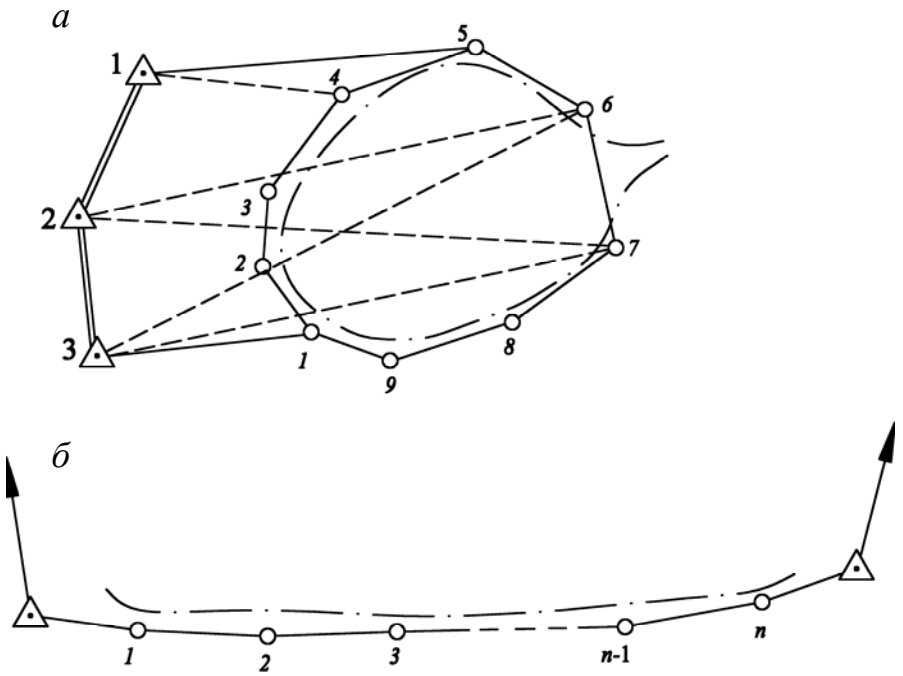


Рис. 1.13 Схемы линейно-угловых сетей для наблюдений за деформациями бортов карьеров в начальной стадии:
а – для карьера круглой формы; *б* – для карьера вытянутой формы

Для глубоких карьеров при расположении пунктов на площадках уступов рекомендуется использовать для наблюдения за смещениями горного массива линейно-угловые пространственные сети.

1.4.5 Наблюдения с помощью методов геодезических засечек

Методы геодезических засечек применяют для определения смещений отдельных рабочих реперов.

В зависимости от конкретных условий наблюдений, наличия соответствующих геодезических приборов и требуемой точности наблюдений смещения реперов в горизонтальной плоскости определяют засечками (рис.1.14).

При выборе вида засечки необходимо учитывать удобство измерений, а также время, затрачиваемое на выполнение полевых работ. Следует стремиться к менее трудоемким схемам измерений.

Схемы засечек должны удовлетворять следующим требованиям:

– иметь минимальное количество опорных пунктов при условии обеспечения избыточных измерений;

– обеспечивать преемственность наблюдений в случае нарушения или уничтожения одного из опорных пунктов;

– обеспечивать наименьшее влияние вертикальной рефракции при определении вертикальной составляющей вектора смещения.

Для наиболее простых форм засечек предрасчет погрешности координат выполняют по формулам:

для линейно-угловой засечки (см. рис. 1.14, *д*):

$$m_x^2 = \frac{(P_1 + P_2) + (P_1 - P_2)(\cos 2\alpha_1 + \cos 2\alpha_2)}{D};$$

$$m_y^2 = \frac{(P_1 + P_2) + (P_1 - P_2)(\cos 2\alpha_1 + \cos 2\alpha_2)}{D},$$

где

$$D = (P_1 + P_2)^2 - \left[(P_1 - P_2) \cdot 2\cos(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2)\right]^2 -$$

$$-\left[(P_1 + P_2) \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2)\right]^2;$$

где α_1, α_2 – дирекционные углы сторон $p-1, p-2$; $P_1 = \frac{1}{m_{S_{p-1}}^2} = \frac{1}{m_{S_{p-2}}^2}$ – вес измеренных длин S_{p-1} и S_{p-2}; $P_2 = \left(\frac{\rho''}{m_{\alpha_{p-2}} \cdot S_{p-2}}\right)^2 = \left(\frac{\rho''}{m_{\alpha_{p-1}} \cdot S_{p-1}}\right)^2$ – веса измеренных направлений α_{p-1} и α_{p-2}; $\rho'' = 206265''$.

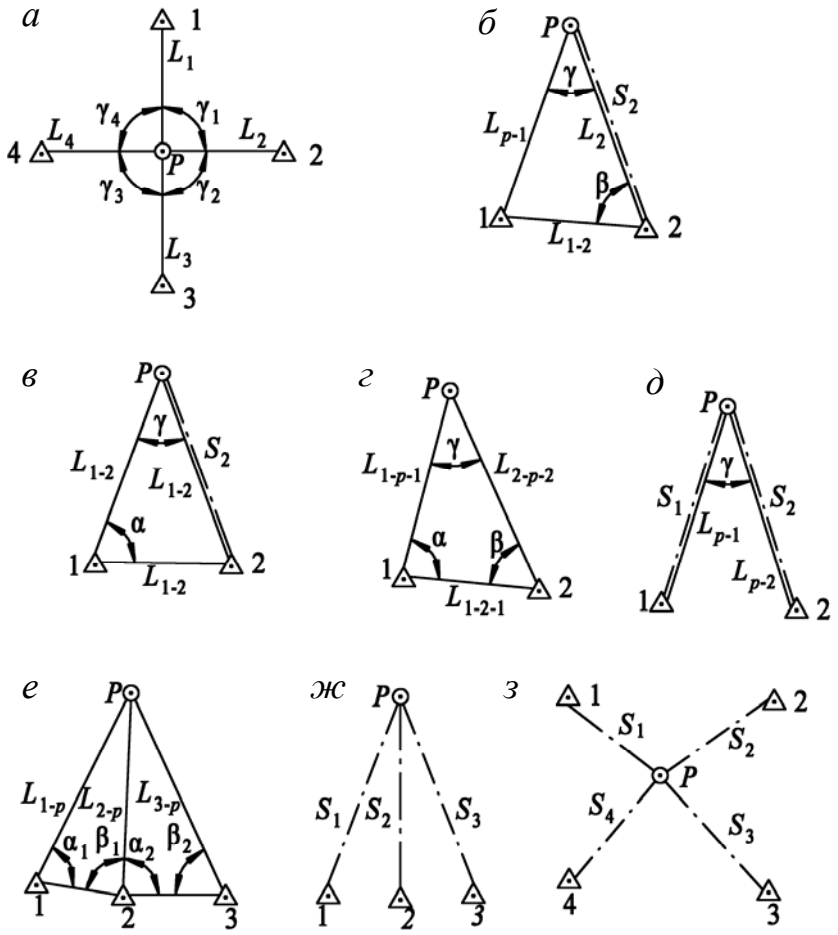


Рис.1.14 Схемы засечек:

а – обратной угловой; *б, в, д* – линейно-угловой; *г* – комбинированной угловой; *е* – прямой угловой; *ж, з* – линейной; 1 - 4 – опорные пункты; *P* – определяемый пункт; *S* – измеренные длины; *L* – измеренные направления

Для прямой угловой засечки вида (рис.1.14, *е*) ошибка определения положения пункта P подсчитывается по формуле:

$$m_p = \frac{L_{1-2} \cdot m_\beta}{\rho'' \cdot \sin^2(\alpha_1 + \beta_1)} \sqrt{1 - \cos(\alpha_1 - \beta_1)\cos(\alpha_1 + \beta_1)} =$$

$$= \frac{L_{2-3} \cdot m_\beta}{\rho'' \cdot \sin^2(\alpha_2 + \beta_2)} \sqrt{1 - \cos(\alpha_2 - \beta_2)\cos(\alpha_2 + \beta_2)} \quad ,$$

где m_β – ошибка измерения углов.

Полученные две погрешности точки P сравнивают и, если разница между ними находится в пределах допустимого значения, принимают среднее значение.

1.4.6 Нетрадиционные методы наблюдений

Практически все описанные выше методы инструментальных маркшейдерских наблюдений подразумевают, что точки (опорные репера), с которых будут координироваться рабочие репера, должны располагаться в непосредственной близости от верхней бровки бортов карьера. Это связано с обеспечением прямой видимости между опорными и рабочими реперами. Но даже это не всегда обеспечит видимость вследствие выпуклой формы бортов карьеров. Кроме того, при расположении реперов в непосредственной близости от карьера они будут подвержены неизбежным смещениям, вследствие деформаций прибортового массива или даже смещения призмы. Если имеет место комбинированная разработка месторождения (на сегодняшний день это очень актуально), то опорные пункты будут подвержены смещениям вследствие подработки подземными горными выработками.

Для преодоления описанных проблем можно рекомендовать две схемы. Первая схема предполагает использование опорного и так называемого транзитного базисов, является наиболее точной, однако достаточно трудоемкой. Вторую схему можно назвать вертикальным внутрикарьерным базисом, достаточно простая схема наблюдений, однако, позволяет определить лишь относительные смещения и применяется как индикатор начала сдвижений.

Суть первой схемы заключается в закладке транзитного базиса в зоне возможного сдвижения из условия видимости на рабочие репера и опорного базиса вне зоны сдвижения из условия видимости по возможности на все пункты транзитного базиса. Сеть из реперов опорного и транзитного базисов увязывается в жесткие геодезические (линейно-угловые) фигуры. Перед каждой серией наблюдений осуществляются измерения в геодезических фигурах, производится их уравнивание и без промедления координирование рабочих реперов.

Второй метод состоит в закладке двух-трех опорных реперов на противоположном профильным линиям борту карьера на разной высоте. Полевые работы состоят в измерении только длин с опорных реперов до рабочих. Если в двух смежных сериях изменяются (уменьшаются) расстояния с двух опорных реперов на рабочие репера на соизмеримые величины, то можно говорить о сдвижении борта на наблюдаемом участке. Если один из реперов показывает

смещение рабочих реперов, а второй отсутствие, то сдвижению подвергается опорный репер и т. д.

1.5 Наблюдения за смещениями внутри массива

Наблюдения за смещениями массива преследуют две цели.

1. Определение собственно угловых и линейных деформаций внутри горного массива посредством спаренных скважин.

2. Предупреждение формирования в массиве поверхности скольжения.

Методы измерения глубинных деформаций делятся на две большие группы: контактные и бесконтактные, отличающиеся принципом связи системы отсчёта с контролируемой точкой. Для контактных методов эта связь осуществляется механическим способом, а для бесконтактных – посредством какого-либо излучения (ультразвуковой, радиометрический, электрометрический, магнитный, сейсмоакустический методы).

Среди бесконтактных наиболее полно разработан ультразвуковой метод определения напряжений. Он основан на взаимосвязи с напряженным состоянием горных пород сейсмических характеристик – скорости и затухания упругих волн, возбуждаемых в массиве. Для количественной оценки напряжений в породном массиве используют эффект скоростной анизотропии пород при их нагружении. Сущность этого эффекта состоит в том, что для многих пород с возрастанием давления увеличивается скорость продольных упругих волн. При этом рост скорости происходит по тому же направлению, что и увеличение нагрузки, тогда как в других направлениях эти изменения незначительны.

Из всех контактных методов для наблюдений за глубинными деформациями дамбы наиболее приемлема группа методов измерения угловых деформаций внутри массива, таких как методы инклинометрии и измерения кривизны скважин. Они основаны на определении, соответственно ориентировки в вертикальной плоскости и интенсивности кривизны первоначального положения элемента в исследуемом массиве. В качестве такого элемента используется специальная полиэтиленовая (обсадная) труба, устанавливаемая в скважине.

Выбор места заложения инклинометрических скважин в целях экономии средств, материалов и оборудования необходимо разделить на два этапа. Цель первого этапа – закладка скважин для выявления признаков наличия поверхности ослабления в теле дамбы. Для выявления поверхности скольжения достаточно заложить $4-5$ скважин в области возможных деформаций.

После обнаружения поверхности скольжения в теле дамбы устанавливается необходимость второго этапа выбора мест заложения следующих инклинометрических скважин.

Методы инклинометрии позволяют определять пространственную ориентировку наблюдательных скважин; интенсивность их искривления в процессе деформирования массива и, соответственно, смещение массива горных пород. Для измерений используют различные типы инклинометров – приборов, измеряющих поинтервально: или зенитный угол в двух взаимно перпендикулярных

плоскостях, или зенитный и азимутальный углы.

Измерения инклинометром производятся по следующему принципу. В исследуемом массиве пробуривают наблюдательную скважину, обсаживают гибкими пластиковыми трубами. В процессе деформаций обсадные трубы скважины перемещаются и искривляются согласно деформациям массива. Путём повторного измерения отклонения трубы от ее первоначального положения с помощью инклинометра могут быть установлены: величина, направление и скорость возникающих перемещений для любого количества точек этого профиля.

Производство наблюдений за глубинными горизонтальными деформациями массива заключается в перемещении пробника инклинометра (рис. 1.15) по скважинам и взятие отчётов о наклонах прибора на разных глубинах.



Рис.1.15 Комплект инклинометрического оборудования

Расчёт горизонтального смещения l в каждой точке скважины осуществляется по формуле:

$$l = L \cdot \sin\theta, \qquad (1.57)$$

где L – измеряемая длина (0,5; 1; 2), м; θ – зенитный угол скважины, град.

Затем результаты наблюдений отображаются на графике $l = f(H)$ (рис. 1.16), где H – глубина взятия отчётов.

На рис. 1.16 показаны оси инклинометрических скважин в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Нулевая вертикальная линия характеризует ось скважины в предыдущей серии наблюдений. Разумеется, все расчеты и построения выполняются в специализированном программном продукте, входящем в комплект системы.

Добавим, что точность современных инклинометрических систем составляет порядка 6 мм на 30 м протяженности скважины.

Интенсивность производства наблюдений зависит от скорости развития процесса деформирования и устанавливается по результатам наблюдений.

Заметим, что в самом простейшем случае, при отсутствии специального оборудования, достаточно пробурить скважину и периодически опускать в нее груз. Уменьшение длины скважины будет указывать на ее срез и, как следствие, формирование поверхности скольжения в массиве. Можно несколько усложнить задачу: опускать в скважины пробники (деревянные палочки) разной длины, появится возможность исследовать кривизну скважины в местах ее деформаций.

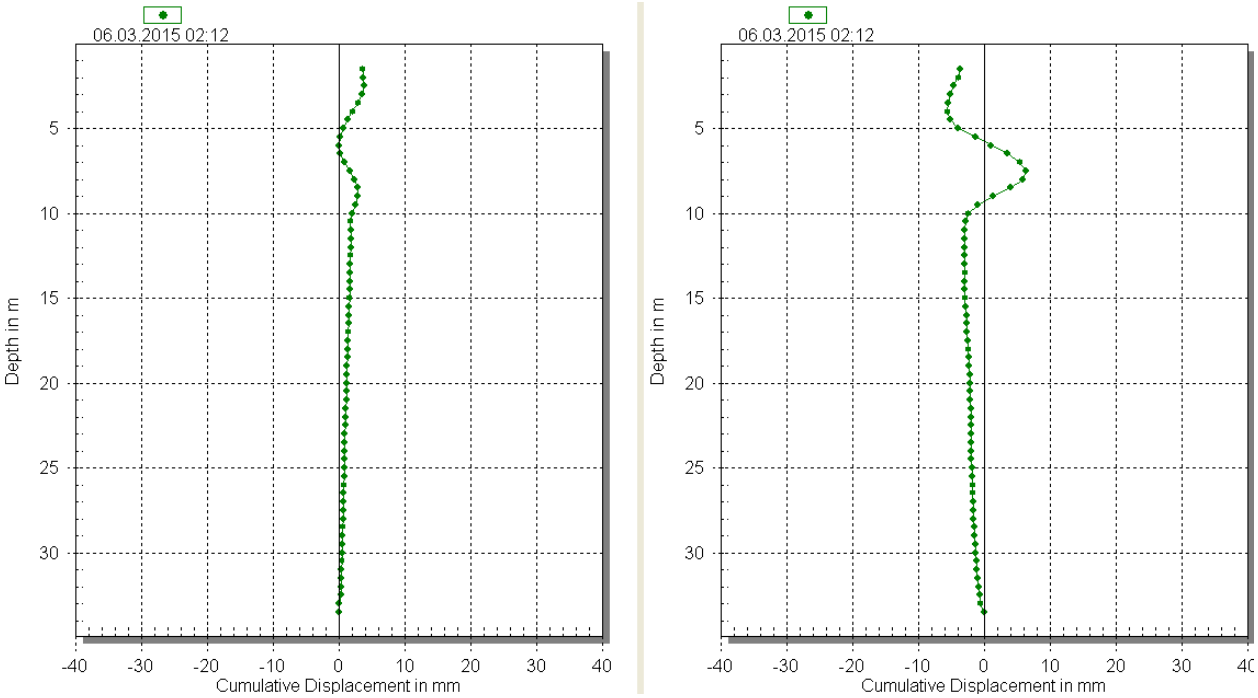


Рис.1.16 Смещения точек скважины в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

Отметим, что при комбинированной разработке месторождения наблюдательная станция также должна быть комбинированной – открыто-подземной.

При разработке крупных месторождений в неблагоприятных гидрогеологических условиях их осушение может осуществляться с использованием подземных дренажных горных выработок. В этой связи целесообразно данные дренажные выработки использовать для закладки в них наблюдательной станции, безусловно, с соблюдением всех правил безопасности.

В заключение хочется отметить, что все без исключения методы наблюдений, включая нетрадиционные, были с успехом внедрены и опробованы сотрудниками кафедры маркшейдерского дела УГГУ на множестве месторождений СССР, России, Монголии и Казахстана. Некоторые из рассмотренных методик наблюдений были предложены и внедрены сотрудниками кафедры впервые в мире.

1.6 Паспортизация деформаций

Как бы мы не старались при отыскании и отстройке истинных углов откосов нарушения устойчивости отдельных участков бортов карьеров неизбежны. С одной стороны, отсутствие негативных геомеханических проявлений – это хорошо, с другой – данный факт свидетельствует о том, что откосы карьера находятся в устойчивом состоянии с излишним запасом, а это свидетельствует о низкой эффективности горных работ.

Задачей паспортизации деформаций является накопление данных о причинах и характере различных видов нарушений, что используется для разработки мероприятий по их предупреждению. Документации подлежат все нарушения устойчивости уступов, бортов карьеров, отвалов, нарушающих режим горного предприятия (обрушения, заколы транспортных и предохранительных берм, рабочих площадок и т. п.). В любом случае документированию подлежат деформации объемом 1000 м^3 или площадью 500 м^2. На каждую деформацию составляется паспорт не позднее чем в месячный срок после ее возникновения. В том случае, если деформация носит цикличный характер, паспорт систематически пополняется и на конец развития деформации составляется окончательный вариант паспорта.

В паспорте указываются следующие данные:

1. Глубина развития – расстояние от верхней бровки откоса до дальней трещины на верхней берме (указывается максимальное, минимальное и среднее).

2. Величина смещения – расстояние от нижней бровки откоса до наиболее удаленной части оползня на нижней берме.

3. Объем деформации.

4. Время стояния откоса.

5. Описание наблюдений за деформациями, дается описание ранее наблюдавшихся деформаций на карьере. Описывается состояние горных работ, способы заоткоски уступов в предельном контуре.

6. Краткая инженерно-геологическая характеристика участка (привязка, состав пород, структура, гидрогеология и т. д.).

7. Описываются меры, принятые для ликвидации или локлизации деформаций.

8. Приводятся параметры БВР, описываются работы по осушению, указывается организация, производившая оценку устойчивости откосов, методы расчета коэффициента запаса.

Графические приложения к паспорту:

1. План (съемка) деформации.

2. Разрезы (профили) по характерным профилям (2-3 шт. не менее чем через 50 м). На разрезах показывается: геологическое строение откоса, расчетные физико-механические характеристики, уровни грунтовых вод, положение поверхности скольжения.

3. Паспорт сопровождается фото- и видеоматериалами, актами и другими документами.

2 ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ

2.1 Систематизация, анализ и классификации существующих методов расчета устойчивости откосов

Проблема оценки устойчивости откосов является весьма актуальной при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, в гидротехническом и транспортном, промышленном и гражданском строительстве, а также в других отраслях деятельности человека.

Исторически первой работой по вопросу равновесия массива, ограниченного наклонной плоскостью (откосом), является работа У. Ренкина (1857). Первый способ расчета устойчивости откосов, основанный на принципе Кулона, был предложен в 1920 году Г. Франсе. К настоящему времени разработано более 100 способов, приемов и схем расчета устойчивости свободных откосов.

Попытки создания строгого способа расчета привели к появлению большого числа способов, приемов расчета и расчетных схем, их многообразие объясняется количеством допущений, используемых исследователями для обоснования расчетной схемы, и условиями устойчивости. Дело в том, что задача по определению параметров устойчивого откоса или несущей способности основания, в любой постановке, является статически не определимой. Поэтому для определения неизвестных параметров авторами выдвигаются дополнительные условия (допущения). Например, У. Ренкин предполагает, что в каждой точке призмы смещения выполняется условие предельного кулоновского равновесия, Д. Тейлор принимает симметричный синусоидальный закон распределения нормальных реакций вдоль поверхности скольжения, в большинстве способах пренебрегается действием межблоковых реакций, а поверхность скольжения принимается из условия получения более простых формул. Многообразие способов расчета вызвало необходимость классифицировать их по тем или иным признакам.

М. Е. Певзнер разработал классификацию способов расчета устойчивости откосов, которая, достаточно полно отражает и упорядочивает их многообразие. В табл. 2.1 приведена данная классификация с незначительными дополнениями.

К указанным в табл. 2.1 способам для различных поверхностей скольжения необходимо добавить способы Янбу, Моргенштерна и Прайса, Спенсера. Эти методы достаточно похожи и дают близкие результаты. Их принципиальная разница заключается в количестве уравнений равновесия, составляемых для отдельных отсеков или для всей призмы смещения в целом.

Таблица 2.1

Классификация методов расчета устойчивости откосов

Класс	Общий принцип определения параметров устойчивого откоса, характеризующий класс методов	Общий признак для группы способов	Основной способ группы	Расчетные способы и схемы, использующие основной метод
1	2	3	4	5
А	Построение контура откоса, являющегося внешней границей зоны, во всех точках которой удовлетворяется условие предельного напряженного состояния	Численный способ интегрирования дифференциальных уравнений напряженного состояния	Способ В. В. Соколовского	Таблицы И. С. Мухина и Л. И. Срагович Номограммы Н. К. Звонарева Способ А. И. Говядинова – С. В. Фальковича Способ А. М. Сенкова Расчетные схемы Ю. А. Соболевского Способ И. Д. Молюкова Способ Г. Л. Фисенко – В. Т. Сапожникова (выпуклый откос) Способ В. Т. Сапожникова – В. И. Пушкарева (откос криволинейный в плане) Способ Ю. Н. Малюшицкого (многослойный откос)
Б	Построение контура откоса, вдоль которого удовлетворяется равенство угла наклона касательной углу сопротивления сдвигу	Графический способ интегрирования дифференциальных уравнений предельного напряженного состояния Разбивка откоса на горизонтальные слои и определение устойчивого угла наклона каждого слоя с учетом веса вышележащих пород	Способ С.С. Голушкевича Способ F_p Н.Н. Маслова Способ М. Н. Троицкой	

Продолжение табл. 2.1

1	2	3		4	5
В	Построение в массиве поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие предельного равновесия	Плоская поверхность скольжения		Способ Г. Франсе Способ О. Винклера Способ Л. Н. Бернацкого Способ П. Н. Цимбаревича Способ О. Т. Токмурзина	
		Круглоцилиндрическая поверхность	Условия равновесия всего откоса	Способ В. Феллениуса Способ Д. Тейлора (круг трения) Графоаналитический метод М. Н. Гольдштейна (“круг трения”) Аналитический метод М. Н. Гольдштейна	Графики В. Н. Лобасова Графики Е. К. Алаторцева
				Способ М. М. Сокольского Способ А. И. Иванова Способ О. Фрелиха Способ А. Како Способ И. В. Федорова Способ М. Н. Гольдштейна (t-фактор)	Прием П. А. Ляпичева
			Условия равновесия отдельных вертикальных отсеков	Способ С. Хюльтина Способ Г. Крея – К. Терцаги Способ Р. Р. Чугаева – О. В. Вяземского Способ А. Бишопа Способ А. Л. Можевитинова Способ Г. М. Шахунянца (многоугольник сил)	Графики А. Бишопа – Н. Моргенштерна
		Поверхность скольжения в виде логарифмической спирали		Способ Л. Рендулика Способ Н. П. Пузыревского – П. И. Кожевникова Способ Ю. С. Козлова – В. А. Будкова	

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5
		Поверхность скольжения сложной криволинейной формы	Способ Г. Л. Фисенко Способ С. Н. Никитина Способ Л. В. Савкова	
			Вариационные способы: И. Копачи Ю. И. Соловьева А. Г. Дорфмана	
		Поверхность скольжения ломаной формы	Способ А. П. Ясюнас (прислоненного откоса) Способ Н. Н. Маслова (горизонтальных сил) Способ Р. Р. Чугаева (наклонных сил)	
Г	Построение в массиве поверхности скольжения, вдоль которой удовлетворяется условие специального предельного равновесия	Определение сдвигающих и удерживающих сил с учетом прочностных характеристик по поверхности ослабления откоса	Способ Г. Л. Фисенко Способ Н. Н. Куваева Способ П. Н. Панюкова	

Способы классов *А, Б, В* в табл. 2.1 разработаны для однородных откосов, а класс *Г* – для анизотропных. Ни один из этих способов не является строгим, даже когда речь идет об идеально однородных и изотропных массивах. С другой стороны, очевидно, что теория расчета анизотропных откосов должна базироваться на теории изотропных откосов, поэтому способы класса *Г* исключим из анализа.

Способы класса *Б* базируются на допущениях о том, что во всех точках угол откоса равен углу сопротивления сдвигу, а также на внешнем сходстве между уравнением сопротивления сыпучих пород сдвигу и уравнением, связывающим высоту откоса с его заложением. Способы данного класса не имеют должного теоретического обоснования и не могут являться расчетными.

Способы класса *А* используют одно, хотя и достаточно принципиальное допущение – в каждой точке призмы смещения выполняется условие предельного напряженного состояния (закон Кулона). Данные способы выделяют в отдельный метод – предельного напряженного состояния или дифференциальный метод.

Рассмотрим более подробно метод предельного напряженного состояния.

Родоначальником метода предельного равновесия является Ш. О. Кулон (Французский ученый (1736 – 1806)), сформулировавший в 1773 году основные положения предельного равновесия. У.Д. Ренкин (Шотландский профессор (1820 – 1872)) в 1857 году рассмотрел предельное равновесие бесконечного массива, ограниченного наклоненной плоскостью, а также ввел понятие о поверхностях скольжения (рис. 2.1).

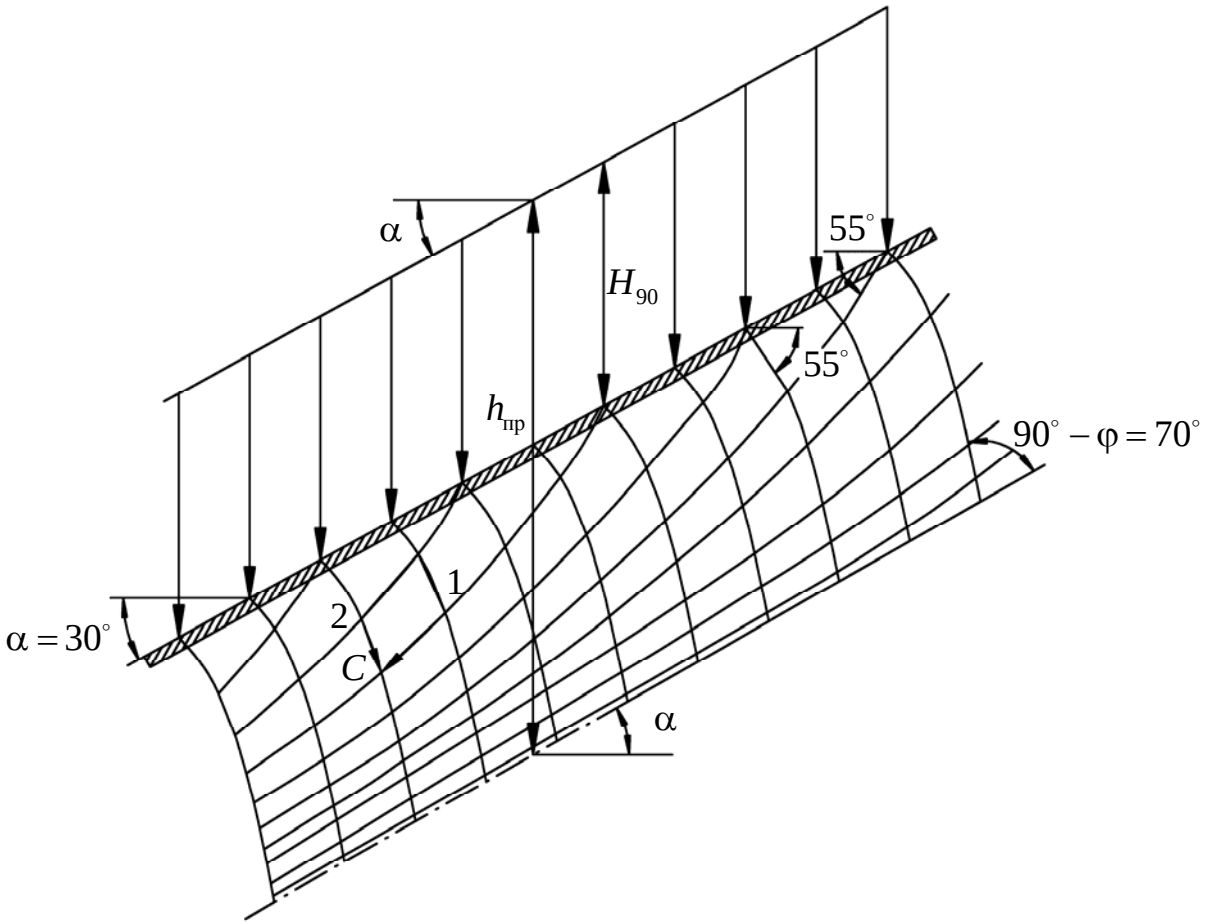


Рис. 2.1. Обобщенная задача Ренкина

Основой метода, подобно механике сплошных сред (теории упругости, пластичности и т. д.), являются дифференциальные уравнения плоского равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = \gamma, \tag{2.1}$$

где γ – объемный вес горных пород; $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – компоненты тензора плоского напряжения.

К уравнениям равновесия Ф. Кеттер в 1903 году добавил условие предельного кулоновского равновесия, выраженного через компоненты плоского поля напряжений:

$$\frac{1}{4}\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + \tau_{xy}^2 = \frac{\sin^2 \varphi}{4}\left(\sigma_x + \sigma_y + 2C\operatorname{ctg}\varphi\right)^2, \tag{2.2}$$

где C, φ – сцепление и угол внутреннего трения горных пород.

Однако не было общего подхода при решении задач плоского предельного равновесия весомой сыпучей и связной сред. Лишь в 1939 г. В. В. Соколовский разработал такой метод. Введя понятие о средней величине приведенного напряжения $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + C\operatorname{ctg}\varphi$ и выразив через нее компоненты тензора напряжений, подстановкой в уравнения равновесия В. В. Соколовский получил так называемую основную систему уравнений в симметричном виде:

$$\left[\frac{\partial\sigma}{\partial x} \mp 2\sigma\operatorname{tg}\varphi\frac{\partial\rho}{\partial x} \pm \gamma\operatorname{tg}\varphi\right]\cos(\rho \mp \varepsilon) + \left[\frac{\partial\sigma}{\partial y} \mp 2\sigma\operatorname{tg}\varphi\frac{\partial\rho}{\partial y} - \gamma\right]\sin(\rho \mp \varepsilon) = 0, \quad (2.3)$$

где ρ – угол между направлением наибольшего главного напряжения σ_1 и осью x; $\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ – угол между направлением σ_1 и площадками скольжения.

Система уравнений (2.3) по классификации уравнений и систем в частных производных относится к гиперболической (имеет два действительных различных семейства характеристик). Ее решение В. В. Соколовский производит при помощи метода характеристик, известного из курса высшей математики. Не приводя достаточно сложных математических выкладок данного метода, укажем лишь на его основные положения. В плоскости решения системы уравнений xy существуют некоторые линии, полностью заполняющие область решения системы – характеристики. Характеристики не являются произвольными линиями и определяются самой же системой уравнений. Их математический смысл заключается в том, что вдоль них существует возможность получить некоторые дифференциальные соотношения, связывающие неизвестные (определяемые) функции. Для определения характеристик и упомянутых соотношений, к уравнениям (2.3) добавляются зависимости для полных дифференциалов разыскиваемых функций:

$$d\sigma = \frac{\partial\sigma}{\partial x}dx + \frac{\partial\sigma}{\partial y}dy; \; d\rho = \frac{\partial\rho}{\partial x}dx + \frac{\partial\rho}{\partial y}dy. \quad (2.4)$$

Приведя систему уравнений (2.3), (2.4) к стандартному виду (в левых частях – уравнений суммы произведений коэффициентов на частные производные неизвестных функций, в правой – все остальное), приравняем определитель матрицы системы нулю.

$$\det\begin{pmatrix} \cos(\rho-\varepsilon) & -2\sigma\operatorname{tg}\varphi\cos(\rho-\varepsilon) & \sin(\rho-\varepsilon) & -2\sigma\operatorname{tg}\varphi\sin(\rho-\varepsilon) \\ \cos(\rho+\varepsilon) & 2\sigma\operatorname{tg}\varphi\cos(\rho+\varepsilon) & \sin(\rho+\varepsilon) & 2\sigma\operatorname{tg}\varphi\sin(\rho+\varepsilon) \\ dx & 0 & dy & 0 \\ 0 & dx & 0 & dy \end{pmatrix} = 0. \quad (2.5)$$

Получим уравнения характеристик системы (2.3):

$$dy = \operatorname{tg}(\rho \mp \varepsilon)dx. \quad (2.6)$$

Из уравнения (2.5) ясно, что характеристики наклонены к оси x под углом $\rho \mp \varepsilon$, то есть под теми же углами, что и линии скольжения. Отсюда непосредственно следует, что характеристики на плоскости xy являются поверхностями

скольжения. Через каждую точку рассматриваемой области на плоскости xy проходят две характеристики, пересекающиеся под углом $2\varepsilon = \frac{\pi}{2} - \varphi$, то есть вся область (призма смещения) покрыта сеткой характеристик. Семейство характеристик, определяемое верхним знаком, называется первым (активным), нижним – вторым (пассивным).

Таким образом, из условия (2.5) (равенство нулю якобиана) ясно, что характеристики – это такие линии, вдоль которых разыскиваемые производные функций σ и ρ функционально зависимы между собой. А конкретные уравнения, определяющие эту функциональную связь, называются соотношениями на характеристиках.

Соотношения на характеристиках определим из условия равенства рангов матрицы системы и расширенной матрицы вдоль соответствующей характеристики, то есть требования совместности системы уравнений (система должна иметь хотя бы одно решение).

Согласно (2.5), определитель матрицы системы уравнений равен нулю, поэтому должен быть равен нулю определитель матрицы, составленный из произвольных четырех столбцов. Например:

$$\det\begin{pmatrix} \cos(\rho-\varepsilon) & -2\sigma\operatorname{tg}\varphi\cos(\rho-\varepsilon) & \sin(\rho-\varepsilon) & \gamma\left(\sin(\rho-\varepsilon)-\operatorname{tg}\varphi\cos(\rho-\varepsilon)\right) \\ \cos(\rho+\varepsilon) & 2\sigma\operatorname{tg}\varphi\cos(\rho+\varepsilon) & \sin(\rho+\varepsilon) & \gamma\left(\sin(\rho+\varepsilon)+\operatorname{tg}\varphi\cos(\rho+\varepsilon)\right) \\ dx & 0 & dy & d\sigma \\ 0 & dx & 0 & d\rho \end{pmatrix} = 0. \quad (2.7)$$

Таким образом, из уравнения (2.7) вдоль характеристик (2.6) имеем следующие дифференциальные соотношения:

$$d\sigma \mp 2\sigma\operatorname{tg}\varphi\, d\rho = \gamma\left(dy \mp \operatorname{tg}\varphi\, dx\right). \quad (2.8)$$

Решение системы уравнений (2.6) и (2.8) затруднительно, поэтому для решения конкретных задач от дифференциалов переходят к конечным разностям, в итоге получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} y - y_1 = (x - x_1)\operatorname{tg}(\rho_1 - \varepsilon) \\ \sigma - \sigma_1 = 2\sigma_1(\rho - \rho_1)\operatorname{tg}\varphi + \gamma(y - y_1) - \gamma(x - x_1)\operatorname{tg}\varphi \\ y - y_2 = (x - x_2)\operatorname{tg}(\rho_2 + \varepsilon) \\ \sigma - \sigma_2 = -2\sigma_2(\rho - \rho_2)\operatorname{tg}\varphi + \gamma(y - y_2) + \gamma(x - x_2)\operatorname{tg}\varphi \end{cases}. \quad (2.9)$$

Пользуясь этими уравнениями, можно определить приближенные значения x, y, σ, ρ точки C пересечения двух линий скольжения (двух характеристик разных семейств), если эти величины известны в точках 1 и 2, лежащих на этих линиях. Очевидно, может быть решена и обратная задача. Все вычисления и построения осуществляются в безразмерных координатах, то есть при $C = 1, \gamma = 1$.

Параллельно В. В. Соколовскому, С. С. Голушкевич независимо разработал графический способ интегрирования уравнений предельного напряженного состояния (статики сыпучих сред). Конечно, никакой графический способ не может быть удобнее аналитического, особенно в настоящее время при стремительном развитии ЭВМ.

В строгом понимании способы В. В. Соколовского и С. С. Голушкевича правильнее назвать способами построения предельного очертания или определения предельной пригрузки откосов вогнутого профиля. Однако такой профиль откоса при открытой разработке ведет к значительному увеличению объемов вскрыши по сравнению с откосами выпуклого и плоского профилей. В этой связи В. Т. Сапожниковым был разработан способ построения “равноустойчивого” откоса выпуклого профиля, основанный также на теории предельного напряженного состояния (рис. 2.2).

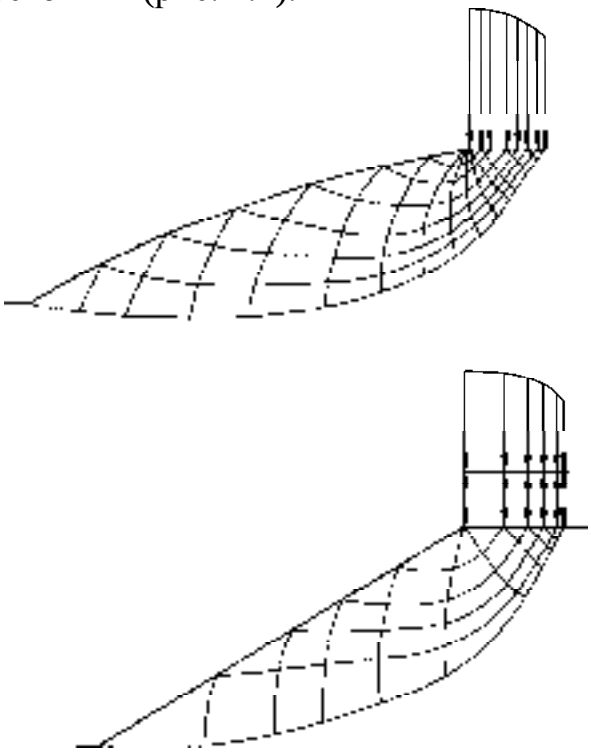


Рис. 2.2 Выпуклый и плоский откосы с расчетной весовой пригрузкой

Недостатки метода предельного напряженного состояния:

1) невозможность применения в случаях произвольной формы откоса и эпюры внешней нагрузки, что является следствием допущения о выполнении условия предельного напряженного состояния в каждой точке призмы смещения (см. рис. 2.2);

2) сложность или невозможность применения в случаях наличия в массиве поверхностей ослабления (контактов слоев, трещин и т.д.);

3) трудоемкость и непригодность при адаптации к сложным горно-геологическим условиям (сейсмичность, обводненность, объемная задача и т. д.)

С. С. Голушкевич отмечает: “Случай, когда сыпучая среда находится в предельном напряженном состоянии во всех точках, следует рассматривать как иногда возможный, частный и притом крайний случай состояния предельного

равновесия. Поэтому состояние предельного равновесия массива сыпучей среды лучше определять как состояние, при котором его внутренняя граница является поверхностью скольжения".

Способы класса *B* наиболее разнообразны. Их различие состоит в геометрии используемой поверхности скольжения (круглоцилиндрическая, логарифмическая спираль и др.), а также в том, каким образом судят об устойчивости призмы смещения: по равновесию отдельных отсеков (блоков) или условия равновесия составляются для всей призмы смещения.

На основании детального анализа, проведенного автором, были выделены четыре группы основных допущений, выдвигаемых исследователями для обоснования расчетной схемы, получения условий устойчивости (равновесия) призмы смещения и определения формы и положения наиболее слабой поверхности скольжения в откосах:

1) допущение о выполнении условия предельного напряженного состояния в каждой точке призмы смещения (метод предельного напряженного состояния – способы класса *A*);

2) допущение о распределении нормальных реакций вдоль поверхности скольжения (способы монолитного отсека обрушения, то есть когда рассматривают равновесие призмы смещения целиком);

3) допущение относительно соотношения касательных и нормальных реакций по боковым граням отсеков (реакция горизонтальна, наклонна или предельно отклонена и т.д.);

4) допущение относительно формы и положения (геометрии) потенциальной (наиболее слабой) поверхности скольжения.

Допущение первой группы было рассмотрено выше.

В способах, рассматривающих равновесие призмы смещения как единого целого, существуют известные трудности при определении эпюры нормальных напряжений вдоль поверхности скольжения. Поэтому такие способы расчета используют допущения, зачастую малообоснованные. А если учесть, что поверхность скольжения не задана, то задача становится весьма неопределенной.

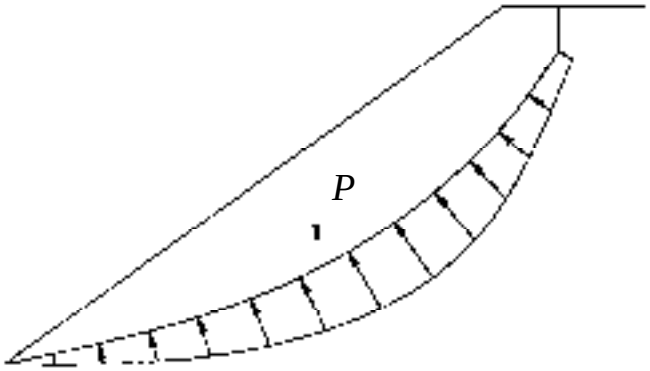


Рис. 2.3 Монолитный отсек обрушения

С другой стороны, если рассматривать призму смещения как единое целое (монолитный отсек) (рис. 2.3), а также учтя, что для равновесия тела или системы тел необходимо и достаточно равенства нулю главного вектора внешних

сил, то задача сведется лишь к определению их вдоль поверхности скольжения. Однако даже при заданной поверхности скольжения для определения реакций необходимо прибегнуть к разбиению призмы смещения, то есть к необходимости учета межблоковых реакций. Последние же также определяют значения величин внешних сил в каждой точке поверхности скольжения.

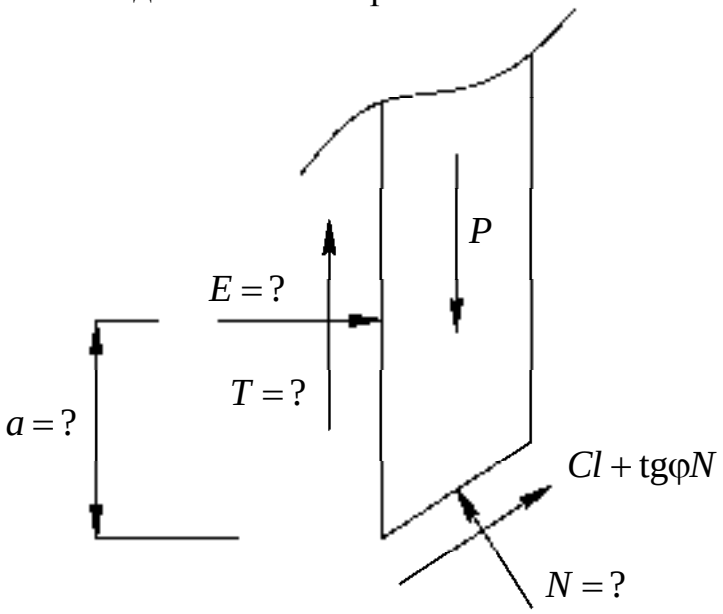


Рис. 2.4. Силы, действующие на отсек (блок)

Большинство способов расчета используют допущения третьей группы. Дело в том, что задача о равновесии отсека (рис. 2.4) является статически не определимой. То есть для выполнения плоского равновесия отсека можно составить три условия статического равновесия, а неизвестных, которые необходимо определить, – четыре (см. рис. 2.4). Соответственно, для всей призмы смещения неизвестных будет столько, на сколько частей мы разобьем призму смещения. На практике часто считается, что точка приложения нормальной межблоковой реакции не важна, так как опрокидывания отсеков не наблюдается, поэтому условие моментов для отсека отбрасывается вместе с неопределенным плечом приложения нормальной межблоковой реакции E. Если рассматривать элементарные отсеки, то есть с бесконечно малой шириной, то задачу по преодолению статической неопределенности можно свести к определению закона распределения полного вектора межблоковой реакции или отношения нормальной и касательной составляющих.

Таким образом, выше дано объяснение многообразию способов расчета устойчивости откосов. То есть исследователи для обоснования недостающего условия (уравнения) выдвигают дополнительные и зачастую малообоснованные гипотезы о распределении межблоковых реакций, некоторые из которых:

1) реакция между отсеками горизонтальна (Н. М. Герсеванов, Г. Крей, Р.Р. Чугаев – способ горизонтальных сил, Н. Янбу);

2) касательная реакция максимальна (Г. М. Шахунянц, ВНИМИ);

3) реакция отклонена от горизонта на величину половины угла сдвига (Р. Р. Чугаев – способ наклонных сил);

4) направление реакции параллельно основанию последующего отсека (Г. Л. Фисенко – алгебраическое сложение сил);

5) отношение касательной и нормальной составляющей – линейная функция аргумента (способ Моргенштерна и Прайса);

6) касательная реакция численно равна произведению сцепления на площадь боковой поверхности (Г. М. Шахунянц, 1969);

7) касательная реакция численно равна силе трения при предельном равновесии по боковой грани отсека (В. Т. Гузченко и др.);

8) касательная и нормальная реакции отсеков равны нулю (Ю. И. Соловьев, К. Терцаги, способ алгебраического сложения сил).

Заметим, что взаимодействие между отсеками присутствует в любом случае, иначе напряжения в теле призмы смещения были бы равны нулю, а это возможно лишь в ненагруженных и невесомых средах. Однако важно установить степень их влияния на устойчивость. Так как условие равновесия определяется лишь действием внешних сил (сил, действующих на призму смещения в целом), то внутренние силы (межблоковые реакции) в критерий устойчивости в явном виде входить не будут. То есть внутренние силы должны выражаться в виде функции внешних сил.

Допущения четвертой группы используют все способы класса *B*, кроме вариационных. Дело в том, что форма и положение поверхности скольжения в массиве определяют и сам критерий устойчивости. Например, при плоской поверхности скольжения нет необходимости рассматривать межблоковые реакции, задача становится статически определимой, а условием равновесия (критерием устойчивости) выступает сумма проекций внешних сил на плоскость поверхности скольжения (брусок на наклонной плоскости). Круглоцилиндрическая поверхность скольжения (Петерсон, 1916) позволяет достаточно просто оценить сумму моментов сил, действующих на призму смещения, а логарифмическая спираль (Рендулик, 1935) обладает тем свойством, что всякая нормаль к этой кривой образует постоянный угол с соответствующим радиус-вектором. Этим достигается простота расчетных схем и получаемых при этом результатов. То есть, используемые в расчетах поверхности скольжения приняты для упрощения, или просто для реализации расчетных схем, и не имеют обоснования.

Существующие вариационные способы (см. табл. 2.1) для обоснования геометрии потенциальных поверхностей скольжения используют статически не обоснованные критерии устойчивости (функционалы), то есть функционалы, полученные с использованием допущения о распределении межблоковых реакций, и поэтому определенная из данного критерия поверхность скольжения не будет являться истинной.

Таким образом, делаем вывод о том, что все из существующих методов (способов) в силу статической неопределенности задачи в любой ее постановке для получения условия равновесия призмы смещения используют те или иные

допущения. В этом смысле ни один из рассмотренных способов не является строгим. О степени обоснованности каждого из допущений судить весьма сложно ввиду отсутствия эталонного способа расчета.

Часто в литературе можно встретить ошибочное мнение о том, что метод предельного напряженного состояния является строгим, а способы метода предельного равновесия являются инженерными (приближенными) и что необходимо производить их совершенствование и корректировку (например, многоугольник сил по ВНИМИ), используя метод предельного напряженного состояния. Однако, как показано выше, оба метода и включающие в себя способы несовершенны, кроме того, рассматриваемые два метода ни в коем случае нельзя сравнивать и уж тем более осуществлять их симбиоз.

В заключение отметим принципиальные различия между двумя основными методами расчета (оценки) устойчивости откосов и основные положения каждого из них.

В методе предельного напряженного состояния (класс *A*) условие предельного равновесия выполняется в каждой точке призмы смещения, в том числе на поверхности откоса и вдоль поверхности скольжения. Это в частности означает, что направление линии действия наибольшего главного напряжения отклонено от площадок скольжения каждого из семейств поверхностей скольжения на угол $\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}$. На площадках с такой ориентировкой действует максимальная разность сдвигающих и удерживающих сил, то есть они являются наиболее опасными в рассматриваемой точке.

В методе предельного равновесия и во всех его способах (класс *B*) условие предельного равновесия (условие пластичности, прочности) выполняется только вдоль поверхности скольжения, причем ориентировка площадок определяется из условия опасности (экстремальности) поверхности скольжения в целом, а не в каждой ее точке. То есть площадки среза (скольжения) не обязательно будут отклонены от направления первого главного напряжения на угол $\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}$.

Рассмотрим пример. В точке выхода поверхности скольжения в откос линия действия первого главного напряжения совпадает с ним, так как по поверхности откоса отсутствуют касательные напряжения. Поэтому угол выхода поверхности скольжения в откос по методу предельного напряженного состояния $\varepsilon=\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}$. Используя данный факт и проведя аналогию между рассматриваемыми методами, Г. Л. Фисенко установил граничные условия для круглоцилиндрической поверхности скольжения в методе предельного равновесия. Ошибочность такого подхода достаточно просто показать на примере сыпучих (не связных) горных пород. Как известно, наиболее опасная поверхность скольжения в откосе несвязных пород будет совпадать с ним. Поверхность же, построенная с использованием вышеуказанных граничных условий, будет все-

гда иметь некоторый запас устойчивости. Данный факт объясняется тем, что угол выхода поверхности скольжения в откос, равно как и форма (геометрия) поверхности скольжения в методе предельного равновесия, должны определяться не только углом внутреннего трения, но также и углом откоса. Это обстоятельство впервые доказано автором в кандидатской диссертации, а во всех рассмотренных выше схемах и способах отражения не нашло. Рассмотрим теперь точку выхода предельно напряженной поверхности скольжения в откос. Если угол выхода поверхности скольжения отличен от $\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ и на этой площадке выполняется условие предельного равновесия, то оно тем более будет выполняться на площадке с углом выхода ε. По-видимому, в призме смещения откоса произвольной формы (то есть в таком откосе, который по форме и нагрузке не удовлетворяет уравнениям теории предельного напряженного состояния) существуют площадки, где удовлетворяется условие предельного равновесия, которые объединяются в небольшие по протяженности поверхности или же в пластические области. Такие области можно наблюдать при разрушении реальных откосов или моделей из эквивалентных материалов в виде трещин, напоминающих второе семейство поверхностей скольжения. Однако эти области локальны и не заполняют всего пространства призмы смещения (разрывные решения), а зачатки таких поверхностей скольжения не формируют генеральную поверхность, по которой произойдет общее нарушение устойчивости откоса.

Еще одним достаточно показательным примером некорректного отождествления методов является то, что призма смещения в методе предельного равновесия должна разбиваться на отсеки линиями, подобными второму семейству поверхностей скольжения в методе предельного напряженного состояния (ВНИМИ). Однако заметим, что, во-первых, линии второго семейства в методе предельного напряженного состояния – это реально существующие предельно напряженные поверхности скольжения. При произвольной форме ненагруженного откоса они отсутствуют, так как не выполняются дифференциальные уравнения предельного напряженного состояния. Во-вторых, в откосах разбивку призмы смещения на отсеки можно производить любыми криволинейными или прямолинейными условными границами, но отбрасываемая часть должна быть заменена заведомо неизвестными реакциями (принцип освобождаемости от действия связей), а именно неизвестными вектором сил и моментом сил. В этом случае законы механики не нарушаются. То есть, если призма смещения находится в предельном равновесии по некоторой поверхности скольжения, то расположение границ между отсеками не принципиально (в случае отсеков с элементарной длиной дуги поверхности скольжения). Это объясняется свойством внутренних сил – главный вектор внутренних сил равен нулю.

Таким образом, несмотря на некоторые сходства методов предельного напряженного состояния, и предельного равновесия их сравнение необходимо производить с осторожностью.

В принципе, метод предельного напряженного состояния необходимо использовать для предупреждения обрушений, то есть изучения формы откосов и внешней нагрузки, при которых возможно обрушение, а метод предельного равновесия – оползней.

Проведя анализ, Жабко А.В. создана классификация способов расчета устойчивости откосов по принципу используемых допущений (ошибочности) при выведении условий равновесия призмы смещения и обоснования геометрии наиболее слабой поверхности скольжения (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Классификация методов (способов) расчета устойчивости откосов по типу используемого допущения

Способы расчета	Поверхность скольжения	Допущения			
		О выполнении условий предельного напряженного состояния в каждой точке призмы смещения	о форме и положении потенциальной поверхности скольжения	О распределении нормальных реакций вдоль поверхности скольжния (способы монолитного отсека обрушения)	о соотношении касательных и нормальных реакций по боковым граням отсеков (реакция горизонтальна, наклонна или предельно отклонена)
1	2	3	4	5	6
Метод предельного равновесия					
Способ Франсе, Винклера, Бернацкого	Плоская	-	+	-	-
Цимбаревича		-	+	-	-
Орнатского		-	+	-	-
Хеннесса		-	+	-	-
Токмурзина		-	+	-	-
Круглоцилиндрической поверхности скольжения (Терцаги, Крея, Гультина, Иванова-Тейлора)	Круглоцилиндрическая	-	+	-	+
Феллениуса		-	+	-	+
Круга трения (прием Гольдштейна)		-	+	+	-
Бишопа		-	+	-	+
Фрелиха		-	+	+	-
Како		-	+	+	-
Чугаева-Вяземского		-	+	-	+

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Ломизе (нахождение потенциально опасной поверхности скольжения)		-	-/+	-	+
Графоаналитический способ Шахунянца		-	+	-	+
Янбу		-	+	-	+
Моргенштерна-Прайса		-	+	-	+
Спенсера		-	+	-	+
GLE		-	+	-	+
Рендулика	Логарифмическая	-	+		
Пузыревского-Кожевникова		-	+		
Козлова		-	+		
Никитина		-	+		
Галустьяна		-	+		
Гордеева (нахождение потенциально опасной поверхности скольжения)	Кубический сплайн	-	-/+	-	+
Ясунаса	Ломаная	-	+	-	+
Горизонтальных сил (Маслова-Берера)		-	+	-	+
Касательных сил (Шахунянца)		-	+	-	+
Чугаева		-	+	-	+
Графостатический способ Перковского		-	+	-	+
Блока и призм		-	+	-	+
Копачи	Сложной формы (определяется методами вариационного исчисления)	-	-	-	+
Соловьева		-	-	-	+
Дорфмана		-	-	-	+
Жабко		-	-	-	-
Метод предельного напряженного состояния					
Соколовского	Определяется построением	+	-	-	-
Голушкевича		+	-	-	-
Гольдштейна (упрощение уравнения Кеттера-Массо	Круглоцилиндрическая	+	+	-	-

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Бурмейстера (упрощение способа Соколовского)	Определяется форма поверхности равноустойчивого откоса	+	-	-	-
Сенкова (упрощение способа Соколовского)		+	-	-	-
Голованова (упрощение способа Соколовского)		+	-	-	-

Примечание:

1) знак “+” означает, что допущение используется данным способом, а знак “-” – не используется;

2) отсутствие знака в графе означает, что в способе данный вопрос не рассматривался, например, в способе Козлова обосновывалась только поверхность скольжения, без вывода условия равновесия.

2.2 Способы расчета, рекомендуемые действующими нормативными документами

2.2.1 Общие сведения

Правилами обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах (ВНИМИ, 1998 г.) для оценки устойчивости откосов рекомендуются два способа оценки устойчивости откосов: способ алгебраического сложения сил, способ многоугольника сил (модифицированный способ Г. М. Шахунянца). Указывается, что способ многоугольника сил является наиболее точным, а способ алгебраического сложения сил рекомендуется использовать для невысоких (до 100 м) откосов, при угле внутреннего трения горных пород $\varphi < 20^{\circ}$.

Поверхность скольжения в однородном откосе, согласно данному нормативному документу, является плавной, близкой к дуге окружности. Каких – либо уточнений по построению поверхности скольжения не приводится. Указывается, что необходимо построить не менее трех поверхностей скольжения для отыскания наиболее слабой.

2.2.2 Способ алгебраического сложения сил

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 (некруглоцилиндрической) поверхности скольжения критерий устойчивости (коэффициент устойчивости) не отра-

жает необходимых и достаточных условий равновесия призмы смещения (данный тезис вытекает уже из самого названия способа, то есть векторные величины складываем алгебраически – парадокс);

2) пренебрегается влиянием межблоковых реакций на коэффициент устойчивости;

3) 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:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left[N_i \operatorname{tg}\varphi + Cl_i\right]}{\sum_{i=1}^{k} T_i} = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left[P_i \cos\vartheta_i \operatorname{tg}\varphi_i + Cl_i\right]}{\sum_{i=1}^{k} P_i \sin\vartheta_i},$$

где N_i и T_i – соответственно нормальные и касательные состаляющие 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 - того блока (определяется через его объем); ϑ_i – угол наклона основания i - того блока; l_i – длина основания i - го блока.

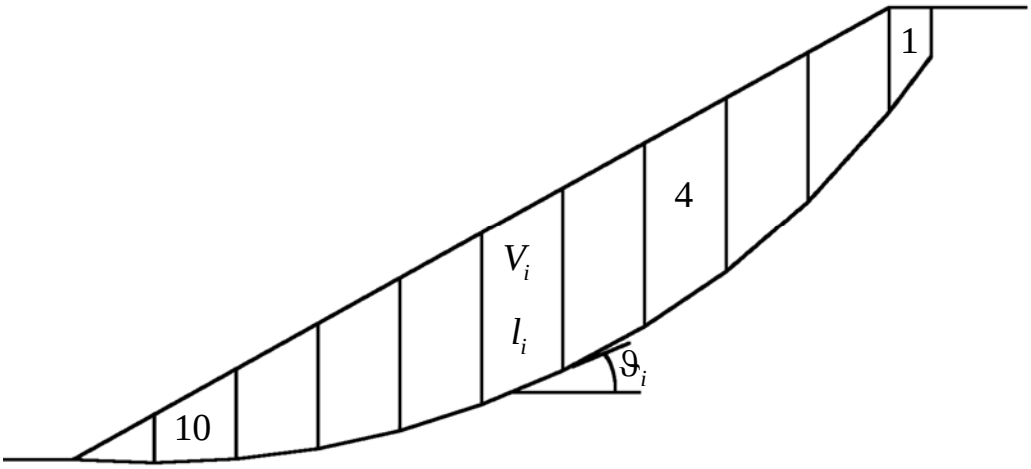


Рис. 2.5 Разбиение призмы смещения на отсеки (блоки)

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. 2.5). Расчет по способу алгебраического сложения сил в удобно производить в таблице (табл. 2.3).

Таблица 2.3

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 :

$$n = \frac{(297,53 + 146,79)}{411,66} = 1,08 .$$

2.2.3 Способ 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 гранями, причем на этих гранях выполняется условие предельного кулоновского равновесия.

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. 2.6). 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, то есть 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 многоуголь-

ника сил не обосновывается вовсе. Данное замечание присуще практически всем способам метода предельного равновесия.

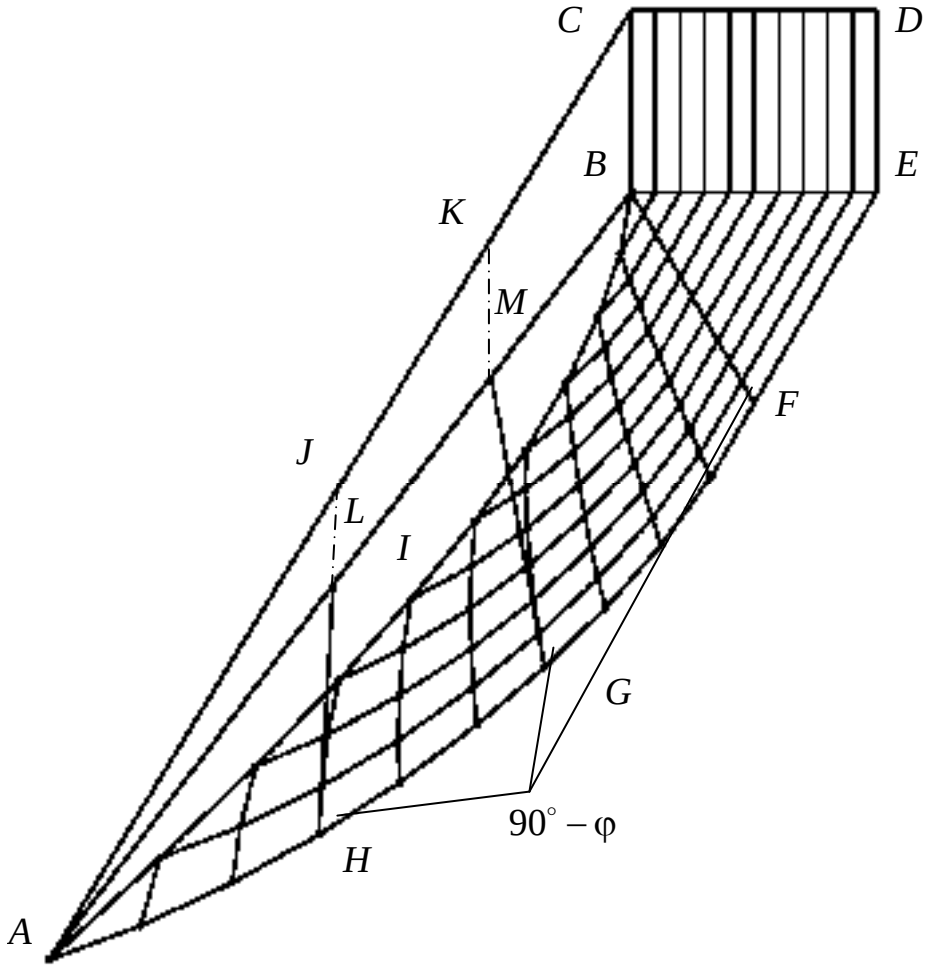


Рис. 2.6 Модификация способа многоугольника сил (способ Г.М. Шахунянца) посредством метода предельного напряженного состояния

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. 2.6). 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 графический способ решения.

Призма смещения разбивается на блоки (рис. 2.7), и вычисляются действующие на блоки активные силы и реакции связей.

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).

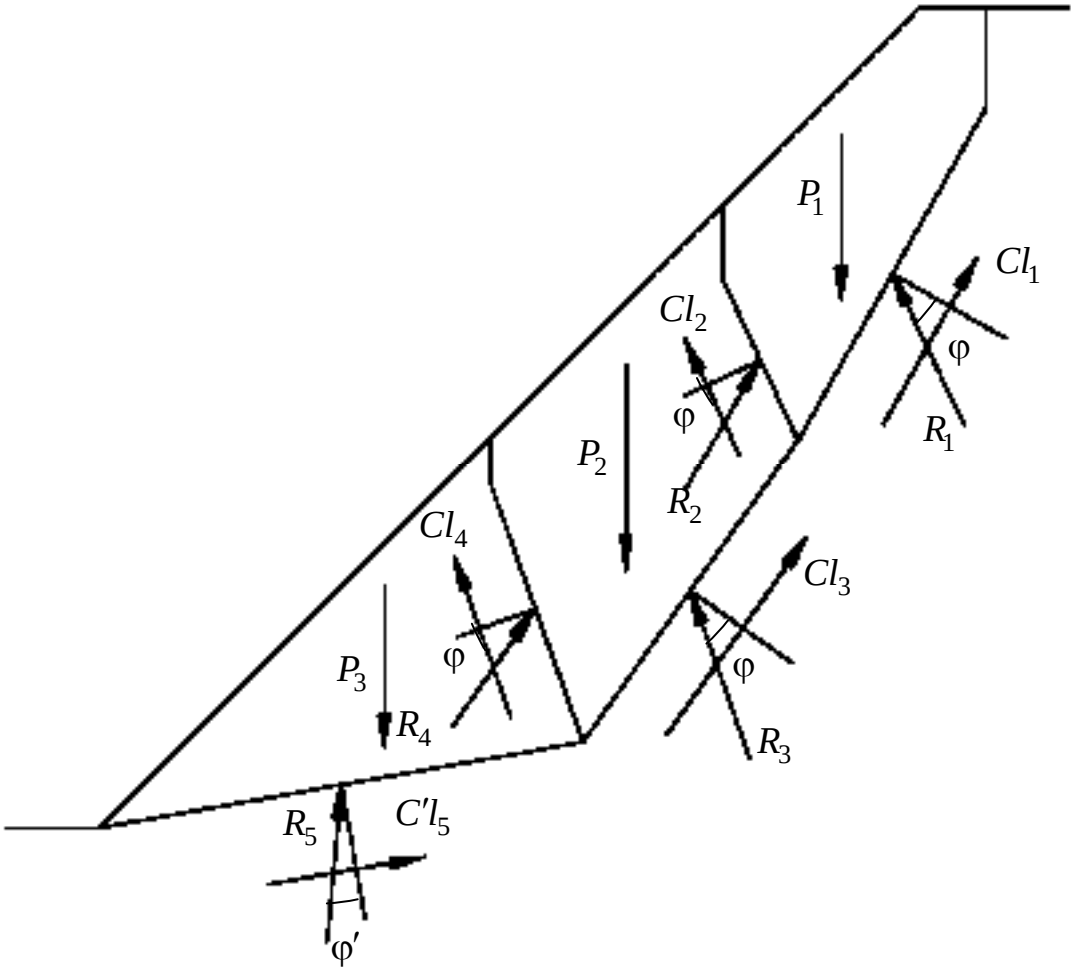


Рис. 2.7 Схема сил и реакций связей,
действующих на призму смещения (по ВНИМИ)

На рис. 2.7 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 (рис. 2.8). При этом из условия равновесия каждого блока определяются неизвестные реакции R_i, обеспечивающие это равновесие.

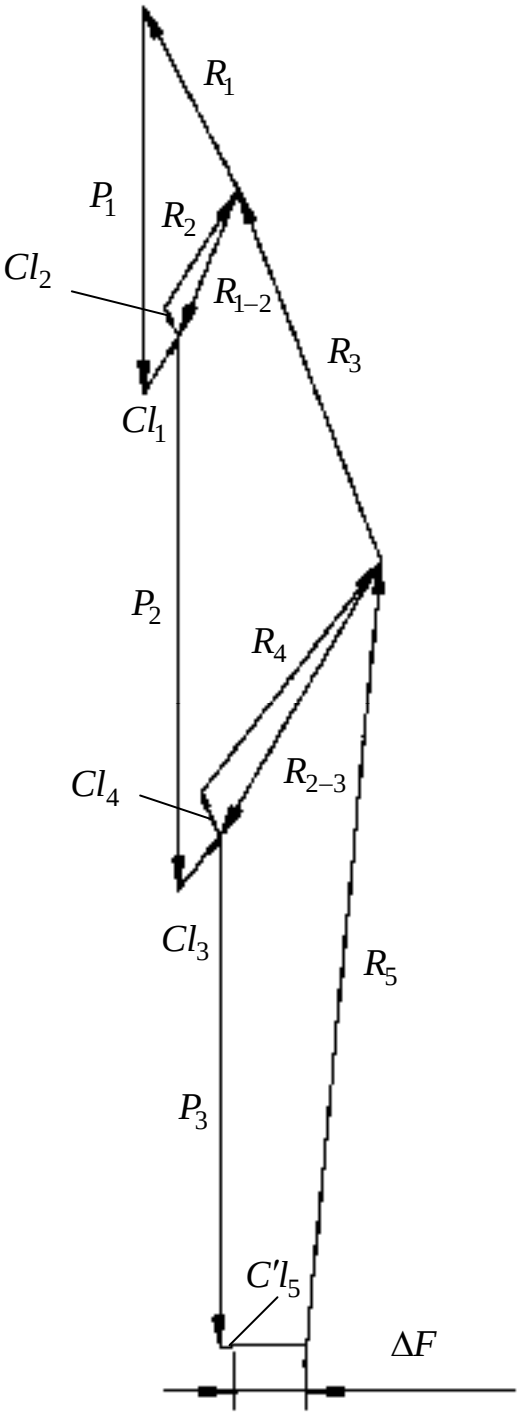


Рис. 2.8 Многоугольник сил

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 неустойчивом 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. 2.8 показан пример построения многоугольника сил для анизотропного откоса (подсеченный пологой трещиной). В рассматриваемом примере 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.

2.2.4 О поверхностях скольжения

Как указывалось выше, действующие нормативные документы в области устойчивости карьерных откосов, не указывают правил нахождения наиболее опасной поверхности скольжения. Этот же недостаток присущ практически всем способам метода предельного равновесия.

Если рассматривать однородный откос и исходить в первом приближении из того, что поверхность скольжения описывается одной функцией (под откосом и бермой) и монотонна на всем интервале, то в самом общем случае для ее построения необходимо знать вид функции и граничные условия для ее построения. Например, предположим (бездоказательно), что функцией поверхности скольжения является дуга окружности. Для построения дуги окружности необходимо знать координаты ее центра и радиус, то есть три условия. Для однородного откоса можно принять, что поверхность скольжения проходит через нижнюю бровку откоса. Проведя аналогию между методами предельного равновесия и предельных напряженных состояний, Г. Л. Фисенко предложил граничные условия для построения круглоцилиндрической поверхности (рис. 2.9).

Построение поверхности скольжения начинается с расчета величин ширины призмы обрушения и высоты трещины отрыва по формулам:

$$a = \frac{2H\left(1 - \operatorname{ctg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}\right)\right) - 2H_{90}}{\operatorname{ctg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) + \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}\right)},$$

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}, \quad H_{90} = \frac{2C}{\gamma}\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right).$$

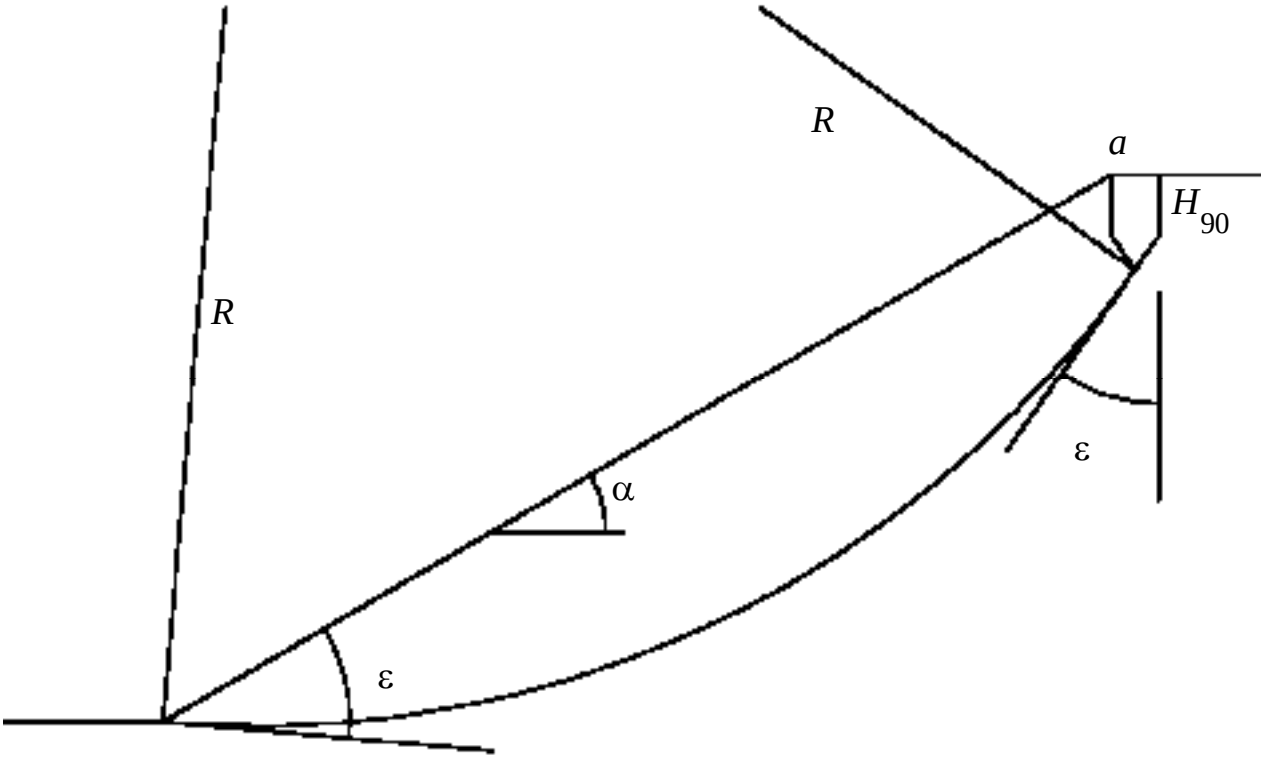


Рис. 2.9 Поверхность скольжения в однородном откосе (по ВНИМИ)

Дальнейший порядок построений понятен из рис. 2.9.

Угол ε, в качестве граничных условий, Фисенко Г. Л. принял по аналогии с вогнутым предельно напряженным откосом. Как было показано выше, ошибочность данного предположения наиболее ярко прослеживается для сыпучих пород.

Таким образом, делаем вывод о том, что и форма поверхности скольжения (дуга окружности), и граничные условия для ее построения в однородных откосах не достаточно обоснованны.

Еще более негативно обстоят дела с обоснованием поверхности 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 механиче-

ских 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: $\beta = \alpha$.

При наличии поверхностей ослабления в массиве поверхность скольжения может целиком или полностью совпадать с ними. Первый вариант возможен только при условии, что угол падения поверхности ослабления превышает угол трения по контакту $\beta > \varphi'$ (брусок на наклонной плоскости).

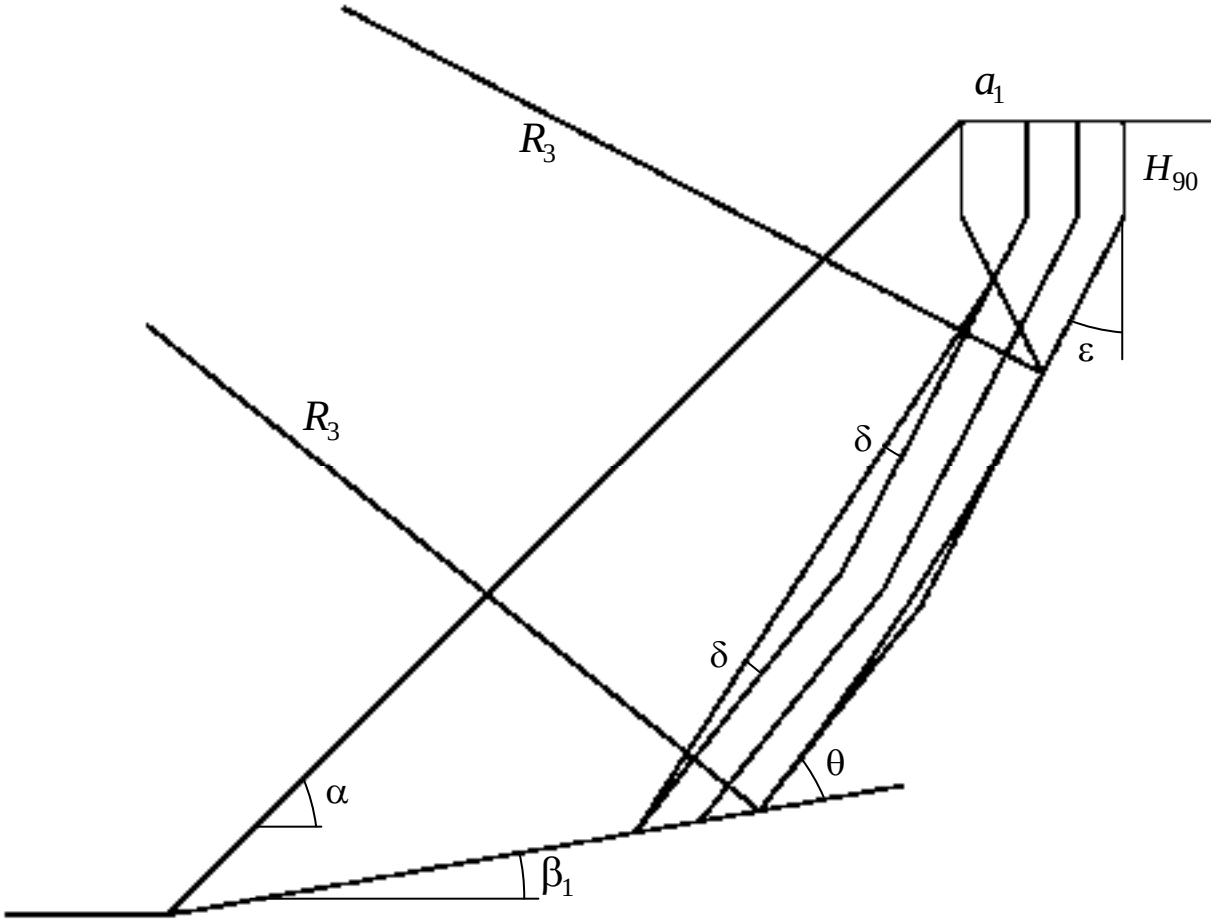


Рис. 2.10 Построение поверхности скольжения в откосе при наличии пологопадающей поверхности ослабления

Во втором случае поверхность скольжения состоит из криволинейной части и поверхности ослабления, в точке их пересечения происходит излом поверхности скольжения (θ, θ' – углы излома, о них речь пойдет ниже).

Рассмотрим построение поверхностей скольжения в скальных породах при наличии полого- и крутопадающих контактов (рис. 2.10, 2.11).

Как видно из рисунков ширина призмы обрушения для полого-падающей поверхности и наиболее слабый контакт для крутопадающей поверхности ослабления определяются подбором. Это связано с тем, что не известны координаты точки пересечения криволинейной части поверхности скольжения с поверхностью ослабления.

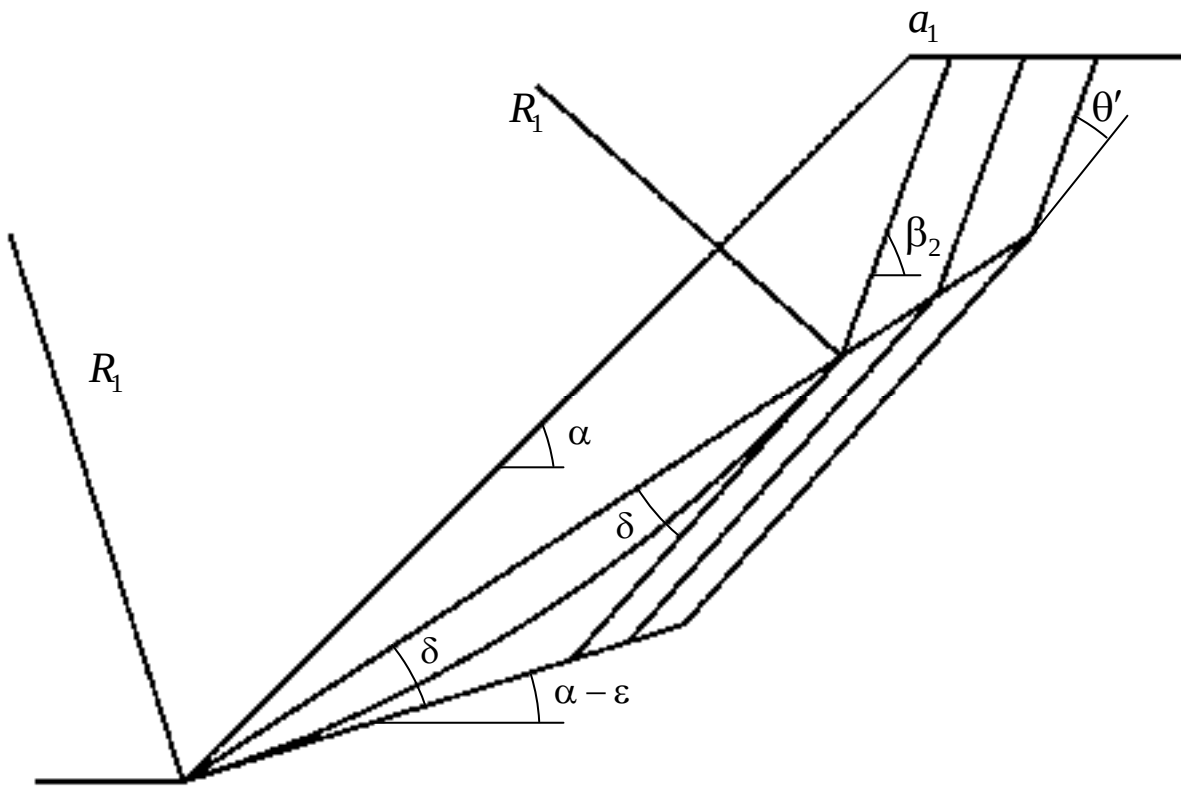


Рис. 2.11 Построение поверхности скольжения в откосе при наличии крутопадающей поверхности ослабления

Таким образом, к уже существующим проблемам, связанным с обоснованием формы и положения потенциальной поверхности скольжения для однородного откоса, для анизотропного откоса добавляется еще один неизвестный параметр.

Теперь рассмотрим еще более сложный случай – неоднородный откос, то есть откос, состоящий из некоторого количества слоев с разными физико-механическими характеристиками. На каждом из контактов литологических слоев поверхность скольжения также будет преломляться, однако координаты точек перехода поверхности скольжения в соседний литологический слой неизвестны, то есть неопределенность задачи повышается пропорционально количеству литологических слоев. Кроме того, ниже будет показано, что и углы излома также определяются с некоторыми допущениями, то есть погрешностями.

2.3 Современный способ расчета устойчивости откосов

2.3.1 Общая теория расчета устойчивости однородных откосов

Как известно, для равновесия плоской системы сил необходимо выполнение трех условий геометрической статики. С другой стороны, задачи статики весьма эффективно решаются при использовании общих принципов механики. Так, для равновесия механической системы с одной степенью свободы, согласс-

но принципу возможных перемещений, необходимо и достаточно выполнение равенства:

$$\sum \delta A_k^a + \sum \delta A_k^r = 0, \qquad (2.10)$$

где $\sum \delta A_k^a$, $\sum \delta A_k^r$ – сумма элементарных работ всех действующих на систему активных сил и реакций связей, соответственно, при любом возможном перемещении системы.

Необходимо указать на ошибку, допускаемую некоторыми исследователями. В литературе в качестве недостатка способа К. Терцаги упоминается то, что он удовлетворяет только одному условию статического равновесия – условию моментов. К. Терцаги исходит из предположения о круглоцилиндрической поверхности скольжения, таким образом, возможным перемещением системы отсеков (призмы смещения) будет являться ее смещение по дуге окружности относительно некоторого центра. Пренебрегая внутренними силами (силами, действующими между отсеками – межблоковыми реакциями), и используя выражение (2.10), получим необходимое и достаточное условие равновесия в виде разности внешних сдвигающих и удерживающих сил (моментов сил). Не составляет труда записать это условие через коэффициент устойчивости. Следовательно, условие равновесия по К. Терцаги является состоятельным, другой вопрос, что в способе не учтены межблоковые реакции, а поверхность скольжения принята гипотетично.

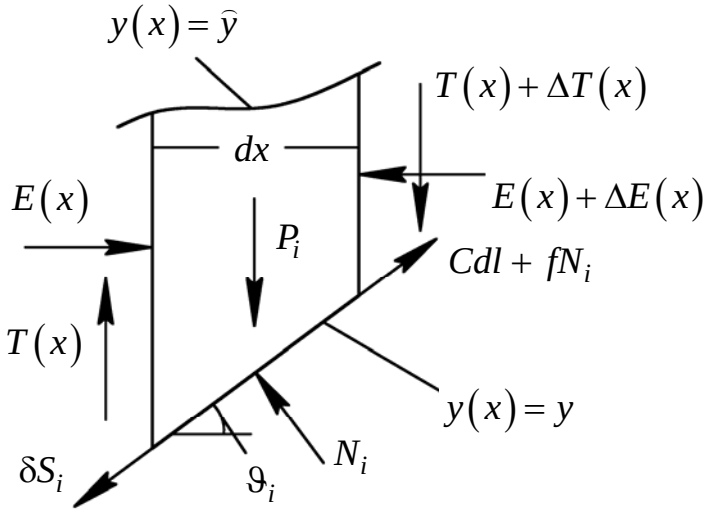


Рис. 2.12. Элементарный отсек и действующие на него силы

Введем систему координат (направление оси x – вправо, y – вверх) и рассмотрим механическую систему с одной степенью свободы – призму смещения, состоящую из n материальных точек – центры масс элементарных отсеков (отсеки условно разделены вертикальными гранями). Выделим из призмы смещения произвольный отсек и рассмотрим его равновесие под действием приложенных активных сил и реакций связей (рис. 2.12). Условие равновесия для данного отсека представляется равенством:

$$-E(x)\cos\vartheta_i\delta S_i + \big(E(x)+\Delta E(x)\big)\cos\vartheta_i\delta S_i - T(x)\sin\vartheta_i\delta S_i + \big(T(x)+\Delta T(x)\big)\sin\vartheta_i\delta S_i +$$
$$+P_i\sin\vartheta_i\delta S_i - R_i\delta S_i = 0, \qquad (2.11)$$

где ϑ_i – угол наклона поверхности скольжения в точке; $E(x), T(x)$ – соответственно функции нормальной и касательной составляющих реакций по боковым граням отсека; Δ – приращение функции; δS_i – возможное (виртуальное) перемещение отсека; P_i – вес отсека; R_i – сила сопротивления по площадке скольжения.

Для откоса с предельными геометрическими параметрами на площадке скольжения выполняется условие предельного равновесия:

$$R_i = fN_i + Cdl = fN_i + C\frac{dx}{\cos\vartheta_i}, \qquad (2.12)$$

где $f = \mathrm{tg}\varphi$ – коэффициент внутреннего трения (тангенс угла внутреннего трения); N_i – нормальная реакция площадки скольжения; C – сцепление массива горных пород; dl, dx – соответственно дифференциалы дуги и аргумента.

Составим условие равновесия по направлению нормали к площадке скольжения:

$$N_i - P_i\cos\vartheta_i - \Delta T(x)\cos\vartheta_i + \Delta E(x)\sin\vartheta_i = 0. \qquad (2.13)$$

Используя выражения (2.11), (2.12) и (2.13), запишем условие равновесия отсека в общем виде:

$$\big[\Delta E(x)(1+f\,\mathrm{tg}\vartheta_i) + \Delta T(x)(\mathrm{tg}\vartheta_i - f) + P_i(\mathrm{tg}\vartheta_i - f) - C(1+\mathrm{tg}^2\vartheta_i)dx\big]\cos\vartheta_i\delta S_i = 0. \quad (2.14)$$

Преобразуем уравнение (2.14), используя соотношения:

$$dx\to 0 \Rightarrow \Delta E(x) = dE(x) = dE,\ \Delta T(x) = dT,\ \Delta E(x) = \frac{\partial E}{\partial x}dx = E'dx,\ \Delta T(x) = T'dx,$$

$$\big[E'(1+f\,\mathrm{tg}\vartheta_i)dx + T'(\mathrm{tg}\vartheta_i - f)dx + P_i(\mathrm{tg}\vartheta_i - f) - C(1+\mathrm{tg}^2\vartheta_i)dx\big]\cos\vartheta_i\delta S_i = 0. \quad (2.15)$$

Запишем условие равновесия всей системы (призмы смещения), выразив возможное перемещение каждого отсека δS_i через возможное (горизонтальное) перемещение всей призмы δS_Γ:

$$\delta S_i\cos\vartheta_i = \delta S_\Gamma.$$

Кроме того, учтем следующие соотношения:

$$P_i = \gamma(\hat{y} - y)dx,\ \mathrm{tg}\vartheta_i = y',$$

где γ – объемный вес горных пород; $\hat{y}, y$ – функции линий откоса и поверхности скольжения соответственно; y' – производная функции поверхности скольжения.

Таким образом, имеем условие равновесия призмы смещения в виде*:

$$\int\big[\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1+y'^2) + E'(1+fy') + T'(y' - f)\big]dx\delta S_\Gamma = 0. \qquad (2.16)$$

Преобразуем условие равновесия (2.16) к виду:

$$\int\big[\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1+y'^2) + (T' + fE')y'\big]dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0, \quad (2.17)$$

* Здесь и ниже приводимые интегралы являются определенными, пределы интегрирования опущены для простоты выводов.

где T_0, E_0, T_1, E_1 – внешние касательные и нормальные реакции на вертикальных гранях призмы смещения соответственно слева и справа.

Из выражения (2.17) следует, что для того, чтобы межблоковые реакции на возможном перемещении всей призмы не совершали работу, то есть их можно было бы не учитывать при расчете (идеальные межблоковые связи, $\sum \delta A_k^r = 0$), необходимо выполнение двух условий: 1) $T_0 = E_0 = T_1 = E_1 = 0$; 2) $y' = \text{const}$ (поверхность скольжения – плоскость). С другой стороны, при выполнении только второго условия межблоковые реакции работу совершать также не будут. Они выйдут из-под знака интеграла и будут считаться внешними, действующими на призму смещения (или ее часть) по вертикальным граням крайних отсеков.

Зададимся вопросом: как должны распределяться между собой приращения касательной и нормальной составляющих межблоковых реакций (далее просто реакций), чтобы при перемещении отсека они совершали экстремальную работу? Таким образом, имеем задачу линейного программирования:

$$E'(1 + f\operatorname{tg}\vartheta_i)dx + T'(\operatorname{tg}\vartheta_i - f)dx \to \text{extr}.$$

Градиент (антиградиент) функции в этом случае имеет координаты $\overrightarrow{\text{grad}} = \{1 + f\operatorname{tg}\vartheta_i, \operatorname{tg}\vartheta_i - f\}$, поэтому экстремальную работу на перемещении реакция будет производить при следующем условии (рис. 2.13):

$$\frac{\partial T}{\partial E} = \frac{T'}{E'} = \frac{\operatorname{tg}\vartheta_i - f}{1 + f\operatorname{tg}\vartheta_i} = \operatorname{tg}(\vartheta_i - \varphi). \qquad (2.18)$$

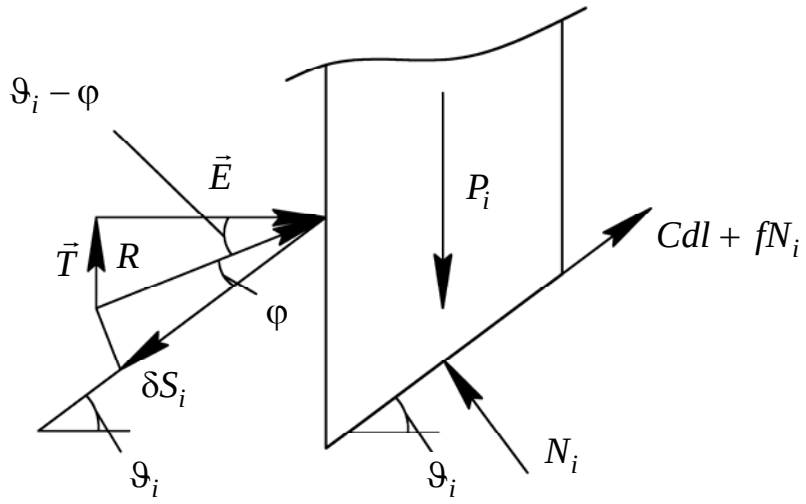


Рис. 2.13 Направление действия межблоковой реакции

Докажем справедливость равенства (2.18). Доказательство можно дать на основе принципа наименьшего принуждения, открытого К. Ф. Гауссом в 1829 г. Принципу К. Ф. Гаусса, в частности, можно дать энергетическое толкование, которое И. И. Рахманинов назвал началом наименьшей потерянной работы: действительное движение среди кинематически возможных выделяется тем, что для него работа реакций связей на путях отклонения этого движения от свободного движения в каждый данный момент есть минимум. Если мы мысленно уберем реакцию смежного отсека, то есть заменим несвободное движе-

ние свободным, то направление движения отсека не изменится. Поэтому угол наклона вектора отклонения несвободного движения от свободного совпадает с углом наклона площадки скольжения. Работа реакции в этом случае определится зависимостью:

$$A_R = R\left[f \sin(\xi - \vartheta_i) - \cos(\xi - \vartheta_i)\right]\Delta S_i,$$

где R – реакция смежного отсека; ξ – угол наклона реакции к горизонту; ΔS_i – перемещение отсека по площадке сдвига (вектор отклонения).

Учитывая, что величины R и ΔS_i произвольны и постоянны, для выполнения условия экстремума работы приравняем ее производную по ξ нулю, откуда

$$\xi = \vartheta_i - \varphi.$$

Из принципа К. Ф. Гаусса также следует, что для действительного движения системы реакции связей минимальны (М. В. Остроградский, 1836 г.). Равновесие является одним из истинных состояний системы. Поэтому, формализуя задачу, необходимо найти такой угол ξ, чтобы удержать в равновесии отсек минимальной по величине силой R. Решение поставленной задачи приводит к тем же результатам.

Важно отметить, что, согласно уравнению (2.18), направление реакции не зависит от формы отсека, а зависит от угла наклона его основания.

Решаем совместно уравнения (2.15) и (2.18) относительно производных функций межблоковых реакций, откуда

$$T' = -\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1 + y'^2)}{(1 + f^2)(1 + y'^2)}(y' - f); \qquad (2.19)$$

$$E' = -\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1 + y'^2)}{(1 + f^2)(1 + y'^2)}(1 + fy'). \qquad (2.20)$$

Подставляем полученные соотношения (2.19) и (2.20) в уравнение (2.17), и после преобразований необходимое и достаточное условие равновесия призмы смещения представляется в виде:

$$\int\left[\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1 + y'^2)}{1 + y'^2}\right]dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0. \qquad (2.21)$$

Отметим, что касательная составляющая межблоковой реакции не может превышать величины кулоновского сопротивления сдвигу.

Выясним физический смысл функционала (2.20):

$$\sum(\gamma h \sin\vartheta_i \cos\vartheta_i - f\gamma h \cos^2\vartheta_i - C)dl\cos\vartheta_i = \sum(\tau - f\sigma_n - C)dl\cos\vartheta_i.$$

Таким образом, необходимым и достаточным условием равновесия призмы смещения или ее части является нуль-вектор алгебраической суммы проекций внешних сил, действующих по площадкам скольжения (вдоль поверхности скольжения) каждого отсека на горизонтальную ось. Как и следовало ожидать, внешние силы не входят в условие равновесия в явном виде, что не противоречит представлениям теоретической механики.

Анализируя уравнение (2.15), замечаем, что при условии $0 \le \vartheta_i \le \varphi$ работа касательной составляющей межблоковой реакции меняет знак. По теореме Ме-

набреа, согласно которой при добавлении каких-либо связей (межблоковой реакции) потенциальная энергия (работа) уменьшается и никогда не может увеличиваться, это невозможно. Поэтому на этом участке реакция горизонтальна (рис. 2.14).

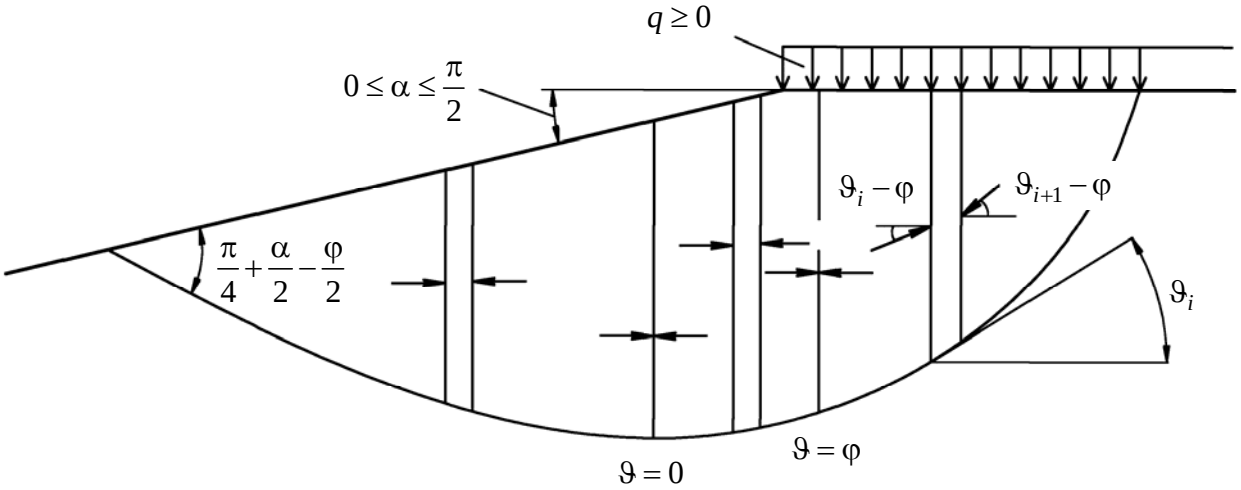


Рис. 2.14 Распределение реакций на различных участках поверхности скольжения

В этом случае производная межблоковой реакции определится формулой:

$$E' = -\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1 + y'^2)}{(1 + fy')},$$

а условие равновесия призмы (или ее части) примет вид:

$$\int \left[\frac{\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1 + y'^2)}{1 + fy'} \right] dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0. \quad (2.22)$$

На участке $(\vartheta_i \leq 0)$ касательная составляющая межблоковой реакции также отсутствует ввиду увеличения угла наклона поверхности скольжения по мере приближения к откосу. Таким образом, на пассивном участке $(\vartheta_i \leq \varphi)$ межблоковая реакция всюду горизонтальна (см. рис. 2.14).

Условиями (2.21) и (2.22) описывается условие равновесия под откосом, под горизонтальной площадкой откоса (верхней бермой) условие равновесия описывается уравнением*:

$$\int \left[\gamma(\hat{y} - y)(y' - f) - C(1 + y'^2) \right] dx + (E_1 - E_0) - f(T_1 - T_0) = 0. \quad (2.23)$$

Таким образом, условие равновесия всей призмы смещения без учета внешних сил (свободный откос) имеет вид:

$$\int_{\vartheta \leq \varphi} \left[\frac{\gamma(\hat{y} - y_1)(y_1' - f) - C(1 + y_1'^2)}{1 + fy_1'} \right] dx + \int_{\vartheta > \varphi} \left[\frac{\gamma(\hat{y} - y_2)(y_2' - f) - C(1 + y_2'^2)}{1 + y_2'^2} \right] dx + \quad (2.24)$$

$$+ \int \left[\gamma(H - y_3)(y_3' - f) - C(1 + y_3'^2) \right] dx = 0.$$

* В рамках учебного пособия приводится без доказательства.

То есть поверхность скольжения в плоском однородном откосе состоит из трех участков, сдвигающие и удерживающие силы на которых подсчитываются по-разному. Пусть имеется однородный плоский откос, находящийся в предельном равновесии, то есть его параметры предельны. В этом случае найдутся только три функции – $y_1(x), y_2(x), y_3(x)$, имеющие общие точки и представляющие собой собственно наиболее опасную или слабую поверхность скольжения, при подстановке которых в (2.24) будет выполняться равенство, то есть выполняться условие предельного равновесия. Для всех других комбинаций функций данный откос будет иметь запас устойчивости, так как они не будут являться наиболее слабыми.

Условие (2.24) является необходимым и достаточным условием равновесия призмы смещения, причем его вывод произведен с учетом межблоковых реакций, то есть не делалось допущений, послаблений расчетной схемы.

Таким образом, первая часть задачи для однородных откосов решена. Остается вторая часть, не менее важная, – определение (отыскание) наиболее слабой поверхности скольжения в однородном откосе.

Перейдем к рассмотрению решения задачи по нахождению потенциальной поверхности скольжения в однородных откосах частного вида (плоских). Заметим, что поверхность скольжения в этом случае будет проходить как под откосом, так и под горизонтальной площадкой (верхней бермой). Для начала нужно уяснить, что наиболее слабая или наиболее опасная поверхность, по которой и произойдет разрушение откоса, − это такая поверхность скольжения вдоль которой разница между сдвигающими и удерживающими силами максимальна. С другой стороны, интегралы (функционалы, суммы) представляют собой разницу между сдвигающими и удерживающими силами, каждый на своем участке.

Для дальнейшего понимания теории сделаем отступление. В курсе высшей математики имеется раздел под названием “Вариационное исчисление”. Не вдаваясь в подробности, рассмотрим задачи, которые могут быть решены при помощи вариационного исчисления и которые будут применены в дальнейших выводах.

1. Пусть имеется определенный интеграл (функционал)

$$J\left[y(x)\right] = \int_a^b F(x, y, y')\,dx \to \text{extr},$$

где J – функционал; a, b – пределы интегрирования; x – аргумент; y, y' – неизвестная функция и ее производная.

Требуется найти такую функцию $y(x)$, при подстановке которой в функционал и его дальнейшего интегрирования получалось бы максимальное или минимальное число (определенный интеграл – это число). Для его нахождения Л. Эйлер получил дифференциальное уравнение*, носящее его имя. Таким образом, методы вариационного исчисления позволяют определить функцию или, по крайней мере, дифференциальное уравнение, определяющее ее и доставляющую функционалу экстремум. Такие функции называются экстремалями.

* В рамках данной работы не приводится.

2. Аппарат вариационного исчисления позволяет решать и более сложные задачи. Пусть теперь пределы интегрирования a, b неизвестны, но известно, что разыскиваемая функция (экстремаль) пересекает (скользит) по каким-либо другим функциям (кривым), то есть экстремаль пересекает некоторые линии, но неизвестно, в каких точках. Для определения условий, которые должны выполняться в точках пересечения, составляются так называемые условия трансверсальности.

3. Теперь пусть у нас есть сумма интегралов (функционалов), необходимо найти экстремали данных функционалов, при условии, что неизвестна точка их соединения (общий предел интегрирования), скользящая по какой-либо функции (кривой). Такого рода задачи носят название «разрывные задачи вариационного исчисления».

Условие равновесия призмы смещения (2.24) получено из предположения равновесия каждого отсека, то есть выполнения предельного равновесия в каждой точке поверхности скольжения. Условия равновесия (2.14), (2.15) будут выполняться при произвольной высоте отсека, однако вес (нагрузка) или прочность (сцепление) должны быть необходимыми и достаточными для выполнения условия предельного равновесия при заданной форме откоса и физико-механических характеристиках горных пород. Предположим, что найдется такой параметр $n > 0$, одинаковый для всех отсеков, разделив на который величину сцепления (или умножив объемный вес), условие предельного равновесия будет выполняться в каждой точке поверхности скольжения. Поместим начало системы координат в точку пересечения поверхности скольжения с откосом, получим следующую задачу вариационного исчисления для нахождения наиболее опасной поверхности скольжения свободного откоса:

$$\int\limits_{\vartheta \le \varphi} \left[\frac{(kx - y_1)(y_1' - f) - \lambda\left(1 + y_1'^2\right)}{1 + f y_1'} \right] dx + \int\limits_{\vartheta > \varphi} \left[\frac{(kx - y_2)(y_2' - f) - \lambda\left(1 + y_2'^2\right)}{1 + y_2'^2} \right] dx + \\ + \int \left[(H - y_3)(y_3' - f) - \frac{C}{\gamma}\left(1 + y_3'^2\right) \right] dx \to \text{extr}, \tag{2.25}$$

где k – тангенс угла наклона откоса; H – высота откоса; $\lambda = \dfrac{C}{\gamma n} > 0$ – постоянная, зависящая от формы откоса, физико-механических свойств горных пород и определяет предельную высоту откоса; n – постоянная, обеспечивающая выполнение условия предельного равновесия в пределах каждого отсека.

Заметим, что участок бермы (горизонтальной площадки) представляет собой вертикальный откос (третье слагаемое (2.25)), поэтому при высоте, превышающей высоту вертикальной трещины отрыва (а это мы принимаем априори), необходимо положить $n = 1$, то есть условие предельного равновесия должно выполняться автоматически. Кроме того, ввиду важнейшего свойства вариации функционалов (вариация суммы равна сумме вариаций), для решения поставленной задачи необходимо определить функции, доставляющие экстремум каждому из функционалов в отдельности.

Таким образом, дифференциальные уравнения (уравнения Л. Эйлера), определяющие наиболее опасные участки поверхности скольжения, имеют вид*:

$$kx - y_1 = \lambda \frac{(kf - 1)y_1'^2 + 2(k + f)y_1' + 1 - kf}{fy_1'^2 - 2f^2 y_1' + k - f + kf^2};$$

$$kx - y_2 = \lambda \frac{1 + kf}{1 + f^2} \frac{\left(1 + y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - (k + 3f)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f}; \qquad (2.26)$$

$$(H - y_3) = \frac{C\left(y_3'^2 - 1\right)}{\gamma \mathrm{tg}\varphi}.$$

Таким образом, для плоских однородных откосов наиболее слабая поверхность скольжения состоит из трех участков (рис. 2.15), описываемых уравнениями (2.26), а суммы сдвигающих и удерживающих сил для каждого из участков рассчитываются при помощи выражения (2.24).

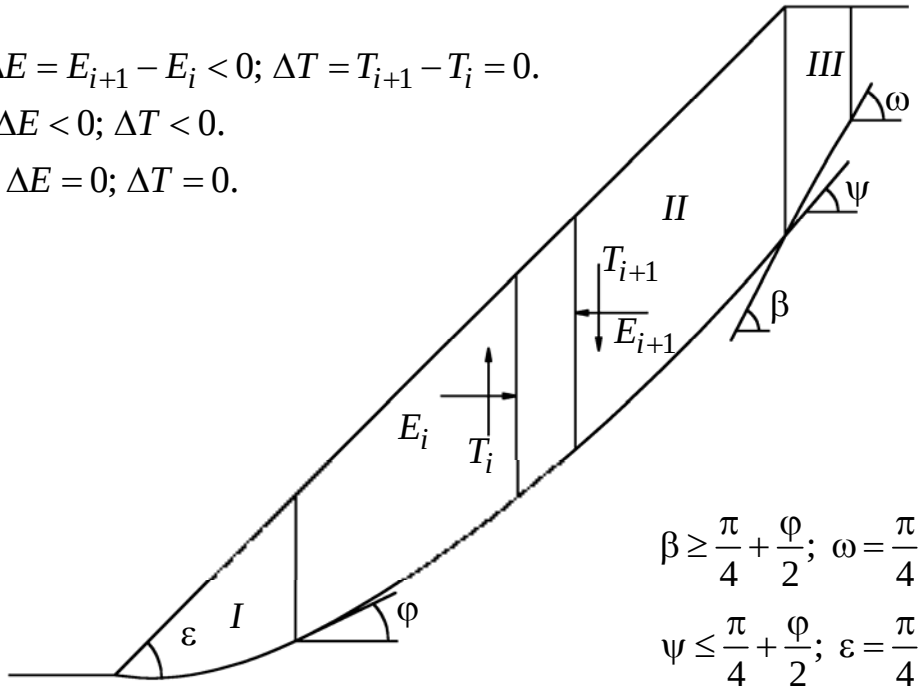


Рис. 2.15 Схема к построению поверхности скольжения и оценке устойчивости однородного откоса

Для построения поверхности скольжения необходимо также вычислить следующие угловые параметры (см. рис. 2.15):

$$\mathrm{tg}\psi = s,\ \mathrm{tg}\beta = t,\ \frac{C\left(t^2 - 1\right)}{\gamma \mathrm{tg}\varphi} = \lambda \frac{1 + kf}{1 + f^2} \frac{\left(1 + s^2\right)^2}{2s^3 - (k + 3f)s^2 + 2kfs + k - f}.$$

Производную функции s в точке стыка участков откоса и бермы определяют из уравнения:

$$(f + k)s^4 + 4(1 - kf)s^3 + 2\left(kf^2 - 3f - 2k\right)s^2 + 4f(f + k)s + f - k - 2kf^2 = 0. \quad (2.27)^*$$

* Для ознакомления с выводами уравнений необходимо обратиться к научным статьям автора.

Физическим смыслом уравнения (2.27) является то, что в случае, если угол наклона поверхности скольжения под откосом превысит ψ, то межблоковые реакции будут совершать положительную работу по перемещению отсека (блока), то есть отрицательно влиять на устойчивость (снижать ее), что, в свою очередь, невозможно. Известно, что пренебрежение межблоковыми реакциями всегда ведет к повышению запаса.

2.3.2 Предельные параметры плоских однородных откосов

Представим уравнения, определяющие поверхность скольжения на различных участках (2.26) в символичном виде:

$$kx - y = \mu\eta(p),$$

где $p \equiv y'$ – параметр.

Тогда $d(kx - y) = \mu\eta'(p)dp$. Дифференцируя левую часть уравнения и принимая во внимание, что $dy = pdx$, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} dx = \mu \dfrac{\eta'(p)}{k-p} dp \\ dy = \mu \dfrac{\eta'(p)}{k-p} pdp \end{cases}. \qquad (2.28)$$

Используя уравнение предельного равновесия и дифференциальные уравнения, определяющие поверхность скольжения на различных участках (2.24), 92.26), а также учтя, что $H = k\left(\int\limits_0^{x_0} dx + \int\limits_{x_0}^{H/k} dx\right)$, получим систему двух уравнений, определяющую предельные параметры плоских однородных откосов:

$$\begin{cases} \int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi} \left[\dfrac{\lambda\gamma(p-f)}{1+fp}\eta_1(p) - C\dfrac{1+p^2}{1+fp}\right]\dfrac{\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{s}\left[\dfrac{\lambda\gamma(p-f)}{1+p^2}\eta_2(p) - C\right]\dfrac{\eta_2'(p)}{k-p}dp + \\ + \dfrac{2C^2}{\gamma f}\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}^{t}\left[\dfrac{(p^2-1)(p-f)}{f} - (1+p^2)\right]dp = 0; \\ \int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi} \dfrac{\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{s}\dfrac{\eta_2'(p)}{k-p}dp = \dfrac{H}{\lambda k}. \end{cases} \qquad (2.29)$$

Ширина призмы обрушения определится зависимостью:

---

* В рамках учебного пособия приводится без доказательства.

$$a = \frac{2C}{\gamma f} \int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}^{t} dp\,. \qquad (2.30)$$

Для построения поверхности скольжения необходимо произвести интегрирование уравнений (2.28) при различных значениях верхнего предела. В результате будем последовательно получать координаты точек поверхности скольжения.

По результатам численного интегрирования были построены поверхности скольжения для некоторых значений углов откоса и внутреннего трения в предельном равновесии (приложение 1). Вертикальными линиями на рисунках отсечены точки поверхностей скольжения с углом наклона, равным углу внутреннего трения горных пород, а также границы участков откоса и горизонтальной площадки (бермы). Для построения поверхностей скольжения был принят пятиградусный интервал углов внутреннего трения.

В результате численного решения уравнений (2.29) определены предельные параметры плоских однородных откосов, а также вычислены отношения ширины призмы обрушения к высоте откоса a/H в предельном состоянии (рис. 2.16, 2.17).

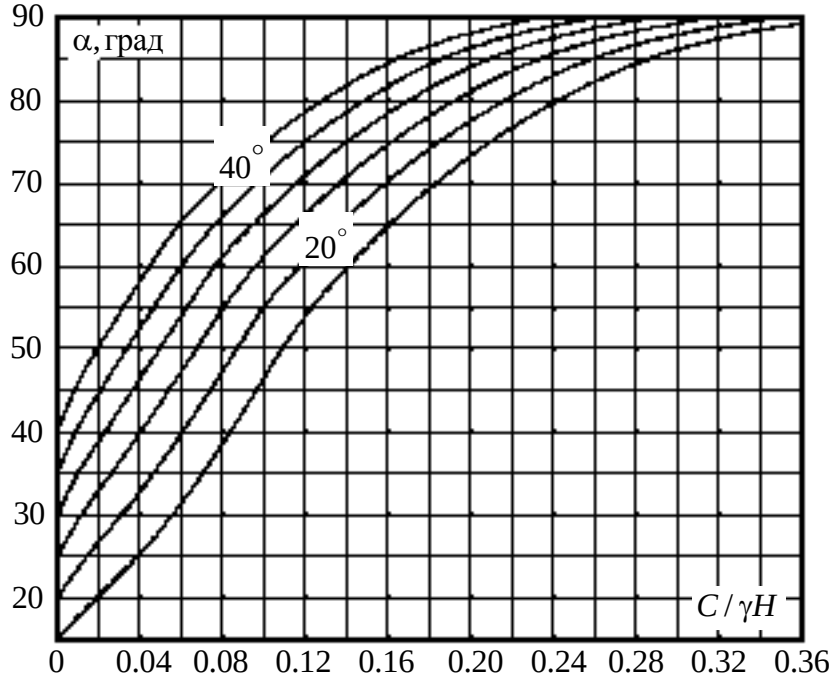


Рис. 2.16. Номограмма устойчивости плоских однородных откосов

Заметим, что из уравнений (2.29) следует, что угол откоса α инвариантен относительно величины $C/\gamma H$.

Обращаем внимание на то, что при $C = 0$ (сыпучие породы) $\alpha = \varphi$, что с одной стороны, соответствует имеющимся представлениям (брусок на наклонной плоскости при $\alpha = \varphi$ находится в предельном равновесии), с другой − поверхность скольжения, удовлетворяющая этому условию, определена впервые (см. рис. 2.16). Для всех других поверхностей (необоснованных, не самых опасных) при $C = 0$, $\alpha > \varphi$.

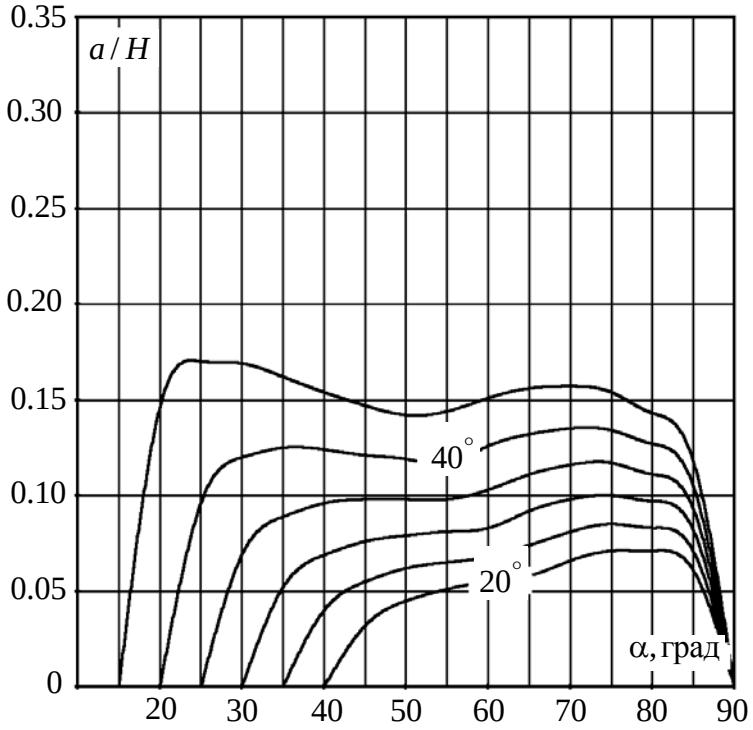


Рис. 2.17. Номограмма для определения ширины призмы обрушения

Анализ предельных поверхностей скольжения показывает, что при увеличении угла внутреннего трения кривизна поверхности скольжения уменьшается и в пределе (при равенстве углов откоса и внутреннего трения) превращается в плоскость. При увеличении угла откоса поверхности скольжения, построенные для разных углов внутреннего трения, стягиваются воедино.

2.3.3 Расчет анизотропных и неоднородных откосов

На сегодняшний день существует, пожалуй, один концептуальный подход к оценке устойчивости анизотропных откосов, основанный на выполнении в точке излома поверхности скольжения как обычного предельного равновесия, так и специального. Данный способ был предложен Г. Л. Фисенко в 1964 году и сводится к определению углов излома для полого- и крутопадающей поверхностей ослабления по формулам:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \frac{1}{2}\arcsin\left[\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}(1-\eta)\right];$$

$$\theta' = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \frac{1}{2}\arcsin\left[\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}(1-\eta)\right], \qquad (2.31)$$

где $\eta = \dfrac{C\,\mathrm{ctg}\,\varphi - C'\,\mathrm{ctg}\,\varphi'}{C\,\mathrm{ctg}\,\varphi + \dfrac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)}$; C, C' – соответственно сцепление пород в крест слоистости и по ней; φ, φ' – соответственно угол внутреннего трения пород и угол трения по контактам; σ_1, σ_3 – главные напряжения в точке излома.

Несмотря на то, что данное решение в те годы носило революционный характер, оно имеет ряд очевидных недостатков:

1) предположение о том, что в точке излома площадка скольжения отклонена от направления действия σ_1 на угол $\pi/4-\varphi/2$ для произвольной формы откоса и нагрузки на него бездоказательно (данный постулат лежит в основе способа);

2) условие специального предельного равновесия возможно не для всех профилей откоса, в частности, оно не выполняется для вогнутых откосов;

3) для определения угла излома необходимо располагать значениями главных напряжений в точке излома (2.31), определить которые не представляется возможным;

4) пренебрегаем влиянием главных напряжений на угол излома, что и предлагал Г. Л. Фисенко, значение последнего становится инвариантным (независимым) относительно угла наклона поверхности ослабления.

Рассмотрим анизотропный откос. Под анизотропией, в общем случае, будем понимать систему поверхностей ослабления, с характеристиками паспорта прочности C' и $f'=\operatorname{tg}\varphi'$, как правило, меньшими показателей прочности массива C и φ. Рассмотрим вначале произвольный плоский откос, разрушение которого произойдет по поверхности скольжения, полностью совпадающей с плоской поверхностью ослабления (рис. 2.18). Очевидно, из постановки задачи имеем условие $\alpha>\beta$. Если $\beta<\varphi'$, то разрушение откоса произойти не может, поэтому будем исходить из неравенства $\beta>\varphi'$.

Поместим начало прямоугольной системы координат в точку выхода поверхности ослабления в откос и используем геометрические соотношения для высоты трещины отрыва и ширины призмы смещения:

$$h'=\frac{C'}{\gamma}\frac{1+\operatorname{tg}^2\beta}{\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi'}=\frac{C'}{\gamma}\frac{\cos\varphi'}{\cos\beta\sin(\beta-\varphi')},\quad a=\frac{H(1-\operatorname{tg}\beta\operatorname{ctg}\alpha)-h'}{\operatorname{tg}\beta},$$

условие равновесия призмы смещения будет иметь вид:

$$\int_0^{H\operatorname{ctg}\alpha}\left[\gamma(kx-\operatorname{tg}\beta x)(\operatorname{tg}\beta-f')-C'(1+\operatorname{tg}^2\beta)\right]dx+\int_{H\operatorname{ctg}\alpha}^{H\operatorname{ctg}\alpha+a}\left[\gamma(H-\operatorname{tg}\beta x)(\operatorname{tg}\beta-f')-C'(1+\operatorname{tg}^2\beta)\right]dx=0.$$

Откуда предельная высота откоса выразится зависимостью:

$$H=h'\frac{\operatorname{tg}\alpha+\sqrt{\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta}}{\operatorname{tg}\alpha-\operatorname{tg}\beta}=\frac{h'}{1-\sqrt{\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{tg}\beta}}.\qquad(2.32)$$

Формула (2.32) рекомендуется Правилами обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах.

Рассмотрим теперь наиболее общий случай потери устойчивости анизотропным откосом и методику определения его предельных параметров (рис. 2.19). В этом случае поверхность скольжения может частично совпадать с поверхностями анизотропии и проходить в крест ее, подобно поверхности в однородном откосе. В этом случае условие равновесия, а также угол излома θ существенно зависят от координат точек излома, угла падения поверхностей ос-

лабления, а также от физико-механических свойств пород вдоль плоскостей анизотропии и в крест ее.

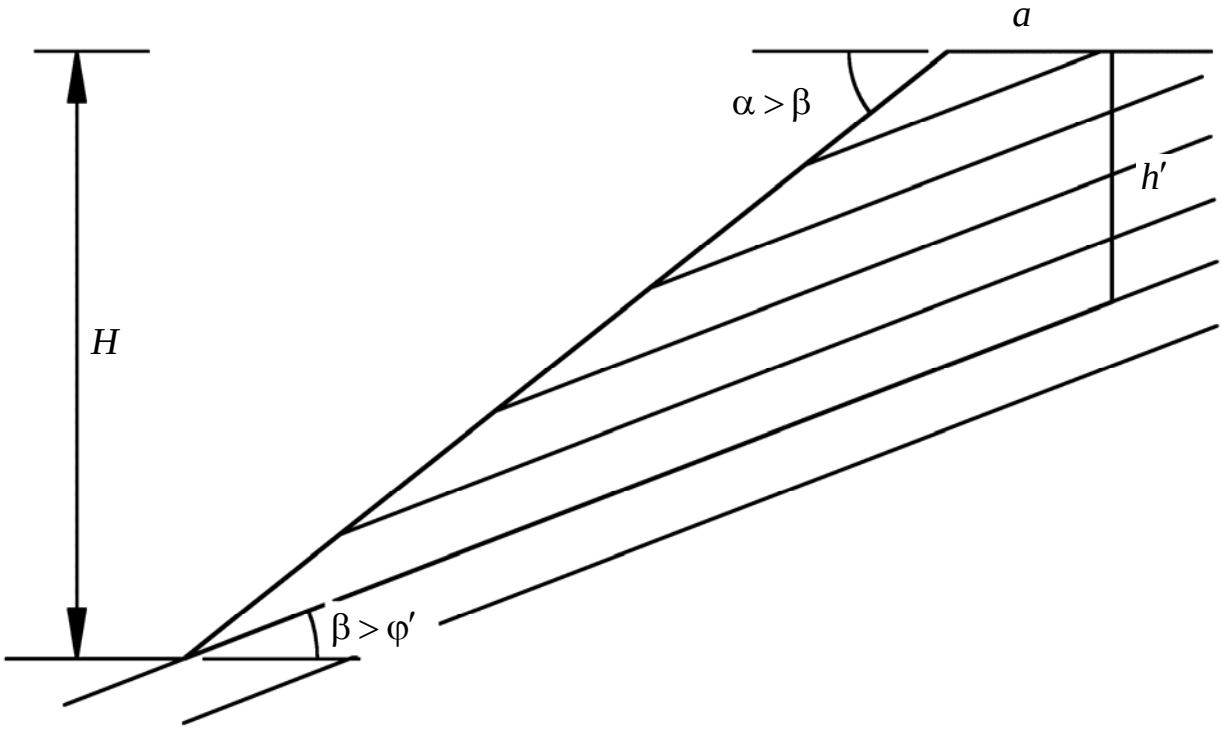


Рис. 2.18 Схема к расчету предельных параметров анизотропного откоса

Ограничимся рассмотрением следующей расчетной схемы. Пусть в массиве имеются плоские поверхности ослабления, падающие в сторону выработанного пространства под углом β к оси x. В этом случае поверхность скольжения может частично совпадать с поверхностями ослабления.

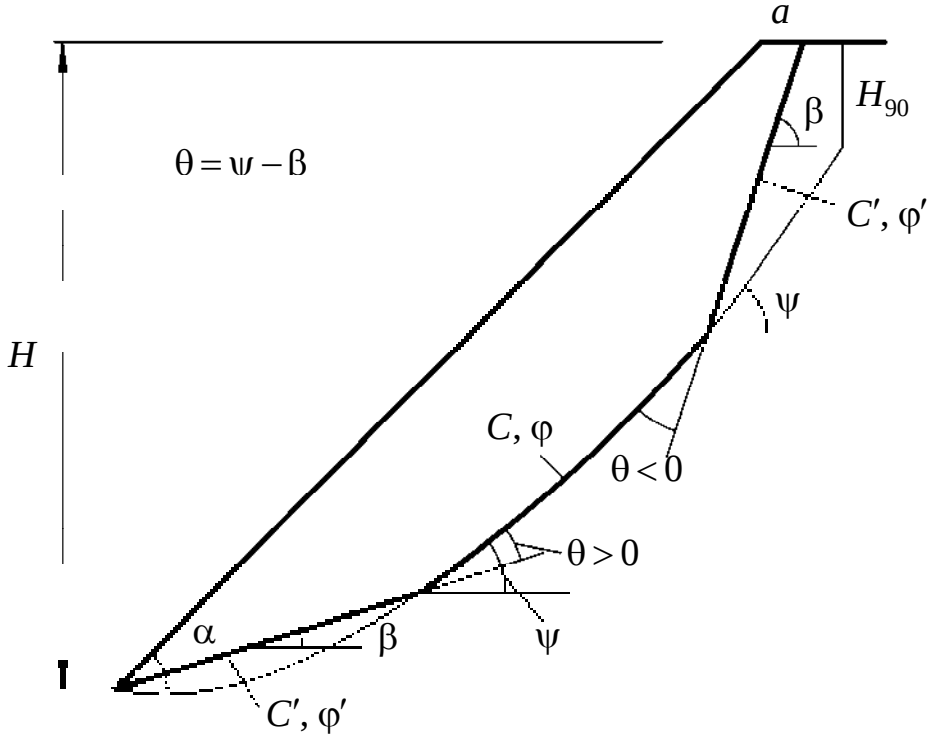


Рис. 2.19. Поверхность скольжения в анизотропном откосе

Необходимо определить условие в точке пересечения поверхности ослабления и поверхности скольжения при условии, что угол наклона поверхности скольжения в точке излома $\vartheta > \varphi$ (данное условие, вообще говоря, не принципиально, в противном случае изменится только условие в точке излома).

Имеем разрывную вариационную задачу (см. выше):

$$\int_{x_1}^{x_0} \frac{(\hat{y}-y)(y'-f)-\lambda(1+y'^2)}{1+y'^2}dx + \int_{x_0}^{x_2}\left[(\hat{y}-\mathrm{tg}\beta x-g)(\mathrm{tg}\beta-f')-\frac{C'}{\gamma}(1+\mathrm{tg}^2\beta)\right]dx \to \mathrm{extr}. \quad (2.33)$$

Условие в точке излома имеет вид:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}\varphi}{1+\mathrm{tg}^2\psi}-(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\varphi')+(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\psi)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}^2\psi}{(1+\mathrm{tg}^2\psi)^2}=\frac{\lambda-\frac{C'}{\gamma}(1+\mathrm{tg}^2\beta)}{h}, \quad (2.34)$$

где ψ – угол наклона поверхности скольжения к оси x (к горизонту) в точке преломления; h – глубина точки излома (расстояние по вертикали от поверхности откоса или бермы до точки излома).

Рассмотрим задачу о преломлении поверхности скольжения вследствие ее перехода в литологический слой с иными механическими характеристиками. Аналогом поставленной задачи является задача о преломлении луча света на границе сред с разными оптическими плотностями в постановке принципа Ферма (1660 г.). Примем $\psi > \varphi$ (не является принципиальным условием и принимается только для конкретики) – угол наклона поверхности скольжения к оси x до преломления; β – угол наклона контакта литологических слоев к оси x; $\omega > \varphi'$ – угол наклона поверхности скольжения к оси x после преломления (слой с параметром $\lambda' = C'/\gamma n = (C'/C)\lambda$); C', φ' – механические характеристики литологического слоя, в который переходит поверхность скольжения. Условие в точке преломления поверхности скольжения при переходе в смежный литологический слой имеет вид:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}\varphi}{1+\mathrm{tg}^2\psi}-\frac{\mathrm{tg}\omega-\mathrm{tg}\varphi'}{1+\mathrm{tg}^2\omega}+(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\psi)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi-\mathrm{tg}^2\psi}{(1+\mathrm{tg}^2\psi)^2}- \\ -(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\omega)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi'\mathrm{tg}\omega-\mathrm{tg}^2\omega}{(1+\mathrm{tg}^2\omega)^2}=\frac{\lambda-\lambda'}{h}. \quad (2.35)$$

Анализируя условие (2.35), замечаем, что в случае $C = C'$, $\varphi = \varphi'$, преломления поверхности скольжения не происходит, то есть $\psi = \omega$. Кроме того, очевидно, что поверхность скольжения не может после преломления вернуться в первоначальный литологический слой, то есть предельным значением угла ω является угол β. В этом случае скольжение произойдет по поверхности, совпадающей с контактом. Положив в уравнении (2.35) $\omega = \beta$, получим равенство левых частей (2.34) и (2.35).

Рассмотрим пример расчета неоднородного откоса. Определим предельную высоту откоса H, состоящего из двух горизонтально залегающих слоев

($\beta = 0^\circ$), верхний слой имеет мощность, равную $1/3H$, при следующих условиях (нумерация слоев снизу):

$\alpha = 40^\circ; \gamma = \gamma_1 = 2{,}5\,\text{т/м}^3; C_1 = 5\,\text{т/м}^2; C = 10\,\text{т/м}^2; \varphi_1 = 28^\circ; \varphi = 33^\circ$.

Предположим, что в точке излома поверхности скольжения выполняются условия $\psi > \varphi, \omega > \varphi_1$, а абсцисса точки излома x_0 находится под откосом. Тогда уравнения поверхности скольжения в нижнем слое имеют вид:

$$kx - y_1 = \lambda \frac{(kf-1)y_1'^2 + 2(k+f)y_1' + 1 - kf}{fy_1'^2 - 2f^2 y_1' + k - f + kf^2} \equiv \lambda \eta_1(p), \quad -\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha+\varphi}{2}\right) \le y_1' \le \operatorname{tg}\varphi;$$

$$kx - y_2 = \lambda \frac{1+kf}{1+f^2} \frac{\left(1+y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - (k+3f)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f} \equiv \lambda \eta_2(p), \quad y_2' > \operatorname{tg}\varphi,$$

где $\eta(p)$– некоторая функция параметра $p \equiv y'$.

Произвольная постоянная для первого уравнения получена из условия трансверсальности на пересечении поверхности скольжения с откосом, а для второго – из условия равенства производных в точке $y_1' = y_2' = \operatorname{tg}\varphi$.

Уравнение поверхности скольжения под откосом после преломления имеет вид:

$$kx - y_3 = (\lambda_1 + d_1)\frac{\left(1+y_3'^2\right)^2}{2y_3'^3 - (k+3f_1)y_3'^2 + 2kf_1y_3' + k - f_1} \equiv (\lambda_1 + d_1)\eta_3(p).$$

Для определения углов поверхности скольжения по обе стороны от точки излома, абсциссы и глубины точки излома h, а также параметра $\lambda_1 + d_1$ составляем условия:

$$\frac{\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi} - \frac{\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}\varphi_1}{1+\operatorname{tg}^2\omega} + (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\psi)\frac{1 + 2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}^2\psi}{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2} -$$

$$-(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\omega)\frac{1 + 2\operatorname{tg}\varphi_1\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}^2\omega}{\left(1+\operatorname{tg}^2\omega\right)^2} = \frac{\lambda\left(1 - \dfrac{C_1}{C}\right)}{h};$$

$$h = (\lambda_1 + d_1)\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\omega\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\omega - (k+3f_1)\operatorname{tg}^2\omega + 2kf_1\operatorname{tg}\omega + k - f_1};$$

$$h = \lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\psi - (k+3f)\operatorname{tg}^2\psi + 2kf\operatorname{tg}\psi + k - f};$$

$$x_0 = \frac{h + 2H/3}{k};$$

$$\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2} - \frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi} \frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi} \frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp = x_0,$$

где $\eta'(p)$– производная функции по параметру p.

Уравнение поверхности скольжения под бермой имеет вид:

$$(H - y_4) = \frac{C_1\left(y_4'^2 - 1\right)}{\gamma \mathrm{tg}\varphi_1}.$$

Производную поверхности скольжения на границе участков откоса и бермы, со стороны откоса s определяем из условия:

$$\left(f_1 + k\right)s^4 + 4\left(1 - kf_1\right)s^3 + 2\left(kf_1^2 - 3f_1 - 2k\right)s^2 + 4f_1\left(f_1 + k\right)s + f_1 - k - 2kf_1^2 = 0.$$

А производную со стороны бермы t определим из условия равенства ординат в точке стыка участков поверхностей скольжения, т. е.

$$\left(\lambda_1 + d_1\right)\frac{\left(1 + s^2\right)^2}{2s^3 - \left(k + 3f_1\right)s^2 + 2kf_1 s + k - f_1} = \frac{C_1\left(t^2 - 1\right)}{\gamma f_1}.$$

И, наконец, система уравнений, требующая выполнения условия предельного равновесия и осуществляющая связь λ и H:

$$\begin{cases} \int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2} - \frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi} \left[\frac{\gamma\left(p - f\right)}{1 + fp}\lambda\eta_1(p) - \frac{C\left(1 + p^2\right)}{1 + fp}\right]\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k - p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\left[\frac{\gamma\left(p - f\right)}{1 + p^2}\lambda\eta_2(p) - C\right]\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k - p}dp + \\ + \int\limits_{\mathrm{tg}\omega}^{s}\left[\frac{\gamma\left(p - f_1\right)}{1 + p^2}\left(\lambda_1 + d_1\right)\eta_3(p) - C_1\right]\frac{\left(\lambda_1 + d_1\right)\eta_3'(p)}{k - p}dp + \frac{2C_1^2}{\gamma f_1}\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2}\right)}^{t}\left[\frac{\left(p^2 - 1\right)\left(p - f_1\right)}{f_1} - \left(1 + p^2\right)\right]dp = 0 \\ \int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2} - \frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k - p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k - p}dp + \int\limits_{\mathrm{tg}\omega}^{s}\frac{\left(\lambda_1 + d_1\right)\eta_3'(p)}{k - p}dp = \frac{H}{k}. \end{cases}$$

Данных уравнений достаточно для определения всех неизвестных.

Таким образом, после решения системы полученных уравнений определяются неизвестные, необходимые для построения предельной поверхности скольжения (рис. 2.20). По результатам численного решения системы приведенных уравнений определены параметры для построения наиболее слабой поверхности скольжения в неоднородном откосе и его предельная высота: $\left\{s\ t\ \lambda\ \lambda_1 + d_1\ h\ x_0\ \mathrm{tg}\psi\ \mathrm{tg}\omega\ H\right\}^T = \left\{1{,}64\ 2{,}72\ 4{,}99\ 7{,}14\ 39{,}49\ 263{,}02\ 1{,}09\ 0{,}87\ 271{,}81\right\}^T$.

В процессе решения рассмотренных выше уравнений может быть определен любой из параметров, например, сцепление, необходимое для выполнения условия предельного равновесия, при заданной высоте и угле откоса.

Рассмотрим пример расчета анизотропного откоса. Определить предельную высоту откоса H, имеющего поверхность ослабления, выходящую в его основание под углом $\beta = 20^\circ$. Физико-механические характеристики пород и поверхности ослабления: $\gamma = 2{,}5\ \text{т/м}^3; C' = 5\ \text{т/м}^2; C = 10\ \text{т/м}^2; \varphi' = 18^\circ; \varphi = 30^\circ$, угол откоса $\alpha = 40^\circ$.

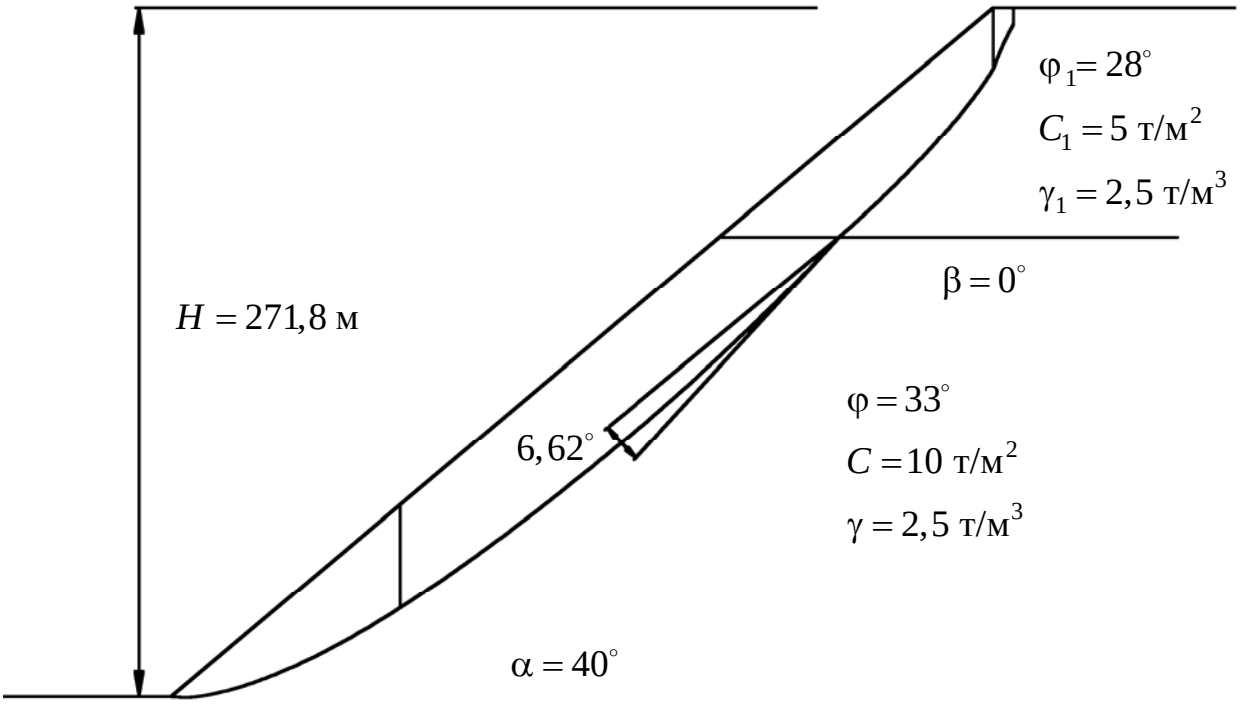


Рис. 2.20 Поверхность скольжения в неоднородном откосе

Предположим, что угол наклона криволинейной части поверхности скольжения в точке преломления поверхности скольжения $\psi > \varphi$ и точка преломления находится под откосом, тогда ее форма описывается уравнениями:

$$kx - y_2 = d\frac{\left(1+y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - \left(k+3f\right)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f} \equiv d\eta_2\left(p\right),\ y_2' > \mathrm{tg}\varphi, \text{откос};$$

$$\left(H - y_3\right) = \frac{C\left(y_3'^2 - 1\right)}{\gamma \mathrm{tg}\varphi}, \text{ берма.}$$

Тангенс угла наклона поверхности скольжения в точке стыка откоса и бермы со стороны откоса s определится из уравнения:

$$\left(f+k\right)s^4 + 4\left(1-kf\right)s^3 + 2\left(kf^2 - 3f - 2k\right)s^2 + 4f\left(f+k\right)s + f - k - 2kf^2 = 0.$$

Производную поверхности скольжения со стороны бермы, как и раньше, определяем из условия равенства ординат:

$$d\frac{\left(1+s^2\right)^2}{2s^3 - \left(k+3f\right)s^2 + 2kfs + k - f} = \frac{C\left(t^2-1\right)}{\gamma f}.$$

Условие в точке стыка имеет вид:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi - \mathrm{tg}\varphi}{1+\mathrm{tg}^2\psi} + \left(\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\psi\right)\frac{1 + 2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi - \mathrm{tg}^2\psi}{\left(1+\mathrm{tg}^2\psi\right)^2} - \left(\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\varphi'\right) = \frac{\lambda - \dfrac{C'}{\gamma}\left(1+\mathrm{tg}^2\beta\right)}{h}.$$

Высота точки излома выражается уравнениями:

$$h = d\frac{\left(1+\mathrm{tg}^2\psi\right)^2}{2\mathrm{tg}^3\psi-\left(k+3f\right)\mathrm{tg}^2\psi+2kf\mathrm{tg}\psi+k-f};\quad h = kx_0-\mathrm{tg}\beta x_0.$$

Абсцисса точки излома:

$$\frac{H}{k}-\int\limits_{\mathrm{tg}\psi}^{s}\frac{d\eta_2'(p)}{k-p}dp = x_0,$$

где $\eta_2'(p)$– производная функции по параметру p.

Система уравнений для определения d и H:

$$\begin{cases}\int\limits_0^{x_0}\left[\gamma\left(kx-\mathrm{tg}\beta x\right)\left(\mathrm{tg}\beta-\mathrm{tg}\varphi'\right)-C'\left(1+\mathrm{tg}^2\beta\right)\right]dx+\int\limits_{\mathrm{tg}\psi}^{s}\left[\frac{p-f}{1+p^2}d\gamma\eta_2(p)-C\right]\frac{d\eta_2'(p)}{k-p}dp+\\ +\frac{2C^2}{\gamma f}\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}^{t}\left[\frac{\left(p^2-1\right)\left(p-f\right)}{f}-\left(1+p^2\right)\right]dp=0;\\ \mathrm{tg}\beta x_0+\int\limits_{\mathrm{tg}\psi}^{s}\frac{d\eta_2'(p)}{k-p}pdp+\frac{2C}{\gamma f}\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}^{t}pdp+\frac{2C}{\gamma}\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)=H.\end{cases}$$

Данных уравнений достаточно для определения всех неизвестных. По результатам численного решения системы уравнений получены следующие значения геометрических параметров откоса и поверхности скольжения: $\left\{\lambda, s\ t\ d\ h\ x_0\ \mathrm{tg}\psi\ H\right\}^T = \left\{7,74\ 1,62\ 2,23\ 7,94\ 33,47\ 70,45\ 1,41\ 64,71\right\}^T$.

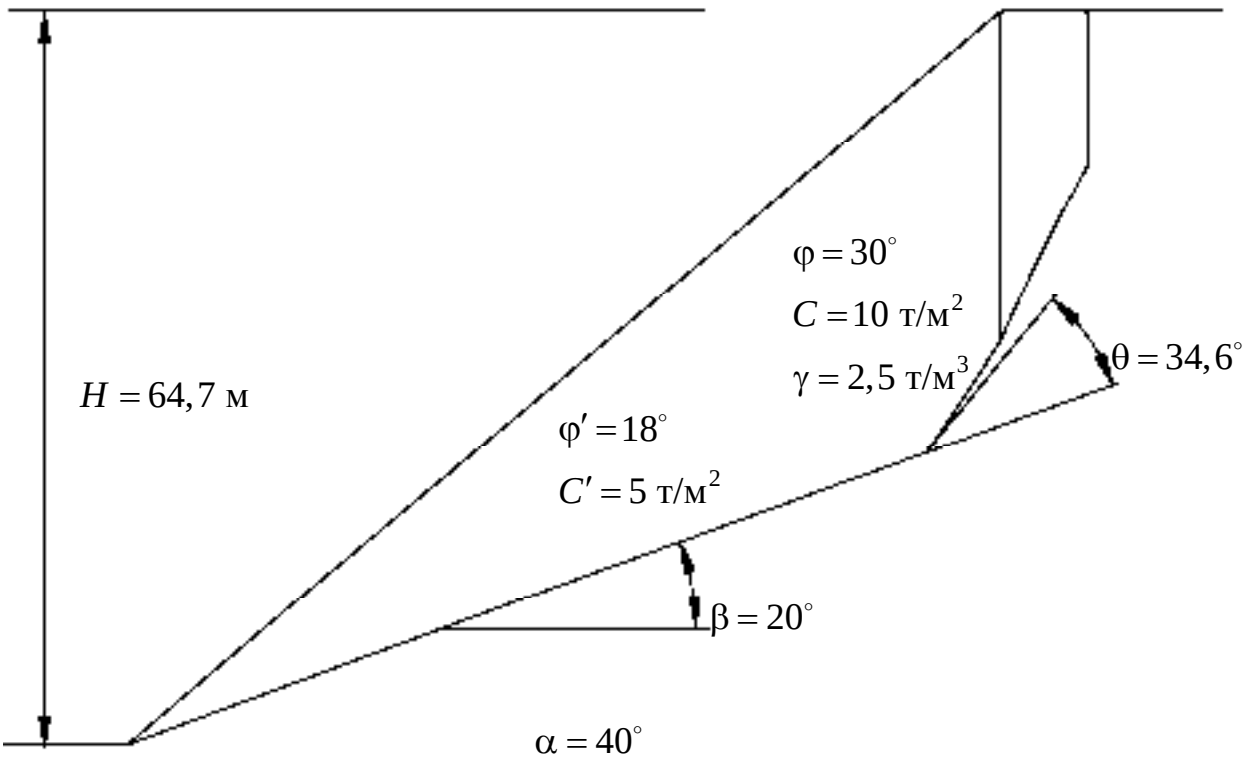


Рис. 2.21 Поверхность скольжения в анизотропном откосе

На рис. 2.21 показана поверхность скольжения и предельные параметры анизотропного откоса для рассмотренного примера.

В заключение отметим, что уравнениями (2.34), (2.35) не исчерпываются все условия в точках излома, которые могут иметь место при решении задач для неоднородных и анизотропных откосов.

Таким образом, необходимо решать задачи для анизотропного и неоднородного откосов в строгой теоретической постановке. В данных расчетах поверхность скольжения и граничные условия для ее построения обеспечивают максимум разности сдвигающих и удерживающих сил (обобщенной силе) на возможном перемещении призмы смещения.

2.4 Дополнительные вопросы оценки устойчивости откосов

2.4.1 Учет обводненности и сейсмичности

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. Численное значение силы определяется формулой:

$$D = \gamma_{\text{в}} h_{\text{в}} l ,$$

где $\gamma_{в}$ – объемный вес воды ($1\ \text{т}/\text{м}^3$); $h_{\text{в}} = \left(y_{\text{в}} - y \right)$ – высота столба воды; $y_{\text{в}}$ – функция депрессионной кривой; y – функция поверхности скольжения; l – протяженность обводненной части отсека (для подтопленного отсека равна длине площадки скольжения отсека).

Если проектируемый объект (дамба хвостохранилища, карьер и т. д.) находятся в сейсмоактивном регионе, то их проектирование (расчет) необходимо производить с учетом возможного сейсмического воздействия.

Механизм воздействия сейсмики на откос представляется следующим образом. В момент сейсмического события из гипоцентра (точка в массиве, где произошло высвобождение энергии, эпицентр – это его проекция на земную поверхность) начинают распространяться упругие сейсмические волны (волны напряжений), которые принято подразделять на продольные (создают нормальные напряжения и линейные деформации в массиве) и поперечные (создают касательные напряжения и угловые деформации). Распространение волн приводит к упругим колебаниям среды (частиц горной породы) с некоторым ускорением. Согласно принципу Даламбера, ускорение порождает сейсмическую инерционную силу, направленную противоположно. Таким образом, на каждый

отсек призмы смещения будет действовать сила, прямо пропорциональная его массе и ускорению частиц среды. Интенсивность сейсмического события (землетрясения) принято измерять в баллах. В нашей стране используется двенадцатибалльная система. Модуль сейсмической силы определяется по формуле:

$$F_{\text{с}} = \frac{1}{1-T_0^2} k_{\text{с}} P ,$$

где T_0 – период собственных колебаний частиц породы (весь множитель носит название «динамический коэффициент» и в практических расчетах принимается равным единице); $k_{\text{с}} = a/g$ – коэффициент сейсмичности, равный отношению ускорения сейсмической волны к ускорению свободного падения, определяется согласно табл. 2.4; P – вес рассматриваемого объема (отсека, блока).

Таблица 2.4

Коэффициент сейсмичности

Расчетная сейсмичность в баллах	6	7	8	9	10
Коэффициент сейсмичности $k_{\text{с}}$	0,01	0,025	0,05	0,10	0,25

Направление действия сейсмической силы большинство исследователей принимают горизонтальным. С другой стороны, как было доказано выше, общая реакция со стороны соседних отсеков направлена под углом $\vartheta_i - \varphi$ к горизонту в сторону массива, при этом она совершит максимальную (минимальную) работу. Таким образом, направление, противоположное данному будет являться самым уязвимым с точки зрения устойчивости. Поэтому примем это направление за направление действия сейсмической силы на каждый отсек. То есть направление сейсмической силы будет меняться от отсека к отсеку, то есть вдоль поверхности скольжения, что будет соответствовать максимально негативному влиянию сейсмики на откос, однако это всегда идет в запас устойчивости.

Таким образом, не приводя промежуточных выводов, условие равновесия откоса (призмы смещения) в условиях обводненности и сейсмичности, согласно (2.24), примет вид (интегралы заменены на суммы):

$$\begin{aligned}
&\sum_{\vartheta\le\varphi}\left[\frac{\gamma h\left(\operatorname{tg}\vartheta-\operatorname{tg}\varphi+k_{\text{с}}/\left(\cos\vartheta\cos\varphi\right)\right)-\left(C-\gamma_{\text{В}}h_{\text{В}}\operatorname{tg}\varphi\right)\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta\right)}{1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta}\right]\Delta+\\
&+\sum_{\vartheta>\varphi}\left[\frac{\gamma h\left(\operatorname{tg}\vartheta-\operatorname{tg}\varphi+k_{\text{с}}/\left(\cos\vartheta\cos\varphi\right)\right)-\left(C-\gamma_{\text{В}}h_{\text{В}}\operatorname{tg}\varphi\right)\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta\right)}{1+\operatorname{tg}^2\vartheta}\right]\Delta+\\
&+\sum\left[\gamma h\left(\operatorname{tg}\vartheta-\operatorname{tg}\varphi+k_{\text{с}}/\left(\cos\vartheta\cos\varphi\right)\right)-\left(C-\gamma_{\text{В}}h_{\text{В}}\operatorname{tg}\varphi\right)\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta\right)\right]\Delta=0,
\end{aligned} \qquad (2.36)$$

где h – высота отсека; Δ – ширина отсека.

Разумеется, не представляет никакого труда записать условие равновесия призмы смещения (2.36) через коэффициент устойчивости.

2.4.2 Расчет подработанных и закарстованных откосов

В принципе расчет устойчивости подработанных откосов или откосов при наличии в породах карста (с известным местоположением) ничем не отличается от расчета неоднородного откоса. И действительно, подработка бортов карьера влечет за собой снижение прочностных характеристик массива и, прежде всего, величины сцепления. То же можно сказать и про карст. Поэтому задача в этом случае сводится к определению условий преломления поверхности скольжения на карсте или ослабленном подземными горными работами участке массива горных пород.

Рассмотрим пример расчета откоса, подработанного подземными горными работами. Пусть требуется определить размер целика, горизонтально залегающего тела полезного ископаемого, необходимого для обеспечения устойчивого состояния борта карьера (рис. 2.22).

Заменим с незначительной погрешностью границу областей плавных сдвижений и сдвижений с разрывом сплошности прямой линией, проведенной под углом разрыва β'' (см. рис. 2.22), и поместим начало координат в нижнюю точку откоса. Уравнение данной границы будет иметь вид:

$$y = -\mathrm{tg}\beta''\left(x - d\right), \qquad (2.37)$$

где d – размер целика.

Будем предварительно считать, что поверхность скольжения преломится на границе областей под откосом, а углы ее наклона по обе стороны от границы будут превышать соответствующие углы внутреннего трения.

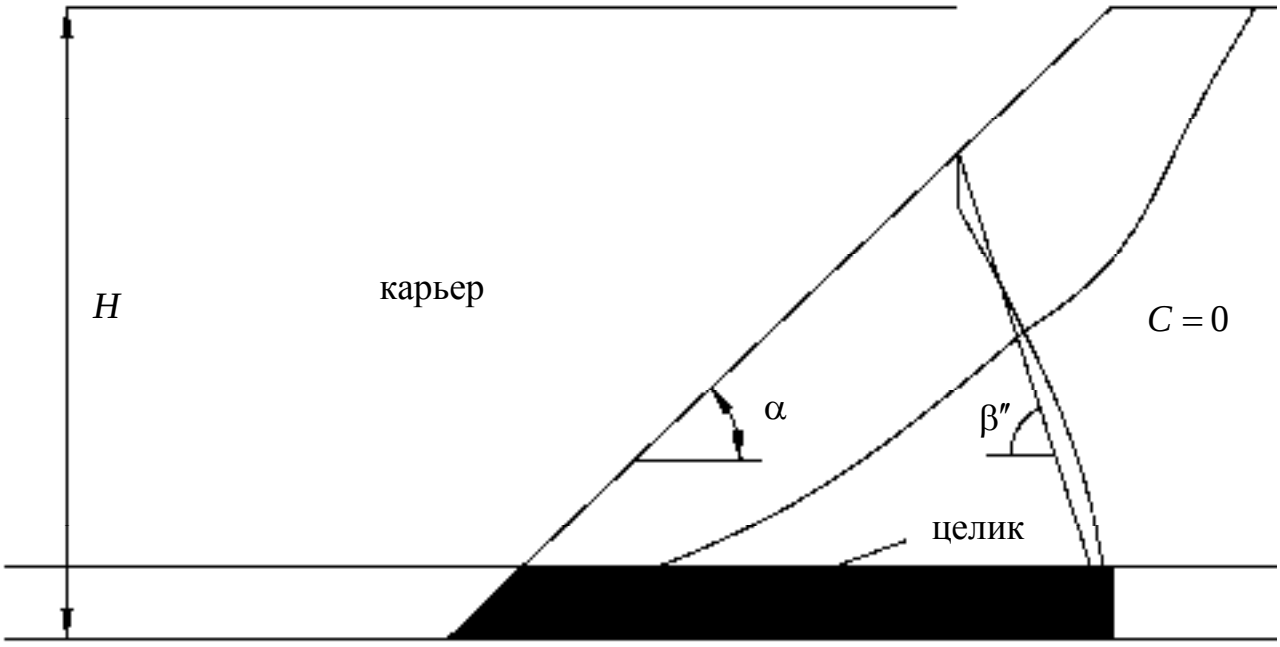


Рис. 2.22 Схема подработанного откоса

Пусть имеем борт карьера высотой $H = 200$ м, углом $\alpha = 40^\circ$, физико-механические характеристики целиковой части массива горных пород равны: $\gamma = 2{,}5$ т/м^3; $C = 10$ т/м^2; $\varphi = 35^\circ$. Вследствие подработки части прибортового массива его механические характеристики снизились и имеют следующие значения: $\gamma_1 = 2{,}5$ т/м^3; $C_1 = 0$ т/м^2; $\varphi_1 = 30^\circ$. Угол разрыва $\beta'' = 70^\circ$.

Поверхность скольжения, как и в рассмотренном выше примере для неоднородного откоса, будет состоять из четырех участков. В целиковой части поверхность скольжения описывается, как и раньше, уравнениями:

$$kx - y_1 = \lambda \frac{(kf - 1)y_1'^2 + 2(k + f)y_1' + 1 - kf}{fy_1'^2 - 2f^2 y_1' + k - f + kf^2} \equiv \lambda \eta_1(p), \quad -\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha + \varphi}{2}\right) \le y_1' \le \mathrm{tg}\varphi;$$

$$kx - y_2 = \lambda \frac{1 + kf}{1 + f^2} \frac{\left(1 + y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - (k + 3f)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f} \equiv \lambda \eta_2(p), \quad y_2' > \mathrm{tg}\varphi.$$

На границе областей с разными физико-механическими свойствами происходит излом поверхности скольжения, после излома поверхность скольжения под откосом описывается уравнением:

$$kx - y_3 = b \frac{\left(1 + y_3'^2\right)^2}{2y_3'^3 - (k + 3f_1)y_3'^2 + 2kf_1 y_3' + k - f_1} \equiv b\eta_3(p),$$

где b – постоянная.

Так как породы в подработанной части массива не обладают сцеплением (связностью), наиболее опасная поверхность скольжения определяется не экстремумом функционала, а экстремумом функции разности сдвигающих и удерживающих сил на площадке среза. Наибольшее главное напряжение совпадает с весом пород, а угол наклона критической площадки не зависит от величины сцепления, поэтому уравнение поверхности скольжения под бермой имеет вид:

$$y_4 = \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2}\right)x + m, \tag{2.38}$$

где m – постоянная.

Сумма сил на участке бермы подсчитывается при помощи следующего интеграла:

$$\int \left[\gamma(H - y_4)(y_4' - f_1)\right] dx. \tag{2.39}$$

Условие в точке излома, как и раньше, имеет вид:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi - \mathrm{tg}\varphi}{1 + \mathrm{tg}^2\psi} - \frac{\mathrm{tg}\omega - \mathrm{tg}\varphi_1}{1 + \mathrm{tg}^2\omega} + (-\mathrm{tg}\beta'' - \mathrm{tg}\psi)\frac{1 + 2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi - \mathrm{tg}^2\psi}{\left(1 + \mathrm{tg}^2\psi\right)^2} -$$

$$-(-\mathrm{tg}\beta'' - \mathrm{tg}\omega)\frac{1 + 2\mathrm{tg}\varphi_1\mathrm{tg}\omega - \mathrm{tg}^2\omega}{\left(1 + \mathrm{tg}^2\omega\right)^2} = \frac{\lambda\left(1 - \frac{C_1}{C}\right)}{h},$$

где ψ, ω – соответственно углы наклона поверхности скольжения до и после преломления на границе областей; h – глубина точки излома.

Глубина точки излома определяется условиями:

$$h = b\frac{\left(1+\mathrm{tg}^2\omega\right)^2}{2\mathrm{tg}^3\omega-\left(k+3f_1\right)\mathrm{tg}^2\omega+2kf_1\mathrm{tg}\omega+k-f_1};$$

$$h = \lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\frac{\left(1+\mathrm{tg}^2\psi\right)^2}{2\mathrm{tg}^3\psi-\left(k+3f\right)\mathrm{tg}^2\psi+2kf\mathrm{tg}\psi+k-f}.$$

Абсцисса точки излома с учетом (2.37) определяется уравнениями:

$$kx_0 - h = -\mathrm{tg}\beta''\left(x_0 - d\right);$$

$$\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp+\int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp = x_0.$$

Тангенс угла наклона (производная) поверхности скольжения в точке стыка откоса и бермы, как и раньше, определяется из уравнения:

$$\left(f_1+k\right)s^4+4\left(1-kf_1\right)s^3+2\left(kf_1^2-3f_1-2k\right)s^2+4f_1\left(f_1+k\right)s+f_1-k-2kf_1^2=0.$$

Постоянную m в уравнении поверхности скольжения под бермой (2.38) определим из условия равенства ординат в точке стыка участков поверхностей скольжения:

$$b\frac{\left(1+s^2\right)^2}{2s^3-\left(k+3f_1\right)s^2+2kf_1s+k-f_1}=H-\left(\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)\frac{H}{k}+m\right).$$

Глубину поверхности скольжения в точке стыка участков откоса и бермы h_1 определяем из условия:

$$h_1 = H-\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)\frac{H}{k}-m.$$

И, наконец, система уравнений, требующая выполнения условия предельного равновесия и осуществляющая связь λ, b и H:

$$\begin{cases}\displaystyle\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi}\left[\frac{\gamma\left(p-f\right)}{1+fp}\lambda\eta_1(p)-\frac{C\left(1+p^2\right)}{1+fp}\right]\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp+\int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\left[\frac{\gamma\left(p-f\right)}{1+p^2}\lambda\eta_2(p)-C\right]\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp+\\ +\displaystyle\int\limits_{\mathrm{tg}\omega}^{s}\left[\frac{\gamma\left(p-f_1\right)}{1+p^2}b\eta_3(p)-C_1\right]\frac{b\eta_3'(p)}{k-p}dp+\int\limits_{H/k}^{H/k+h_1/\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)}\left[\gamma\left(H-\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)x-m\right)\left(\sqrt{1+f_1^2}\right)\right]dx=0;\\ \displaystyle\int\limits_{\mathrm{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\mathrm{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp+\int\limits_{\mathrm{tg}\varphi}^{\mathrm{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp+\int\limits_{\mathrm{tg}\omega}^{s}\frac{b\eta_3'(p)}{k-p}dp=\frac{H}{k}.\end{cases}$$

Составленных выше условий достаточно для определения всех неизвестных. По результатам численного решения рассматриваемого примера, получены параметры, определяющие наиболее опасную поверхность скольжения и размер охранного целика:

$\{\mathrm{tg}\psi\ \mathrm{tg}\omega\ s\ \lambda\ bx_0\ h\ h_1\ m\ d\}^T = \{0,78\ 0,91\ 1,62\ 3,80\ 7,53\ 163,57\ 48,34\ 27,57\ -240,41\ 195,93\}^T$.

На рис. 2.23 приведена поверхность скольжения и целик, соответствующие предельному равновесию откоса для рассматриваемого примера.

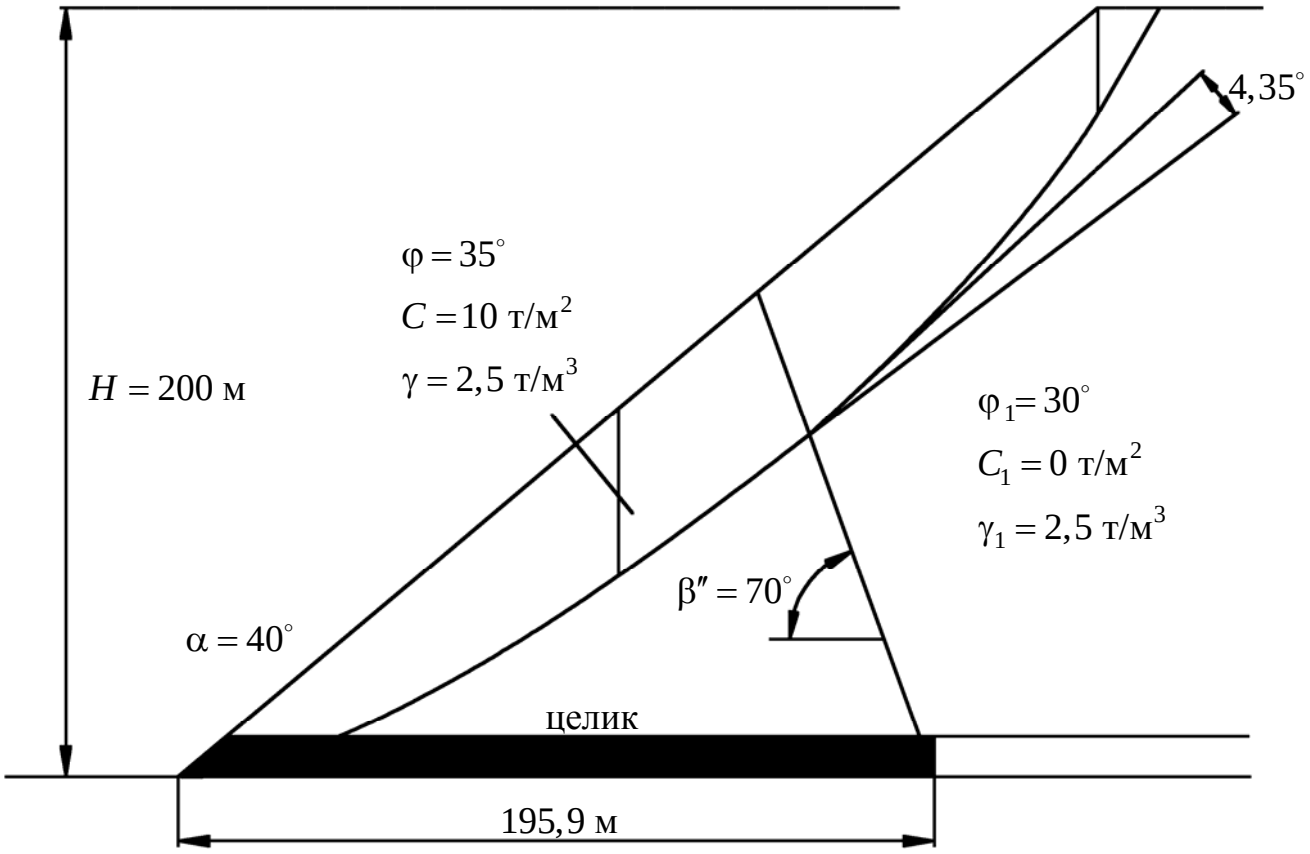


Рис. 2.23. Пример расчета подработанного откоса

Для рассматриваемого примера размер целика должен составлять не менее $d = 196$ м. Отметим, что из приведенных уравнений могут быть также определены и предельная высота борта, и угол устойчивого откоса.

Уменьшение размеров целика относительно расчетной величины приведет к увеличению области сдвижения с разрывом сплошности и, как следствие, разуплотнению “естественной упаковки” и снижению величины сцепления горного массива. Сдвигающие силы превысят удерживающие, и произойдет нарушение устойчивости борта карьера.

2.4.3 Построение устойчивых откосов выпуклого профиля

Профиль создаваемых бортов карьера может быть вогнутым, плоским и выпуклым. Можно показать, что найдутся такие профили вогнутого, плоского и выпуклого откосов, которые, при прочих равных условиях, будут обладать равной степенью устойчивости (одинаковый коэффициент устойчивости). Такие профили (формы откоса) принято называть равноустойчивыми. Как отмечалось выше, для условий открытой разработки наиболее выгодной формой откоса является выпуклая, она позволяет минимизировать объемы вскрышных работ. Кроме того, фактически единственным условием, ограничивающим примене-

ние выпуклой формы откоса, является наличие слабого слоя в основании откоса, что конечно встречается крайне редко. Помимо этого выпуклый откос является более логичным, в верхней части залегают рыхлые породы, и поэтому угол откоса уступов там небольшой, ниже залегают скальные породы, но достаточно выветрелые и трещиноватые, с глубиной интенсивность трещиноватости уменьшается, поэтому и угол нижней части борта принимает максимально возможное значение.

Большое значение в разработку методики расчета выпуклых откосов (определения формы выпуклого откоса) внес В. Т. Сапожников. Ему принадлежит разработка основ способа построения откосов выпуклого профиля с применением метода предельного напряженного состояния. В силу ряда причин, частично рассмотренных выше, методика обоснования выпуклой формы откосов с применением метода предельного напряженного состояния применения не находит. Однако на ее основе удалось создать упрощенную методику, суть которой заключается в следующем. Для ряда высот $\frac{1}{3}H$, $\frac{2}{3}H$ и H (если откос по высоте разбиваем на три части), с помощью графика (2.16) определяются предельные значения углов откоса, а по ним вычисляются значения предельных заложений L_1, L_2 и L_3 откосов. По данным значениям отстраивается выпуклый откос (рис. 2.24).

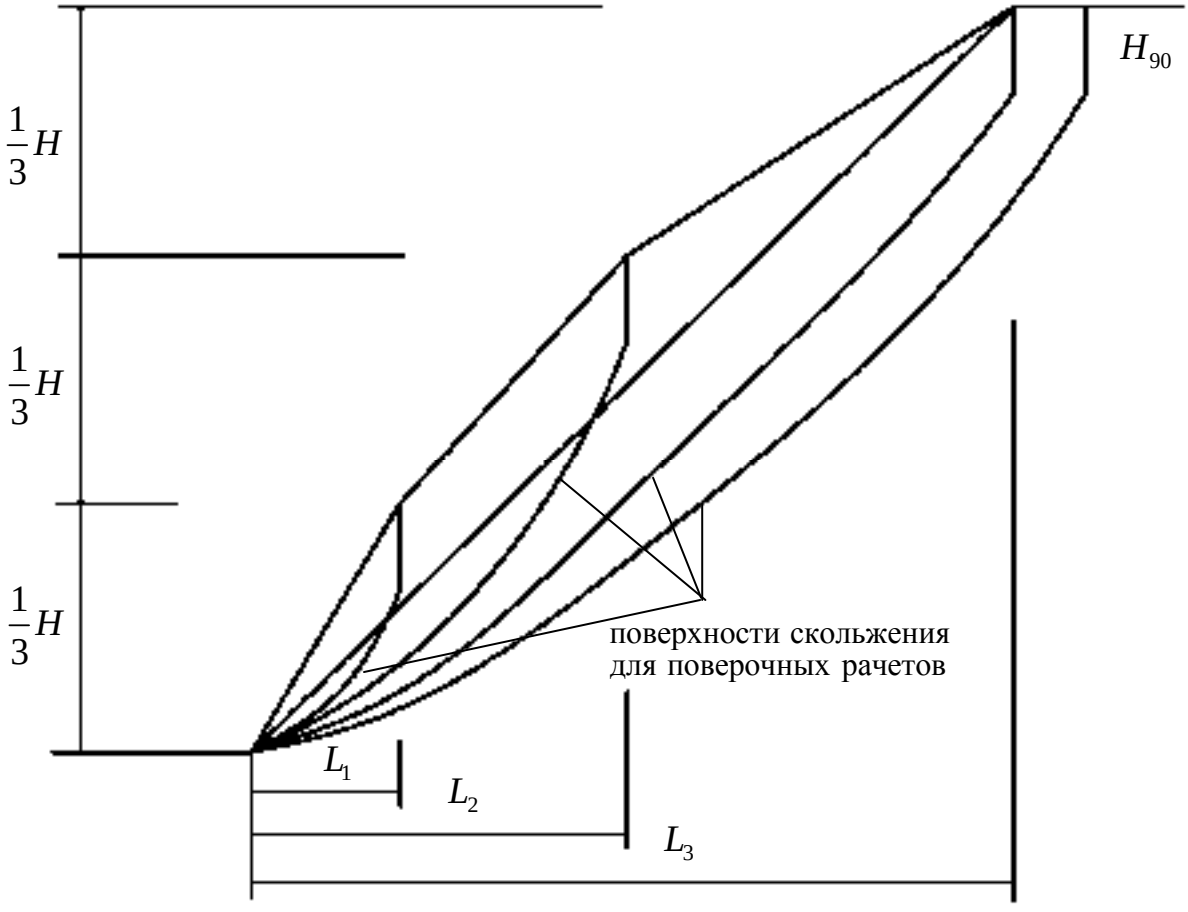


Рис. 2.24 Построение откоса выпуклого профиля

Для уточнения степени устойчивости выпуклого откоса производят обязательные поверочные расчеты (см. рис. 2.24). В случае если для какой-либо высоты не выполняется условие устойчивости, производится выполаживание соответствующего участка выпуклого борта.

2.4.4 Устойчивость откосов криволинейных в плане

Устойчивость вогнутых в плане бортов карьеров выше, чем прямолинейных и тем более выпуклых. Это связано с дополнительными силами бокового распора, действующими по боковым граням призмы смещения. Степень влияния сил бокового распора зависит от конфигурации борта в плане, геологического строения массива, соотношения протяженности борта и его высоты.

Угол борта карьера на зажатом участке определяется по формуле:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha,$$

где $\alpha_{пл}$ – предельный угол плоского откоса; $\Delta\alpha$ – поправка к плоскому углу откоса за зажим (определяется согласно графику (рис. 2.25)).

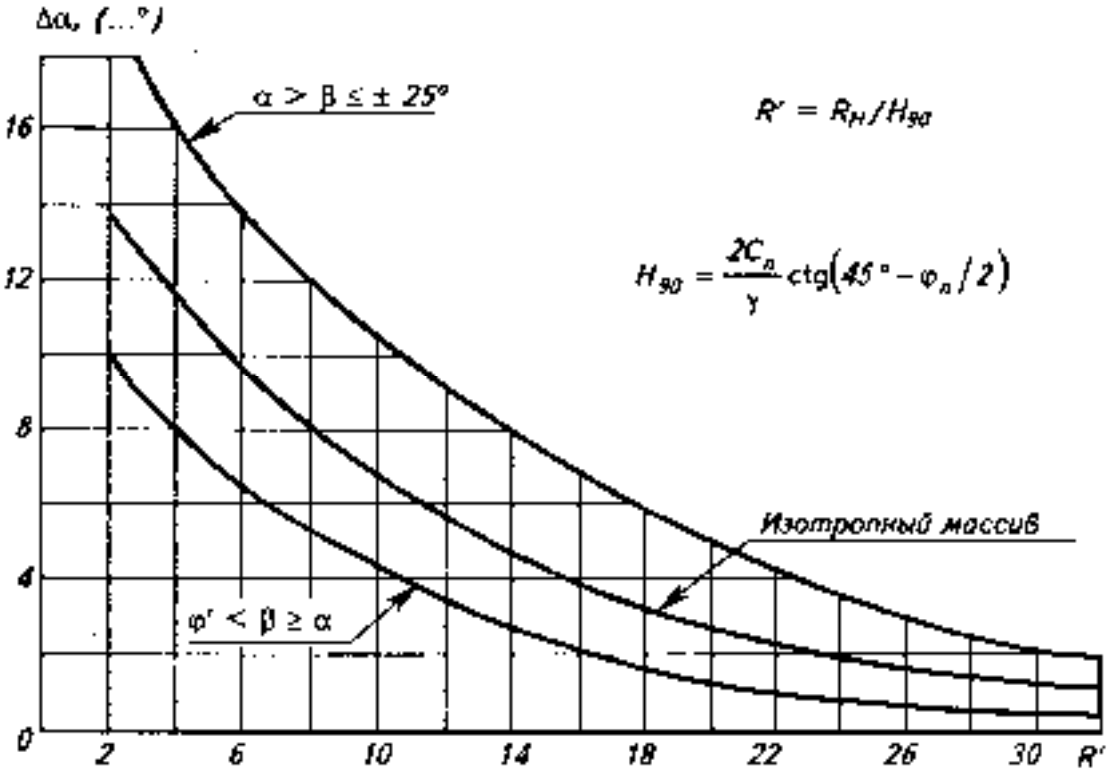


Рис. 2.25 График для определения поправки к углу наклона откоса от радиуса кривизны нижней бровки выемки

Для определения поправки к углу откоса необходимо на плане измерить радиус кривизны нижней бровки откоса зажатого участка $R_Н$ и по графику

(рис. 2.25) определить поправку, предварительно рассчитав условный радиус $R_{\text{Н}} / H_{90}$.

2.5 Моделирование геомеханических процессов

2.5.1 Моделирование эквивалентными материалами

Моделирование как метод научного познания широко применяется в различных отраслях науки. Оно позволяет получать как принципиально новые результаты, так и предварительные материалы, необходимые для постановки более широких опытов в натуре. Часто моделирование является органической частью аналитических методов исследования, подтверждая правильность принятых предположений и корректируя полученные решения.

Методы моделирования, особенно в горном деле, достаточно эффективны, а иногда единственно возможны при исследовании натурных объектов, недоступных для непосредственного эксперимента. Обычно при исследовании какого-либо конкретного процесса полагают, что модель лишь частично отображает данный натурный объект, т. е. при исследовании каких-либо сторон процесса могут потребоваться другие модели, построенные по иным принципам.

Процессы, происходящие в природе, характеризуются рядом параметров и переменных, определяющих их развитие в пространстве и во времени и связанных между собой уравнением или системой уравнений (обычно дифференциальных). Наличие определенных функциональных связей между параметрами и переменными физического явления и есть объективная причина для постановки исследования данного явления на модели. При этом знание уравнений или точного вида функциональных связей будет достаточным, но не необходимым условием возможности построения модели.

Различают полное и неполное подобия натурного объекта и его модели. При полном подобии в качестве объекта натуры принимается все многообразие параметров и переменных вместе с уравнениями связи между ними. В этом случае под моделью также следует понимать возможно полное отображение данных параметров и переменных.

При неполном подобии под объектом натуры понимается не вся совокупность физических явлений, происходящих в нем, а лишь некоторый ограниченный комплекс их, в данном случае наиболее интересующий исследователя. При этом и модель отражает не весь объект натуры, а лишь те его стороны, которые подлежат изучению по выбору исследователя. Обычно исследователь не располагает полными сведениями относительно натурного объекта и происходящих в нем процессов. Таким образом, чаще реализуется второй случай, и исследованию на моделях подлежат лишь некоторые стороны изучаемого объекта натуры, считающиеся основными.

Характерной чертой физического моделирования как метода научного исследования является то, что в конечном итоге модель представляет собой также некоторый физический объект, на котором познаются явления и процессы, происходящие в натуре. Данные, полученные на модели, не являются самоце-

лью, они обязательно должны быть перенесены на натурный объект. В этом смысле весьма важным является вопрос о степени абстрагирования модели и о подобии ее натурному объекту.

Теория подобия определяет необходимые соотношения подобия, в соответствии с которыми при моделировании реальный натурный объект заменяется некоторой его моделью. Теория подобия определяет необходимые соотношения подобия, в соответствии с которыми при моделировании реальный натурный объект заменяется некоторой его моделью. При решении задач горной геомеханики наибольшее применение получили следующие методы моделирования: метод эквивалентных материалов, поляризационно-оптический метод, центробежный метод, метод структурных моделей, метод электроаналогий.

В горном деле наибольшее распространение получил метод эквивалентных материалов. Данным методом в разные времена решались самые различные горно-технические задачи. Для однородных пород решались задачи, целью которых являлось отыскание потенциальной поверхности скольжения, проверка обоснованности существующих методов расчета откосов, установление влияния кривизны борта в плане на его устойчивость, определение шага укрепления оползневых масс и т. д. Метод эквивалентных материалов позволяет также изучать явления, происходящие в слоистых откосах. В связи с большим значением моделирования эквивалентными материалами выработан методический подход по подбору и определению физико-механических и деформационных свойств смесей.

Моделирование методом эквивалентных материалов основано на замене естественных горных пород натуры такими искусственными материалами в модели, показатели физико-механических свойств которых находятся в определенных соотношениях с аналогичными показателями тех же свойств пород натуры. Эти соотношения определяются на основании общих положений теории механического подобия и обеспечивают достижение близкой аналогии в протекании геомеханических процессов, происходящих в натуре и в модели под действием гравитационных сил.

Метод эквивалентных материалов позволяет воспроизводить в модели различное строение толщи пород и полезного ископаемого и осуществлять в достаточном приближении к натуре производство всех основных горно-технических операций по выемке полезного ископаемого.

Критерии и константы подобия, необходимые для расчета модели, эквивалентной натуре, выводят из дифференциальных уравнений связи, характеризующих данное физическое явление. Однако если исследуемое явление отличается большой сложностью, обусловленной значительным числом действующих факторов, связь между которыми еще слабо изучена, то не удается с достаточной обоснованностью составить необходимые физические уравнения связи даже в дифференциальной форме.

В этих случаях для установления необходимых критериев и констант подобия используется общий закон динамического подобия Ньютона наряду с применением метода размерностей:

$$\frac{F_{\text{М}}}{l^2\gamma_{\text{М}}v_{\text{М}}^2}=\frac{F_{\text{Н}}}{L^2\gamma_{\text{Н}}v_{\text{Н}}^2}=N_{\text{e}},$$

где $F_{\text{М}}$, $\gamma_{\text{М}}$, l, $v_{\text{М}}$ и $F_{\text{Н}}$, $\gamma_{\text{Н}}$, L, $v_{\text{Н}}$ – сила, плотность, протяженность и скорость соответственных элементов модели и натуры; N_{e} – безразмерное число (критерий подобия).

В большинстве случаев в толще пород, окружающих горные выработки, основной действующей силой является сила тяжести, вызывающая появление напряжений в толще пород и последующее перераспределение этих напряжений при проведении выработок. Принимая, что эти силы, наряду с подобием геометрических свойств рассматриваемой механической системы, начального его состояния и граничных условий, определяют однозначно поведение этой системы. Ниже приводится перечень констант подобия, соблюдение которых наряду с геометрическим подобием модели должно обеспечить подобие механических процессов натуры и модели.

Основные условия подобия процессов разрушения имеют следующий вид:

$$\begin{cases}\sigma_{\text{М}}^{\text{c}}=\alpha_l^{-1}\alpha_\gamma^{-1}\sigma_{\text{Н}}^{\text{c}}\\ \sigma_{\text{М}}^{\text{p}}=\alpha_l^{-1}\alpha_\gamma^{-1}\sigma_{\text{Н}}^{\text{p}}\\ C_{\text{М}}=\alpha_l^{-1}\alpha_\gamma^{-1}C_{\text{Н}}\\ \text{tg}\varphi_{\text{М}}=\text{tg}\varphi_{\text{Н}}\end{cases},$$

где индексы “М” и “Н” относятся соответственно к материалам модели и натуры; σ^{c}, σ^{p} – соответственно пределы прочности при сжатии и растяжении; C, φ – сцепление и угол внутреннего трения; α_l – линейный масштаб модели; α_γ – отношение объемного веса пород в натуре к объемному весу материала модели.

В самом простейшем случае, при моделировании разрушения однородных откосов, при равенстве углов откоса и внутреннего трения модели и натуры, необходимо выполнения равенства

$$\frac{C_{\text{М}}}{\gamma_{\text{М}}H_{\text{М}}}=\frac{C_{\text{Н}}}{\gamma_{\text{Н}}H_{\text{Н}}}.$$

Для проведения испытаний используется стенд, представляющий собой ящик в форме прямоугольного параллелепипеда. Размеры основания 1,5х1,5 м, высота 1,0 м (размеры могут быть и другими, однако чем больше размеры стенда, тем представительнее эксперимент). Стенд выполняется из уголкового стального прокатного профиля. Нижняя, задняя и боковые грани закрыты листами ДСП, толщиной 20 мм. Верхняя и передняя грани открыты. Для придания жесткости данной конструкции использовались металлические стяжки (по две для крепления двух уголков каждой грани) (рис. 2.26). Вся конструкция собрана болтовыми соединениями.

В качестве эквивалентного материала применяется, как правило, кварцевый песок. Для утяжеления эквивалентного материала, с целью выполнения критерия подобия, используется буровая дробь.

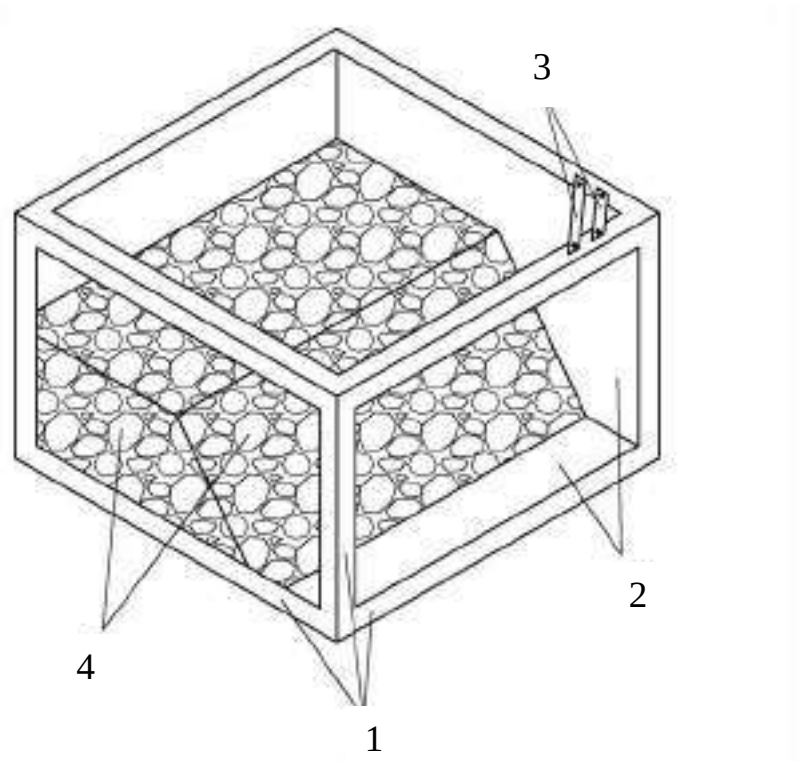




Рис. 2.26 Стенд для моделирования эквивалентными материалами:
1 – стальной уголок; *2* – листы ДСП; *3* – металлические стяжки;
4 – эквивалентный материал

Цели моделирования могут быть различными, начиная от моделирования конкретного натурного объекта до сугубо научных, направленных на исследование каких-либо общих закономерностей процесса.

Порядок проведения одного испытания следующий.

1. Эквивалентный материал слоями 15 – 20 см закладывается в стенд и уплотняется определенной нагрузкой.

2. Угол откоса модели увеличивается с небольшим шагом до полного обрушения. Угол откоса может быть увеличен либо подрезкой эквивалентного материала, либо наклоном стенда специальными домкратами.

3. Производится геометрическая привязка (съемка) оползня или обрушения с определениями предельных параметров обрушенной модели.

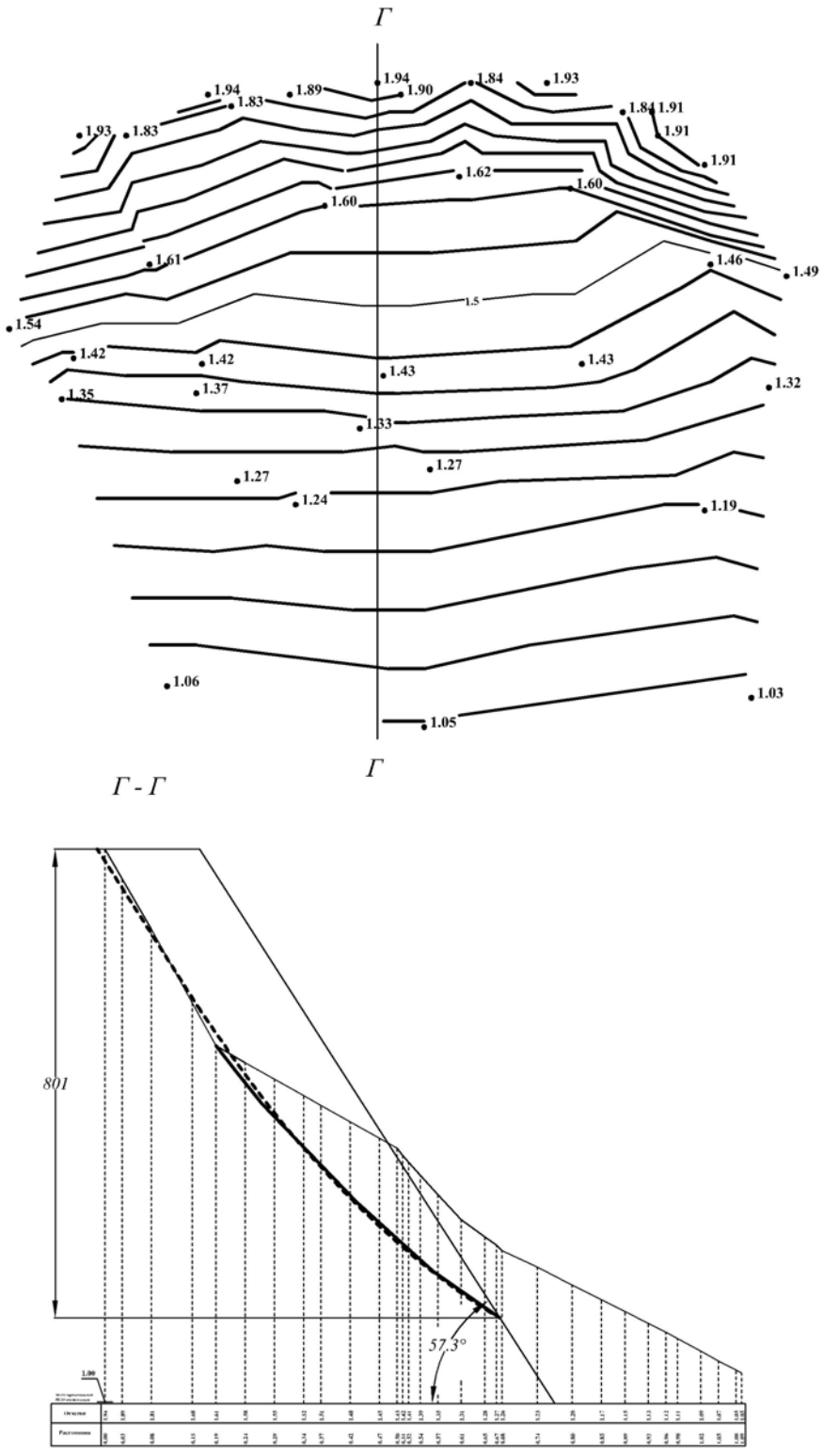


Рис. 2.27 План и профиль обрушения модели из эквивалентного материала

Камеральная обработка данных по обрушению откоса производится в следующем порядке.

1. По данным съемки обрушения модели создается цифровая модель рельефа.

2. Строится профиль обрушения и откоса до обрушения.

На рис. 2.27 в качестве примера представлен план и профиль откоса модели. Пунктиром на профиле показана теоретическая поверхность скольжения, а сплошной линией – фактическая.

Свойства материала модели могут быть определены методом обратного расчета и уточняться по мере накопления данных.

Фактически для изучения конкретного горного объекта можно создать модель из эквивалентных материалов любой сложности (геометрии), однако,главной проблемой остается низкое знание свойств реального горного массива, то есть соблюдение критерия подобия.

2.5.2 Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния откосов

В настоящее время для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) горных массивов используется аппарат механики сплошной среды и, прежде всего, теории упругости. С помощью математического моделирования исследуется НДС в различных целиках, определяются зоны концентраций напряжений в пределах шахтных полей, исследуются процессы сдвижения горных пород (особенно на месторождениях углеводородов) и т. д. В последнее время для исследования процессов сдвижения на месторождениях твердых полезных ископаемых методы механики сплошной среды стали вытесняться методами моделирования дискретными средами в связи с особенностями процесса сдвижения, однако при исследовании других процессов теория упругости (пластичности) имеет самое широкое распространение. Кроме того, для моделирования процессов с использованием дискретных сред необходимо располагать большим количеством трудноопределимых параметров горного массива (проблема параметрического обеспечения). С другой стороны, при использовании теории упругости необходимо располагать только двумя параметрами – модулем упругости E и коэффициентом поперечного расширения ν. Безусловно, и константы упругости сложно устанавливаются (усредняются) для горного массива и сама модель линейной упругости не всегда и не во всех областях адекватно описывает НДС, однако для предварительных расчетов и установления качественной картины процессов можно рекомендовать к использованию аппарат механики сплошных сред.

Полная система уравнений теории упругости:

Уравнения равновесия (сжимающие напряжения положительные):

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}=X;$$
$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}=Y;$$
$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}=Z,$$

где X,Y,Z – объемные силы; σ,τ – соответственно нормальные и касательные компоненты тензора напряжений.

Соотношения Коши:

$$\varepsilon_x=\frac{\partial u}{\partial x};\quad \gamma_{xy}=\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x};$$
$$\varepsilon_y=\frac{\partial v}{\partial y};\quad \gamma_{yz}=\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y};$$
$$\varepsilon_z=\frac{\partial w}{\partial z};\quad \gamma_{zx}=\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z},$$

где u,v,w – компоненты вектора смещений точек; ε,γ – соответственно нормальные и касательные компоненты тензора деформаций.

Обобщенный закон Гука:

$$\varepsilon_x=\frac{1}{E}\left[\sigma_x-\nu\left(\sigma_y+\sigma_z\right)\right];\quad \gamma_{xy}=\frac{\tau_{xy}}{G};$$
$$\varepsilon_y=\frac{1}{E}\left[\sigma_y-\nu\left(\sigma_z+\sigma_x\right)\right];\quad \gamma_{yz}=\frac{\tau_{yz}}{G};$$
$$\varepsilon_z=\frac{1}{E}\left[\sigma_z-\nu\left(\sigma_x+\sigma_y\right)\right];\quad \gamma_{zx}=\frac{\tau_{zx}}{G},$$

где $G=\dfrac{E}{2(1+\nu)}$ – модуль сдвига.

Таким образом, задача теории упругости сводится к решению системы 15 дифференциальных и алгебраических уравнений при заданных граничных условиях. Система уравнений теории упругости не имеет общего решения.

Строгое аналитическое решение задач механики сплошной среды представляет известные математические сложности, даже в случае линейной упругой среды. Существующие известные решения: задача Динника, Кирша, Фламана, Буссинеска и немногие другие являются тем пределом, которого, по сути, удалось достичь за время существования науки. Обобщение рассматриваемых задач приводит к разрывным решениям, что представляет скорее математический интерес, нежели механический. Поэтому применяются различные приближенные решения задач механики сплошной среды. На сегодняшний день для решения задач механики сплошной среды (теории упругости, пластичности и т. д.) наибольшее распространение получил *метод конечных элементов*.

Существует большое число формулировок и интерпретаций метода конечных элементов при решении задач механики сплошной среды и, прежде всего, задач теории упругости. Главная идея МКЭ заключается в замене дифференциальных уравнений теории сплошной среды системой линейных алгебраических уравнений. Это становится возможным в связи с переходом от системы с бес-

конечным числом степеней свободы (сплошное тело состоит из бесконечного числа точек, каждая из которых имеет три степени свободы) к системе, состоящей из конечного числа взаимодействующих материальных точек (узлов). Требуя выполнения условий равновесия или сплошности в узлах, определяют неизвестные перемещения и узловые силы. Таким образом, отыскивается не приближенная функция смещений точек рассматриваемой области, а смещения конкретных точек области.

Основной процедурой МКЭ является представление сплошного тела в виде некой модели, состоящей из точек (узлов), соединенных условными линиями (стержнями), ограничивающих объемы (конечные элементы). Таким образом, континуум (сооружение) анализируется по множеству конечных элементов. Далее для решения задачи обращаются к фундаментальным понятиям механики – перемещениям и силам. Конечно-элементная сетка разбивается таким образом, чтобы все известные силы и перемещения (граничные условия задаются либо в нагрузках (напряжениях), либо в перемещениях) были приурочены к ее узлам. Очевидно, что точность решения задачи возрастает с увеличением количества элементов. Однако в отличие от метода конечных разностей точностью МКЭ можно управлять, то есть сгущать сетку конечных элементов в тех частях тела, где необходимы более достоверные результаты. Таким образом, в начале расчета будем иметь узлы с известными и неизвестными узловыми силами и перемещениями. Так, например, если в узле отсутствует внешняя сила, то в уравнении необходимо положить ее нулевое значение, а неизвестными в этом узле будут компоненты перемещения. То есть перед началом расчета будем располагать одинаковым количеством известных и неизвестных узловых сил и перемещений. Важно отметить, что уравнения, в которых неизвестными являются узловые силы, а не перемещения, являются избыточными и могут быть отброшены.

Из вышесказанного очевидно, что решение задач при помощи МКЭ немыслимо без применения матричного анализа и, как следствие, ЭВМ. Основным уравнением метода является матричное уравнение, связывающее узловые силы и перемещения. Матрица связи компонентов называется матрицей жесткости системы. Неизвестные узловые перемещения и силы определяются через матрицу жесткости, которая выводится методами строительной механики стержневых систем (метод сил, метод перемещений) или, в более общей постановке, при помощи вариационных принципов (принцип минимума полной потенциальной энергии системы Лагранжа-Дирихле, принцип Кастильяно, принцип виртуальных работ). Когда узловые силы и перемещения определены, при помощи конечно-разностного представления уравнений Коши или из геометрических соображений определяются компоненты средних деформаций в конечном элементе (деформации по всему объему элемента можно считать постоянными или же производить аппроксимацию смещений от узла к узлу с соответствующим пересчетом деформаций), по которым определяют напряжения, используя закон Гука.

Рассмотрим кратко основы метода конечных элементов для плоской задачи теории упругости.

Согласно теореме Клапейрона, потенциальная энергии деформации для одного конечного элемента:

$$U = \frac{1}{2}\int_S \left[\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy} \right] dS .$$

Считая напряжения и деформации постоянными в пределах конечного элемента, его потенциальную энергию деформации будем определять формулой:

$$U = \frac{1}{2}\left[\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy} \right] S ,$$

где S – площадь конечного элемента.

Выражая в обобщенном законе Гука напряжения через деформации, а последние, при помощи соотношений Коши (в конечных разностях), через перемещения узлов конечного элемента, получим функцию потенциальной энергии деформации, где в качестве аргументов будут выступать неизвестные смещения. Заметим, что, так как обобщенный закон Гука выражает линейную связь между напряжениями и деформациями, а соотношения Коши линейную связь между смещениями узлов элемента и его деформацией, то функция потенциальной энергии деформации будет являться квадратичной в отношении перемещений узлов элемента. Работа внешних сил для одного элемента равна сумме произведений узловых сил на перемещения соответствующих узлов элемента и в общем случае является линейной функцией перемещений.

$$A = \sum_{i=1}^{n} (R_{1x} u_1 + R_{1y} v_1 + R_{2x} u_2 + R_{2y} v_2 + \ldots R_{nx} u_n + R_{ny} v_n) ,$$

где A – работа внешних сил (включая объемные); n – число узлов в элементе; R, u, v – узловые силы и перемещения по осям координат.

Объемные силы учитываются как внешние, соответствующим приурочиванием их к конкретным узлам конечно-элементной модели.

Для определения полной энергии рассматриваемой области (системы) необходимо просуммировать полную энергию по всем элементам:

$$П = \sum_{i=1}^{k} (U - A),$$

где k – количество конечных элементов в системе.

Таким образом, будем иметь полную энергию сплошного упругого тела как функцию перемещений узлов конечно-элементной модели, причем квадратичную функцию. Согласно принципу Лагранжа-Дирихле, только истинные смещения узлов обеспечивают минимум полной энергии системы. Таким образом, для нахождения истинных смещений узлов необходимо взять частные производные полной энергии системы по узловым перемещениям и приравнять их нулю. Но так как функция полной энергии есть полином второй степени, будем иметь систему линейных алгебраических уравнений, связывающих посредством матрицы жесткости узловые силы и перемещения. Определив узловые перемещения, при помощи конечно-разностных соотношений Коши определя-

ют деформации в элементе, а по ним, с использованием обобщенного закона Гука, – напряжения.

Отметим, что для реализации метода конечных элементов можно было также воспользоваться принципом Кастильяно – принципом минимума для напряжений.

На сегодняшний день существует большое количество программ, реализующих метод конечных элементов. Их условно можно разделить на программы для решения объемных задач и задач плоской деформации. Кроме того, встречаются специализированные программы для решения задач механики горных пород, позволяющие моделировать выемку горных масс (проходка выработок), поровое давление и т. д.

В качестве примера применения метода конечных элементов рассмотрим дамбу хвостохранилища (рис. 2.28). Определяется напряженное состояние тела дамбы и смещения точек поверхности дамбы (рабочих реперов наблюдательной станции) при намыве очередного яруса, действие которого можно заменить равномерно распределенной нагрузкой.

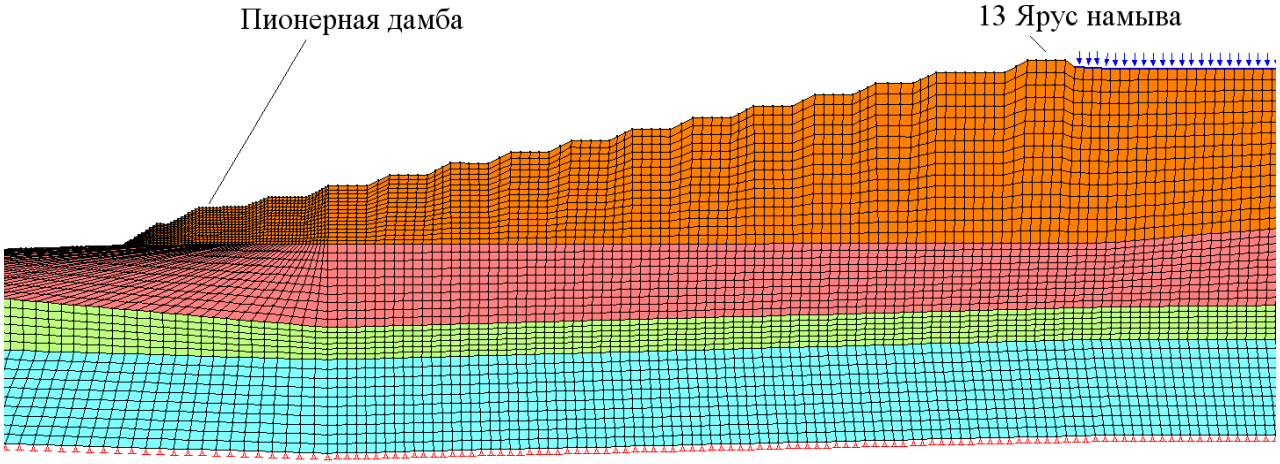


Рис. 2.28 Конечно-элементная модель дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики

Граничные условия можно принять по Диннику. На рис. 2.29 представлена эпюра распределения напряжений в теле дамбы хвостохранилища, а на рис. 2.30 а, б, приведены графики смещений точек поверхности дамбы.

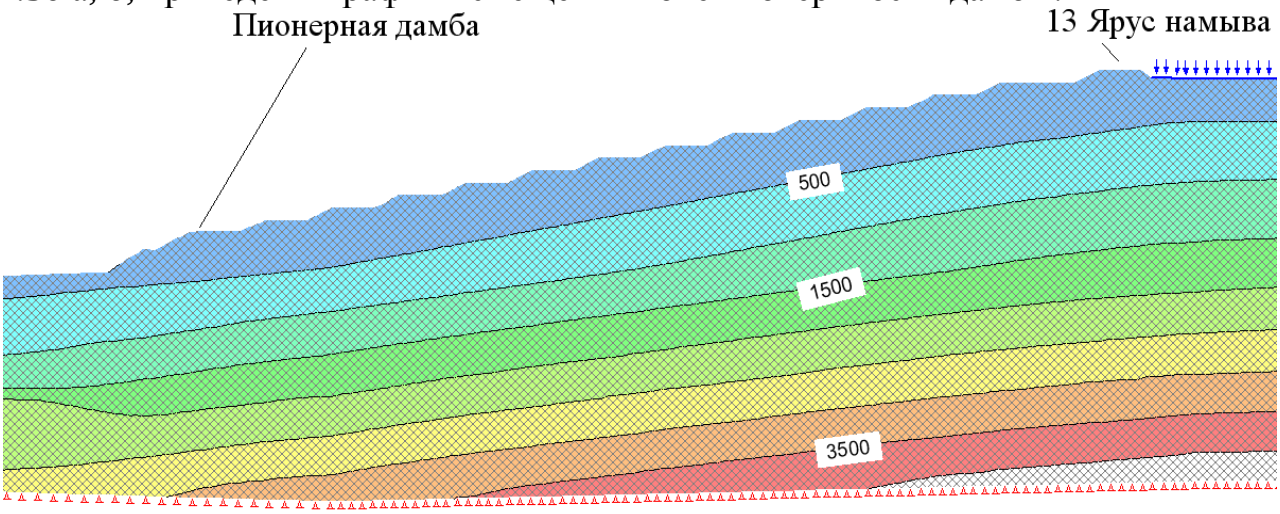


Рис. 2.29 Максимальные главные напряжения в теле дамбы хвостохранилища и ее основании

Отметим в заключение, что по результатам математического моделирования и инструментальных маркшейдерских наблюдений существует возможность уточнения деформационных характеристик посредством сопоставления вычисленных и наблюдаемых смещений и деформаций реперов (обратный расчет).

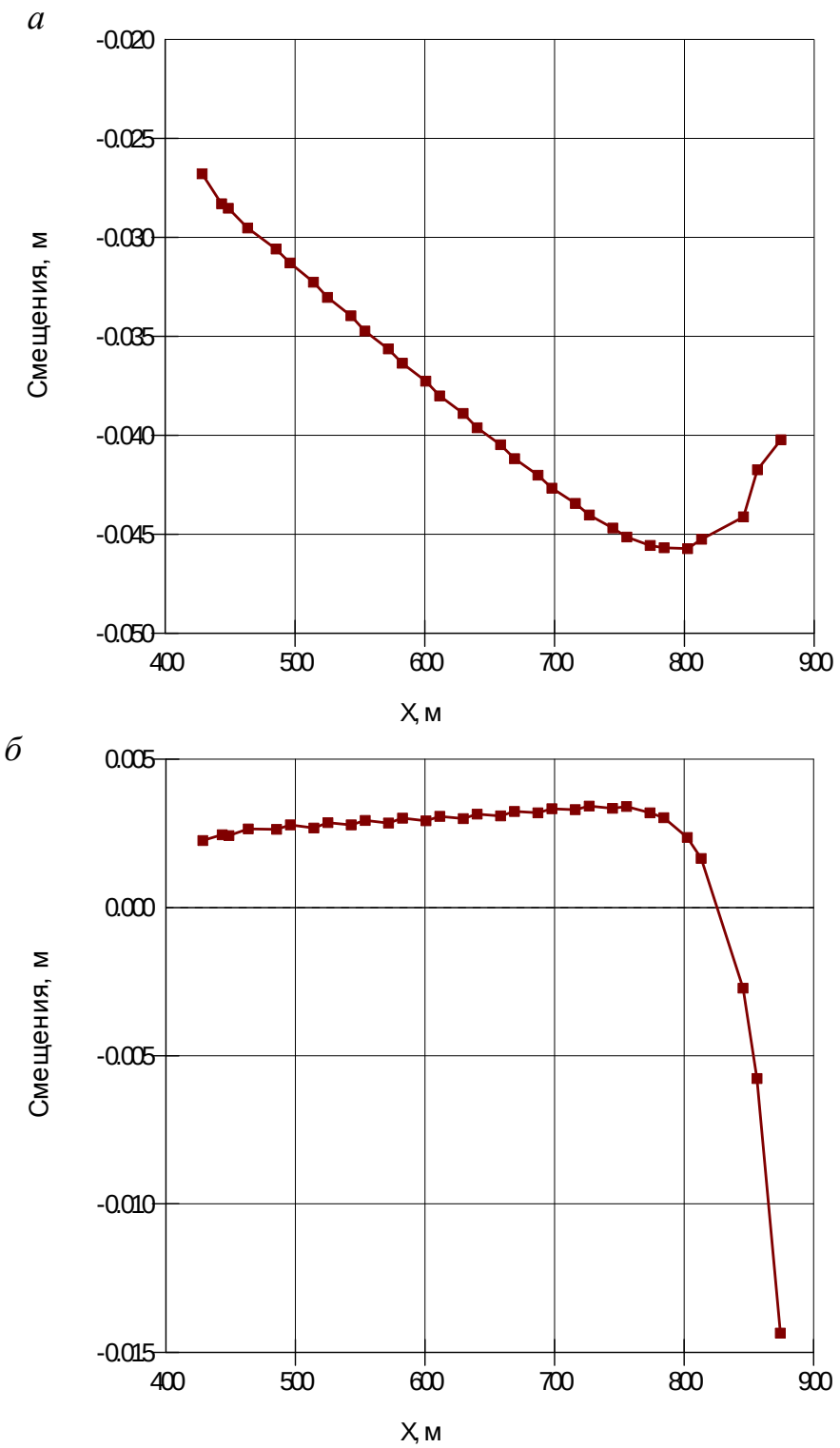


Рис. 2.30 Смещения точек поверхности дамбы
а – горизонтальные; *б* – вертикальные

В последнее время математическое моделирование применяется для оценки устойчивости откосов. В качестве примера оценки устойчивости на рисунках (2.31, 2.32) приведено обрушение борта карьера “Кумтор” и его предрасчет.



Рис. 2.31 Фото обрушения борта карьера “Кумтор”

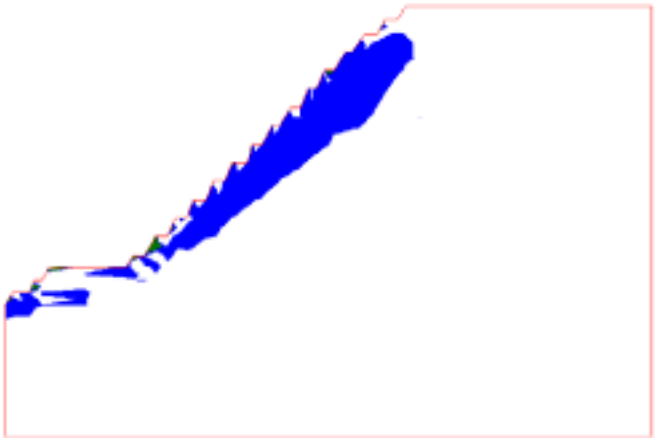


Рис. 2.32 Пластические области борта карьера “Кумтор” (данные С. Ф. Усманова)

В заключение отметим, что математическое моделирование немыслимо без применения современного программного обеспечения (одновременно решаются десятки тысяч алгебраических линейных уравнений), наиболее известные и применяемые: GEOSLOPE. PLAXIS, ADVENTURE, GEOFEM, ANSYS, ADINA, ABAQUS, ALGOR, COSMOS, FINEL, NASTRAN, MARC, ПИОНЕР, ЛИРА, МИРАЖ, МОРЕ, ПАРСЕК, ПАРУС, НЕДРА.

3 УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ

На рис. 3.1 показан отвал, расположенный на слабом наклонном основании. В зависимости от соотношений параметров, влияющих на его устойчивость, возможны три варианта его разрушения:

1) разрушение произойдет по поверхности скольжения, проходящей только в породах отвала;

2) поверхность скольжения частично будет совпадать с контактом отвал-основание;

3) поверхность скольжения преломляется на контакте отвал-основание, проходит по породам основания и выходит на некотором расстоянии от нижней бровки откоса.

В связи с вышесказанным, расчет отвала по первому варианту идентичен расчету однородного откоса, по второму – анизотропного, а по третьему – неоднородного откоса.

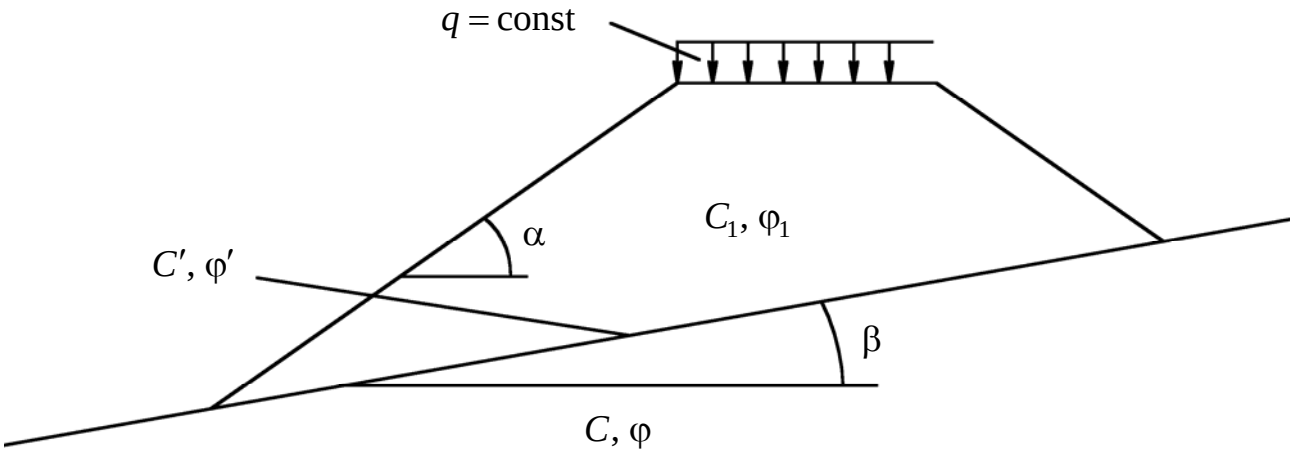


Рис. 3.1 Схема отвала на слабом наклонном основании

В частном случае, когда породы основания прочные (устойчивые), а отвальная масса является скальной и отсыпается в один ярус под углом естественного откоса, отвал будет устойчивым при любой его высоте.

Вместе с тем, при расчете устойчивости отвалов имеются некоторые особенности, которые и будут рассмотрены ниже.

Не усложняя и без того непростую схему расчета устойчивости откосов, будем считать распределенную нагрузку q постоянной. Теоретически она может быть задана произвольной функцией, однако установить на практике ее распределение, как правило, не представляется возможным.

Рассмотрим пример расчета отвала на слабом наклонном основании. Пусть отвал скальных пород отсыпан под углом естественного откоса, то есть разрушение по первой схеме невозможно. Геометрические характеристики отвала, нагрузка и физико-механические свойства следующие (см. рис. 3.1):

$\alpha = \varphi_1 = 35^\circ; \gamma = 2{,}5\,\text{т/м}^3; C_1 = 0\,\text{т/м}^2; q = 3\,\text{т/м}$. Характеристики контакта: $\beta = 15^\circ; C' = 5\,\text{т/м}^2; \varphi' = 15^\circ$.

Перейдем к расчету отвала по второй схеме. В принципе расчет такого отвала полностью идентичен примерам на анизотропный и подработанный откос, рассмотренным выше. Единственное дополнение заключается в пригрузке площадки отвала (рис. 3.1). Однако никаких принципиальных трудностей пригрузка не вызывает.

По результатам численного решения примера определены геометрические параметры наиболее слабой поверхности скольжения и предельная высота отвала. Результаты представлены в виде вектора определяемых параметров: $\{\lambda\ s\ d\ h\ h_1\ x_0\ \text{tg}\psi\ H\}^T = \{0{,}88\ 1{,}53\ 1{,}38\ 21{,}17\ 7{,}36\ 48{,}97\ 1{,}07\ 53{,}76\}^T$, ($d, h_1$ – соответственно масштабный коэффициент и глубина поверхности скольжения на стыке откоса и площадки, остальные обозначения см. выше). Поверхность скольжения приведена на рис. 3.2.

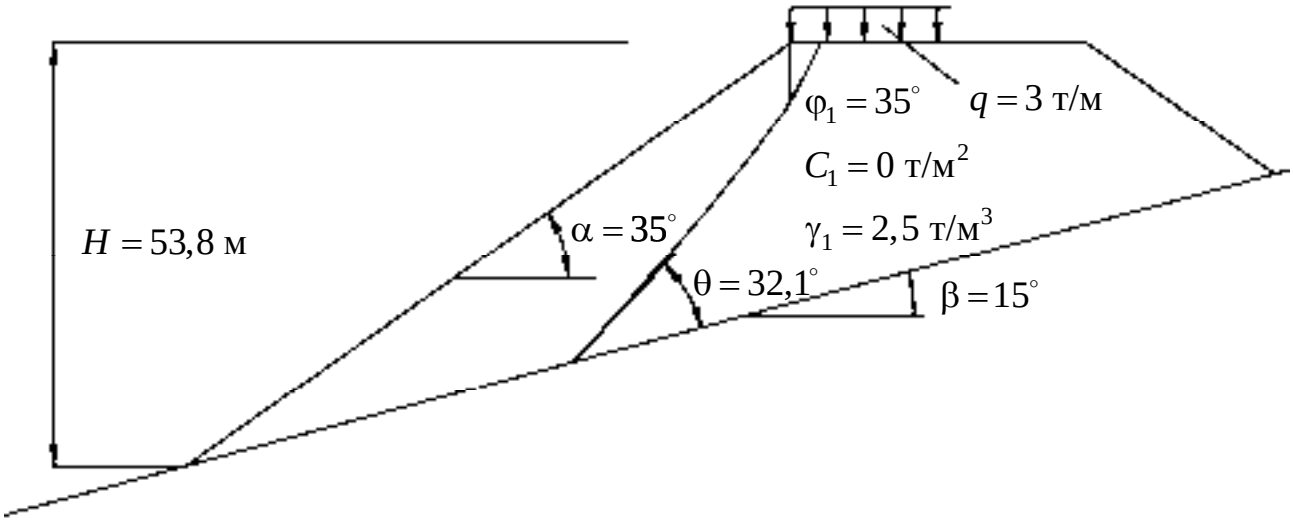


Рис. 3.2. Расчет отвала на наклонном основании

В заключение отметим, что если бы породы отвала обладали сцеплением, отыскание поверхности скольжения необходимо было бы производить при $n = 1$, то есть $\lambda = C/\gamma$.

Рассмотрим теперь пример расчета отвала по третьей схеме. Расчет по этой схеме является наиболее сложным и включает в себя практически все элементы и приемы расчета, рассмотренные выше. Дело в том, что поверхность скольжения будет проходить как под откосом отвала, так и под откосом основания, угол наклона которого в пределе может быть равен нулю. Выше нам приходилось рассматривать лишь откосы с углом, превышающим угол внутреннего трения пород. В этой связи возникают некоторые особенности расчета, которые рассмотрим по порядку.

Будем считать, что угол наклона откоса основания меньше угла внутреннего трения слагающих его пород, то есть $0 \le \alpha_1 \le \varphi$. В противном случае рассматриваемая задача будет сводиться к задаче по расчету неоднородного отко-

са, которая была рассмотрена выше. Кроме того, угол наклона откоса основания должен быть менее угла трения пород отвала по породам основания.

При построении поверхностей скольжения в однородных свободных откосах и определении их предельных параметров был введен некоторый коэффициент λ, обеспечивающий выполнение условия предельного равновесия и определяющий предельные параметры откосов. Когда рассматривается участок выпора пород с углом откоса? меньшим угла внутреннего трения пород основания, очевидно, условие предельного равновесия должно выполняться автоматически, то есть $n=1$ (см. выше), подобно тому, как и на участке под верхней бермой? мы принимали $n=1$.

Итак, начиная с точки, находящейся на некотором удалении от нижней бровки отвала до точки, соответствующей нижней бровке отвала, при выполнении условия $\alpha_1 \le \varphi$ поверхность скольжения описывается уже известным уравнением (так как $n=1$, то в уравнении λ заменяем на C/γ):

$$k_1 x - y_1 = \frac{C}{\gamma}\frac{\left(k_1 f - 1\right)y_1'^2 + 2\left(k_1 + f\right)y_1' + 1 - k_1 f}{f y_1'^2 - 2f^2 y_1' + k_1 - f + k_1 f^2}, \quad -\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha_1 + \varphi}{2}\right) \le y_1' \le \varphi. \quad (3.1)$$

Построение поверхности скольжения на этом участке имеет некоторую особенность, связанную с тем, что $\alpha_1 \le \varphi$. Дело в том, что определение координат точек поверхности скольжения осуществляется при помощи интегрирования некоторой функции, имеющей разрыв в точке:

$$p = f - \sqrt{\frac{\left(f - k_1\right)\left(1 + f^2\right)}{f}},$$

где p – параметр интегрирования (по сути, производная функции поверхности скольжения).

В случае, когда $\alpha_1 > \varphi$, разрыва функции нет, то есть, как в рассмотренных выше задачах, например, на однородный откос.

Разрыв функции будет иметь место при выполнении условия: $0 < \alpha_1 < \varphi$. При этом точка разрыва (угол наклона поверхности скольжения) в зависимости от угла внутреннего трения и угла откоса находится в интервале: $-\left[\pi/4 - \varphi/2\right] \le \vartheta \le \varphi$. Точка разрыва ϑ является максимальным значением угла поверхности скольжения на этом интервале, определяется глубиной расположения поверхности скольжения на стыке участков откосов отвала и откоса основания и не может превышать значения $\mathrm{arctg}\, p$.

Следующий участок поверхности скольжения (второй) находится под откосом отвала, а сама поверхность скольжения пока проходит по породам основания отвала. Так как в точке под нижней бровкой отвала $\vartheta < \varphi$, то поверхность скольжения на рассматриваемом участке описывается уравнением*:

* Данное уравнение является общим по отношению к (3.1), то есть если воспользоваться условием трансверсальности на пересечении поверхности скольжения с откосом и определить из него постоянную интегрирования A, то получим уравнение (3.1).

$$kx - y_2 = \frac{\left[\lambda(kf-1)+Af^2\right]y_2'^2 + 2\left[\lambda(k+f)+Af\right]y_2' + \lambda(1-kf)+A}{fy_2'^2 - 2f^2y_2' + k - f + kf^2}. \quad (3.2)$$

Условие на стыке участков откоса отвала и откоса основания получим при рассмотрении разрывной вариационной задачи второго рода при условии равенства ординат по обе стороны от точки стыка:

$$\frac{h_1(1+f^2)+\frac{C}{\gamma}(f-2\mathrm{tg}\psi_1 - f\mathrm{tg}^2\psi_1)}{(1+f\mathrm{tg}\psi_1)^2} = \frac{h_1(1+f^2)+\lambda(f-2\mathrm{tg}\psi_2 - f\mathrm{tg}^2\psi_2)}{(1+f\mathrm{tg}\psi_2)^2},$$

где h_1 – глубина точки излома; ψ_1, ψ_2 – углы наклона поверхности скольжения в точке преломления.

Заметим, что излом поверхности скольжения на стыке участков откоса отвала и откоса основания будет иметь место, если угол откоса отвала больше угла внутреннего трения пород отвала, а угол откоса основания меньше угла внутреннего трения пород основания. В противном случае излома поверхности не будет.

Далее на участке $\vartheta > \varphi$ поверхность скольжения описывается уже известным уравнением:

$$kx - y_3 = (\lambda + B)\frac{\left(1+y_3'^2\right)^2}{2y_3'^3 - (k+3f)y_3'^2 + 2kfy_3' + k - f},$$

где B – постоянная интегрирования.

Этим уравнением описывается поверхность скольжения на третьем участке, который продолжается до контакта основание-отвал. Далее, как и было показано выше, поверхность скольжения преломляется, после чего начинается четвертый участок. В случае если угол наклона поверхности скольжения после преломления превышает угол внутреннего трения пород отвала (если это не так, то появится еще один участок, описываемый уравнением (3.2) с углом внутреннего трения, характеризующим породы отвала), поверхность скольжения опишется уже известным уравнением:

$$kx - y_4 = d\frac{\left(1+y_4'^2\right)^2}{2y_4'^3 - (k+3f_1)y_4'^2 + 2kf_1y_4' + k - f_1}.$$

где d – постоянная.

Условие в точке преломления поверхности скольжения на контакте основание-отвал, при условии равенства объемных весов пород основания и отвала, имеет вид:

$$\frac{\mathrm{tg}\psi_3 - \mathrm{tg}\varphi}{1+\mathrm{tg}^2\psi_3} - \frac{\mathrm{tg}\psi_4 - \mathrm{tg}\varphi_1}{1+\mathrm{tg}^2\psi_4} + (\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\psi_3)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\psi_3 - \mathrm{tg}^2\psi_3}{\left(1+\mathrm{tg}^2\psi_3\right)^2} -$$

$$-(\mathrm{tg}\beta - \mathrm{tg}\psi_4)\frac{1+2\mathrm{tg}\varphi_1\mathrm{tg}\psi_4 - \mathrm{tg}^2\psi_4}{\left(1+\mathrm{tg}^2\psi_4\right)^2} = \frac{\lambda\left(1-\frac{C_1}{C}\right)}{h_2},$$

где ψ_3, ψ_4 – соответственно угол наклона поверхности скольжения до преломления в основании отвала и после преломления в породах отвала; β – угол наклона контакта основание-отвал в точке преломления; h_2 – глубина точки излома; C_1, C – соответственно сцепление пород отвала и основания; φ_1, φ – соответственно углы внутреннего трения пород отвала и основания.

Заметим, что если сцепления пород отвала и основания равны нулю, то правая часть условия преломления поверхности скольжения также равна нулю.

Все остальные уравнения и параметры определяются подобно тому, как в задачах на неоднородный и подработанный откос, а также из примера отвала на наклонном основании.

Рассмотрим частный случай – горизонтальное основание под действием равномерно распределенной нагрузки q (рис. 3.3).

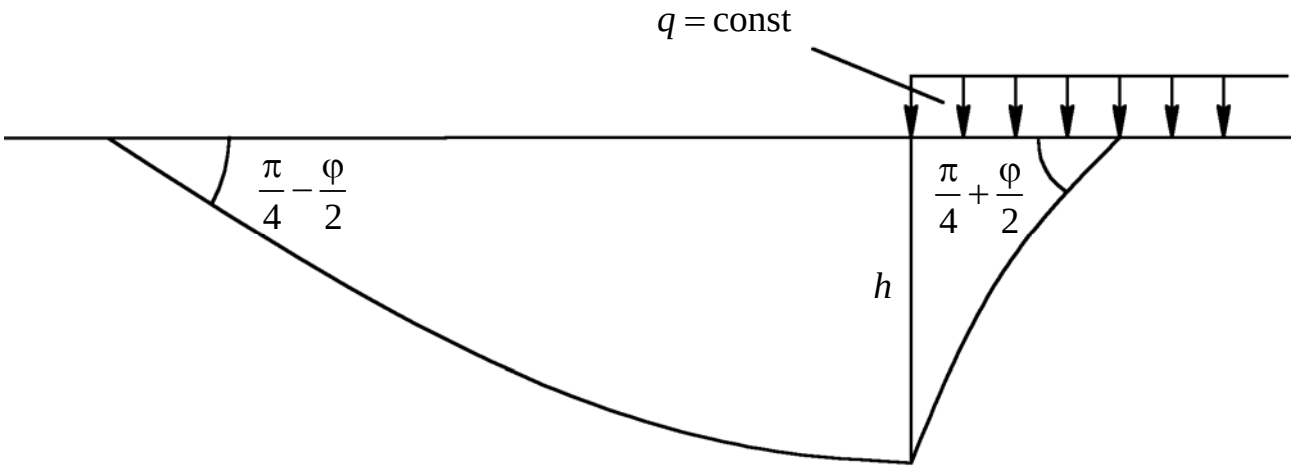


Рис. 3.3 Расчет устойчивости основания

Для откосов, угол наклона которых превышает угол внутреннего трения, поверхность скольжения состоит из трех участков (см. выше), на каждом из которых свое условие равновесия или устойчивости. Для оснований (угол откоса равен нулю) средний участок поверхности скольжения будет отсутствовать. Таким образом, поверхность скольжения состоит из двух участков, причем для обоих участков необходимо принять $n = 1$. Нагруженный участок подобен вертикальному откосу – участок горизонтальной бермы, а ненагруженный – участку выпора. Глубина точки излома поверхности скольжения h является параметром, изменяя который, отыскиваеют поверхность скольжения с максимальной разницей сдвигающих и удерживающих призму смещения сил. Аналогично для наклонного основания, глубину точки излома на стыке участков откоса отвала и откоса основания h_1 можно принять в качестве изменяемого параметра.

Рассмотрим пример расчета нагруженного отвала ($q = 1$т/м) с геометрическими параметрами ($\alpha = 35^\circ$; $H = 35$м) и физико-механическими свойствами ($\varphi = 35^\circ; \gamma = 2{,}5$т/м^3; $C = 0$т/м^2), отсыпанного на слабое наклонное основание, обладающее физико-механическими характеристиками: $\varphi = 15^\circ; \gamma = 2{,}5$т/м^3; $C = 5$т/м^2.

По результатам численного решения определены следующие геометрические параметры:

$$\{h_1\, h_2\, h_3\, \psi_1\, \psi_2\, \psi_3\, \psi_4\, \psi_5\, \lambda\, d\, AB\}^T =$$

$$= \{0,22\ 13,05\ \ 3,91\ \ -29,6\ \ -25,5\ 34,0\ 46,1\ 56,8\ 2,42\ \ 0,74\ 1,11\ 1,37\}^T,$$

где h_3 – глубина поверхности скольжения на стыке участков откоса отвала и горизонтальной площадки; ψ_5 – угол наклона поверхности скольжения на стыке участков откоса отвала и горизонтальной площадки (со стороны откоса).

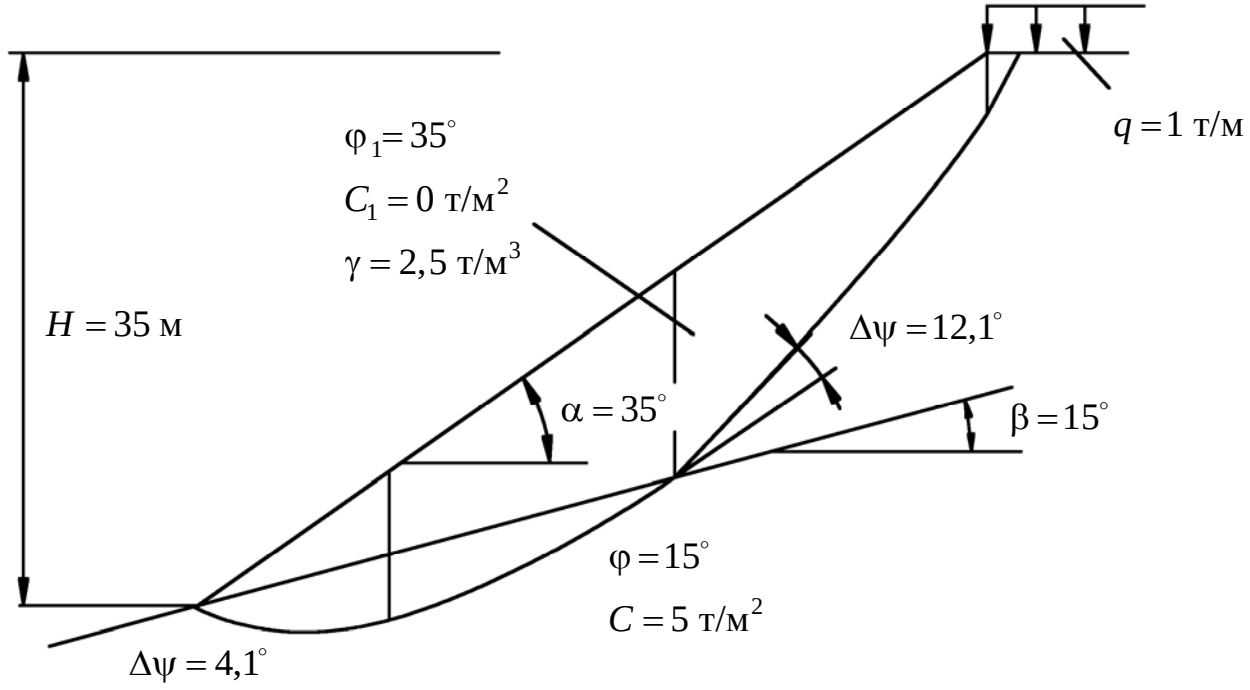


Рис. 3.4 Расчет отвала на слабом наклонном основании

На рис. 3.4 представлен пример расчета устойчивости отвала с выпором основания. Отметим, что показанная на рисунке 3.4 поверхность скольжения является предельной, но не является наиболее слабой, как отмечалось выше, критическую поверхность скольжения необходимо отыскивать перебором параметра, например h_1.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ МАССИВОВ

4.1 Общие сведения

Пожалуй, самой загадочной и абстрактной величиной в геомеханике является величина сцепления трещиноватого горного массива. Трещины отдельности (кливаж) придают горному массиву структуру кирпичной кладки и делают массив в каждой конкретной точке анизотропным. Сцепление по направлению, совпадающему с трещиной отдельности может на два порядка отличаться от прочности структурного элемента (блока, куска, образца). Кроме того, элементы залегания систем трещин в горном массиве меняются с глубиной горных работ и по площади шахтных и карьерных полей. Также меняются и прочностные характеристики трещин и структурных блоков. Несмотря на это, нашей задачей является определение сцепления массива размером в сотни, и даже первые тысячи метров.

Таким образом, объективному установлению свойств массива препятствуют, по меньшей мере, три проблемы.

1. Высокая изменчивость показателей свойств ненарушенных пород, то есть образцов (коэффициенты вариации лабораторных определений свойств горных пород могут достигать сотен процентов).

2. Весьма маленький объем выборки при определении свойств пород.

3. Фактически не существует физически обоснованных представлений о явлении снижения прочности (сцепления) массивов вследствие их трещиноватости, и как результат − отсутствие обоснованной методики определения величины сцепления. В этой связи приходится довольствоваться лишь эмпирическими зависимостями, прогнозирующими результат с неизвестной точностью, либо определять величину сцепления массива посредством обратных расчетов.

Источником первой проблемы является сложнейший генезис месторождений полезных ископаемых, а также процессы физического и химического выветривания, метаморфизма, тектонической активности и др. Прежде всего это относится к рудным месторождениям. Если провести аналогию, например, между образцами горных пород и кирпичами (и те, и другие фактически являются строительным материалом соответственно для горняков и строителей), то станет очевидным, что у строителей о высоких показателях изменчивости свойств кирпича не может идти даже речи, так как он производится практически из одного и того же материала (глины) при совершенно одинаковых условиях (температура, давление и др.).

При разработке месторождений полезных ископаемых происходит изменение (перераспределение) естественных полей напряжений вокруг горных выработок в радиусе десятков километров в плане и километров по глубине, образуется депрессионная воронка с размерами, превышающими сотню километров. Таким образом, для прогнозирования протекания геомеханических процессов нам необходимо располагать свойствами горных пород в радиусе влияния разработок. Рассмотрим следующий пример. Пусть имеется среднее по размерам

месторождение глубиной 500 метров, с размерами шахтного поля в плане 3000×1000 метров. И пусть в пределах шахтного поля было отобрано и испытано на одноосное сжатие 1000 образцов (достаточно много), средний размер стандартного образца составляет $40 \times 40 \times 40$ мм. Определим долю выборки от генеральной совокупности как отношение объемов выборки к объему генеральной совокупности. Порядок этой величины составит 10^{-10}. И это при том, что рассматривалась не область влияния, а лишь непосредственно область ведения горных работ.

Используя такой мизерный объем выборки, нам необходимо произвести прогноз свойств горных пород, характеризующих всю генеральную совокупность (весь массив). А если учесть чрезвычайно высокую изменчивость свойств горных пород, даже в пределах одной литологической разности, то становится очевидной весьма низкая представительность получаемых результатов.

Трудности прогнозирования свойств, описанные выше, относились лишь к ненарушенным трещиноватостью массивам, последняя же и определяет в геомеханике, на взгляд автора, самую большую проблему. Дело в том, что скальные и полускальные горные породы, которые и сопровождают в своем большинстве разработку месторождений, являются, при отсутствии сплошных трещин, достаточно прочными. Поясним это на примере.

Как известно, М. М. Протодьяконов разделил все горные породы по степени сопротивляемости технологическим воздействиям (буримость, взрываемость, экскавируемость, абразивность, твердость, и т.д.) на двадцать классов. Для скальных горных пород коэффициент крепости в среднем можно принять $f = 15$. Известно, что между коэффициентом крепости и пределом прочности на одноосное сжатие существует корреляционная связь:

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{1000}.$$

Заметим, что по этой зависимости коэффициент крепости горных пород может достигать значений $f = 35$. Представим предел прочности на сжатие, $т/м^2$:

$$\sigma_{сж} = \gamma H,$$

где γ – объемный вес налегающей толщи; H – предельная глубина расположения рассматриваемого куска горной породы.

Таким образом, выразим из рассмотренных выражений предельную глубину, на которой произойдет разрушение ненарушенного образца:

$$H = \frac{1000 f}{\gamma}.$$

Примем приближенно $\gamma = 3 т/м^3$, откуда $H = 5000 м$. Таким образом, даже при одноосном сжатии образец средней крепости на глубинах ведения горных работ (в России до $2000 м$) разрушен не будет. Другими словами, при такой прочности можно выстроить вертикальный борт карьера высотой $H = 5000 м$,

на практике же он на два порядка меньше. Из этого примера отчетливо видна негативная роль трещиноватости.

4.2 Физико-механические характеристики массивов

Под свойствами горных пород подразумевается их реакция или их способность реагировать на изменение состояния различных физических полей или химической среды. Исходя из определения выделяют следующие группы свойств: физические и водно-физические, механические, химические, теплофизические, электромагнитные, радиационные и акустические.

При оценке устойчивости и расчете максимальных параметров бортов карьеров, как правило, используются три характеристики горных пород: объемный вес пород γ, угол внутреннего трения массива горных пород φ и сцепление массива горных пород $C_{\text{М}}$. Сцепление и угол внутреннего трения относятся к механическим характеристикам горного массива, объемный вес – к физическим.

Горные породы, как и все другие материалы, при механическом воздействии могут быть разрушены путем отрыва под влиянием нормальных напряжений растяжения или путем среза под влиянием касательных напряжений. Сопротивление горных пород этим видам напряжений и определяет их прочность.

Различают прочность горных пород в образце и в массиве, прочность по наслоению и под углом к наслоению, прочность по поверхностям, ослабленным отдельностью, трещиноватостью и слоистостью (в массиве). По характеру приложенных сил различают прочность при растяжении, сжатии, срезе, изгибе и кручении. Несмотря на разнообразие характера приложения сил, разрушение пород происходит или путем отрыва, или путем среза.

Для определенности под прочностью горных пород будем понимать их сопротивление срезу, т. е. прочностными показателями являются – сцепление и угол внутреннего трения.

Из двух характеристик сопротивления срезу – сцепления и угла внутреннего трения − последняя является менее изменчивой.

При отсутствии данных испытаний на трение, нормативными документами допускается определение угла внутреннего трения массива горных пород по данным лабораторных испытаний образцов.

По мнению Г. В. Бычкова, при переходе от прочности образца к массиву необходимо учитывать одновременное влияние скорости нагружения, структурного ослабления пород и реакции окружающей среды. Суммирующий коэффициент, учитывающий эти факторы:

$$k_{\text{п.м.}} = k_{\text{д}} \lambda k_{\text{с}},$$

где $k_{\text{п.м.}}$ – коэффициент перехода от сцепления образца к сцеплению массива; $k_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности нагружения; λ – коэффициент структурного ослабления; $k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий боковой распор.

По данным М. П. Мохначева, корреляционное уравнение для коэффициента динамичности нагружения (для сцепления) имеет вид:

$$k_{\text{д}} = \frac{C_{\text{д}}}{C_{\text{ст}}} = 0{,}67 \ln \varepsilon - 1{,}70,$$

где $C_{\text{ст}}$, $C_{\text{д}}$ – величины сцепления при стандартном и динамическом нагружениях; ε – скорость деформирования, с^{-1}.

На прочность горных пород существенное влияние оказывает окружающая среда. Реакция окружающей среды создает подпор породам, находящимся в напряженном состоянии. Это необходимо учитывать при помощи коэффициента влияния окружающей среды $k_{\text{с}}$. По данным институтов ВНИМИ и "Унипромедь", для скальных пород $k_{\text{с}} = 2{,}5$.

Теоретическая прочность горных пород, определяемая взаимодействием атомов, выражается зависимостью:

$$\sigma = \frac{E}{2\pi},$$

где E – модуль упругости.

Модуль упругости большинства горных пород имеет порядок 10^{10} Па, тогда теоретическая прочность составит 10^9 Па, в то время как реальная прочность при растяжении не превышает $(2 – 3)\cdot 10^7$ Па.

Уменьшение прочности реальных горных пород относительно теоретических значений объясняется микротрещиноватостью. Такое явление обусловливает так называемый масштабный эффект, который достаточно корректно описывается теорией Гриффитса и другими микродефектными теориями прочности. Снижение прочности массивов пород относительно монолитных образцов определяется нарушенностью структуры другого порядка.

Показатель снижения прочности пород в массиве за счет их трещиноватости, называется коэффициентом структурного ослабления λ. Некоторые авторы определяют данный коэффициент как отношение минимальной прочности (асимптоты, за пределами влияния интенсивности трещиноватости) к прочности монолитного лабораторного образца. В дальнейшем будем пользоваться первым определением, так как оно несколько шире.

Зотеев О. В. и Осинцев В. А. отмечают, что применение коэффициента структурного ослабления оправданно лишь при хаотической трещиноватости или большом количестве систем трещин (5 – 6 систем), во всех остальных случаях использование этого приема хоть и облегчает расчеты, но может привести к результатам, весьма далеким от действительности.

При рассмотрении роли трещиноватости необходимо различать две группы трещин: к первой группе относятся плоскости ослабления, секущие массив на большом протяжении, – это контакты пород, трещины сланцеватости и крупные трещины тектонического происхождения. Ко второй группе относятся трещины, секущие массив на относительно небольшом протяжении – это трещины отдельности, кливажа и другие нарушения, разбивающие породы на небольшие блоки и придающие массиву структуру "кирпичной кладки". Крупные

тектонические трещины определяют схему расчета устойчивости откосов, а трещины отдельности – прочностные характеристики массива.

Очевидно, что от нашего представления о структуре массива зависит точность определения его сцепления. К настоящему времени накоплен некоторый опыт при изучении трещиноватости, который позволяет более эффективно оценивать структуру массива и прогнозировать его свойства.

Известно, что прочность массива горных пород увеличивается с глубиной. Натурными испытаниями диабазов Блявинского карьера установлено увеличение их сцепления с глубиной, что исследователи объясняют большей разрушенностью пород на верхних горизонтах.

Данные массовых замеров интенсивности трещиноватости пород ряда месторождений подтверждают увеличение размеров структурных блоков с глубиной их залегания. Причем изменение объема элементарного структурного блока с глубиной залегания подчиняется зависимости:

$$V = a + bH + cH^2,$$

где H – глубина залегания пород, дес. м.; a, b, c – эмпирические коэффициенты, определяемые для месторождения по данным изучения трещиноватости.

На рис. 4.1 изображены графики изменения средних размеров структурных блоков от глубины их залегания.

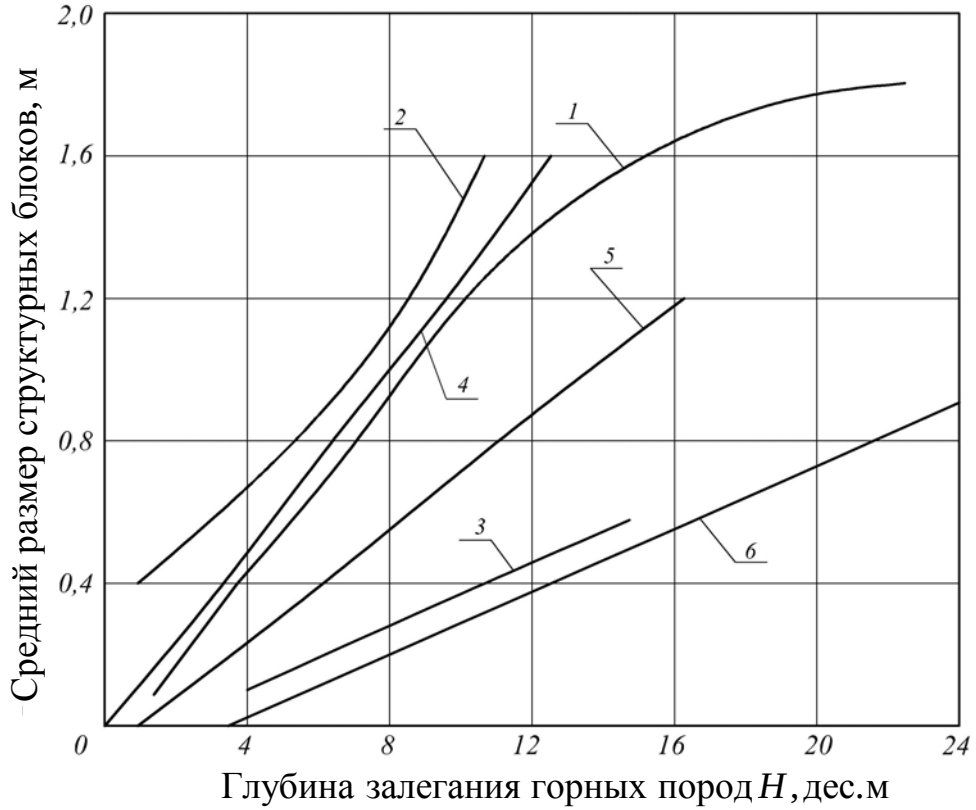


Рис. 4.1 Изменение среднего размера структурных блоков с глубиной залегания на карьерах: *1* – Коунрадском; *2* – Карагайлинском; *3* – Сорском; *4* – Гайском; *5* – Учалинском; *6* – Сибайском

При изучении трещиноватости в Кузбассе (более 5000 замеров) Н. Н. Куваев установил, что при сохранении условий залегания пластов, в пределах глубин открытых работ, ориентировка трещин, их количество и интенсивность

сохраняются без изменений. К таким же выводам приходит Г. П. Бахарева (около 10000 замеров), более того, было показано, что одни и те же простирания систем трещин присущи всем медноколчеданным месторождениям Урала. При изучении структуры норильских карьеров Певзнер М. Е. выявил связь между интенсивностью трещиноватости и глубиной, а также крепостью пород по шкале М. М. Протодьяконова. Интенсивность трещиноватости снижается с глубиной. В породах меньшей крепости трещиноватость интенсивнее. Описанные выше закономерности нужно учитывать при изучении структуры массивов.

Для получения объективной информации о структуре массива по керну необходимо использовать керноскопию, которая позволяет получить ориентированный керн. Существуют и другие методы получения информации о структуре массива. Так, например, Б. Н. Кутузов и Т. А. Дозоров предлагают получать данные о структуре массива, регистрируя колебания бурового инструмента при шарошечном бурении. Однако для целей оценки устойчивости этот подход не получил дальнейшего развития.

Определение сцепления в массиве, ослабленном ступенчато расположенными системами трещин, является довольно сложной задачей, так как на его величину оказывает влияние целый ряд факторов, из которых наиболее существенными являются:

1) сцепление в образце;

2) форма блоков;

3) неоднородность отдельных блоков по прочности;

4) ориентировка тензора напряжений относительно систем трещин;

5) сцепление по трещинам отдельности C';

6) отношение размера участка массива к среднему размеру структурного блока $H / l_{\text{ср}} = HW$, где W – интенсивность трещиноватости.

А. Б. Фадеевым была сделана попытка аналитического описания условий разворота трещиноватых структур. С помощью уравнений теории упругости было показано, что при некоторых соотношениях приложенных напряжений σ и τ (рис. 4.2), величина наименьшего из главных напряжений будет отрицательной, т. е. имеют место растягивающие напряжения. Если среда будет разбита поверхностями ослабления, то трещины разрыва будут приурочены к этим плоскостям. Условие для разворота слоев имеет вид:

$$\tau = \sigma\left(\frac{1}{\cos\delta}\frac{l_{\text{ср}}}{H} + \text{tg}\delta\right),$$

где δ – угол наклона слоев; $l_{\text{ср}}$ – ширина слоев; H – расстояние между плоскостями сдвига.

Результаты испытаний вполне подтвердили высказанные соображения о механизме разрушения и характеристиках сопротивляемости слоистых структур.

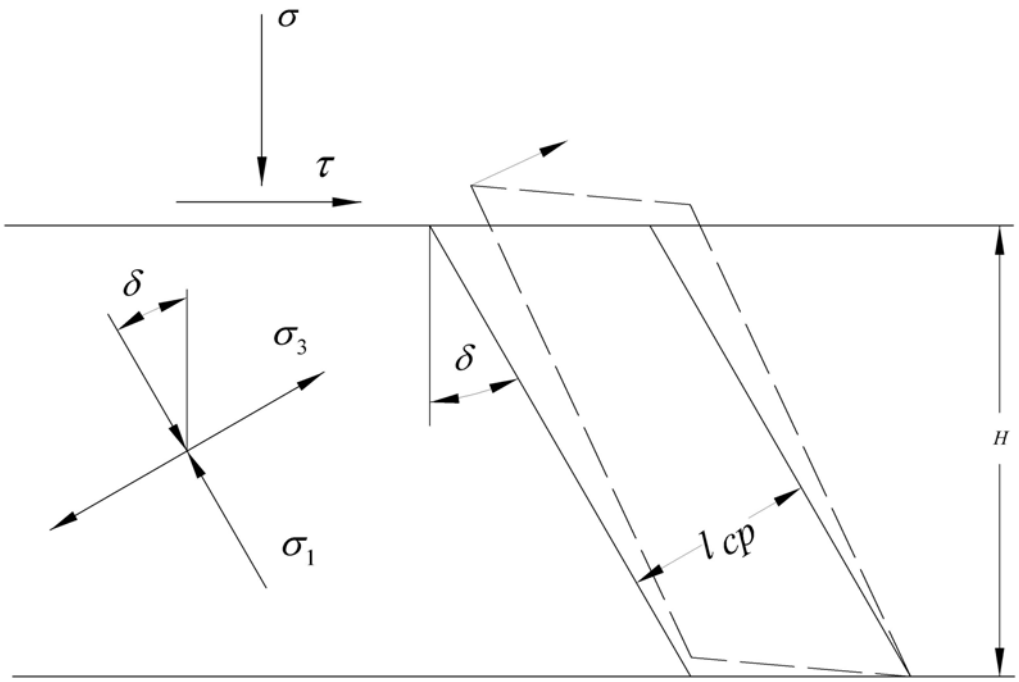


Рис. 4.2 Характер образования трещин

В реальных условиях все перечисленные выше факторы проявляются одновременно:

1) направление σ_1 постепенно изменяется от нормального к граням блоков до 40°;

2) в массиве всегда имеются блоки с пониженной прочностью;

3) в массиве имеются кососекущие трещины.

Влияние всех этих факторов усиливается с увеличением произведения HW. То есть, шестой фактор по существу, отображает и влияние других факторов для структурной модели массива (кроме 5).

В результате натурных испытаний, а также моделирования в лабораторных условиях получены эмпирические зависимости. На рис. 4.3 представлены зависимости коэффициента структурного ослабления от произведения HW.

Анализируя графики (рис. 4.3), замечаем их качественную схожесть. Кроме этого, при увеличении числа структурных блоков коэффициент структурного ослабления стремится к некоторому пределу. По мнению Ю. И. Туринцева, Д. Н. Кима и др., влияние выражения HW на величину сцепления массива ограничивается 12 – 20. Интенсивность трещиноватости скального массива обычно не ниже $W = 0,5$, таким образом, при размере массива H, большего 40 м, интенсивность трещиноватости уже не будет существенно влиять на прочность массива.

Зависимости (рис. 4.3) предложены для случаев, когда сцепление между структурными блоками в массиве отсутствует. Однако между структурными блоками обычно имеются значительные связи (сцепление). По некоторым данным максимальные значения сцепления по элементам микроанизотропии могут составлять $(0,65 \div 0,90) C_{\text{К}}$.

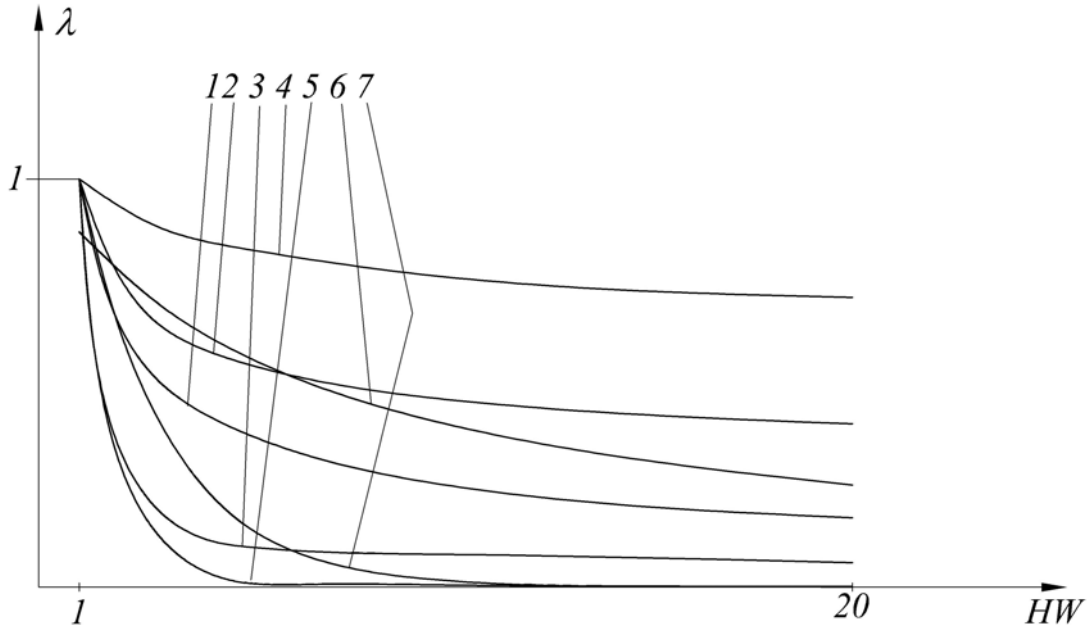


Рис. 4.3 Сравнение коэффициентов структурного ослабления:

1. (В.И. Борщ-Компониец) $\lambda = \frac{1}{(HW)^{0,6}}$; 2. (Г.Л.Фисенко) $\lambda = \frac{1}{1 + a\ln(HW)}$, при $a = 0,5$;

3. то же, при $a = 5$; 4. (Ю.И.Туринцев) $\lambda = 0,977^{C_К \ln HW}$, при $C_К = 5$ кгс/см^2; 5. то же,

при $C_К = 100$ кгс/см^2; 6. (Ю.П.Шуплецов) $\lambda = \frac{1}{1 + 0,15HW}$; 7. (Ю.И.Туринцев) $\lambda = \frac{1}{(0,027C_К)^{HW-1}}$.

Например, формула Г. Л. Фисенко, выраженная относительно сцепления массива горных пород, с учетом сцепления между структурными блоками, имеет вид:

$$C_М = \frac{C_К - C'}{1 + a\ln HW} + C', \qquad (4.1)$$

где a – коэффициент (табл. 4.1).

Фисенко Г. Л. указывает, что сцепление структурного блока влияет на величину сцепления массива лишь до величины 150 кгс/см^2, Д. Н. Ким и В. И. Пушкарев оценивают тот же предел величиной 80 – 100 кгс/см^2. Дальнейшее увеличение сцепления структурного элемента уже не будет сказываться на величине сцепления массива, и оно будет стремиться к сцеплению по трещине. Однако, согласно зависимости (4.1), эти величины находятся в прямо пропорциональной зависимости, а коэффициент a является безразмерным, иначе нарушится размерность формулы. Именно поэтому безразличие величины $C_М$ должно быть связано не с $C_К$, а с отношением $\frac{C'}{C_К}$.

Между тем какие-либо исследования, связанные с установлением величин и интервалов их влияния на величину сцепления массива, в литературе не встречаются.

Таблица 4.1

Значение коэффициента a для различных пород

Породы и характер трещиноватости	Сцепление монолитного образца, кгс/см^2	a
Слабоуплотненные и слаботрещиноватые песчано-глинистые отложения; сильновыветрелые, полностью каолинизированные, изверженные породы	$4-9$	0,5
Уплотненные песчано-глинистые породы, в основном нормальносекущей трещиноватости	$10-20$	2
Сильно каолинизированные изверженные породы	$30-80$	2
Уплотненные песчано-глинистые породы с развитой кососекущей трещиноватостью, каолинизированные изверженные породы	$30-80$	3
Средней прочности слоистые породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	$100-150$ $150-170$ $170-200$	3 4 5
Прочные породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	$200-300$ >300	6 7
Прочные изверженные породы с развитой кососекущей трещиноватостью	>200	10

Достаточно интересный подход к определению сцепления массива горных пород предлагают Д. Н. Ким и В. И. Пушкарев. Сцепление и коэффициент структурного ослабления представляются в виде:

$$C_{\text{М}} = C_{\text{К}}\lambda + C'(1-\lambda);$$

$$\lambda = \prod_{i=1}^{n} \lambda_i,$$

где C' – сцепление между структурными блоками; λ_i – коэффициенты, учитывающие влияние отдельных структурных факторов, в том числе факторы: относительная интенсивность трещиноватости; разнопрочность пород; влияние формы структурных блоков; неизометричность структурных блоков; взаимное расположение блоков; влияние угла наклона поверхности ослабления; влияние наклонных в сторону выемки трещин; влияние изменения направления первого главного напряжения вдоль поверхности скольжения.

Сложность реализации данной методики заключается в невозможности точной оценки частных коэффициентов.

В настоящее время распространены три метода определения сцепления массива горных пород: метод обратных расчетов, метод натурных испытаний по результатам лабораторных испытаний с последующим пересчетом при помощи коэффициента структурного ослабления.

Первый метод применяется как на открытых, так и на подземных разработках. Применительно к карьерам, известная сложность при установлении

критерия возможности решения плоской задачи устраняется переходом к решению объемной задачи с использованием аппарата геометрии недр. Основным его недостатком является то, что он определяет интегральные показатели сдвиговой прочности, которые могут быть использованы лишь для массивов с подобной структурой.

Достаточно надежным способом косвенной оценки прочностных свойств массива является анализ выявленных случаев разрушения тех или иных частей массива при достаточно точно известных обстоятельствах. Подобный анализ, имеющий целью определение показателей прочности, называют обратным расчетом.

Теоретическое обоснование этого способа вытекает из того положения, что при боковом обнажении открытой горной выработкой массив горных пород удерживается в равновесии силами сцепления и трения, действующими по наиболее слабой поверхности. В момент обрушения вследствие тех или иных обстоятельств (подрезка откоса, увлажнение пород) удерживающие силы уменьшились и сравнялись с силами сдвигающими.

$$\sum T_i = f \sum N_i + CL .$$

После обрушения, когда силы сцепления по наиболее слабой поверхности перестают действовать, установление нового равновесия обрушившихся масс наступает тогда, когда сумма касательных сил уравнивается силами трения:

$$\sum T_i' = f \sum N_i' .$$

Из второго равенства определяется коэффициент трения пород *f*, а после подстановки его в первое равенство определяется величина сцепления *C*. При расчете сцепления необходимо использовать поверхность скольжения без включения трещины отрыва, часто образующейся в верхней части обрушающегося массива.

Второй метод отличается большой трудоемкостью и низкой представительностью, ввиду небольших размеров испытываемых частей массива.

Сущность натурных испытаний горных пород на срез заключается в следующем. В массиве пород оконтуривают призму таким образом, чтобы она сохраняла связь с массивом лишь по той поверхности, по которой необходимо определить характеристики сопротивления сдвигу. К этой поверхности прикладываются касательные и нормальные силы, создаваемые гидравлическими домкратами или плоскими гидравлическими подушками.

Различают две схемы приложения сил. В первом случае и касательные, и нормальные напряжения по плоскости среза создаются одной силой, направленной под углом 20 – 45° к плоскости среза. Во втором случае нормальные и касательные напряжения создаются независимо двумя силами. По второй схеме испытания проводятся в подземных выработках, где нагружение призм по двум взаимно перпендикулярным направлениям не представляет сложности. На открытых разработках применяют первую схему нагружения.

Поверхность среза относительно слоистости или трещин ориентируется следующим образом:

1) плоскость гидроподушки или основание гидродомкрата располагается нормально к наслоению или по наслоению; плоскость среза в этих случаях проходит диагонально к слоистости и к нормальносекущим трещинам;

2) поверхность среза проходит параллельно основной системе трещин и характеризует направление наибольшего ослабления массива под углом к наслоению;

3) поверхность среза совпадает с контактами слоев; в этом случае основание домкрата или плоскость гидроподушки располагается диагонально к наслоению.

Линейные размеры призм составляют 0,6 – 1,2 м и более, в зависимости от структуры массива и применяемого оборудования.

При расположении поверхности среза под углом к наслоению призмы таких размеров обычно охватывают несколько структурных блоков во всех направлениях, так что поверхность среза включает ряд трещин и межтрещинных участков и может характеризовать сцепление в массиве в заданном направлении. То же самое получается при расположении поверхности среза по наслоению – она достаточна по размерам, чтобы охарактеризовать сопротивление массива сдвигу по наслоению.

В процессе натурных испытаний замеряют расстояние между трещинами, а также отбираются 4 – 6 образцов (из каждой призмы) для лабораторных испытаний.

Нарезка призм, в зависимости от крепости пород, производится электросверлами, отбойными молотками или перфораторами.

Призма считается срезанной, как только прекращается рост давления в подушке, фиксируемого манометром, или как только давление начинает падать. Одновременно наблюдают за появлением трещин в призме.

Обработка результатов натурных испытаний и получение характеристики прочности массива производятся в следующем порядке:

1) тщательно измеряют поверхность среза и определяют ее площадь S;

2) измеряют элементы залегания гидроподушки, плоскости среза и определяют угол α между направлением приложения нагрузки и плоскостью среза;

3) определяют усилие P, действующее на плоскость среза и являющееся геометрической суммой веса призмы и усилия, развиваемого гидравлической подушкой и определяемого по формуле:

$$P_1 = DtL,$$

где D – гидравлическое давление в подушке, атм; t – коэффициент передачи давления подушкой, зависящий от конструкции подушки, ее размеров и величины раздува подушки при испытании (этот коэффициент устанавливается путем тарировки подушки под прессом); L – площадь подушки;

4) определяют величины касательных и нормального напряжений по плоскости среза:

$$\sigma_n = \frac{P}{S}\sin\alpha,\ \tau = \frac{P}{S}\cos\alpha.$$

По величинам касательных и нормальных напряжений строится график зависимости $\tau = \psi(\sigma_n)$, по которому определяют φ и *C*; если в параллельных испытаниях не удается достичь необходимой разности нормальных напряжений, то угол трения по поверхности среза определяется путем лабораторных испытаний или берется по табличным данным, а сцепление определяется по формуле:

$$C = \frac{P}{S}\left(\sin\alpha - \operatorname{tg}\varphi'\cos\alpha\right).$$

Так как первый метод определяет интегральные показатели прочности, а второй – дифференциальные, разница между определенными, данными методами значениями сцепления массива весьма значительная.

Наиболее распространенным является третий метод, однако во всех рассмотренных методиках не получил отражение количественный учет ориентировки трещиноватости.

Теоретические основы процесса разрушения блочных трещиноватых сред впервые сформулировал Г. Н. Кузнецов. Согласно данной концепции. прочность массива определяется значениями прочности по трещине и структурных блоков. Соотношение разрушенных трещин и структурных блоков, при сдвиге определяет величину прочности массива. Приоритет разрушения структурного блока или трещины в каждой точке поверхности сдвига устанавливается при помощи условий специального предельного равновесия.

Предел сопротивляемости блочной среды записывается в виде:

$$\sigma_1 = \min\begin{cases} 2C_{\text{К}}\operatorname{tg}\left(\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{\varphi}{2}\right)+\sigma_3\operatorname{tg}^2\left(\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{\varphi}{2}\right) \\ \dfrac{C'\cos\varphi'+\sigma_3\sin\alpha\cos\left(\alpha-\varphi'\right)}{\cos\alpha\sin\left(\alpha-\varphi'\right)}, \end{cases}$$

где α – угол между линией действия наибольшего главного напряжения и нормалью к поверхности ослабления (трещине).

Рассмотрим прочностные свойства блочной структуры (рис. 4.4, *а*), содержащей в себе систему сплошных трещин A и прерывистые кососекущие трещины. Разрушение этой среды может происходить путем сдвига в плоскостях трещин системы A, путем сдвига b_1 в направлении B без разрушения блоков, путем сдвига b_2 с разрушением углов блоков.

Таким образом, характеристики сопротивления сдвигу в направлениях b_1 и b_2 не одинаковы, и при определении сопротивляемости такой среды напряжению σ_1 следует рассматривать реально возможные направления сдвига и соответствующие им характеристики. Например, если напряжение σ_1 имеет направление I (см. рис. 4.4, *а*), то в плоскости B возможен сдвиг лишь типа b_1. При направлении напряжения II, в плоскости B, следует рассматривать сдвиг b_2.

Отметим, что при полном тензоре напряжений механизм разрушения подобных структур заметно усложняется.

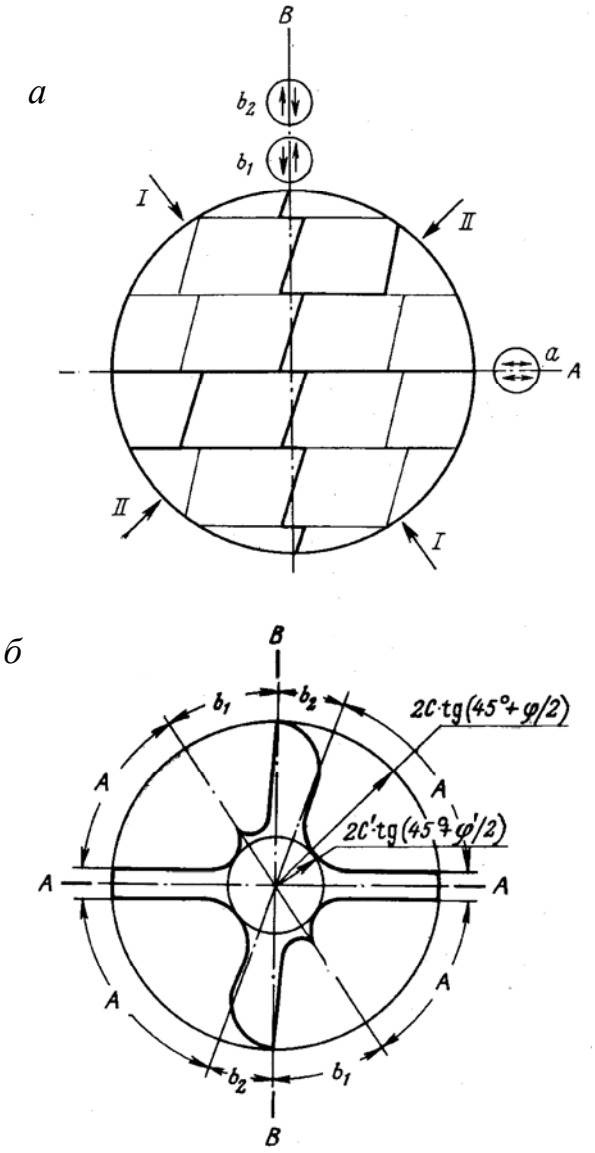


Рис. 4.4 Блочная среда и векторная (полярная) диаграмма ее прочности на одноосное сжатие

На рис. 4.4, *б* приведена векторная диаграмма прочности рассматриваемой блочной структуры при $\sigma_3 = 0$, там же показаны направления сдвига, обусловливающие различные части диаграммы. Диаграммы подобного вида предлагал использовать Г. Н. Кузнецов в качестве графиков, отображающих прочность трещиноватых структур.

Следует признать, что эта методика наделена наиболее комплексным характером оценки, а главным ограничением следует считать то, что для их реализации необходимо располагать тензором напряжений. Величина же последнего в реальном массиве также трудноопределима.

Как следует из вышесказанного, одними из главных показателей, определяющих коэффициент структурного ослабления (сцепление трещиноватого горного массива), являются элементы залегания систем трещин (азимут простирания, угол падения, среднее расстояние между трещинами одной системы,

раскрытие). В этой связи на всех стадиях поисков, разведки и эксплуатации месторождения необходимо пополнять и систематизировать информацию о структуре горного массива. Данные по углам падения и азимутам простирания трещин анализируют при помощи диаграммы трещиноватости (рис. 4.5).

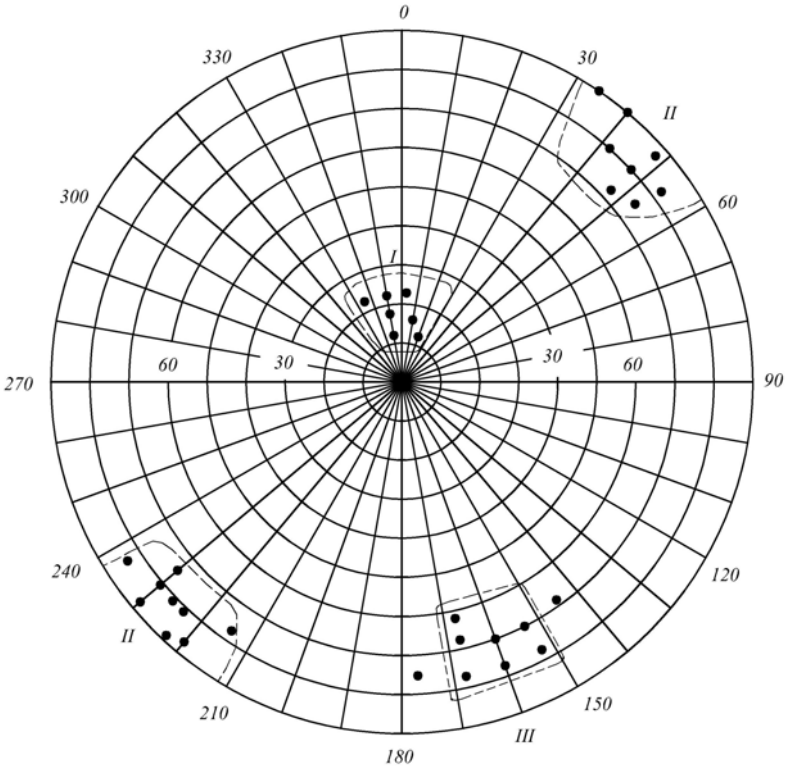


Рис. 4.5 Диаграмма трещиноватости

Существуют и другие попытки обоснования величины сцепления структурно нарушенных пород. Так, Г. Я. Новик, используя теорию Риттингера (работа дробления прямо пропорциональна величине площади вновь образованной поверхности), получил зависимость:

$$\sigma_{с.м} = \sigma_с \sqrt{\frac{l_{ср}}{H}\frac{E_м}{E_к}}, \qquad (4.2)$$

где $\sigma_{с.м}$, $\sigma_с$ – предел прочности на сжатие соответственно массива и образца горных пород; $E_м$, $E_к$ – модуль упругости в массиве и образце.

Если преобразовать уравнение (4.2) для коэффициента структурного ослабления, то можно увидеть его общность с формулой В. И. Борщ-Компонийца (см. рис. 4.3). Отметим, что равенство (4.2) получено из предположения идеальной упругости пород.

Предлагались методики определения прочности массива при помощи взрыва. Однако можно указать, по меньшей мере, два фактора, которые не позволяют рекомендовать данный способ: дробление пород взрывом обусловлено в основном растягивающими напряжениями; невозможностью точного определения КПД взрыва.

Институтом “Унипромедь” проведены исследования по применению геофизических методов для определения сцепления массива. Интегральность по-

лучаемых показателей и невозможность учета геометрических характеристик трещиноватости делают эти методы непригодными.

Известны попытки оценки сопротивления сдвигу по микродеформациям в слабых породах, а также по характеру деформирования в околопредельном состоянии. Вопрос о возможности применения данных подходов тесно связан с механизмом деформирования и разрушения трещиноватых сред и в настоящее время не разрешен.

Иногда удается установить корреляционные зависимости между сцеплением массива и физико-техническими параметрами разработки (коэффициентом крепости). Однако тесная взаимосвязь наблюдается лишь в случае малоизменчивой структуры.

Величину сцепления трещиноватого горного массива можно выразить следующим образом:

$$C_{\text{М}} = C_{\text{К}} p_{\text{К}} + C' p' , \tag{4.3}$$

где $C_{\text{М}}, C_{\text{К}}, C'$ – соответственно сцепления массива, структурного блока (куска, образца) и по трещине отдельности; $p_{\text{К}}$, p' – соответственно вероятности (частости) разрушения структурных элементов и трещин вдоль поверхности разрушения (скольжения).

В действительности, если обратиться к экспериментальным данным, например к исследованиям Д. Н. Кима, то даже если трещины расположены перпендикулярно и параллельно прилагаемой нагрузке (нормально секущая трещиноватость), то есть срез происходит по поверхности, не совпадающей с поверхностями трещин, то снижение сцепления все равно происходит. Однако это снижение незначительно, то есть величины сцеплений массива и куска имеют один порядок, а если учесть достаточно большие значения величины сцепления куска скальной породы, то задача по определению условий снижения прочности в этом случае теряет актуальность. Таким образом, далее рассматривается случай снижения прочности массива вследствие более низкой прочности трещины на срез и частичного совпадения поверхности скольжения (разрушения) с поверхностями трещин. В этом случае величина сцепления массива снижается относительно куска на 1-2 порядка.

Учитывая, что в любой точке поверхности скольжения разрушается либо трещина отдельности, либо структурный блок, то есть $p_{\text{К}} + p' = 1$, из формулы (4.3) получим:

$$C_{\text{М}} = \left(C_{\text{К}} - C'\right) p_{\text{К}} + C' . \tag{4.4}$$

Таким образом, задача по определению величины сцепления массивов горных пород сводится к определению вероятности разрушения структурных блоков вдоль поверхности скольжения. Отметим, что, согласно формуле (4.4) величина $p_{\text{К}}$ имеет смысл коэффициента структурного ослабления λ:

$$\lambda = \frac{\left(C_{\text{М}} - C'\right)}{\left(C_{\text{К}} - C'\right)} . \tag{4.5}$$

Обосновывая вероятность разрушения структурных блоков вдоль поверхности скольжения в массиве, А. В. Жабко получил зависимость, подобную (4.1):

$$C_{\text{М}} = \frac{C_{\text{К}} - C'}{1 + \frac{\text{tg}\left(50^\circ + 3\left(\vartheta'_{\max} - \varphi\right)\right)\left(1 - \frac{C'}{C_{\text{К}}}\right)\left(HW - 1\right)}{HW}} + C', \qquad (4.6)$$

где $\vartheta'_{\max}$ – максимальный из углов падения в выработанное пространство систем трещин, но трещины со сдвиговым характером разрушения.

Анализ зависимости (4.6) показывает, что для высоких откосов интенсивность трещиноватости практически не влияет на величину сцепления массива, что подтверждается результатами экспериментальных данных (см. выше). Если в массиве имеется система трещин с падением в выработку под углом, превышающим угол трения на 10 – 15 градусов, необходимо принимать $C_{\text{М}} = C'$.

Для оценочного определения величины сцепления массива трещиноватых скальных пород можно воспользоваться зависимостями (4.1) и (4.6). Основной сложностью при использовании формулы (4.1) является определение коэффициента a. Дело в том, что для его определения вводится понятие нормально секущей и кососекущей трещиноватости. В широком смысле нормально секущая трещиноватость перпендикулярна и параллельна главным напряжениям, но направление действия главных напряжений в массиве установить очень сложно, кроме того, их ориентировка меняется от точки к точке. Поэтому задача по определению коэффициента a и вообще величины сцепления массива приобретает субъективный характер.

4.3 Нормативный (необходимый) коэффициент запаса устойчивости

Приведем некоторые определения.

Коэффициент устойчивости n – это коэффициент, полученный методом алгебраического сложения сил по произвольной поверхности скольжения. Его численное значение определяется отношением суммы всех удерживающих откос сил к сумме всех сил, его сдвигающих.

Коэффициент запаса устойчивости $n_{\text{з}}$ – это показатель, с помощью которого сдвигающая сила вдоль плоскости (в пределах элементарного блока) скольжения уравнивается с предельным сопротивлением сдвигу. Данный коэффициент выражается методами предельного равновесия.

Необходимый или *нормативный* коэффициент запаса устойчивости $n_{\text{н}}$ – это коэффициент, который вводится в прочностные характеристики массива (высоту откоса, сцепление и др.). Под данным коэффициентом следует понимать специальный корректив, вводимый в расчет с целью исправить все возможные погрешности, которые мы могли сделать, выполняя данный расчет.

Ввиду значительной изменчивости и неполной изученности, с целью учета всех факторов, влияющих на устойчивость горного массива, в средневзвешен-

ные показатели вводится нормативный коэффициент запаса устойчивости. Назначение оптимальной величины нормативного коэффициента запаса устойчивости имеет очень большое значение, так как эта величина является границей между экономической эффективностью работы карьера и безопасностью работы с точки зрения устойчивости откосов.

Теоретическому исследованию вопроса о запасе устойчивости посвящено много работ. Однако единого мнения о структуре нормативного коэффициента запаса и его величине при оценке устойчивости бортов карьеров до настоящего времени нет. Также остается открытым вопрос о том, в какие величины (параметры) необходимо вводить запас.

Выделяют два направления в назначении нормативного коэффициента запаса устойчивости.

Первое направление – это статистический метод определения нормативного коэффициента запаса в зависимости от ошибок исходных данных, входящих в расчеты. При этом значение общего запаса устойчивости вводится в прочностные характеристики массива пород. Большие работы в этом направлении проведены под руководством Г. Л. Фисенко (ВНИМИ), а также другими авторами.

Коэффициент устойчивости рассматривается как отношение удерживающих откос сил к сумме всех сил сдвигающих:

$$n = \frac{f\sum N + C_{\text{М}} L}{\sum T};$$

$$1 = \frac{\frac{f}{n_{\text{н}}}\sum N + \frac{C_{\text{М}} L}{n_{\text{н}}}}{\sum T}, \qquad (4.7)$$

где f – коэффициент внутреннего трения; $\sum N$, $\sum T$ – суммы нормальных и касательных сил, т; $C_{\text{М}}$ – сцепление массива, т/м^2; L – длина поверхности скольжения, м.

То есть устойчивое равновесие вдоль поверхности скольжения рассматривается как предельное равновесие с новыми прочностными характеристиками массива. Здесь необходимо отметить, что в качестве базового метода расчета принят метод алгебраического сложения сил. При использовании наиболее обоснованных методов – предельного равновесия, в которых коэффициент запаса не выражается в явном виде, необходимо производить сравнение его численного значения с нормативным коэффициентом запаса устойчивости.

Авторы некоторых работ, в которых рассматривается нормативный коэффициент запаса устойчивости, предлагают его обоснование на основе вероятностных методов. Здесь нормативный коэффициент запаса является не абсолютным критерием, а инструментом анализа и показывает чувствительность устойчивости массива к изменению тех или иных определяющих факторов.

Обобщая идеи Стрелецкого Н. С., Звонарев Н. К. представляет нормативный коэффициент запаса в виде произведения частных коэффициентов n_i. Из

предположения, что каждый из них характеризуется нормальным законом распределения с плотностью:

$$y_i = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \tag{4.8}$$

где a_i – среднее значение n_i; σ_i – стандарт или среднее квадратическое отклонение.

Определяется нормативный (общий) коэффициент запаса, который также будет характеризоваться нормальным законом распределения. При этом его среднее значение и среднеквадратическое отклонение

$$\begin{aligned} a_0 &= a_1 \cdot a_2 ... a_n; \\ \sigma_0 &= \sqrt{a_2 .... a_n \sigma_1^2 + ... a_1 - ... a_{n-1} \sigma_n^2}. \end{aligned} \tag{4.9}$$

Правилами обеспечения устойчивости на угольных разрезах, для определения нормативного коэффициента запаса устойчивости, рекомендуется использовать первую из формул (4.9). Причем частные значения a_i определяют следующие факторы:

– надежность определения механических характеристик пород (угла внутреннего трения и сцепления, а также угла трения и сцепления по естественным поверхностям ослабления);

– погрешности определения положения наиболее напряженной поверхности скольжения;

– способ учета гидрогеологических факторов;

– точность способа расчета устойчивости откосов.

Кроме того, немаловажную роль при выборе нормативного коэффициента запаса играет наличие на земной поверхности в пределах призмы возможного обрушения охраняемых зданий и сооружений.

Величину необходимого коэффициента запаса в зависимости от стадии освоения месторождения и способа получения исходных характеристик, входящих в расчеты, Правилами предлагается определять, согласно табл. 4.2.

В практических расчетах математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение нормативного коэффициента запаса устойчивости необходимо рассматривать как:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{\text{н}} &= \psi(\bar{x}_1, \bar{x}_2 ... \bar{x}_n); \\ \sigma_{n_{\text{н}}} &= \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \bar{x}_i} \right)^2 \sigma^2_{\bar{x}_i}}, \end{aligned} \tag{4.10}$$

где $\bar{x}_1, \bar{x}_2 ... \bar{x}_n$ – математические ожидания случайных аргументов; $\sigma_{\bar{x}_i}$ – средние квадратические отклонения случайных аргументов.

Очевидно, что когда откос находится в предельном состоянии $\bar{n}_{\text{н}} = 1$, а нормативный коэффициент выражается зависимостью

$$n_{\text{н}} = 1 + t_b m,$$

где t_b – коэффициент, соответствующий заданной надежности b; m – общая погрешность расчетных условий, ее отличие от $\sigma_{\bar{x}_i}$ заключается в том, что в нее могут также входить ошибки некоторых факторов, не входящих в выражение для $\bar{n}_{\text{н}}$. $m = \sqrt{\sigma^2_{n_{\text{н}}} + \sum m_i^2}$.

Таблица 4.2

Рекомендуемые величины нормативного коэффициента запаса устойчивости

Стадия освоения месторождения (степень надежности исходных данных)	n		Примечание
	нерабочий борт (срок стояния > 10 лет)	рабочий борт	
Проектирование (по данным бурения скважин и методом аналогий)	1,5	≥1,4	При трещиноватых, тектонически нарушенных вмещающих породах
	1,3	≥1,2	При слабых песчано-глинистых разностях
Эксплуатация (по данным изучения массива пород в обнажениях и анализу деформаций)	1,3	≥1,2	-
Ликвидация (постановка борта в предельное положение по данным длительных инструментальных наблюдений за состоянием откосов)	1,2	≥1,1	-

Заметим, что некоторые авторы предлагают вводить нормативные коэффициенты запаса отдельно для трения и сцепления:

$$C_{\text{р}} = C_{\text{М}} - l_C;$$

$$\varphi_{\text{р}} = \varphi - l_{\varphi},$$

где l_C, l_{φ} – половина доверительного интервала соответственно для сцепления и трения.

Мнения о величинах t_b и m у разных исследователей расходятся. Звонарев Н. К. считает, что необходимо выбирать ту надежность, при которой разность между возможной экономией от уменьшения объема вскрыши и возможными расходами по ликвидации последствий оползней будет наибольшей и рекомендует величины нормативного коэффициента запаса (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Значения надежности и величины запаса по Н. К. Звонареву

Наименование борта	Надежность, %	Величина нормативного коэффициента запаса
Рабочий борт	87	$a_o + 1{,}12m$
Борта погашения	91	$a_o + 1{,}32m$
Нерабочие борта при автомобильном транспорте	95	$a_o + 1{,}60m$
Нерабочие борта при железнодорожном транспорте	98	$a_o + 1{,}80m$

В. И. Зобнин коэффициент надежности определяет как функцию, зависящую от категории борта и срока его стояния:

$$t_b = ab,$$

где a – коэффициент, учитывающий категорию борта; b – коэффициент, учитывающий продолжительность стояния борта. Данные коэффициенты определяются по таблицам.

Арсентьев А. И. отмечает, что рациональный уровень риска должен устанавливаться исходя из взаимодействия оценки экономических и психологических (конъюнктурных) последствий риска. Для обоснования риска он вводит понятие функции опасения и рассматривает четыре отношения к риску – смелое отношение, ровное отношение, осторожное отношение, никакого риска. Каждое отношение описывается своей функцией опасения, которая в конечном итоге и определяет рациональный уровень риска.

Требуемый уровень надежности зависит от ответственности сооружения и определяется в основном из опыта или методом экспертных оценок. В. И. Речицкий, например, рекомендует для скальных оснований плотин уровень надежности – 0,984 – 0,997.

Различия в определении общей погрешности m заключается в количестве учтенных при ее расчете случайных факторов.

Отдельного рассмотрения требует методика обоснования нормативного коэффициента запаса устойчивости, предложенная Б. Д. Пододовым.

Вычисляется общая вероятность деформирования откоса по формуле:

$$P_{\text{Д}} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)...,$$

где P_1 – вероятность деформирования горных пород вследствие случайного характера физико-технических и структурных параметров прибортового массива; P_2 – вероятность деформирования горных пород по фактору локальной обводненности; P_3 – вероятность деформирования горных пород, вызванная не обнаруженными поверхностями ослабления.

Вероятность P_1 выражается отношением

$$P_1(n_{\text{н}} < 1) = \frac{1 - \Phi\left(\dfrac{1 - \bar{n}_{\text{н}}}{\sigma_{\bar{n}_{\text{н}}}}\right)}{2}, \qquad (4.11)$$

где Φ – символ интеграла вероятности.

Значения нормативного коэффициента запаса и его ошибки в (4.11) определяются формулами (4.10).

Варьированием случайных входных параметров добиваются минимума одной из нижеследующих целевых функций, которые отражают важные экономические и социальные критерии устойчивости откосов:

$$P_{\text{Д}} \sum Y + \sum З \to \min;$$

$$(1 - P_{\text{Н}}) P_{\text{Д}} \sum Y + P_{\text{Н}} P_{\text{Д}} \sum З + З_{\text{И}} \to \min,$$

где $\sum Y$ – ущерб от деформаций карьерных откосов; $\sum З$ – затраты на противодеформационные мероприятия; $P_{Н}$ – надежность контроля за состоянием откосов; $З_{И}$ – затраты на контроль.

Отметим, что все рассмотренные выше методики основаны на нормальном законе распределения.

Развивая идеи Б. Д. Половова, А. А. Смирнов показывает, что задачи устойчивости откосов в условиях риска могут решаться методом Монте-Карло. Помимо этого указывается на возможность решения задачи при произвольных законах распределения входных случайных аргументов. Это, например, достигается разложением функции случайных аргументов в ряд Грамма-Шарлье, реализующий произвольный закон распределения.

Второе направление. Отличительной особенностью второго направления является попытка вводить нормативный коэффициент запаса устойчивости непосредственно в параметры откоса – высоту, угол наклона, величину заложения и т. п.

Окатов Р. П., ссылаясь на С. И. Попова и А. М. Демина, утверждает: “Совершенно очевидно, что предельная высота откоса с учетом нормативного коэффициента запаса определится как”:

$$H_{з} = \frac{H}{n_{н}}.$$

В. Е. Коновалов и В. А. Гордеев рассматривают случайную величину – индекс устойчивости, которая численно равна отношению предельно допустимой высоты откоса к высоте откоса, для которой рассчитывается вероятность обрушения. Предельная высота определяется формулой Токмурзина О.Т. для однородных откосов:

$$H_{пр} = \frac{H_{90}}{1 - \sqrt{\operatorname{ctg}\alpha \operatorname{tg}\frac{\alpha + \varphi}{2}}},$$

где $H_{пр}$ – предельная высота откоса; H_{90} – высота вертикального отрыва; α – угол наклона откоса; φ – угол внутреннего трения пород откоса.

Описывая индекс устойчивости логнормальным законом распределения, они определяют вероятность обрушения откоса в зависимости от его величины (например, когда индекс устойчивости равен 1, вероятность обрушения равна 0,5). Дисперсия распределения оценивается формулой ошибки функции случайных коррелированных аргументов.

Анализируя рассмотренные методы назначения нормативного коэффициента запаса устойчивости, констатируем, что наиболее обоснованной из них является методика, предложенная Б. Д. Пололовым. Она позволяет в результате вероятностного анализа принять оптимальное техническое решение.

На сегодняшний день практику введения запаса устойчивости (прочности) в механические характеристики пород откоса можно считать общепринятой. Однако правомерность введения одинаковых значений нормативного коэффициента запаса в сцепление и коэффициент внутреннего трения и вообще право-

мерность введения запаса в коэффициент внутреннего трения нужно поставить под сомнение ввиду следующих причин.

1. Различная точность определения механических характеристик пород откоса.

2. Неодинаковое участие в обеспечении устойчивости сцепления и угла внутреннего трения.

3. При введении запаса в коэффициент внутреннего трения изменяется не только расчетное значение, но также форма призмы смещения (см. выше). Между тем в Правилах… указывается: “При построении поверхности скольжения в исходные характеристики прочности пород предварительно вводится коэффициент запаса”.

4. Вводя запас в величину трения, для обводненных откосов, неопределенно занижается значение негативного влияния гидростатического давления.

Утверждения, приведенные в пунктах 3, 4, подтверждают неправомерность введения нормативного коэффициента запаса устойчивости в величину коэффициента внутреннего трения.

Таким образом, нормативный коэффициент запаса устойчивости должен вводиться только в величину сцепления. С другой стороны, в инженерной практике запас прочности (устойчивости) вводится либо в предельные прочностные характеристики материала, либо в величины внешних нагрузок. В геомеханике и, в частности, при оценке устойчивости бортов карьеров активной (разрушающей) силой является сила тяжести, определяемая объемным весом горных пород, таким образом, запас устойчивости может быть также введен в величину объемного веса горных пород.

Если теперь учесть, что величина предельного угла откоса, например, для однородных и изотропных откосов является функцией соотношения $C/\gamma H$, то становится очевидным, что запас может быть совершенно равнозначно введен в сцепление, объемный вес и даже в высоту откоса.

Таким образом, нормативный коэффициент запаса устойчивости необходимо вводить только в величину сцепления массива или объемного веса горных пород. Значение нормативного коэффициента должно устанавливаться исходя из надежности исходных данных, ответственности сооружения и минимизации критерия, отражающего социально-экономические показатели эксплуатации сооружения.

5 МЕРОПРИЯТИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ

5.1 Заоткоска уступов в предельном контуре

В связи с увеличением глубины действующих и проектируемых карьеров вопросы устойчивости бортов превращаются в проблему большой экономической значимости. Одним из важнейших факторов, обусловливающих углы наклона бортов в скальных и полускальных породах, является степень нарушенности массива пород взрывными работами.

Взрыв зарядов при массовой отбойке производит не только полезную работу по дроблению горных пород, но также оказывает существенное вредное воздействие на окружающий массив. В пределах ближайшей зоны происходит нарушение структуры массива: плотно сомкнутые естественные трещины раскрываются, различного рода поверхности ослабления, имевшие первоначально некоторую связность, утрачивают ее; происходит смещение структурных блоков относительно друг друга. В результате этих явлений прочность скального массива и устойчивость откосов в нем существенно снижаются. Кроме того, нарушенный массив подвергается более интенсивному выветриванию, что приводит к дальнейшему снижению устойчивости откосов.

Обрушение уступа или осыпание его верхней бровки уменьшает ширину предохранительных берм, создает небезопасные условия труда, а в случае обрушения транспортной бермы может привести к длительной остановке всего предприятия.

В более удаленных от взрыва зонах нарушение структуры массива и остаточные деформации в нем не возникают, колебания имеют упругий характер, однако они способны вызвать повреждение зданий, сооружений, нарушить устойчивость откосов.

Современная техника буровзрывных работ позволяет обеспечить необходимую устойчивость уступов при постановке их в предельное положение, а также снизить сейсмический эффект до безопасного уровня.

Взрыв скважинных зарядов вызывает деформации уступа, главным образом, в поверхностной зоне (рис. 5.1). Ширина этой зоны в нижней части уступа может составлять 10-12 диаметров заряда, а по поверхности 40-50 м.

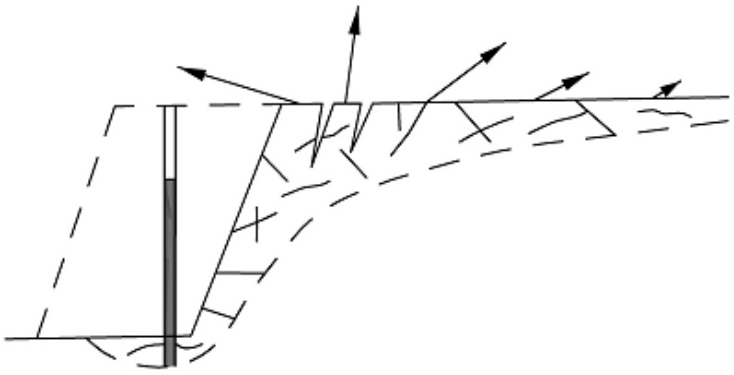


Рис. 5.1 Нарушение структуры пород при взрыве и направление смещений точек поверхности уступа

В пределах деформированной зоны происходит раскрытие естественных трещин, а на расстоянии до 20 м от бровки уступа образуются трещины заколов. В глубину нарушения развиваются на 5-7 диаметров заряда ниже его дна.

Подвижки точек поверхности уступа обычно направлены назад и вверх, а в зоне около верхней бровки уступа, отделенной от массива трещинами заколов, смещения направлены в сторону выработанного пространства. Амплитуда подвижек на верхней бровке уступа достигает 500—800 мм.

Ориентировка основной системы трещин оказывает существенное влияние на характер развития деформаций в уступе. Так, при наличии системы вертикальных или крутопадающих трещин происходит их раскрытие, а смещения точек поверхности массива могут быть направлены в сторону выработанного пространства. При этом трещины заколов могут наблюдаться на расстоянии до 20 м от бровки уступа.

Наличие горизонтальной системы трещин приводит к преимущественно вертикальным подвижкам массива пород в уступе.

Если в уступе имеются трещины, падающие в сторону выработанного пространства, то деформации развиваются преимущественно в виде сдвигов по этим трещинам. Сдвиг по поверхности AC (рис. 5.2) приводит к частичной или полной утрате сцепления в этой плоскости, так как имевшиеся в естественном состоянии связи разрушаются, шероховатости на поверхностях трещин выходят из взаимного зацепления.

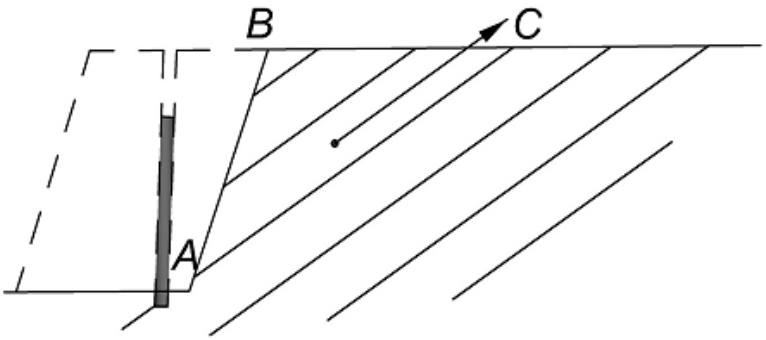


Рис. 5.2 Деформирование уступа при наличии наклонных трещин

Если угол падения трещин в этом случае превышает 32—36°, то сразу же после взрыва возможно обрушение призмы *ABC*. Наличие в уступе трещин, имеющих падение в сторону выработанного пространства и подрезаемых откосом уступа, является наиболее неблагоприятным вариантом трещиноватости для устойчивости уступа.

Повышение устойчивости уступов может быть достигнуто путем применения: а) диагональных схем короткозамедленного взрывания (КЗВ); б) наклонных зарядов для отбойки пород; в) контурного взрывания.

Применение диагональных схем короткозамедленнго взрывания (рис. 5.3) сокращает ширину зоны остаточных деформаций в верхней части уступа в 1,5-2 раза по сравнению с порядным взрыванием.

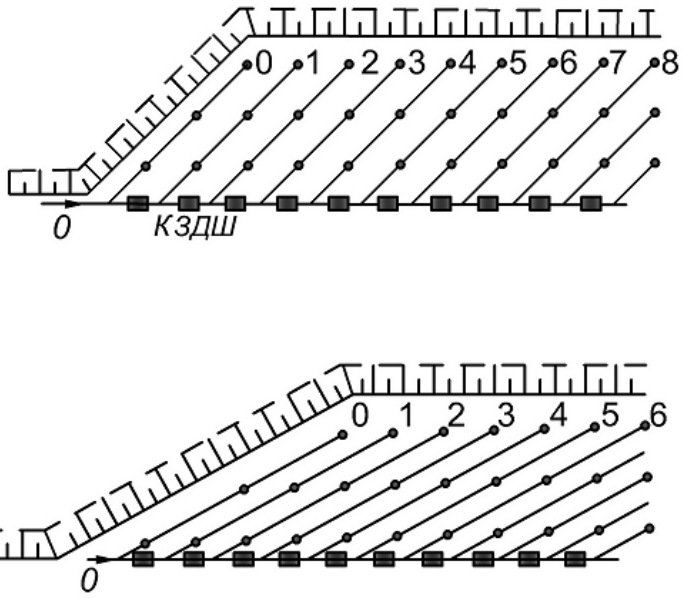


Рис. 5.3 Диагональные схемы короткозамедленного взрывания
(0, 1 … - номера замедлений)

При подходе горных работ к предельному контуру уступа на расстояние ближе 30-40 м независимо от выбранного способа заоткоски должно применяться не более чем двухрядное расположение зарядов с диагональной схемой КЗВ.

Применение для отбойки пород наклонных зарядов с углом наклона 60-75° к горизонту позволяет резко сократить ширину нарушенной зоны (рис. 5.4); поверхность откоса при этом остается нарушенной на глубину 10-12 диаметров заряда.

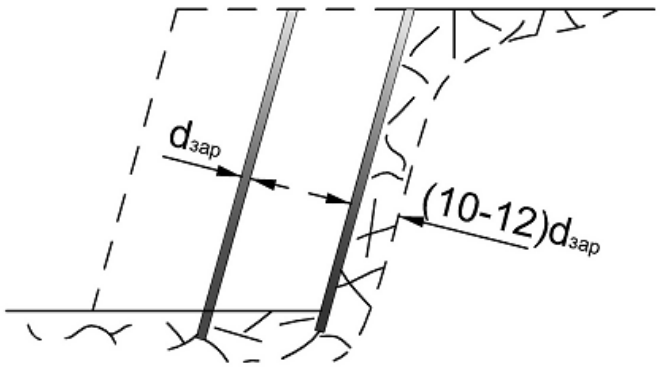


Рис. 5.4 Заоткоска уступа наклонными скважинными зарядами

В крупноблочных слабовыветривающихся породах выше средней крепости (f > 10) и при отсутствии трещин, имеющих падение в сторону выработанного пространства, отбойка приконтурной ленты наклонными зарядами является достаточной мерой для обеспечения длительной устойчивости уступов.

Одновременно применение наклонных зарядов позволяет в 1,5-2 раза уменьшить величину перебура, что сокращает разрушение нижележащего слоя.

Расчет параметров сетки наклонных скважин следует производить по удельному расходу ВВ в данных породах. Длина забойки в верхней части скважин составляет не менее 15-20 диаметров скважины.

Применение диагональных схем короткозамедленного взрывания и наклонных скважин не требует специальных дополнительных затрат. Эти методы также весьма эффективны в повышении качества отбойки и дробления пород могут быть рекомендованы как постоянные методы ведения буровзрывных работ.

Наиболее эффективным способом повышения устойчивости уступов является контурное взрывание. Основа техники контурного взрывания заключается в следующем. По проектному контуру выработки пробуривают ряд сближенных скважин. Скважины заряжают ослабленными зарядами ВВ; при этом между зарядом и стенкой скважины существует значительный воздушный зазор, который может быть заполнен сыпучей забойкой. Наличие воздушного зазора или достаточно пористой забойки приводит к тому, что действие взрыва заряда даже бризантного ВВ приближается к действию метательного ВВ. При таких условиях взрыва вокруг заряда не возникает зоны раздавливания и многочисленных радиальных трещин, а развивается преимущественно одна трещина в плоскости, проходящей через оси скважин. Вдоль ряда контурных зарядов образуется ровная устойчивая стенка с видимыми следами скважин.

Заряды для контурного взрывания могут приготавливаться в виде гирлянд из патронов ВВ диаметром от 30 до 90 мм, привязанных к прочной веревке. Вдоль гирлянды прокладывают две нитки ДШ. Возможно приготовление зарядов в виде длинных тканевых мешков диаметром 60-80 мм, заполненных ВВ. Верхнюю часть скважин на высоту, примерно равную расстоянию между скважинами в ряду, заполняют забойкой. Пространство между зарядом и стенкой скважины можно оставлять незаполненным; удобнее, однако, заполнять его сыпучей забойкой после опускания заряда, так как в первом случае заряд будет находиться на весу и может случайно опуститься.

Перебур контурных скважин следует принимать порядка 0,5 м. В табл. 5.1 приведены ориентировочные параметры контурных зарядов в породах различной крепости по шкале профессора М. М. Протодьяконова и при различном расстоянии между скважинами контурного ряда.

Оптимальный диаметр скважин контурного ряда находится в пределах 100-150 мм. Возможно использование скважин и большего диаметра.

Расстояние между контурными зарядами в ряду определяет чистоту образуемой поверхности отрыва. Средняя высота неровностей составляет ~ 10 % от расстояния между скважинами. Вполне удовлетворительные для открытых горных работ результаты достигаются при расстоянии между контурными зарядами 1,5-2 м. Увеличение расстояния свыше 2 м при соответствующем увеличении контурных зарядов приводит к появлению заметных деформаций массива от взрыва самих контурных зарядов.

Таблица 5.1

Ориентировочные параметры контурных зарядов

Коэффициент крепости породы f	Удельный расход ВВ* при отбойке, кг/м^3	Масса заряда на 1 п. м скважины (кг) в зависимости от расстояния между контурными скважинами		
		1 м	1,5 м	2 м
16-20	0,8-1	1,5	2,0	3,0
10-12	0,5-0,6	1,0	1,5	2,0
6-8	0,3-0,4	0,8	1,2	1,5

* Удельный расход ВВ при технологическом взрывании является косвенной характеристикой прочности пород.

Возможны два способа взрывания зарядов контурного ряда: а) до взрывания основных зарядов дробления в приконтурной ленте (метод предварительного щелеобразования); б) после отбойки приконтурной ленты («гладкое взрывание»).

Метод предварительного щелеобразования является наиболее эффективным способом заоткоски уступа. Контурные заряды при этом способе взрывают в ненарушенном массиве, пока горные работы находятся от своего предельного положения на расстоянии не менее 15-20 м.

После взрыва контурных зарядов в массиве образуется узкая щель, которая значительно ослабляет взрывную волну от основных зарядов дробления, устраняет образование заколов и практически полностью исключает деформации массива пород за щелью.

Расстояние между рядом скважин отрезной щели и зарядами дробления должно быть не менее 8-10 диаметров заряда дробления.

Взрывание зарядов отрезной щели можно производить предварительно, до бурения скважин для основных зарядов дробления. Возможно также одновременное взрывание зарядов отрезной щели с основными зарядами по схеме, изображенной на рис. 5.5. «Опережение» взрыва зарядов отрезной щели по отношению к моменту взрыва противолежащих им основных зарядов дробления должно находиться при этом в пределах 50-70 мс. При меньших интервалах возможно проникновение трещин за отрезную щель, а при больших – повреждение основных зарядов взрывом зарядов отрезной щели.

При любой последовательности взрывания основных и контурных зарядов отработка приконтурной ленты шириной 30-40 м должна производиться с использованием не более чем двухрядных взрывов и по диагональной схеме КЗВ.

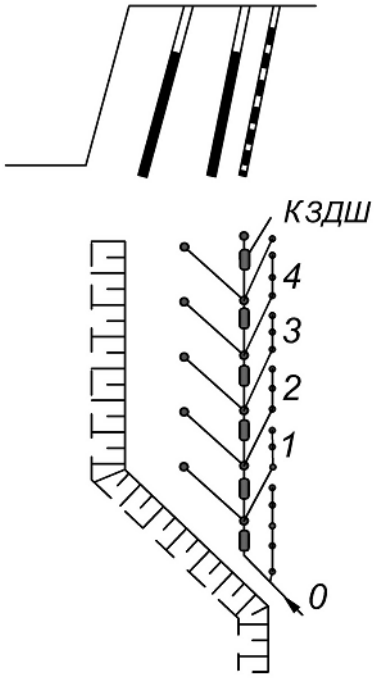


Рис. 5.5 Одновременное взрывание зарядов дробления и отрезной щели

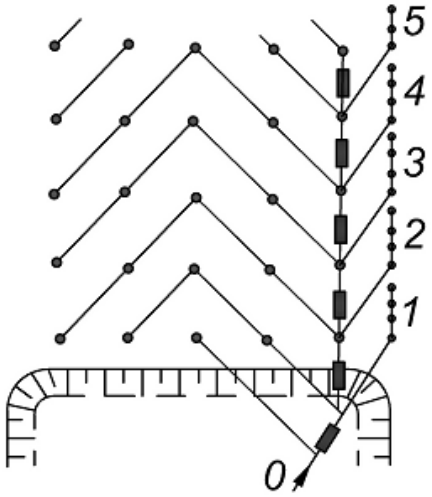


Рис. 5.6 Схема взрывания при проходке траншеи

При проходке разрезной траншеи по предельному контуру заряды отрезной щели можно взрывать предварительно или с опережением на 35-70 мс по отношению к зарядам дробления (рис. 5.6).

Если на предельном контуре производится сдваивание или страивание рабочих уступов, то отрезную щель можно формировать сразу на полную высоту уступа предельного контура (рис. 5.7).

Отработку нижнего слоя вблизи проектного контура в целях сохранения структуры пород в кровле нижележащего уступа целесообразно вести наклонными зарядами либо уменьшать перебур до 0,5-1 м. Взрыв контурного ряда и приконтурный взрыв верхнего слоя могут быть произведены раздельно или совместно.

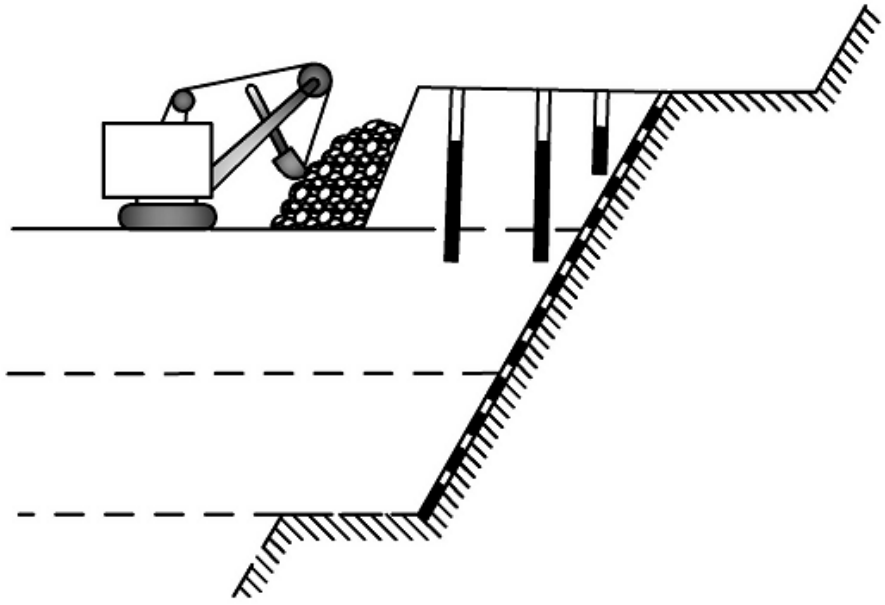


Рис. 5.7 Заоткоска высокого уступа (строенного)

В слаботрещиноватых породах при постановке в предельное положение высоких (сдвоенных или строенных) уступов отрезную щель можно создать лишь в верхней половине уступа.

Контурные заряды при гладком взрывании отделяют с поверхности откоса уступа наиболее разрушенный слой и формируют более устойчивую поверхность (рис. 5.8). Удовлетворительные результаты достигаются при расстоянии между скважинами контурного ряда 2-3 м. Добиваться высокой чистоты поверхности при данном способе заоткоски путем сближения скважин контурного ряда в условиях открытых горных работ не имеет смысла, поскольку трещины и деформации, существующие за контурным рядом от взрыва основных зарядов дробления, не могут быть уменьшены путем изменения параметров контурных зарядов.

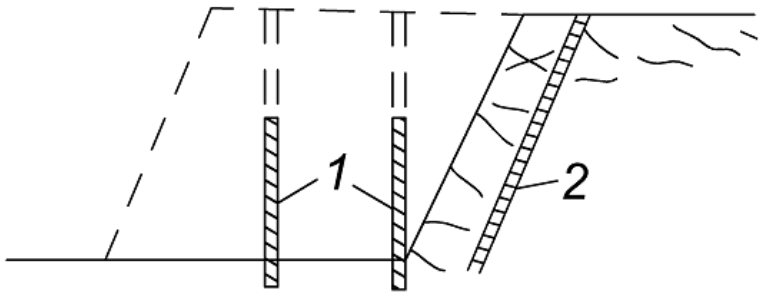


Рис. 5.8 Заоткоска методом гладкого взрывания
1 – заряды дробления; *2* – контурный заряд

Бурение контурных скважин и взрывание контурных зарядов в данном случае можно производить после взрывания основных зарядов. Взрывание контурных зарядов можно производить также с замедлением в 50-70 мс по отношению к основному взрыву.

Данный способ контурного взрывания менее эффективен в отношении повышения устойчивости уступов по сравнению с методом предварительного щелеобразования. Он может быть рекомендован лишь в тех случаях, когда применение метода предварительного щелеобразования невозможно по каким-либо причинам.

Заоткоска уступов с помощью контурного взрывания позволяет на 5-15° и более увеличить их угол откоса по сравнению с углами откосов, получающимися при обычной технологии буровзрывных работ, а также обеспечивает длительную устойчивость уступов.

Рекомендуемые углы заоткоски при постановке уступов в предельное положение с применением контурного взрывания приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Рекомендуемые углы заоткоски

Породы	Угол откоса уступа (градус) со сроком службы	
	до 5 лет	более 5 лет
Крепкие крупнобалочные	65 – 75	60 – 70
Мелкобалочные и средней выветриваемости	55 – 65	50 – 60
Сильновыветривающиеся (сланцы, алевролиты альбитофиты, дробленый материал тектонических разломов)	50 – 60	45 – 50

Контурное взрывание повышает устойчивость откосов при наличии в них подрезаемых трещин (поверхностей ослабления), имеющих падение в сторону откоса.

С его помощью можно обеспечить устойчивость уступов при углах падения закрытых трещин с шероховатыми контактами до 45°, а открытых трещин с песчано-глинистым заполнителем до 25°. При более крутом падении заоткоску следует производить по контактам. Простейший способ заоткоски по контакту приведен на рис. 5.9.

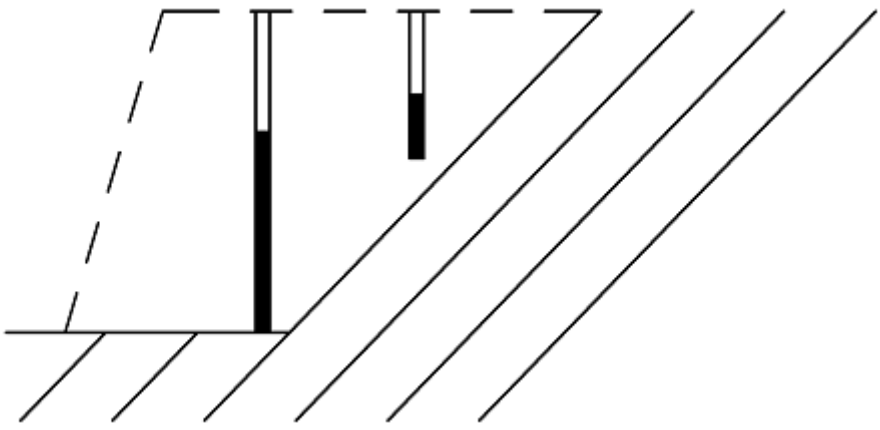


Рис. 5.9 Заоткоска уступа по наклонной трещине вертикальным зарядом

Целесообразность применения контурного взрывания для повышения устойчивости и увеличения угла откоса уступов определяется экономическим расчетом.

В случае обрушения (самопроизвольное выполаживание) незаоткошенного уступа для восстановления первоначальной ширины бермы необходимо произвести разноску вышележащего уступа. По мере углубления карьера обрушение одного из нижних уступов требует для восстановления необходимой ширины бермы разноса всех вышерасположенных уступов, т. е. разноса всего борта и извлечения большого объема породы. Положение значительно осложняется, если в зону разноса попадают какие-либо сооружения или транспортные коммуникации).

Специальные меры по повышению устойчивости уступа целесообразны в том случае, если их стоимость меньше стоимости извлечения лишних объемов пород при выполаживании борта.

Как правило, применение контурного взрывания экономически оправданно с глубины 10-20 м, т. е. со второго (сверху) уступа.

В проектах горных работ должны приводиться паспорта заоткоски уступов, определяющие способы ведения взрывных работ при подходе к предельному контуру, методы заоткоски, углы откоса, а также мероприятия (в случае необходимости) по искусственному укреплению уступов.

5.2 Укрепление откосов

Когда деформации откоса принимают прогрессирующий характер, а его разрушение может нарушить технологию горных работ или повлечь угрозу жизни людей, необходимо прибегнуть к укреплению откоса. В табл. 5.3 приведена классификация существующих способов укрепления откосов, а на рис. 5.10 показаны некоторые схемы укрепления.

Таблица 5.3

Способы укрепления откосов

Группы способов	Условия применения
I. Механическое укрепление с помощью:	
- железобетонных свай и шпон;	Массивы со слаборазвитой трещиноватостью, подсеченные поверхностями ослабления, падающими в выработанное пространство под углами 20-50°
- штанг и гибких тросовых тяжей;	Крупноблоковые маловыветрелые массивы, сланцеватые слоистые твердые породы с падением в сторону выемки под углами 40-60°
- защитных стенок;	Сильнотрещиноватые, легко выветривающиеся скальные и полускальные породы
- железобетонных подпорных стенок и контрфорсов	Нарушенные массивы сложной структуры с переслаиванием пород, рыхлые увлажненные породы, склонные к оползанию

Окончание табл. 5.3

Группы способов	Условия применения
II. Упрочнение пород с применением:	
- цементации, нагнетания укрепляющих растворов из полимерных материалов, смолизации;	Трещиноватые скальные породы с трещинами, свободными от глинистых материалов, крупнозернистые и мелкозернистые пески
- силикатизации и электросиликатизации;	Песчаные и лессовые породы при коэффициенте фильтрации 0,1-5 м/сут
- электрохимической обработки (электроосмос);	Глинистые водонасыщенные породы при коэффициенте фильтрации менее 0,01 м/сут
- термической обработки;	Лессовидные, суглинистые и глинистые породы с коэффициентом воздухопроницаемости 0,2-0,4 см/с
- уплотнения энергией взрыва	Глинистые, лессовидные, супесчанистые породы с коэффициентом пористости более 0,1
III. Изолирующие и защитные покрытия, применяемые для укрепления: - набрызгбетон по металлической сетке; - смолизация. Агромелиоративные мероприятия	Сильнотрещиноватые породы, склонные к интенсивному выветриванию или выщелачиванию; песчаные или гравелистые откосы
IV. Комбинированное укрепление пород - сочетание механического укрепления с упрочнением или изоляцией пород	Сложные инженерно-геологические условия

Любой из способов укрепления откосов направлен на восстановление баланса сдвигающих и удерживающих сил. Однако заметим, что механические способы повышают устойчивость посредством увеличения удерживающих призму смещения сил, а способы упрочнения – посредством изменения свойств горного массива (увеличение сцепления по трещине отдельности).

Механические способы применяются в маловыветрелых массивах скальных и полускальных пород с слабовыраженной трещиноватостью, при наличии в откосе неблагоприятных поверхностей ослабления с углами падения, превышающими угол внутреннего трения.

Суть способа заключается во введении в горный (прибортовой) массив механических конструкций либо в возведении наружного поддерживающего сооружения.

Железобетонные сваи применяются для капитального крепления больших участков массива. При большом удалении поверхности скольжения, в целях экономии материалов, применяют гибкие тросовые тяжи (канаты). Штанги применяются для укрепления отдельных небольших по размерам участков. Породная пригрузка (контрфорс) является достаточно простым и эффективным способом, отличающимся высокой экономичностью, однако он не всегда при-

меним вследствие отсутствия пространства (бермы) в карьере для возведения пригрузки.

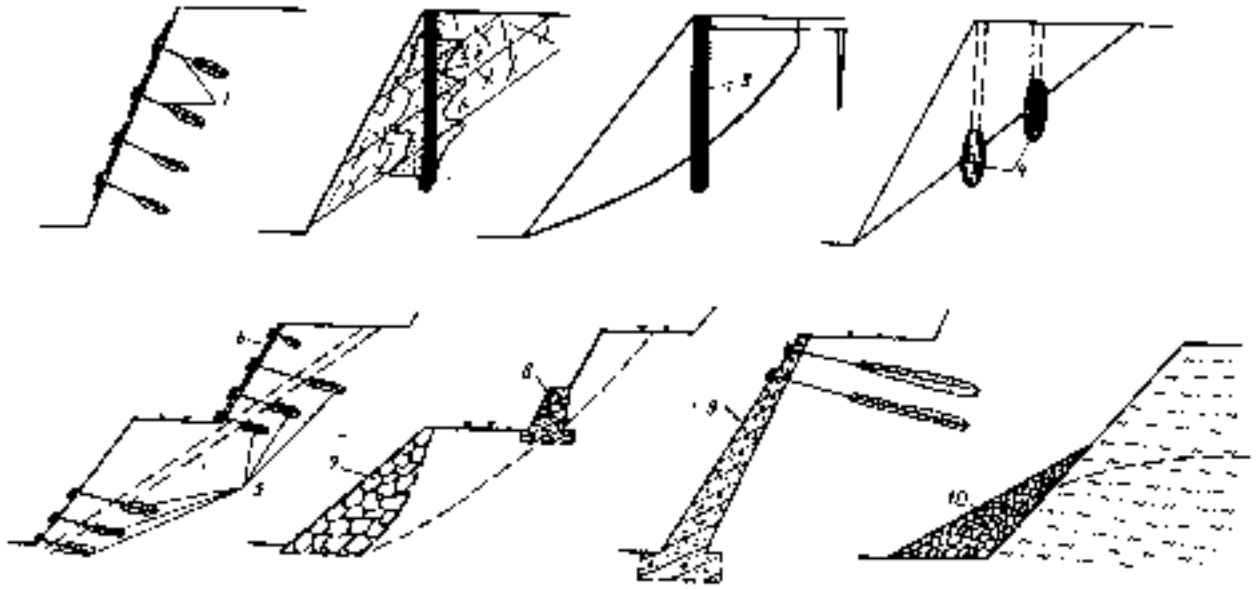


Рис. 5.10 Способы укрепления откосов на карьерах:
1 – железобетонные штанги; *2* – железобетонные сваи с цементацией пород; *3* – трубчатая железобетонная свая с заанкерной головой; *4* – железобетонные шпоны; *5* – гибкие тросовые тяжи; *6* – подвесная стенка; *7* – контрфорс из скальных пород; *8* – массивная железобетонная подпорная стенка; *9* – тонкая железобетонная защитная стенка; *10* – пригрузка из фильтрующего материала

Цементация подразделяется на поверхностную (до 7 м, перфораторное бурение) и глубинную. В первом случае раствор нагнетается под давлением до 10 атм, во втором случае – 30-40 атм. Укрепление откосов нагнетанием полимерных растворов и смол принципиально ничем не отличается от цементации.

Термическая обработка применяется в лессовидных и торфянистых породах и заключается в нагнетании в скважину горячего сжатого воздуха или газового факела с температурой 600-800 ºС. Термический способ также применим при уплотнении глинистых пород, в качестве примера служит технология получения кирпича – температура плюс давление. Кроме того, может быть применено упрочнение пород взрывом. После взрыва скважинного заряда в местах расположения заряда (взрывчатого вещества), вследствие уплотнения пород, образуются так называемые камуфлеты (полости или пустоты). В эти полости можно закачать, например, цемент.

Изолирующие покрытия применяются на откосах, породы которых склонны к интенсивному выветриванию.

Агромелиоративные мероприятия состоят в высадке на оползневом склоне травы, кустарников и т. д.

5.3 Дренаж карьерного поля

Как было установлено выше, обводненность бортов карьеров негативно сказывается на их устойчивости, это проявляется в виде механического воздействия подземных вод на призму смещения (гидростатическое давление). Кроме того, при водонасыщении глин значительно снижаются ее прочностные свойства, при больших напорах наблюдается суффозия (механический вынос частиц) и т. д. Перечисленное выше заставляет производить работы по осушению карьерного поля.

Суть осушения карьерного поля с позиции устойчивости откосов сводится к понижению уровня подземных вод ниже горизонта горных работ. Другими словами, депрессионная кривая (воронка) не должна пересекать вероятную поверхность скольжения.

Так как осушением карьерных полей на предприятии занимается геологическая служба (гидрогеологи) предприятия, в пособии рассматривается данный вопрос лишь поверхностно, без привлечения математического аппарата.

Все работы по осушению во времени подразделяются на две стадии:

1. Опережающее осушение.
2. Параллельное (эксплуатационное) осушение.

Опережающее осушение проводят за 1-2 года до начала разработки карьера.

Способы дренажа подразделяют на три вида:

1. Поверхностный.
2. Подземный.
3. Комбинированный.

Общим принципом дренажа является такая планировка поверхностей транспортных и предохранительных берм, которая обеспечит сток поверхностных и фильтрующих подземных вод в нагорные и дренажные канавы, зумпфы, подземные выработки (водосборники) с последующей их откачкой за пределы карьерного поля.

Поверхностный дренаж включает:

1. Глубокий дренаж водопонижающими и поглощающими скважинами. Вокруг карьера по определенной сетке (интервал) пробуриваются глубокие скважины. В водопонижающие скважины помещаются глубинные насосы, которые откачивают дренирующую воду. Поглощающие скважины пробуриваются с поверхности и замыкаются на подземные горные выработки. Вода, дренирующая в сторону карьера, перехватывается скважинами и перепускается в подземные горные выработки, туда же может перепускаться вода из зумпфа, пройденного в нижней точке карьера.

2. Ярусное осушение. Осушение производится поэтапно на глубину развития горных работ (20 м).

3. Горизонтальный дренаж неглубокого заложения. Заключается в проходке по периметру карьера канав и дрен (до 15-20 м глубиной). Для устойчивости бортов канав в условиях дренирования они могут заполняться крупноглыбовым материалом (дрены).

4. Горизонтальный дренаж в откосах. С бортов карьера пробуриваются горизонтальные (или наклонные) скважины в зоны обводнения (между водоупорами), с последующим удалением воды.

Подземный способ осушения заключается в осушении карьерного поля подземными горными выработками, которые проходятся параллельно с понижением открытых горных работ.

5.4 Основные пути достижения максимальных углов погашения бортов карьеров

Для достаточно внушительного числа карьеров существует необходимость введения понятия о технологически (технически) возможных углах погашения бортов карьеров (углы бортов карьера в предельных контурах – 50-65º). Другими словами, имеются карьеры с высокопрочными массивами (невысокая интенсивность трещиноватости с благоприятными, с точки зрения устойчивости, элементами залегания), борта которых заведомо устойчивы, так как угол их наклона определяется не устойчивостью (геомеханическими условиями), а конструкцией борта и параметрами системы транспортных коммуникаций.

Кроме того, теория и практика показывают, что углы погашения бортов многих карьеров не достигли максимально допустимых значений (это подтверждается отсутствием больших по размерам разрушений, соизмеримых с высотой бортов карьеров, и обосновывается применением непомерно больших значений нормативного коэффициента запаса устойчивости), и имеется реальный резерв их увеличения и сокращения объемов вскрыши или увеличения глубины карьера. Однако препятствием этому является большое количество предохранительных и транспортных берм и недостаточно крутые углы откосов сгруппированных уступов в предельном контуре.

Первое в какой-то степени можно устранить за счет применения наклонных предохранительных берм (приложение 2), положительный опыт внедрения которых имеется на карьере «Трубка Мира» (Якутия), а также на Сибайском и Сорском карьерах, где получен значительный экономический эффект.

Для увеличения глубины отработки карьера без дополнительного разноса бортов предохранительные бермы проводят параллельно трассе транспортной бермы (рис. 5.11). Предохранительные бермы располагают между смежными транспортными с таким расчетом, чтобы высота уступов была бы одинаковой в любом поперечном сечении карьера, то есть предохранительные бермы отстраивают наклонными, повторяя уклон транспортной бермы.

Важно отметить, что в случае необходимости предохранительные бермы можно вполне использовать как транспортные, так как они имеют одинаковые уклоны.

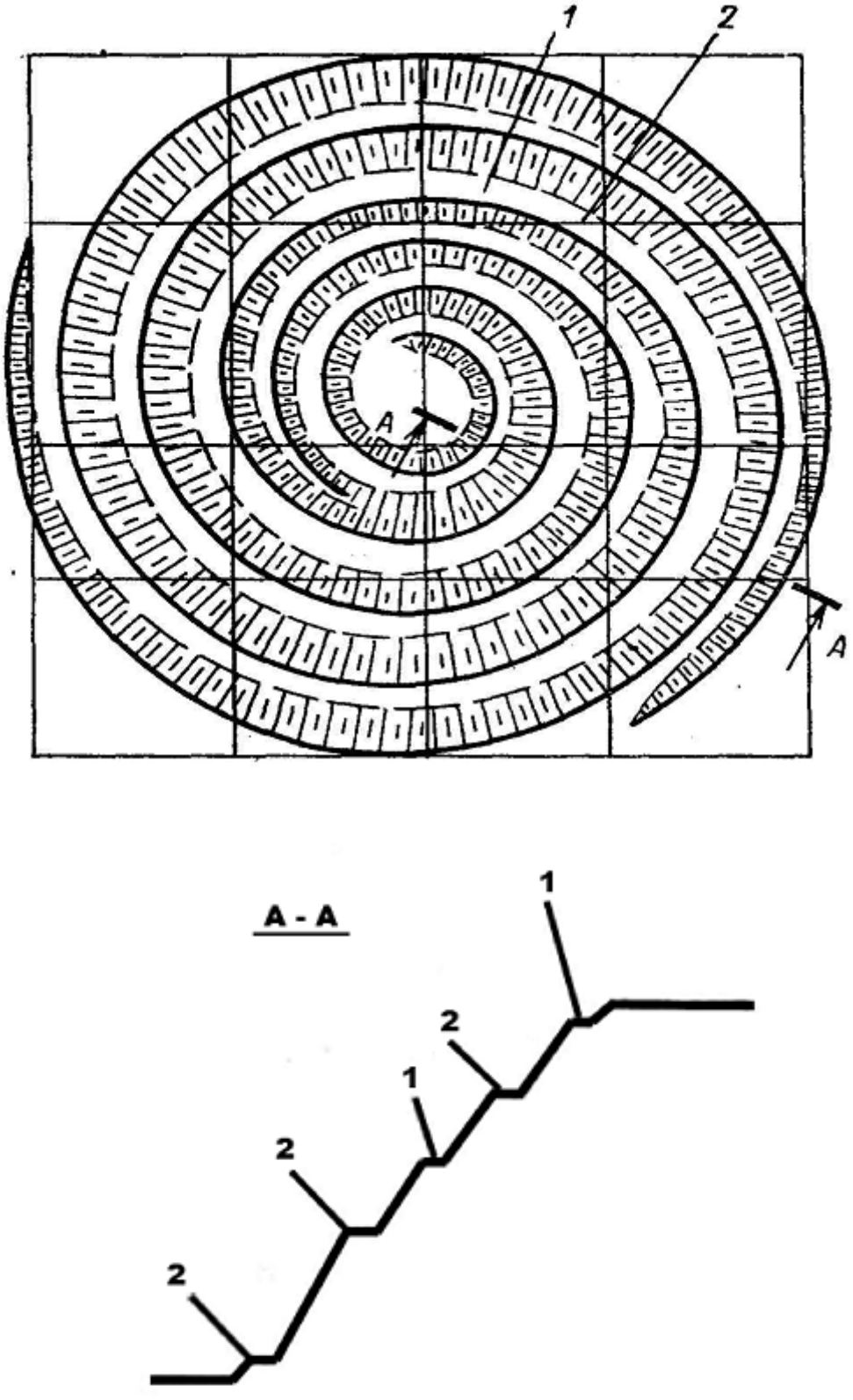


Рис. 5.11 Карьер с наклонными предохранительными бермами

Практика увеличения углов наклона откосов уступов за счет применения специальной технологии отработки приконтурных лент и искусственного укрепления отдельных участков на карьерах также имеется. При этом важно отметить, что спецтехнологии отработки приконтурных лент (контурное взрывание), укрепление отдельных участков уступов и наклонные предохранительные бермы прошли достойную проверку временем на меднорудных карьерах (Бляавинский, Сибайский, Сорский, Гайские, Учалинский и др.) и доказали свою эффективность.

Контурное взрывание при постановке уступов в предельное положение с креплением отдельных ослабленных участков прошли также промышленные испытания на Ковдорском карьере, где уступы высотой 24-30 м заоткошиваются под углом 90° (рис. 5.12, 5.13).

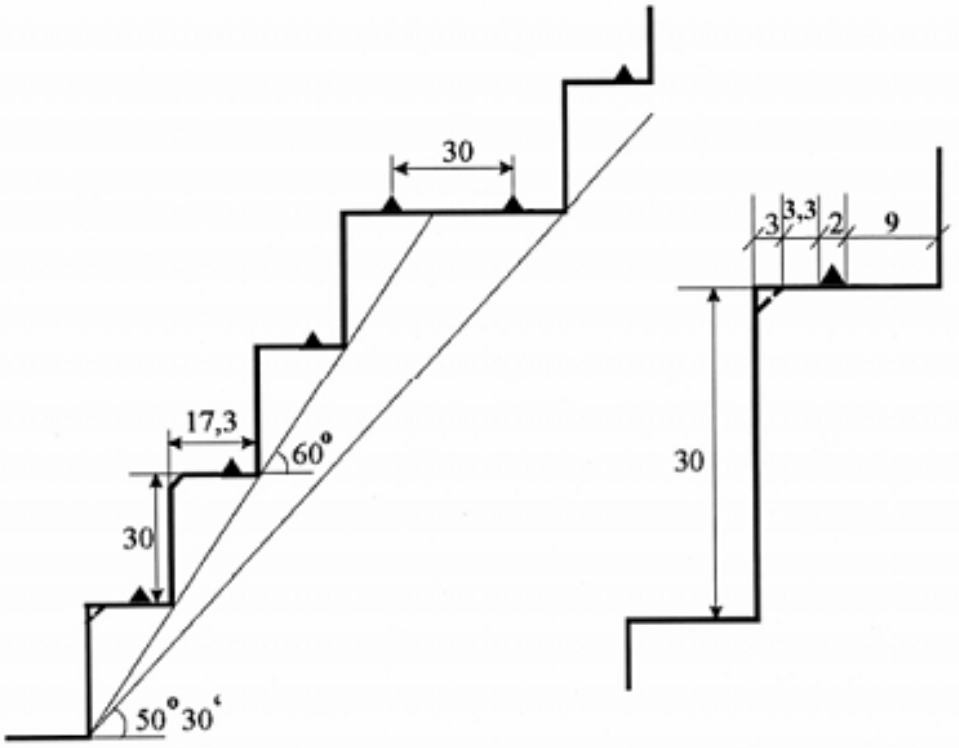


Рис. 5.12 Конструкция борта карьера Ковдорского “Железного” ГОКа

На основе комплексных исследований и промышленных испытаний специалистами Горного института КНЦ РАН внедрена концепция оптимизации конструкции бортов карьера. Ключевое место в этой концепции занимает спецтехнология буровзрывных работ. И действительно, отстройка бортов карьера вертикальными уступами возможна лишь при сохранении природной структуры массива.

Защита прибортового массива от действия технологических взрывов путем контурного щелеобразования создала условия для формирования уступов с вертикальными откосами, а применение последних в высокопрочных массивах создало условия для увеличения углов наклона бортов.

Как видим, узкоспециальный (несистемный) подход к инженерно-геологическим изысканиям, проектированию карьеров и эксплуатации место-

рождений привел к недоиспользованию “косвенного” эффекта от внедрения в горную практику предварительного щелеобразования.

Ожидаемый результат проводимых с этой целью исследований заключается в создании комплексной наукоемкой технологии формирования бортов карьера в конечном положении с обоснованием их параметров и конструкций, оптимальных по отношению к инженерно-геологическим и геомеханическим условиям конкретных участков массива на контуре карьера.



Рис. 5.13 Опытный участок на Восточном борту карьера

В частности, для карьера рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» экономический эффект только от уменьшения объёма вскрыши при постановке в конечное положение нижней части борта высотой 400 м с генеральным углом наклона в среднем 55° (максимальный угол откоса борта карьера составляет 65°) вместо 45° по первоначальному проекту может составить ориентировочно 1,8 млрд руб в ценах 2006 года.

Из последнего примера ясно, насколько сложно переоценить позитивное влияние спецтехнологии буровзрывных работ на устойчивость откосов, на первый взгляд кажущуюся ненужным атрибутом буровзрывных работ, снижающим производительность горных работ.

Таким образом, достижение максимальных углов погашения бортов карьеров, а следовательно, и сокращение объемов вскрышных работ, как и увеличение глубины существующих и проектируемых карьеров, требуют изменения отношения к борту карьера, который следует (до конца разработки) рассматривать как долговременное инженерное сооружение. Подходить к нему следует аналогично подходу к подземным горным выработкам: применять сбе-

регающую природную прочность прикарьерного массива технологию постановки уступов в предельное положение с укреплением отдельных участков, внедрение в проекты наклонных предохранительных берм и другие мероприятия. Безусловно, подобные инженерные решения требуют привлечения специализированных организаций (несистемный подход). Однако из рассмотренного выше примера, очевидно, насколько это может быть эффективно. Небольшой коллектив безусловно талантливых ученых может принести экономический эффект в миллиарды рублей, благодаря фактически только внедрению новой технологии работ и новому взгляду на проблему.

В заключение отметим, что уменьшение коэффициента вскрыши, то есть увеличение генерального угла борта карьера в предельном контуре при его оптимальной конструкции и форме, наиболее эффективный способ снижения затрат добычи (расход ВВ и ГСМ, амортизация ОФ и т. д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии изложен практически весь перечень вопросов геомеханики открытой разработки месторождений.

Рассмотрены методы наблюдений за устойчивостью геотехнических сооружений, включающие наблюдения по реперам наземной наблюдательной станции, наблюдения за горизонтальными смещениями внутри массива с использованием современного инклинометрического оборудования. Приводятся методики проектирования сети наблюдательных станций из расчета обеспечения заданной точности определения смещений горного массива.

Во второй главе произведен анализ существующих методов расчета устойчивости откосов, указываются их недостатки, приводятся классификации по различным классификационным признакам. Подробно рассматриваются недостатки существующих методов расчета устойчивости в однородных и анизотропных горных массивах. Достаточно подробно освещена современная теория устойчивости откосов в однородных, неоднородных, анизотропных, подработанных, обводненных откосах и откосах, подверженных сейсмическим воздействиям. Приводится номограмма устойчивости плоских однородных откосов, построены наиболее напряженные поверхности скольжения, а также график для определения ширины призмы обрушения. Рассмотрены вопросы устойчивости бортов карьеров, криволинейных в плане построения бортов карьеров выпуклого профиля. Приведены методы моделирования устойчивости откосов: моделирование эквивалентными материалами, математическое моделирование методом конечных элементов, даются примеры применения методов моделирования.

В третьей главе рассматриваются различные схемы потери устойчивости отвалов, приводится математический аппарат оценки их устойчивости.

Четвертая глава посвящена расчетным механическим характеристикам. Подробно рассказывается о проблемах определения механических характеристик горных массивов и, прежде всего, величины сцепления трещиноватых горных массивов. Рассматриваются методы определения механических характеристик, а также их недостатки. Приводятся методики назначения нормативного коэффициента запаса устойчивости.

В пятой главе обсуждаются вопросы повышения устойчивости бортов карьеров и механизмы достижения их максимальных значений с весьма представительными примерами реализации имеющихся научных разработок.

Учебное пособие рассчитано на студентов, специалистов, аспирантов высших учебных заведений, занимающихся вопросами геомеханики открытой разработки и вообще устойчивостью откосов (железнодорожные и автомобильные насыпи, котлованы, гидротехнические сооружения и т. д.). Может быть полезно научным работникам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: Утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.98. – СПб.: ГосНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1998. – 208 с.

2. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии / Минцветмет СССР: Утв. 14.01.1988. – М.: ЦНИИЦМЭИ, 1989. – 128 с.

3. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.

4. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

5. 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.

6. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: Взд. ВНИМИ, 1987. – 116 с.

7. Бадулин А. П.. Яковлев В. Н. Устойчивость бортов карьеров. Учебное пособие. – Екатеринбург, УГГУ, 2005. – 84 с.

8. Машанов А. Ж., Певзнер М. Е., Бекбасаров Ш.С. Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау. – Алма-Ата: “Наука” КазССР, 1981. – 120 с.

9. Хуан Я. Х. Устойчивость земляных откосов / пер. с англ. В. С. Забавина; под ред. В. Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1988. – 240 с.

10. Голушкевич С. С. Статика предельных состояний грунтовых масс. − М.: Гос. изд-во технико-теор. лит-ры, 1957. 288 с.

11. Сапожников В. Т. Определение равноустойчивого откоса выпуклого профиля // сб. трудов ВНИМИ. – 1968. – Вып. 64. – 249 – 266.

12. Жабко А. В. Исследование закономерностей, определяющих геометрию поверхности скольжения в откосах и расчетные характеристики в изотропных горных массивах: дис. … канд. техн. наук / УГГУ. – Екатеринбург, 2009. – 152 с.

13. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для ВТУЗов. – 12 изд., стер. – М.: Высш. Шк., 2002. – 416 с. – ил.

14. Лаврентьев М. А., Люстерник Л.А. Курс вариационного исчисления, 2-е изд. – М.: гос. изд-во. техн.-теор. лит., 1950. – 296 с.

15. Маркеев А. П. О принципе наименьшего принуждения // Соросовский образовательный журнал. – 1998. - №1. – С. 113 – 121.

16. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко В. А., Агарев, А. Л. Квитка и др. – Киев: гос. изд. техн. лит., 1963. – 791 с.

17. Соловьев Ю. И. Устойчивость откосов из гипотетического грунта // Труды НИИЖТа. Вопросы инженерной геологии, оснований и фундаментов. – 1962. – Вып. 28. – С. 83-97.

18. Дорфман А. Г. Вариационный метод исследования устойчивости откосов // Вопросы геотехники: Сб. ДИИТ. – 1965. – Вып. 9. – С. 17-25.

19. Дорфман А. Г., Дудинцева И.Л. Расчет давления на подпорные стены при выпоре грунта по линии минимального сопротивления сдвигу // Вопросы геотехники: Сб. ДИИТ. – 1972. – Вып. 20. – С. 68-75.

20. Мочалов А. М. Расчет устойчивости слоистых откосов: Труды ВНИМИ, сб. 83. − Л.: Изд. ВНИМИ, 1971.

21. Жабко А. В. Расчет устойчивости однородных оснований и откосов // Проблемы недропользования: мат-лы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции (с участием иностранных ученых) 8 – 11 февраля 2011 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. – С. 397-407.

22. Жабко А. В. Теория расчета устойчивости оснований и откосов // Известия Уральского государственного горного университета. – 2011. – № 25 – 26. – С. 59-65.

23. Жабко А. В. Расчет устойчивости откосов // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – № 2. – С. 55-59.

24. Жабко А. В. Предельные параметры плоских однородных откосов // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 22-25.

25. Жабко А. В. Основы общей теории расчета устойчивости откосов // Известия Уральского государственного горного университета. – 2013. – № 4(32). – С. 47-58.

26. Zhabko A.V. Calculation theory of stability of foundations and slopes / A.V. Zhabko // Proceedings XV International ISM Congress 2013. 16 – 20 September 2013, Aachen, Germany. S. 85 – 97.

27. Жабко А. В. Расчет устойчивости неоднородных и анизотропных откосов // Изв. вузов. Горный журнал. − 2014. –№ 3. – С. 22 – 29.

28. Жабко А. В. Учет гидростатического давления при расчете устойчивости откосов // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – № 6 (68). – С. 29 – 31.

29. Жабко А. В. Напряженное состояние земной коры // Известия Уральского государственного горного университета. – 2014. – № 3(35). – С. 57 – 60.

30. Жабко А. В. Условие прочности горных пород // Известия Уральского государственного горного университета. – 2014. – № 4(36). – С. 24 – 28.

31. Жабко А. В. Поверхности скольжения и предельные параметры неоднородных и анизотропных откосов // Проблемы недропользования. – 2014. – № 1. – С. 24 – 31.

32. Жабко А. В. Предельное напряженное состояние горных пород // Изв. вузов. Горный журнал. − 2015. –№ 5. – С. 50 – 55.

33. Zhabko A.V. Calculation of stability of inhomogeneous and anisotropic slopes / A.V. Zhabko, V.A. Gordeev // Mezinárodní konference Geodézie a Důlní měřictví 2015 XXII. konference Společnosti důlních měřičů a geologů. Zasedání odborných komisí ISM. Praha 24. – 26. června 2015.

34. Жабко А. В. Критерий разрушения твердых тел // Проблемы недропользования: Сетевое периодическое научное издание (http://trud.igduran.ru). Выпуск 2 (5). – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. – С. 46 – 51.

35. Жабко А. В., Мусаллямова Ю.Х. Сравнительный анализ критериев прочности // Материалы XIII Международной научно-практической конферен-

ции «Уральская горная школа – регионам», в рамках УГПД. – Екатеринбург, 20 – 21 апреля 2015 г. – Екатеринбург, 2015. − С. 300 – 301.

36. Туринцев Ю. И., Кольцов П. В., Жабко А. В. Методическое руководство по определению максимальных углов погашения бортов меднорудных карьеров. – Екатеринбург: УГГУ, 2010. – 106 с.

37. Методические указания по обеспечению устойчивости откосов и сейсмической безопасности зданий и сооружений при ведении взрывных работ в карьерах. – Л.: ВНИМИ, 1977. – 17 с.

38. Инженерно-геологические аспекты проектирования глубокого карьера Ковдорского ГОКа / М. В. Епифанова, С. А. Федоров, А. А. Козырев и др. // Горный журнал. – 2007. – № 9.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

1 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА НАЗЕМНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ В КАРЬЕРЕ 5
1.1 Виды деформаций, факторы, их определяющие, и цели наблюдений за деформациями 5
1.2 Подготовительные работы 6
1.3 Разработка проекта наблюдательной станции 7
1.3.1 Профильные линии 8
1.3.2 Аналитические и полигонометрические сети 11
1.4 Методика маркшейдерских наблюдений 12
1.4.1 Наблюдения по профильным линиям 13
1.4.2 Наблюдения при использовании аналитических сетей 21
1.4.3 Наблюдения при использовании полигонометрических сетей 25
1.4.4 Наблюдения с использованием линейно-угловых сетей 26
1.4.5 Наблюдения с помощью методов геодезических засечек 27
1.4.6 Нетрадиционные методы наблюдений 29
1.5 Наблюдения за смещениями внутри массива 30
1.6 Паспортизация деформаций 33

2 ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ 34
2.1 Систематизация, анализ и классификации существующих методов расчета устойчивости откосов 34
2.2 Способы расчета, рекомендуемые действующими нормативными документами 49
2.2.1 Общие сведения 49
2.2.2 Способ алгебраического сложения сил 49
2.2.3 Способ многоугольника сил (ВНИМИ) 51
2.2.4 О поверхностях скольжения 55
2.3 Современный способ расчета устойчивости откосов 58
2.3.1 Общая теория расчета устойчивости однородных откосов 58
2.3.2 Предельные параметры плоских однородных откосов 67
2.3.3 Расчет анизотропных и неоднородных откосов 69
2.4 Дополнительные вопросы оценки устойчивости откосов 77
2.4.1 Учет обводненности и сейсмичности 77
2.4.2 Расчет подработанных и закарстованных откосов 79
2.4.3 Построение устойчивых откосов выпуклого профиля 82
2.4.4 Устойчивость откосов криволинейных в плане 84
2.5 Моделирование геомеханических процессов 85
2.5.1 Моделирование эквивалентными материалами 85

2.5.2 Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния откосов 90

3 УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ 97

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ МАССИВОВ 103
4.1 Общие сведения 103
4.2 Физико-механические характеристики массивов 105
4.3 Нормативный (необходимый) коэффициент запаса устойчивости 118

5 МЕРОПРИЯТИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ 125
5.1 Заоткоска уступов в предельном контуре 125
5.2 Укрепление откосов 133
5.3 Дренаж карьерного поля 136
5.4 Основные пути достижения максимальных углов погашения бортов карьеров 137

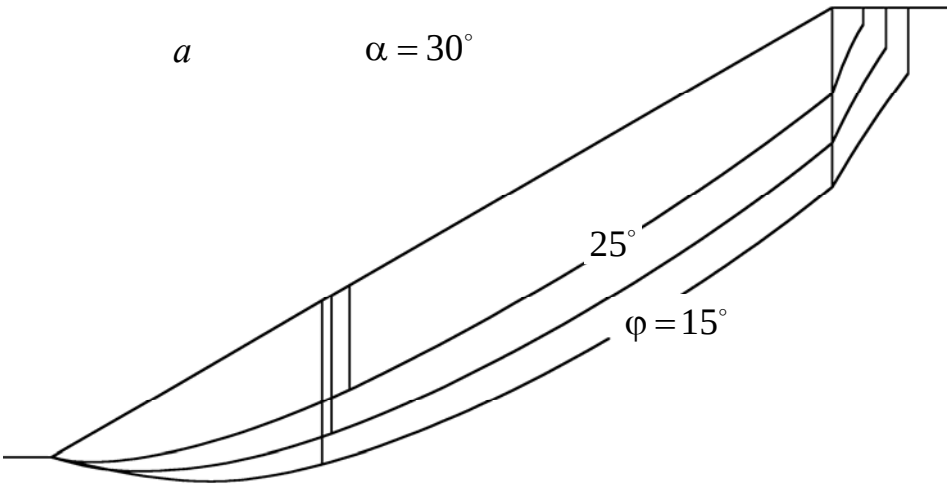
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 142

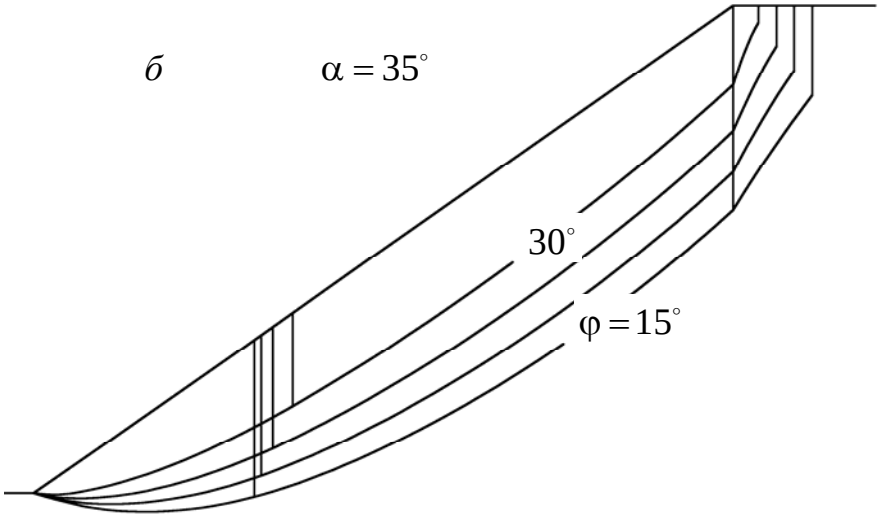
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 143

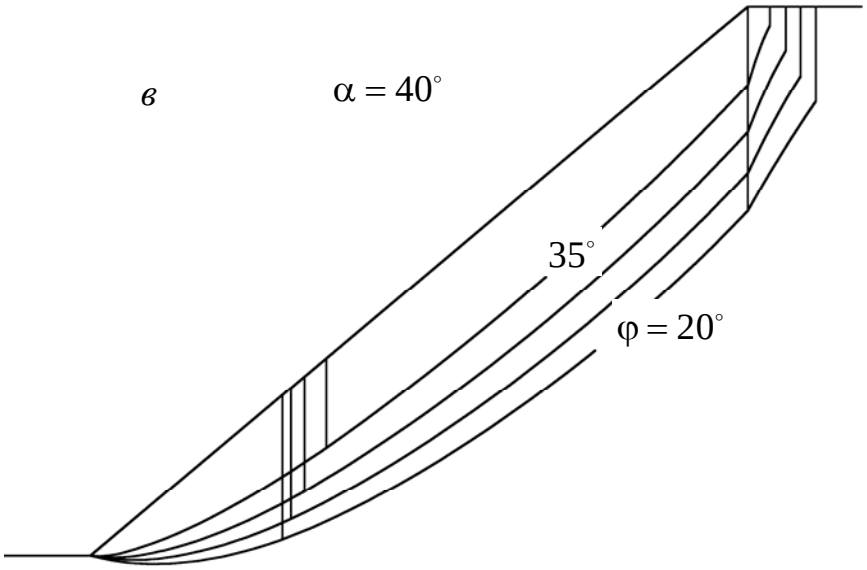
ПРИЛОЖЕНИЯ 148
Приложение 1 Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе 148
Приложение 2 Способ отстройки нерабочего борта карьера 150

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе







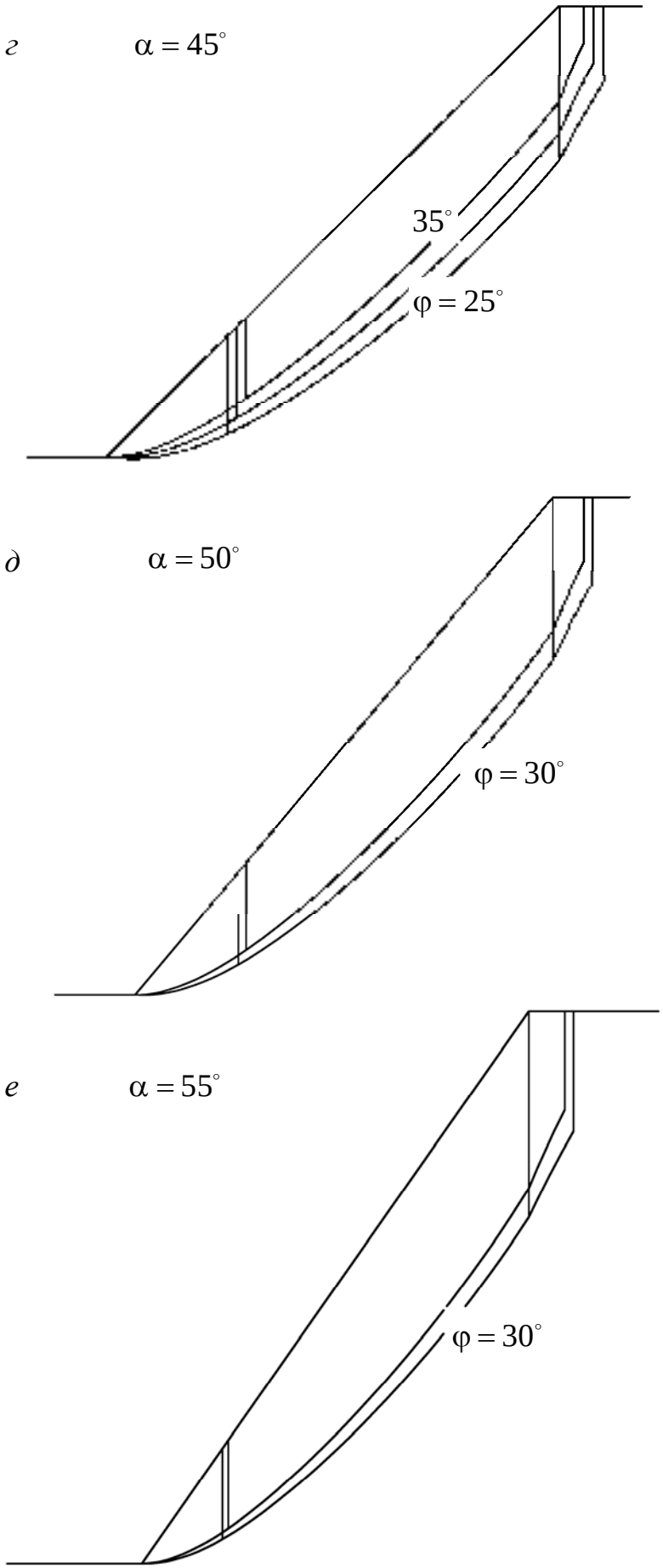


Рис. П 1 Поверхности скольжения в однородном плоском откосе:
для $\alpha = 30^\circ$ (*а*); $\alpha = 35^\circ$ (*б*); $\alpha = 40^\circ$ (*в*); $\alpha = 45^\circ$ (*г*); $\alpha = 50^\circ$ (*д*); $\alpha = 55^\circ$ (*е*)

Способ отстройки нерабочего борта карьера

Союз Советских Социалистических Республик

Государственный комитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 497407

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 04.05.70 (21) 1445304/22-3

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет

Опубликовано 30.12.75 Бюллетень № 48

Дата опубликования описания 26.03.76

(51) M. Кл.² E 21 C 41/02

(53) УДК 622.271(088.8)

(72) Авторы изобретения: А. М. Горкин, П. Г. Сиенков, И. Ф. Царьков, В. В. Рыжений, С. Л. Фисенко, К. А. Долинин, А. Г. Сисин, Ю. И. Турышев, Ю. М. Харитонов, Ю. И. Анисимов, С. Н. Попов и И. И. Ермаков

(71) Заявители: Московский ордена Трудового Красного Знамени горный институт, Башкирский медносерный комбинат, Уральский научно-исследовательский и проектный институт медной промышленности и Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела

(54) СПОСОБ ОТСТРОЙКИ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА

1

Изобретение относится к разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Известен способ отстройки нерабочего борта карьера, включающей сооружение системы транспортных и предохранительных берм.

Однако такой способ отстройки приводит к увеличению объема вскрышных работ и, соответственно, отнесения затрат на вскрышные работы на эксплуатационные борта.

Цель изобретения — повышение эффективности отработки карьера без увеличения объема вскрышных работ.

Это достигается тем, что предохранительные бермы располагают в зоне расположения транспортной бермы.

На фиг. 1 изображен карьер и план, на фиг. 2 — разрез по А—А на фиг. 1. Предлагаемый способ отстройки борта карьера заключается в том, что между основными транспортными с таким расчетом, чтобы ширина уступа борта была равной ширине рабочей площадки карьера, то есть другого транспортные берма. Ширина

2

предохранительной бермы 2 составляет 0,5 ширины транспортной бермы 1.

Предмет изобретения

Способ отстройки нерабочего борта карьера, включающий сооружение в пределах предельного контура карьера основных транспортных и предохранительных берм, отличающийся тем, что, с целью увеличения добычи и отработки карьера без увеличения объема вскрышных работ, предохранительные бермы располагают параллельно основным транспортным бермам.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.В. Жабко, А.П. Бадулин

ГЕОМЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие

К курсовому проекту
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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).

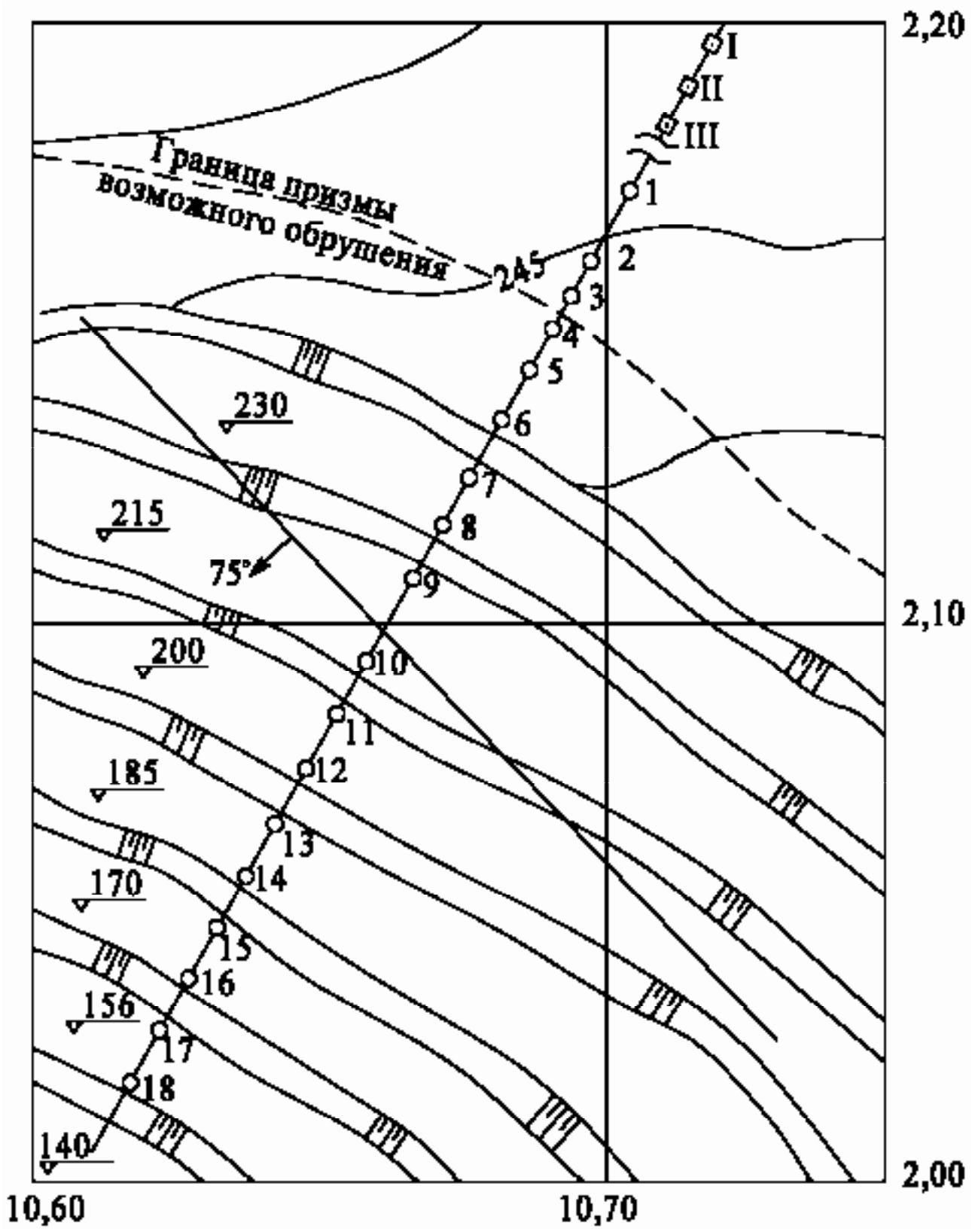


Рис. 1.1. План наблюдательной станции

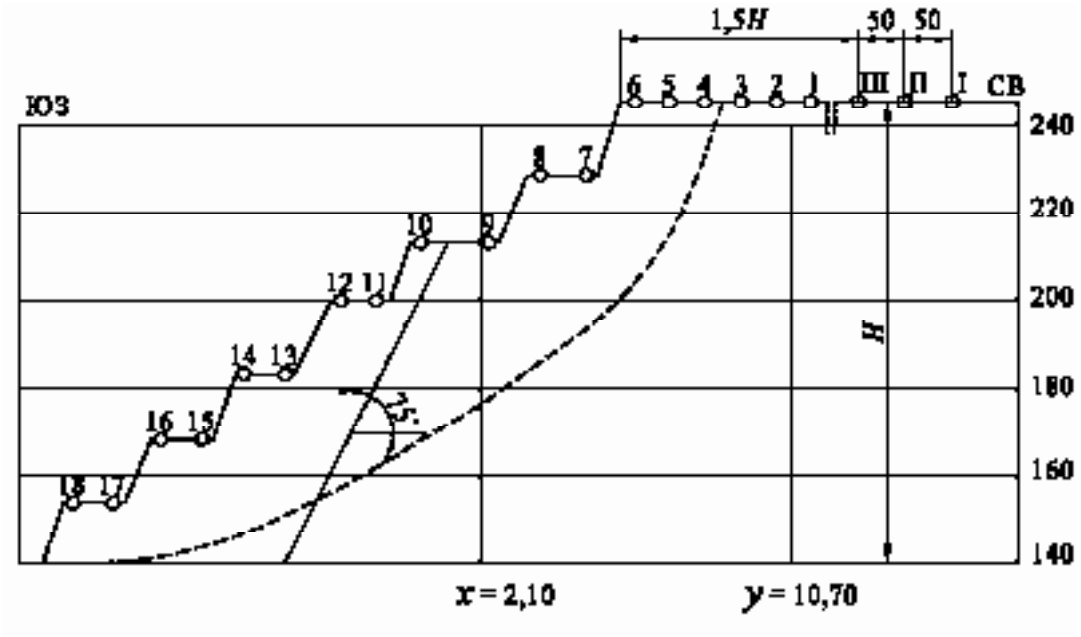


Рис. 1.2. Разрез по профильной линии

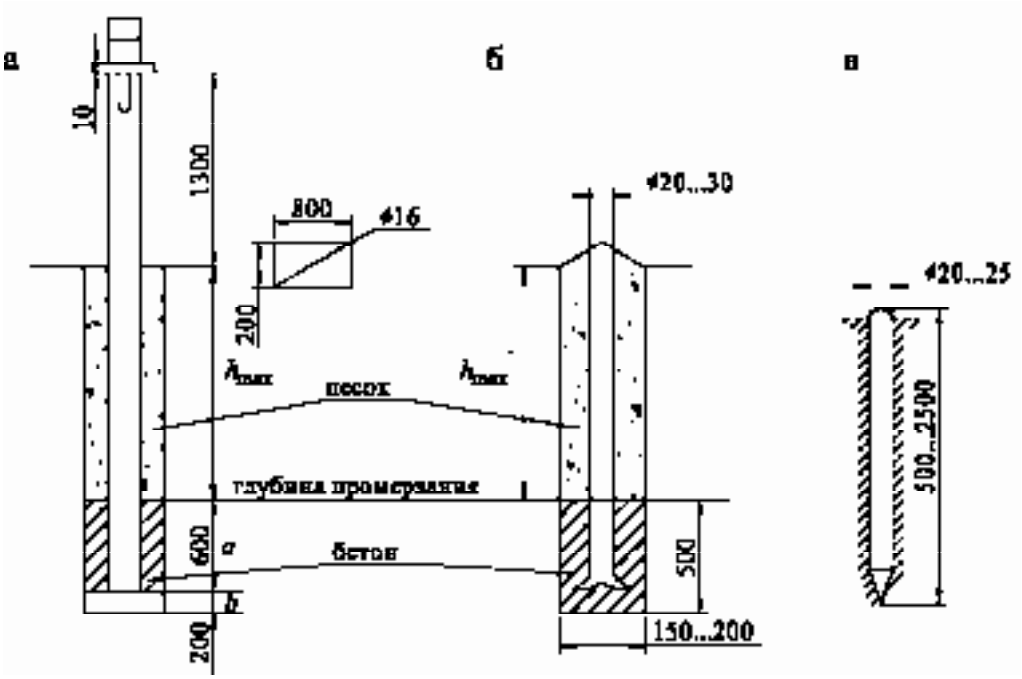


Рис. 1.3. Конструкции реперов

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).

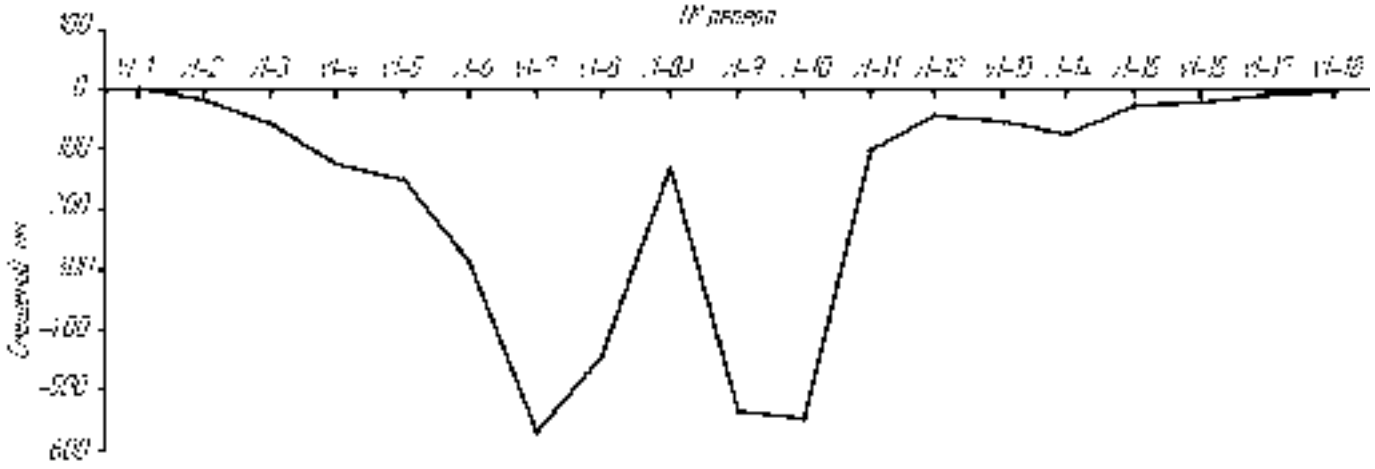


Рис. 1.4. График вертикальных смещений реперов

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

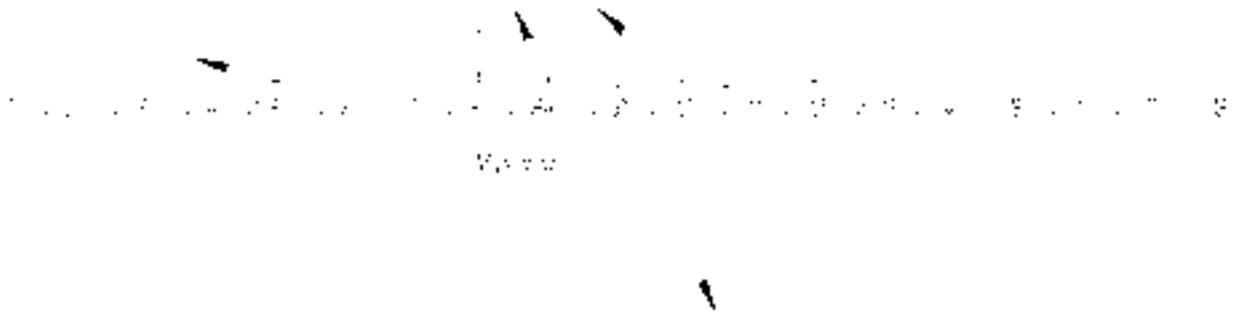


Рис. 1.5. График горизонтальных смещений реперов

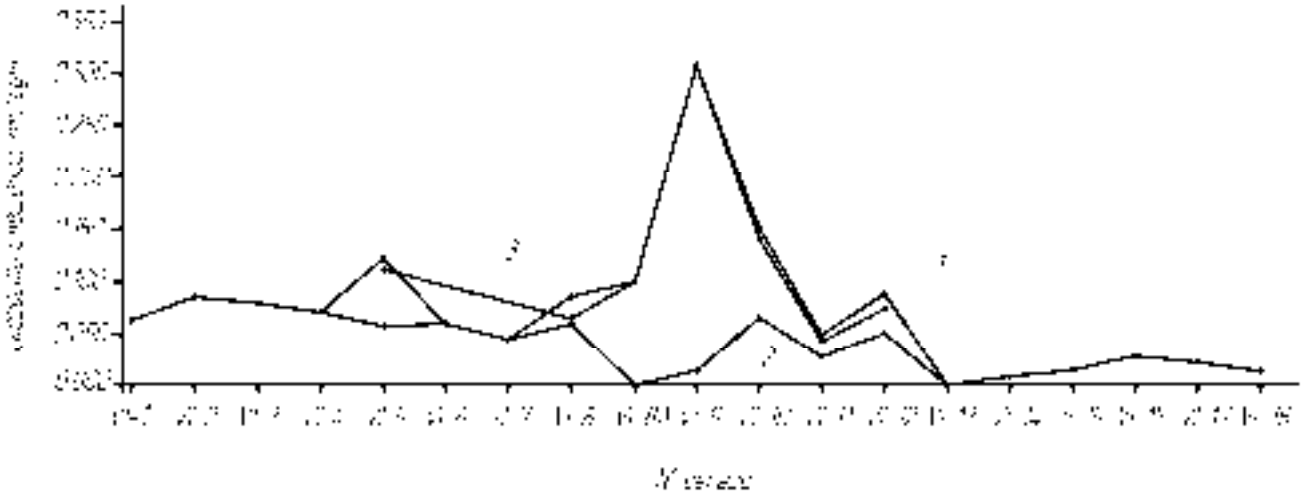


Рис. 1.6. Скорости смещения реперов:
1 – общая скорость смещения; *2* – горизонтальная скорость смещения;
3 – вертикальная скорость смещения

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:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \sigma_{n1} l_1 + \operatorname{tg}\varphi_2 \cdot \sigma_{n2} l_2 + \ldots + \operatorname{tg}\varphi_i \cdot \sigma_{ni} l_i}{\sigma_{n1} l_1 + \sigma_{n2} l_2 + \ldots + \sigma_{ni} l_i},$$

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 \cdot l_1 + C_2 \cdot l_2 + \ldots + C_i \cdot l_i}{l_1 + l_2 + \ldots + l_i}, \qquad (2.1)$$

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \ldots + \gamma_i \cdot h_i}{h_1 + h_2 + \ldots + h_i},$$

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:

$$\mathrm{tg}\varphi_{\text{ср}} \sum_{i=1}^{n} N_i + C_{\text{ср}} \cdot L = \sum_{i=1}^{n} T_i \,, \tag{2.2}$$

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:

$$\sum_{i=1}^{k} T_i' = \mathrm{tg}\varphi_{\text{ср}} \sum_{i=1}^{k} N_i' \,, \tag{2.3}$$

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).

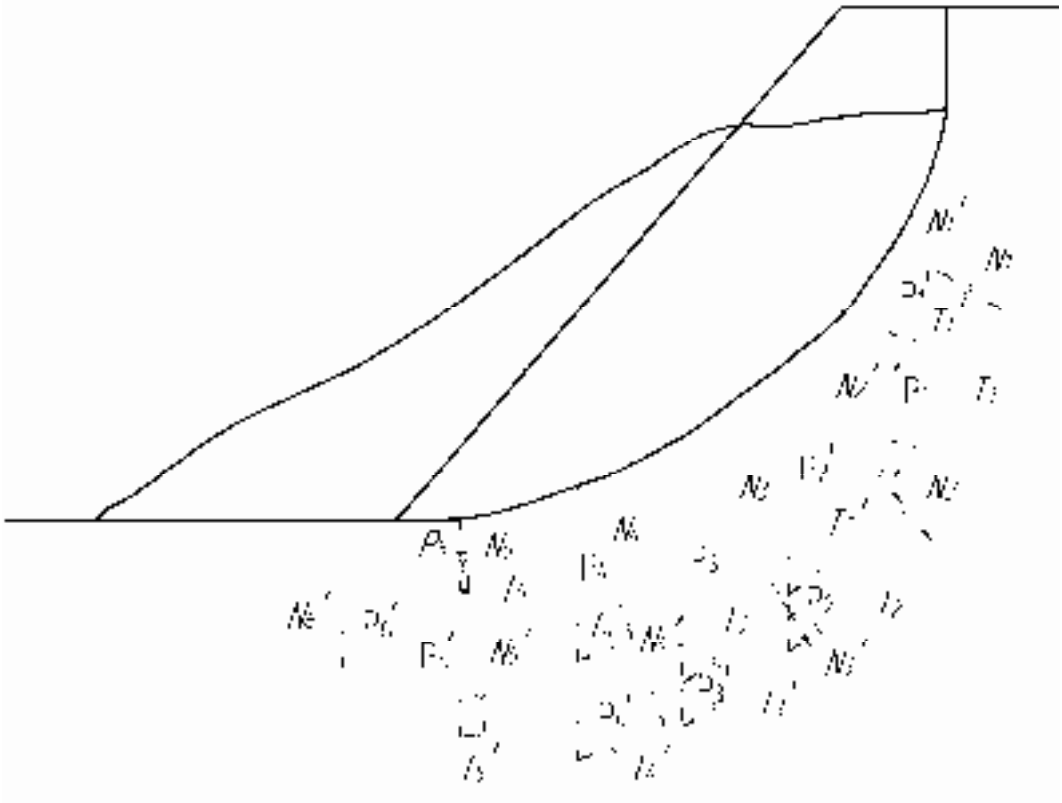


Рис. 2.1. Определение прочностных свойств
массива методом обратного расчета

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: $C = 3\ \text{т}/\text{м}^2$; $\varphi = 20^\circ$; $\gamma = 2\ \text{т}/\text{м}^3$, 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.

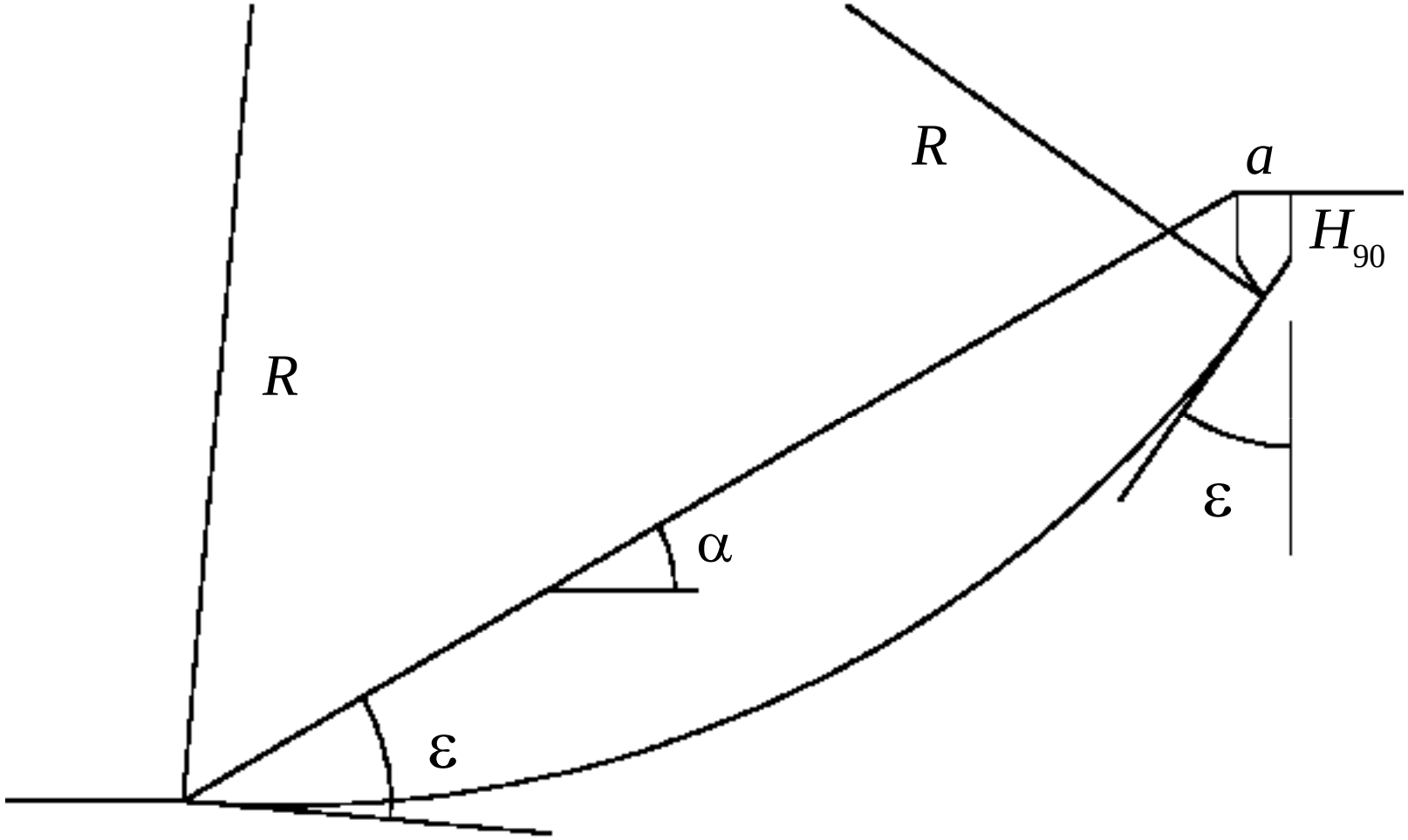


Рис. 3.1. Поверхность скольжения в однородном откосе (по ВНИМИ)

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:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}\left(\varphi - \varphi'\right) - \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\right) = 41,6^\circ.$$

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.

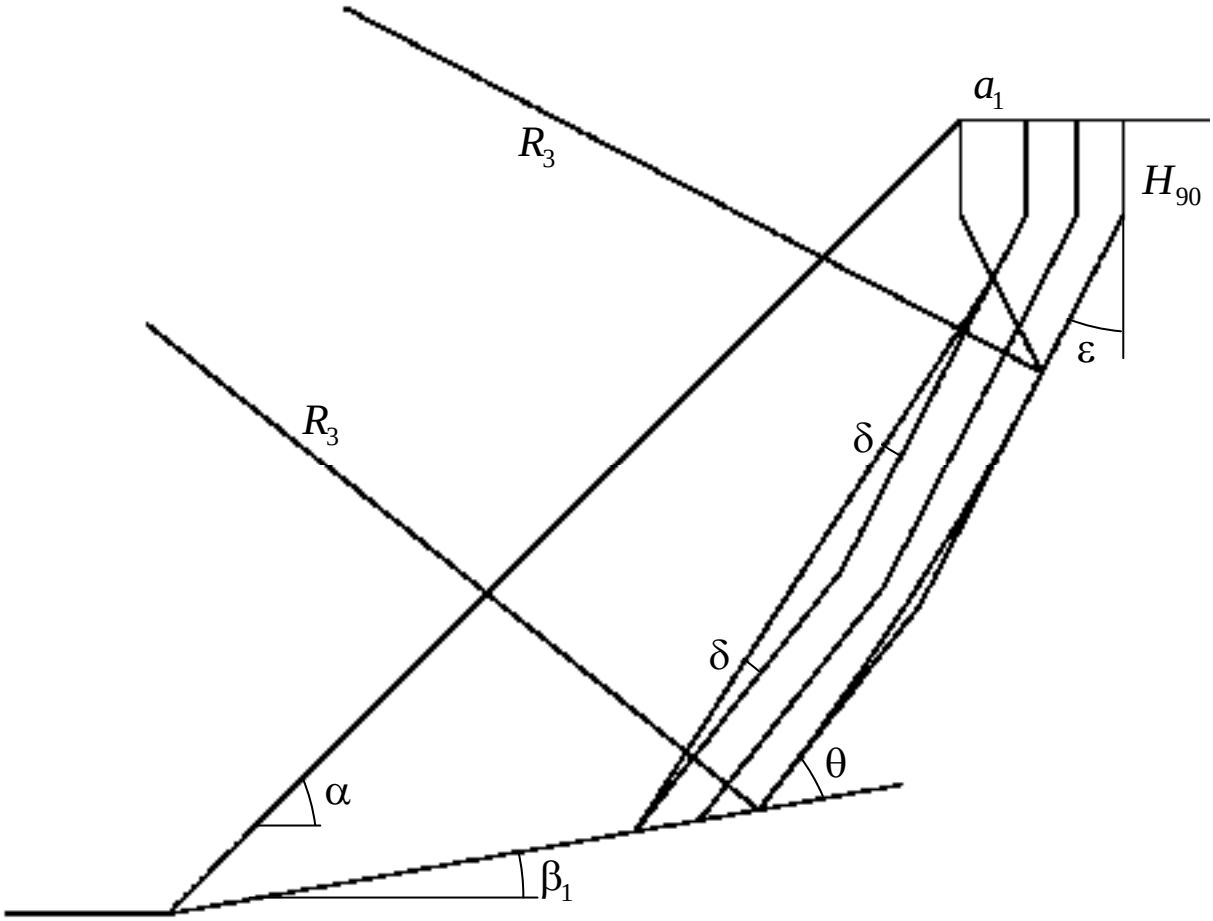


Рис. 3.2. Построение поверхности скольжения в откосе при наличии пологопадающей поверхности ослабления

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.

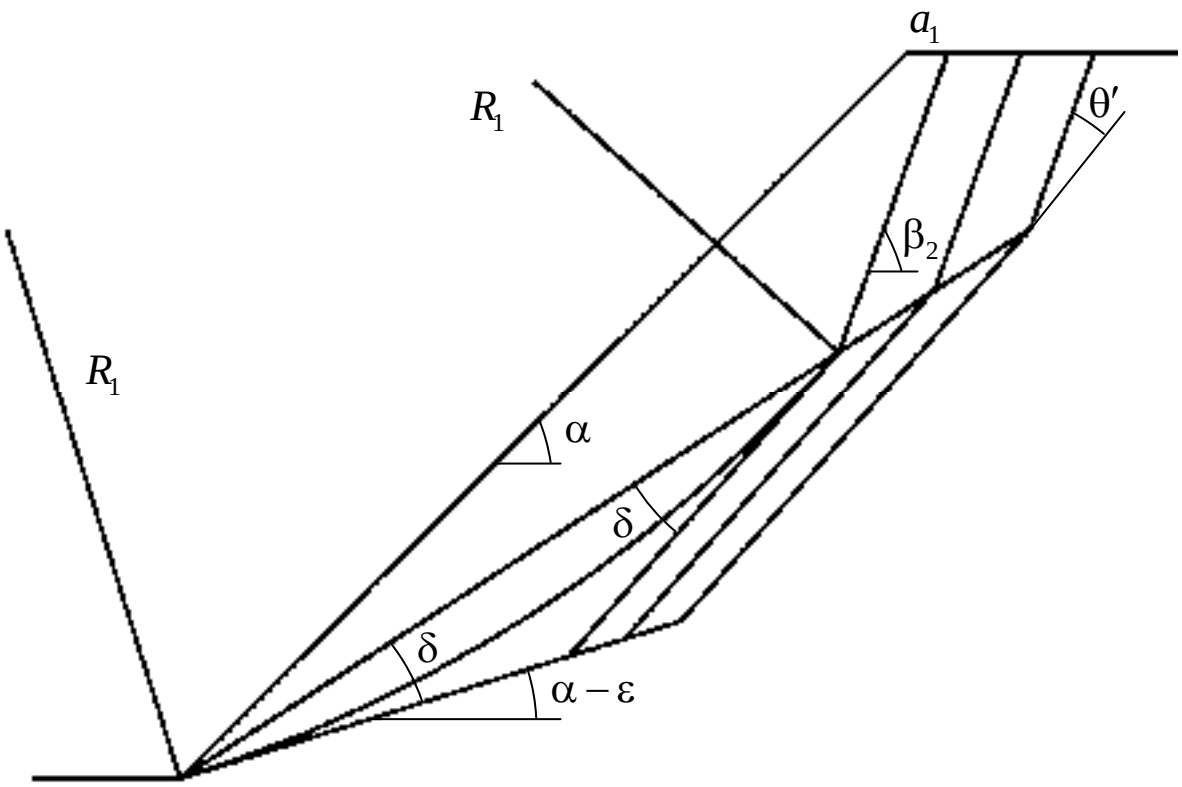


Рис. 3.3. Построение поверхности скольжения в откосе при наличии крутопадающей поверхности ослабления

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.

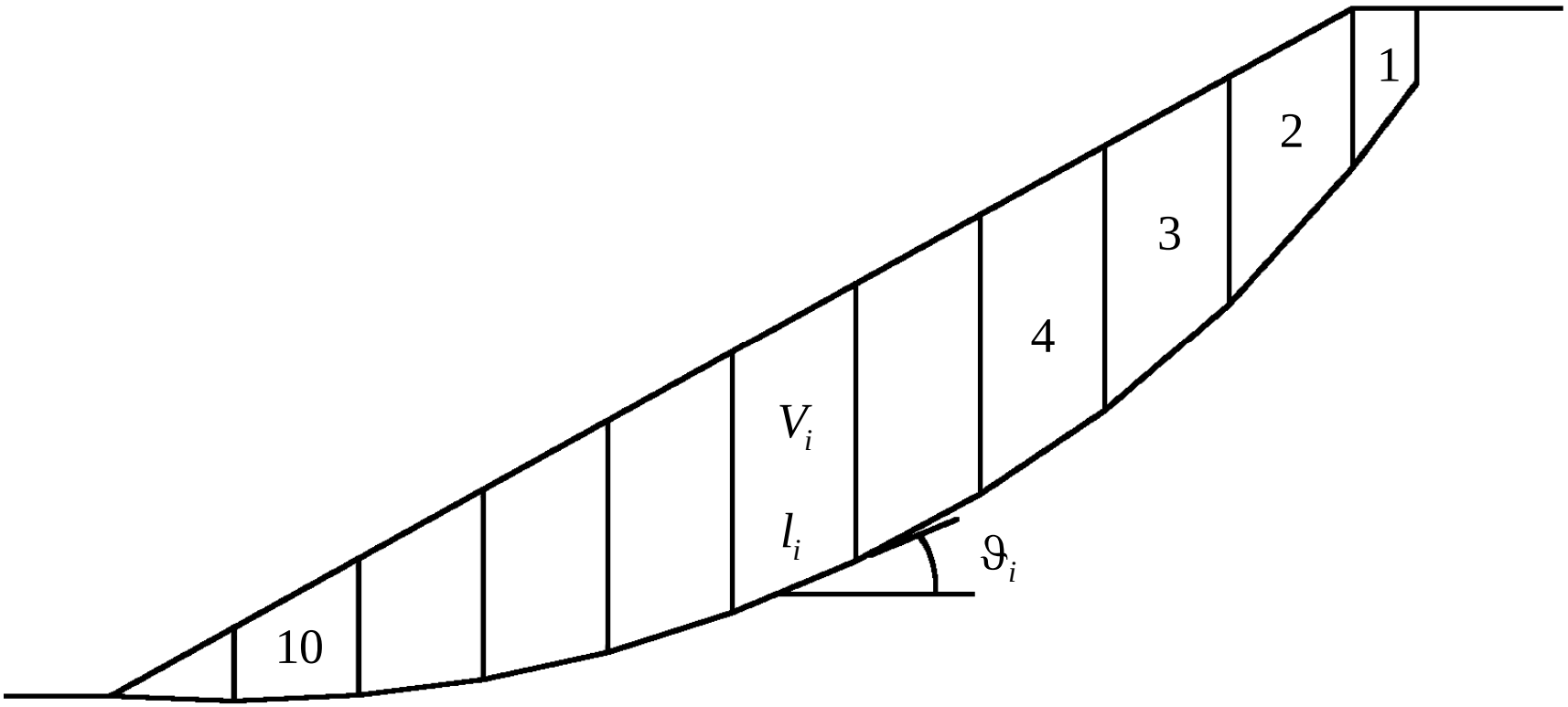


Рис. 4.1. Разбиение призмы смещения на отсеки (блоки)

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.

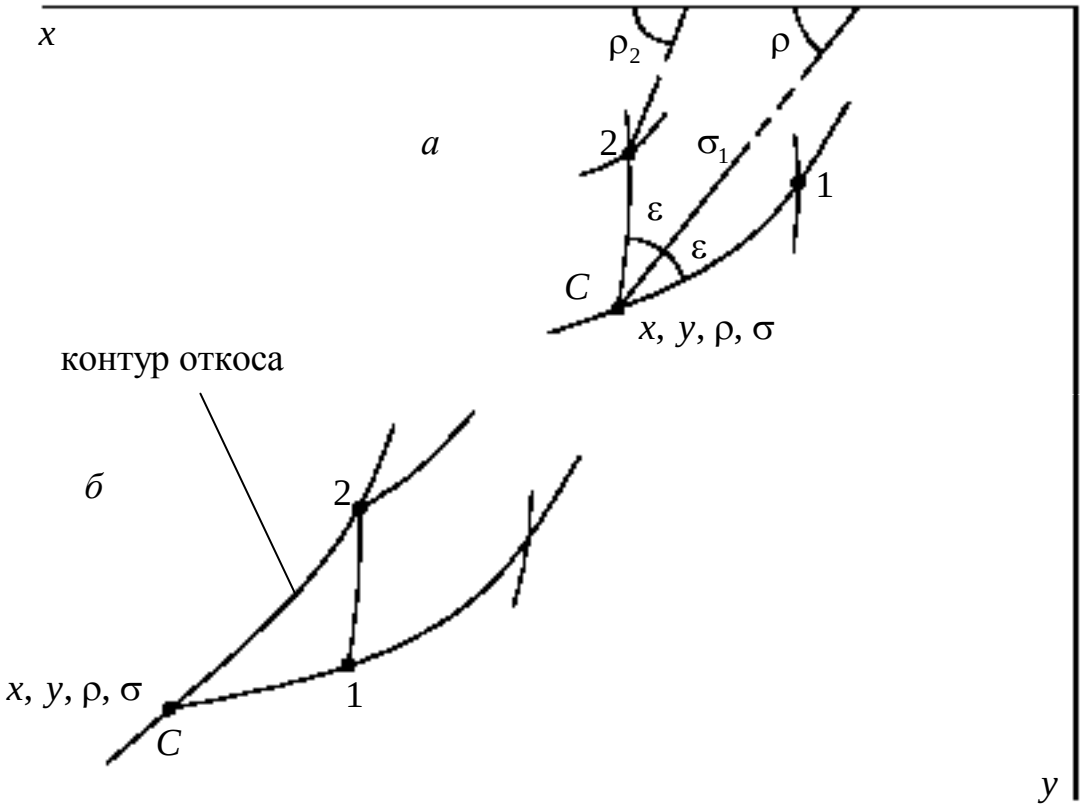


Рис. 5.1. Схема решения задач предельного напряженного состояния

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).

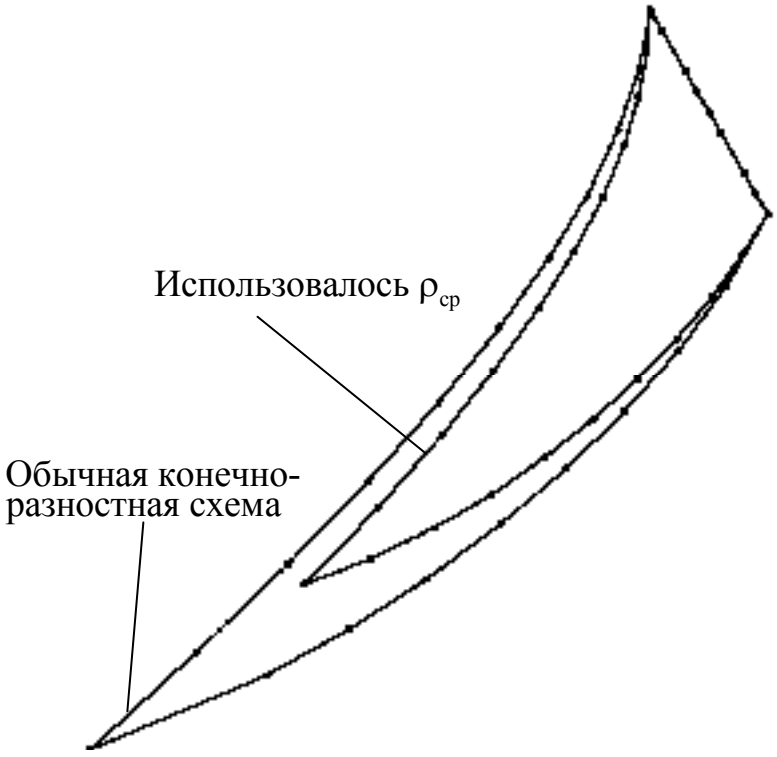


Рис. 5.2. Контуры откосов при обычной конечно-разностной схеме и по схеме с увеличением точности

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:

$$C = 1\ \text{т/м}^2;\ \varphi = 30^\circ;\ \gamma = 1\ \text{т/м}^3.$$

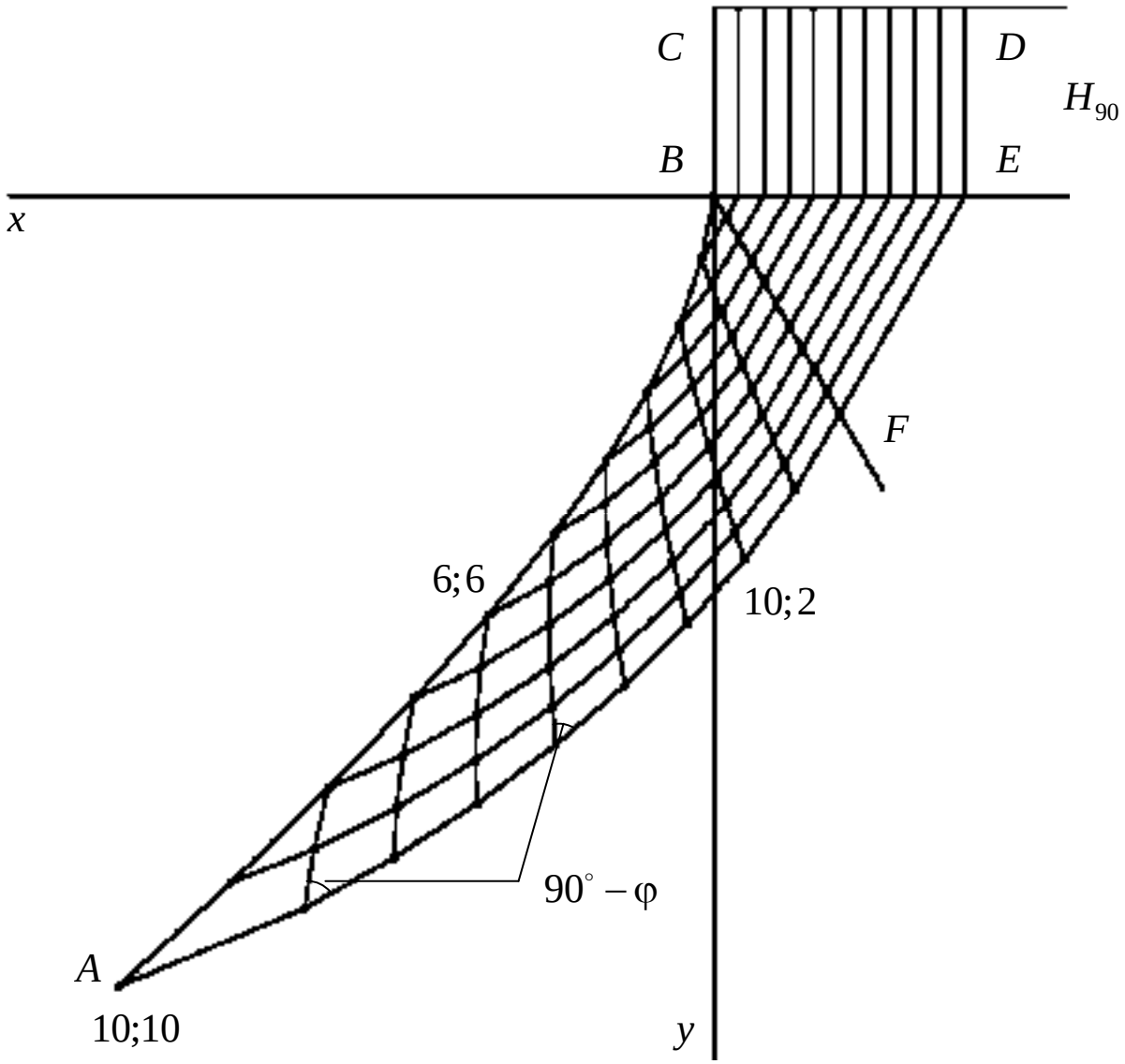


Рис. 5.3. Предельно напряженный откос вогнутого профиля

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.

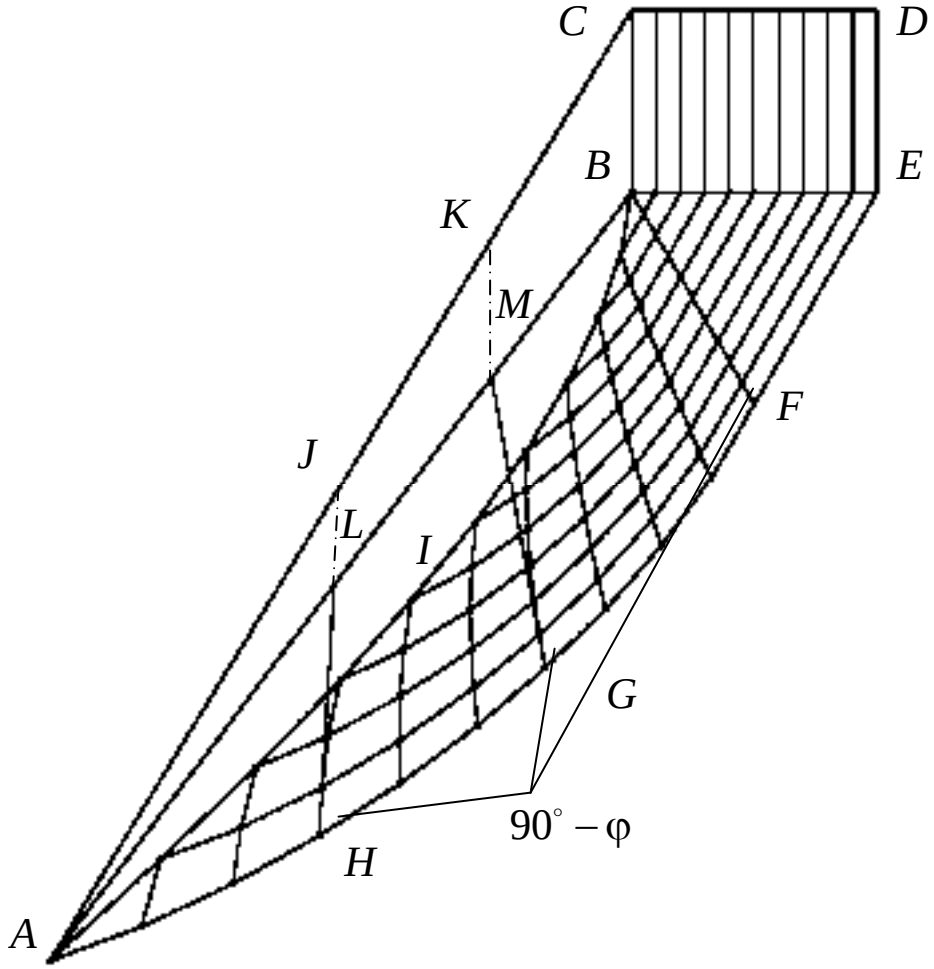


Рис. 6.1. Модификация способа многоугольника сил (Г. М. Шахунянца) посредством метода предельного напряженного состояния

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.

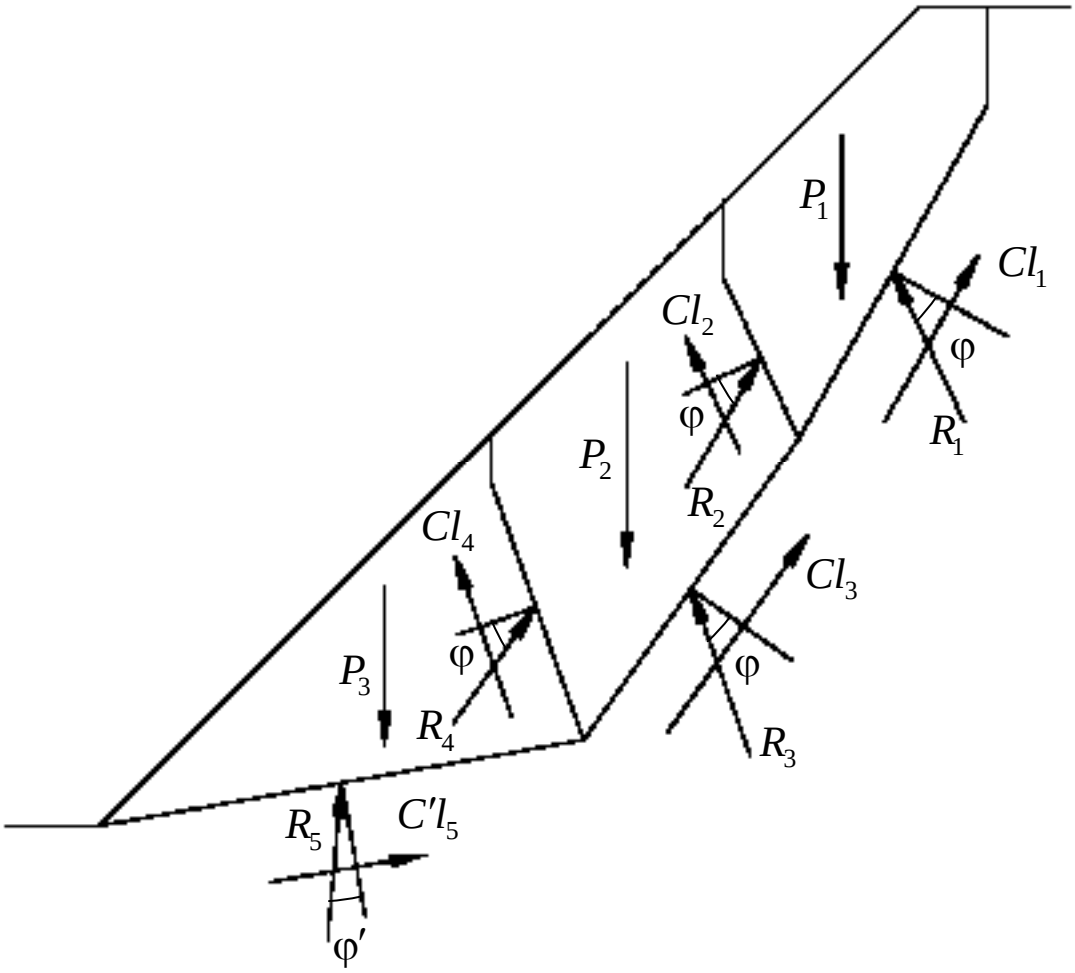


Рис. 6.2. Схема сил и реакций связей,
действующих на призму смещения (по ВНИМИ)

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.

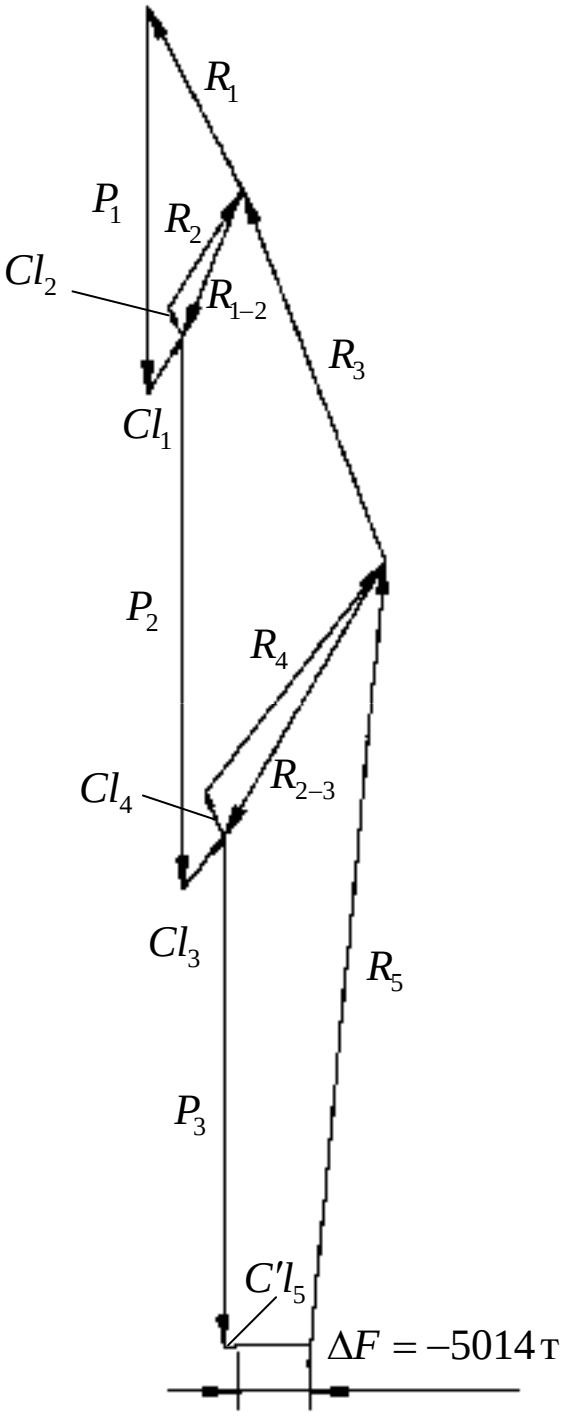


Рис. 6.3. Многоугольник сил

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.

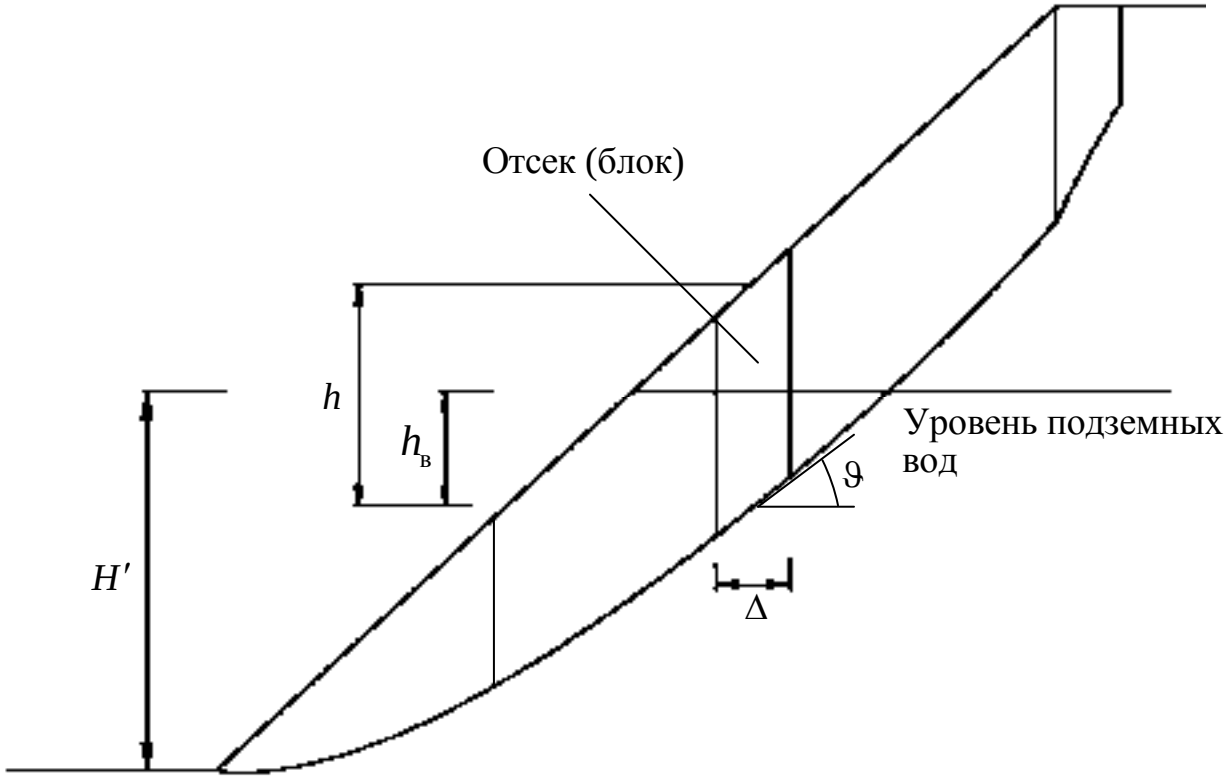


Рис. 7.1. Оценка устойчивости обводненного откоса

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.

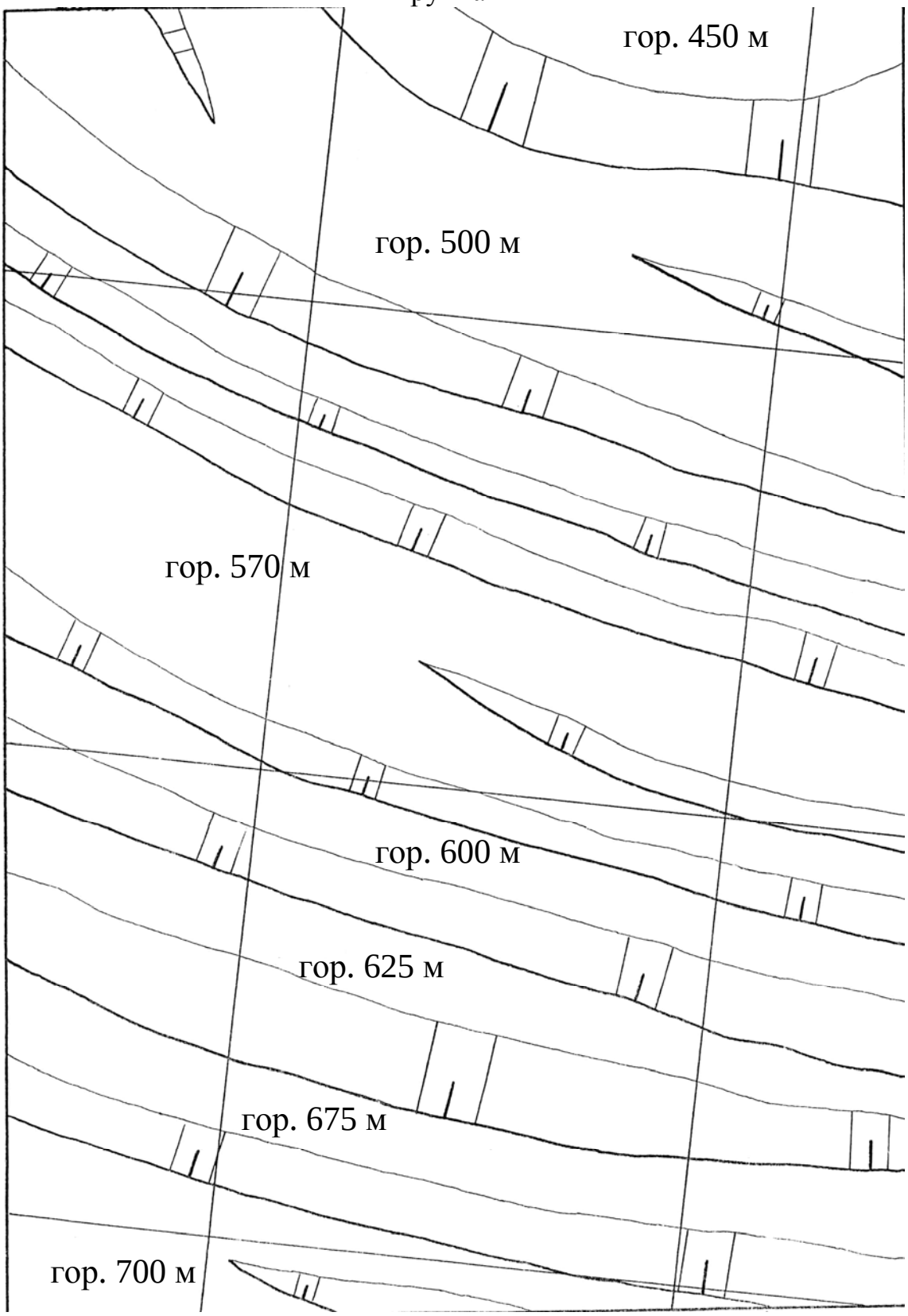
11. *Соколовский В.В.* Статика сыпучей среды / М.: Наука, 1990. 272 с.

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

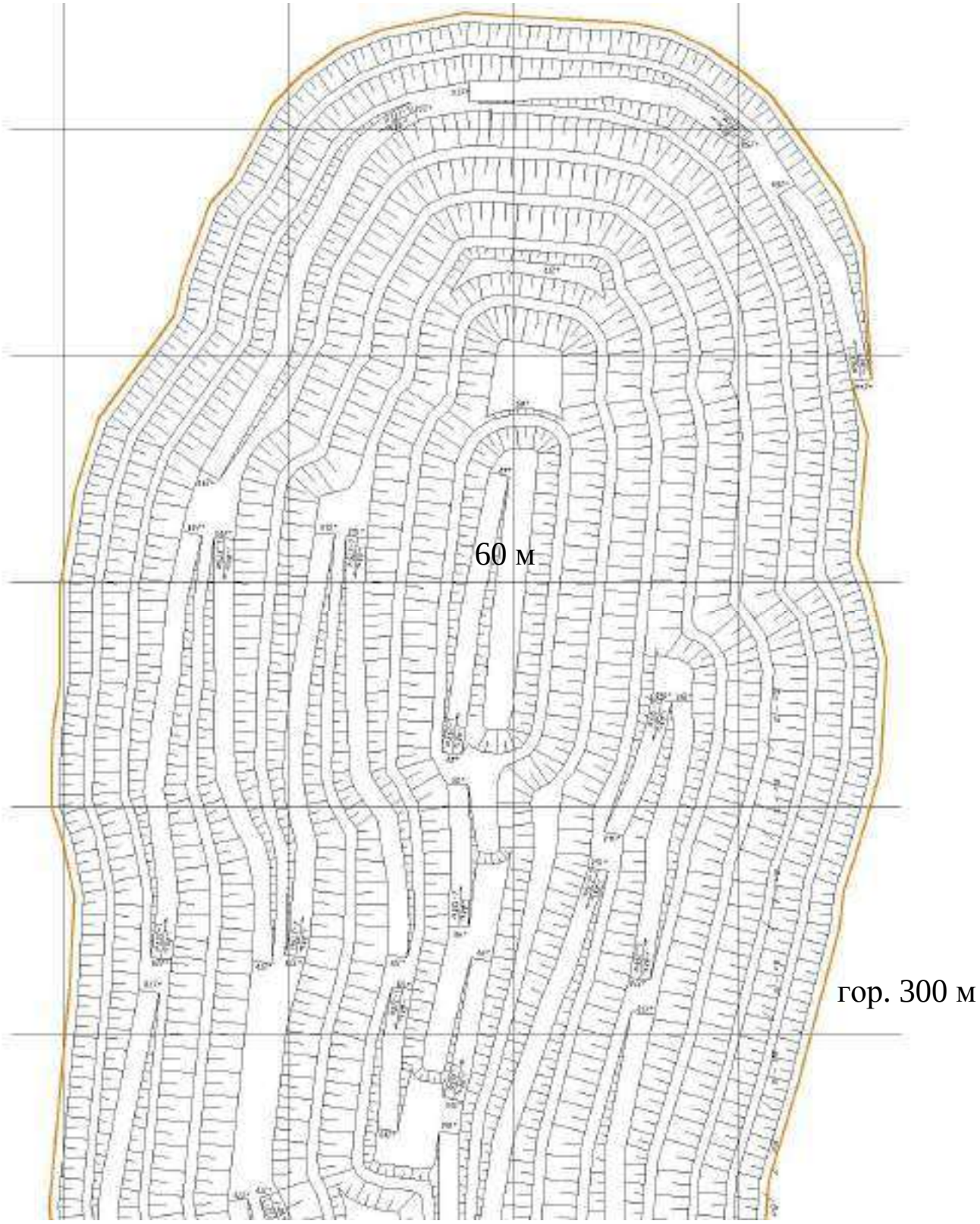
Задание 1
Группа 1



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

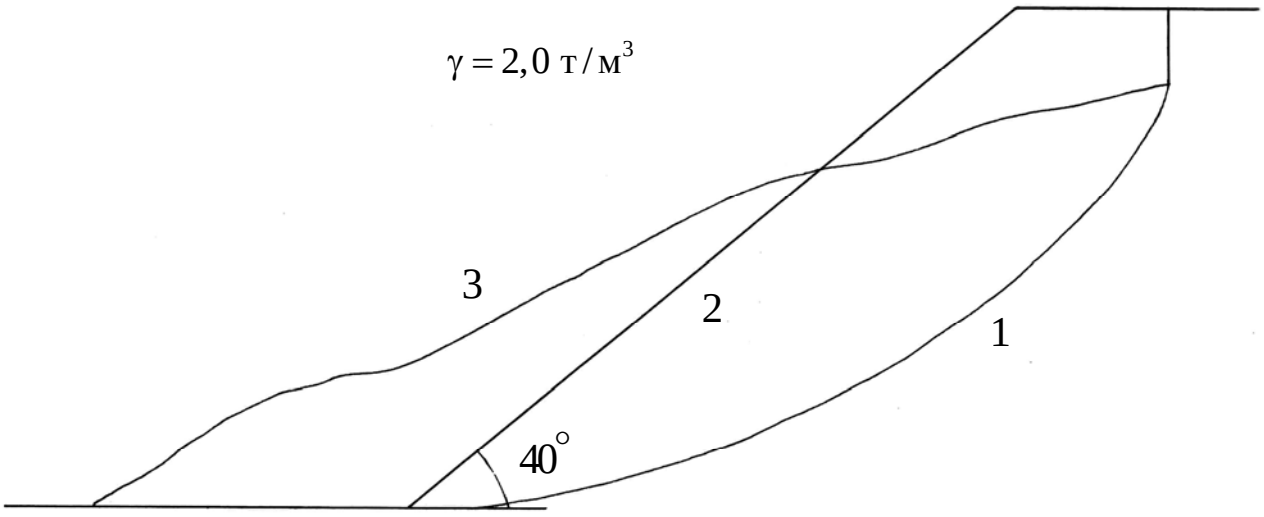


Рис. П. 4.1

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^o	10	12^o, 78^o	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^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	1,90	18	2,0	2,60	36	200	20^o	0	10^o, 70^o	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

Приложение 7

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

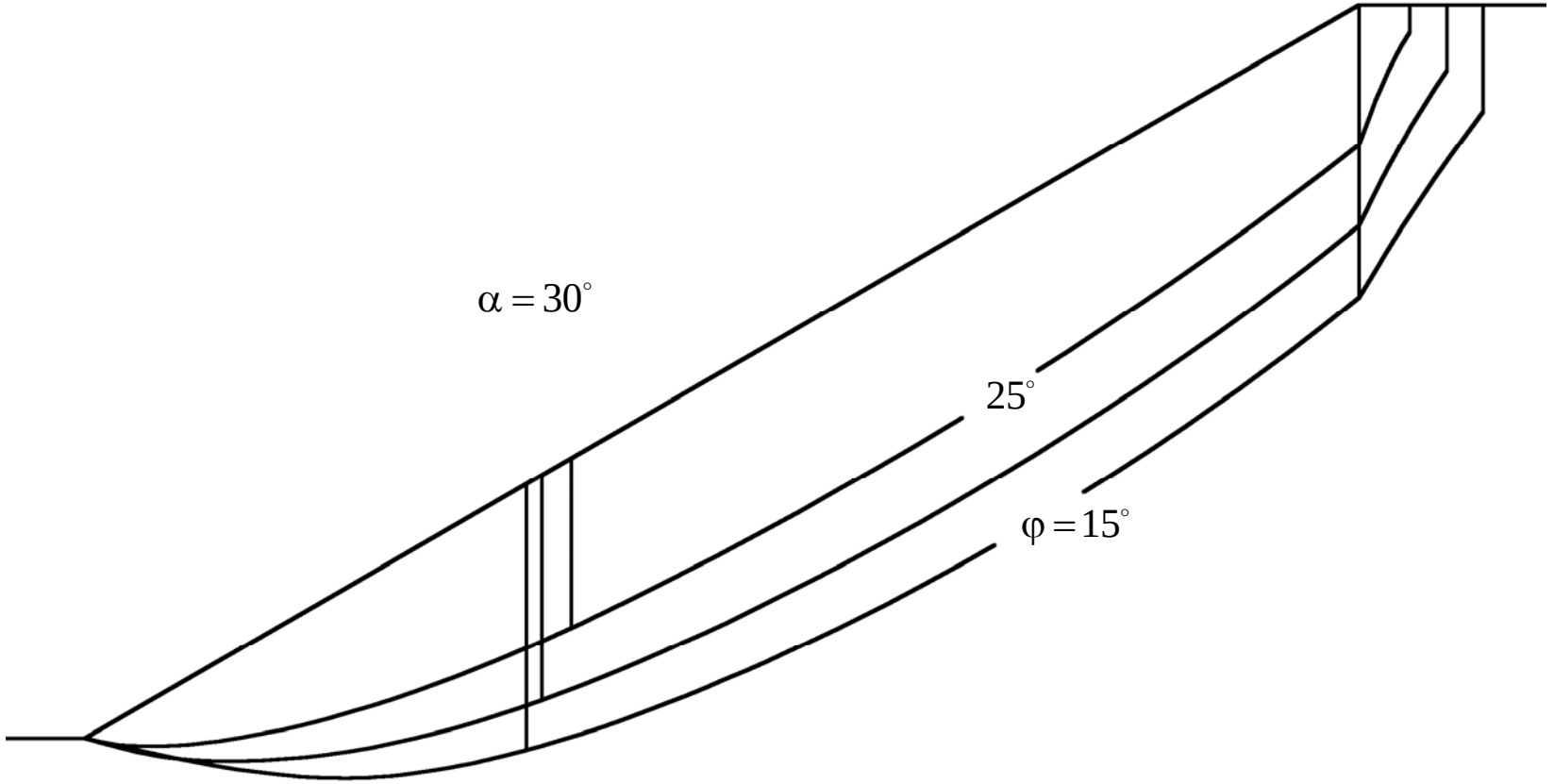


Рис. П. 7.1

Приложение 7

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

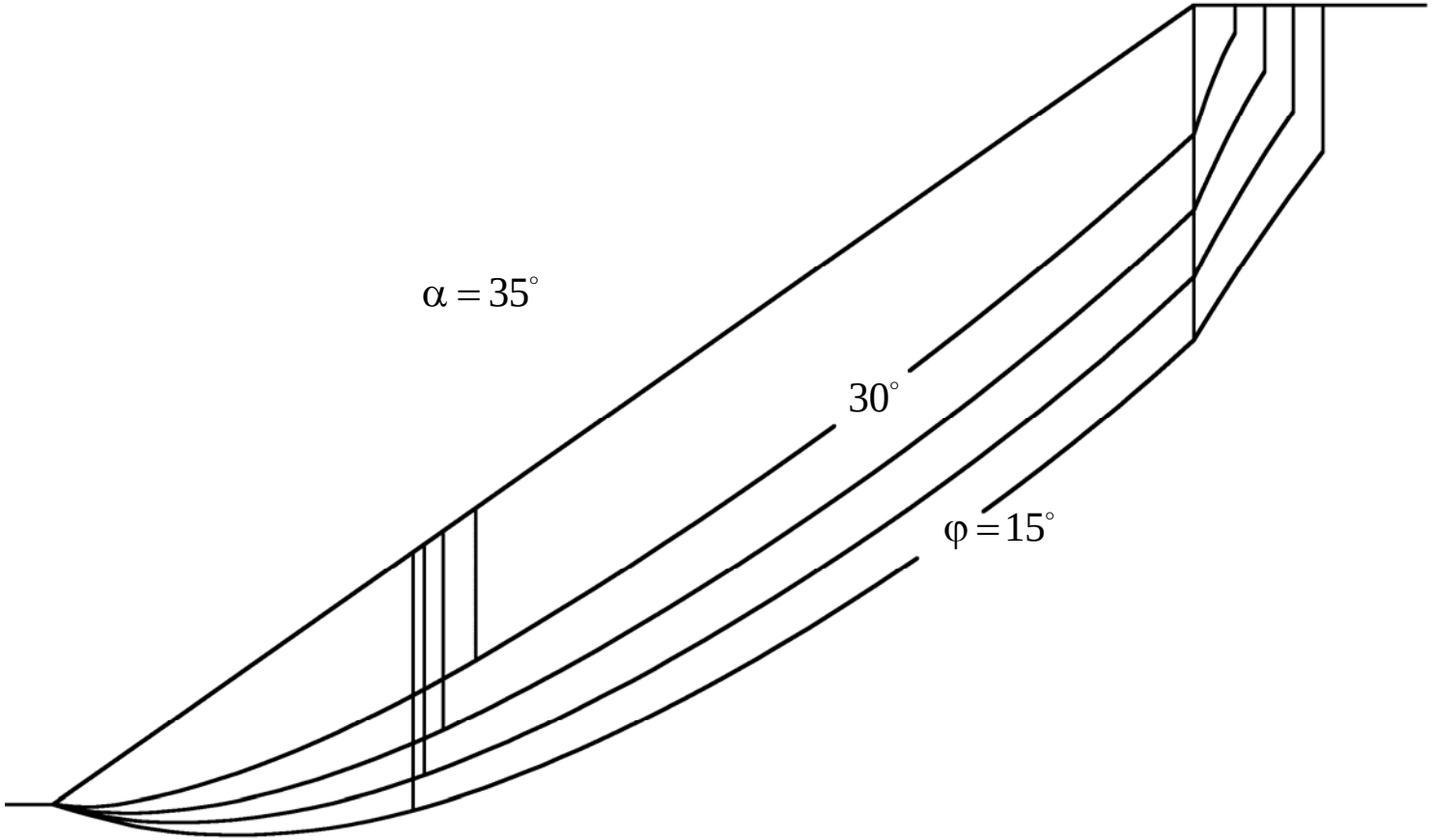


Рис. П. 7.2

Приложение 7

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

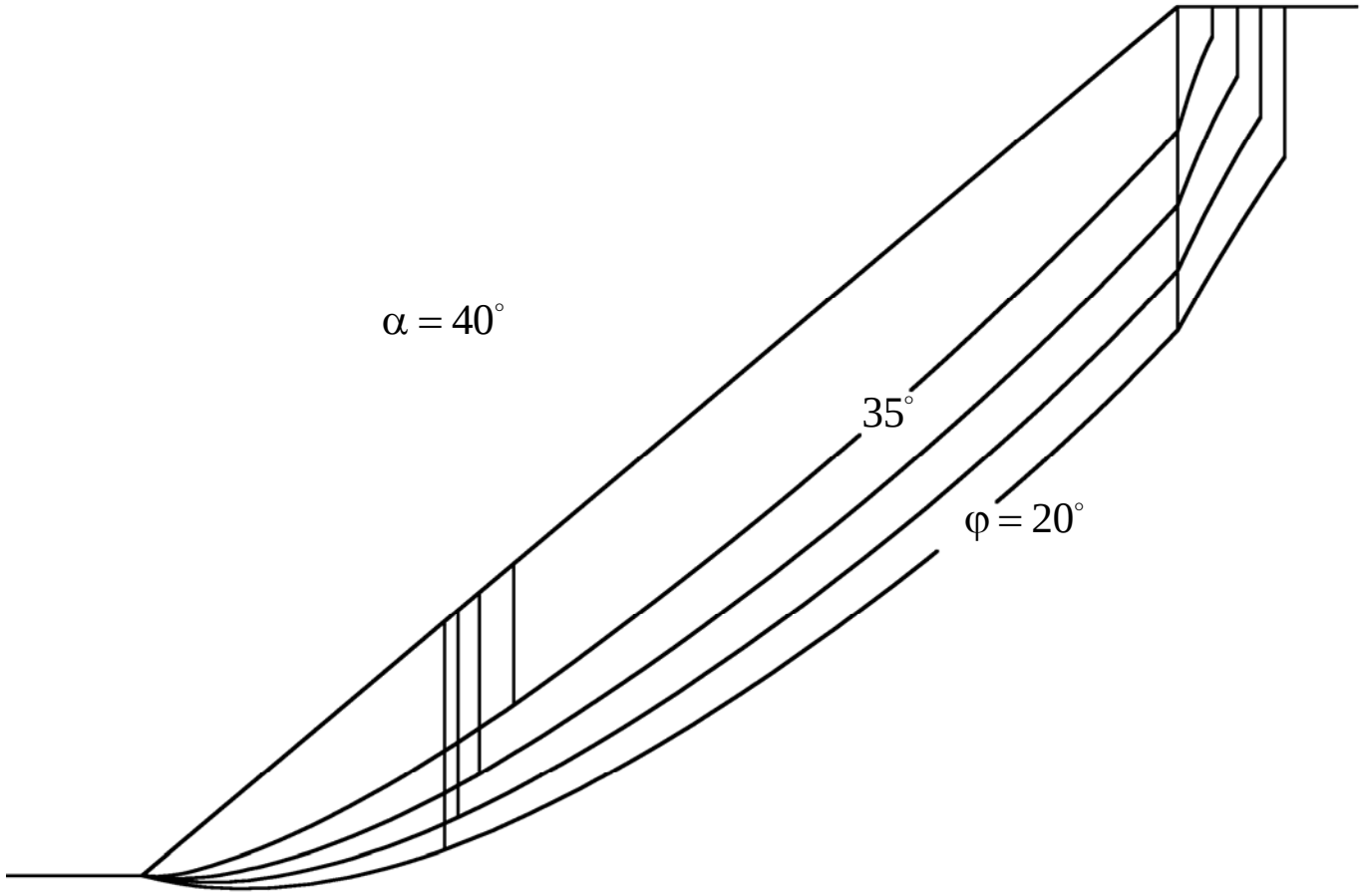


Рис. П. 7.3

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

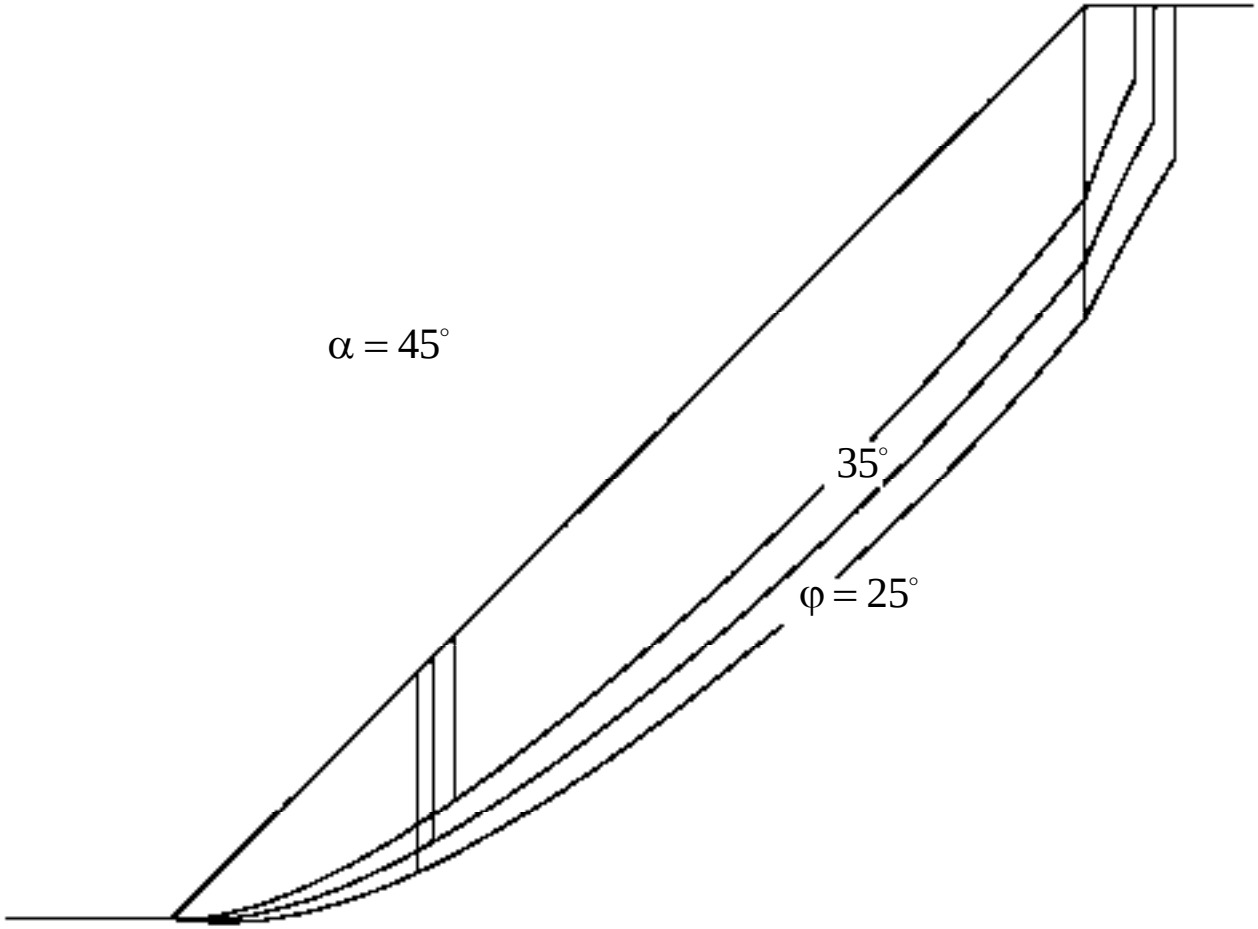


Рис. П. 7.4

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

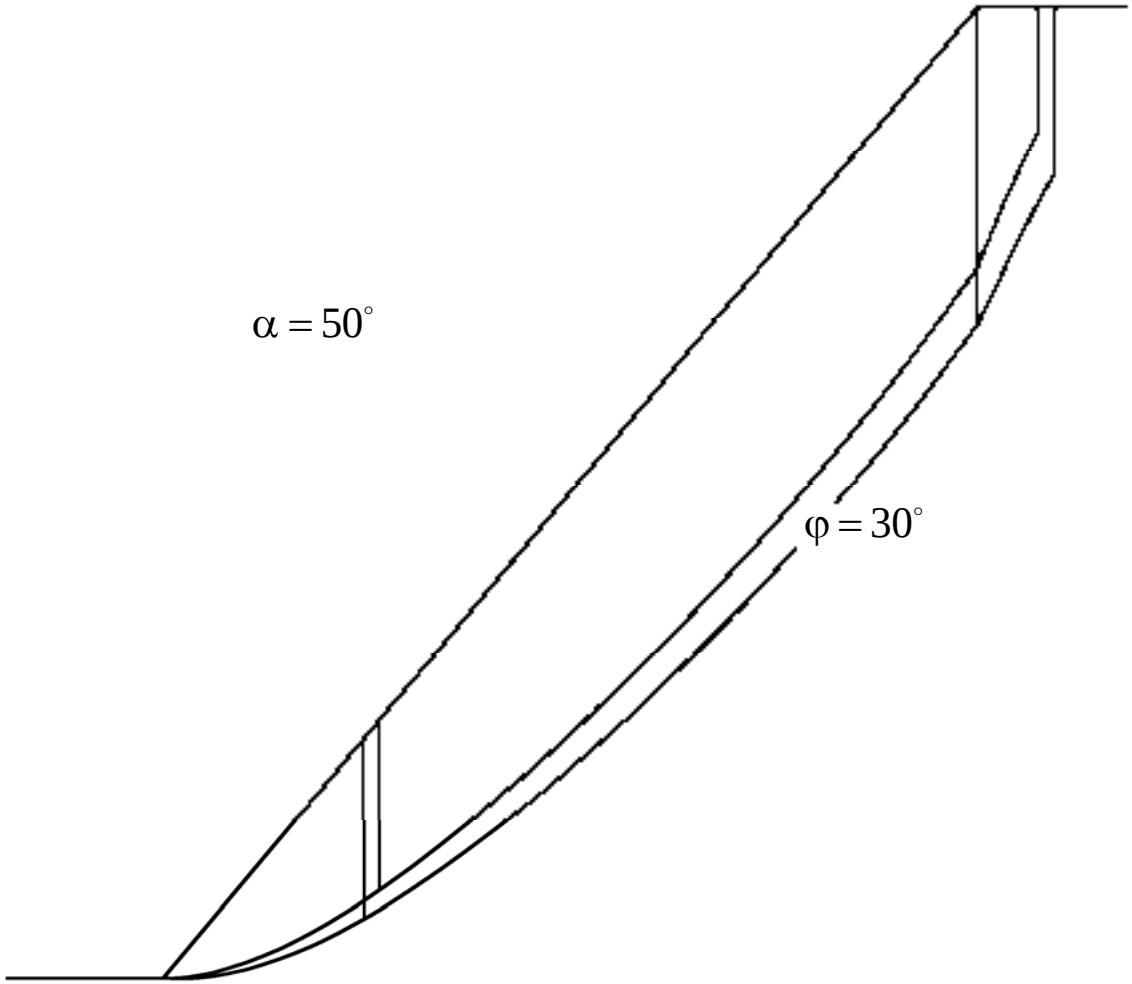


Рис. П. 7.5

Поверхности скольжения в однородном изотропном откосе

Задание 8

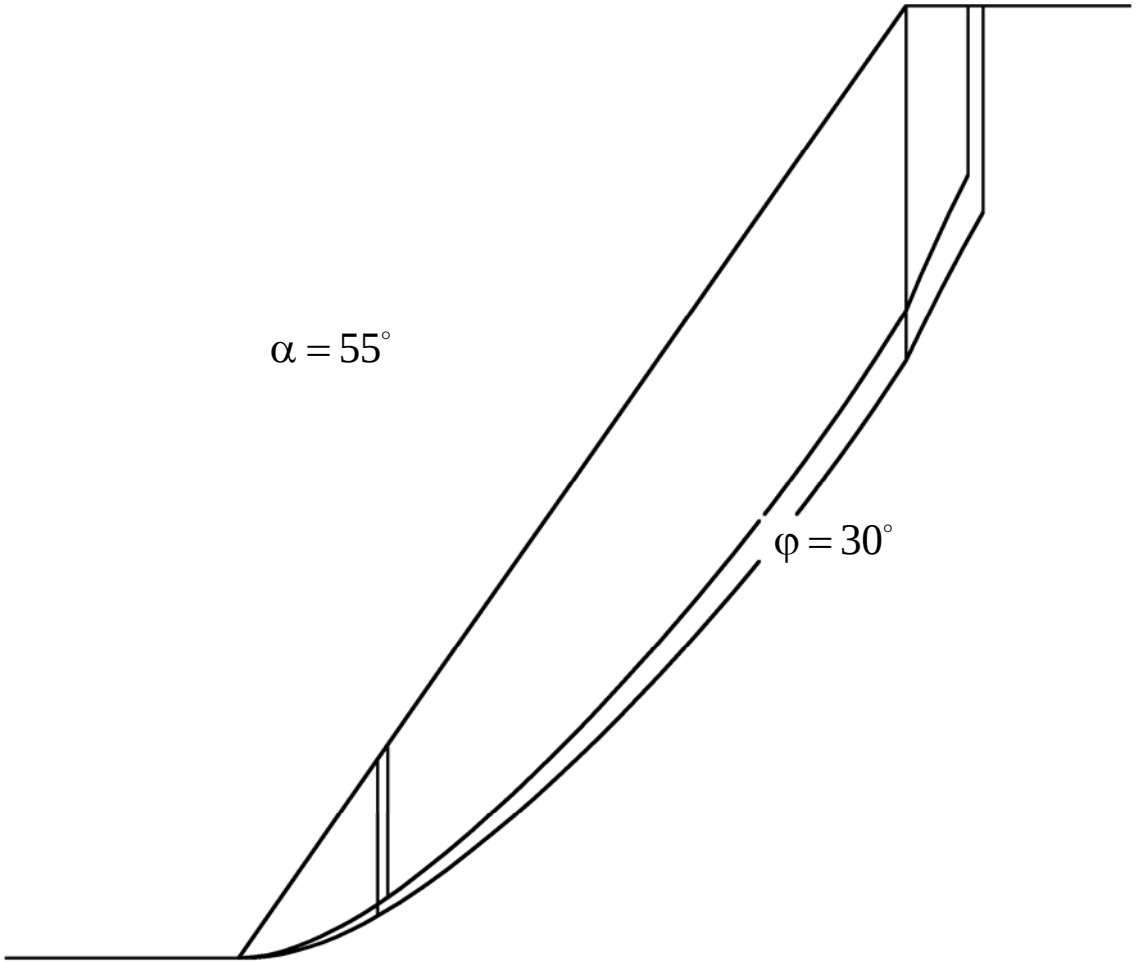
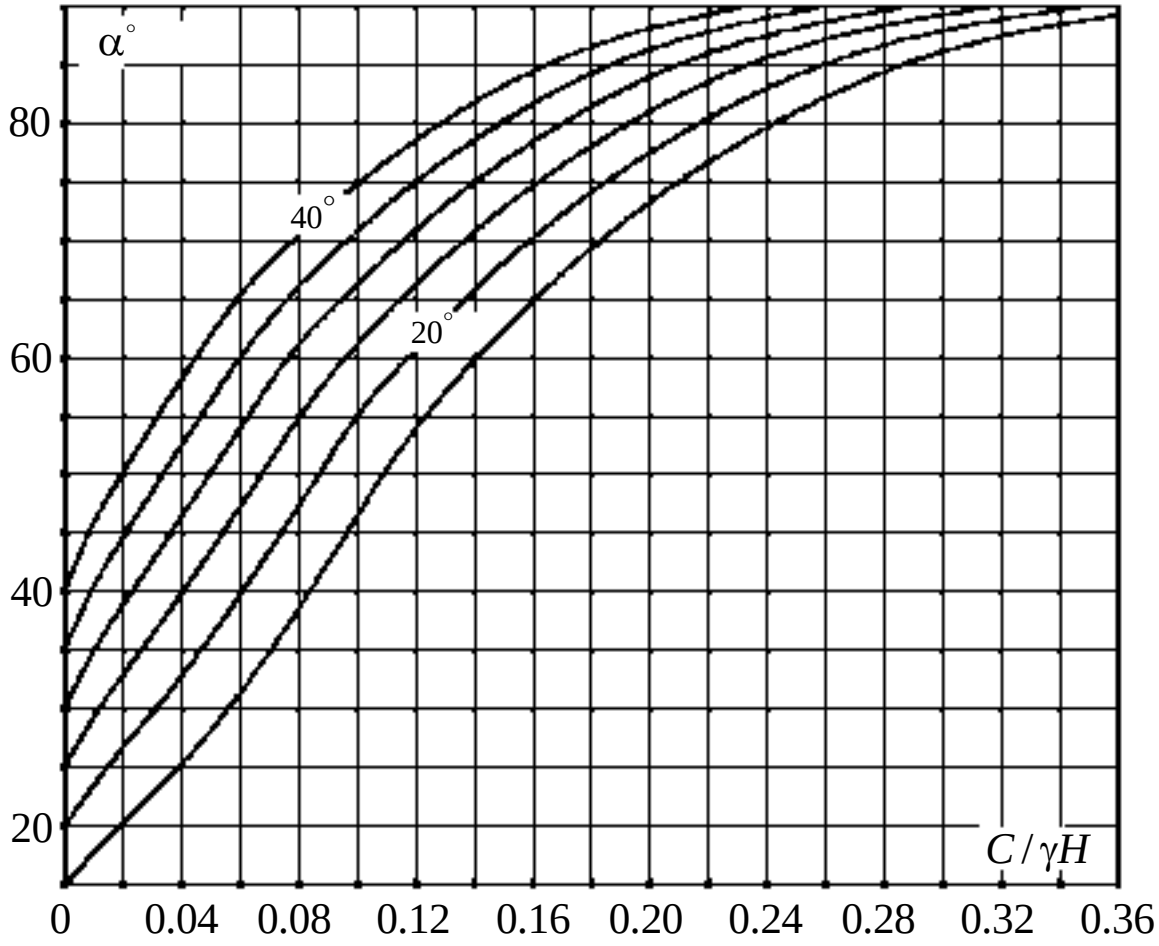


Рис. П. 7.6

Приложение 8

Номограмма устйчивости плоских однородных откосов

Задание 8



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров
«_____» _____ 20 _____ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Б1.В.02 ГЕОМЕХАНИКА

Специальность
21.05.04 Горное дело
Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Жабко А.В., доцент, к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Маркшейдерского дела	Горно-технологического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Гордеев В.А.	Колчина Н.В.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 19 от 09.04.2019 г.	Протокол № 7 от 19.04.2019 г.
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург-2019

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В.А. Гордеев, О.С. Раева

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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

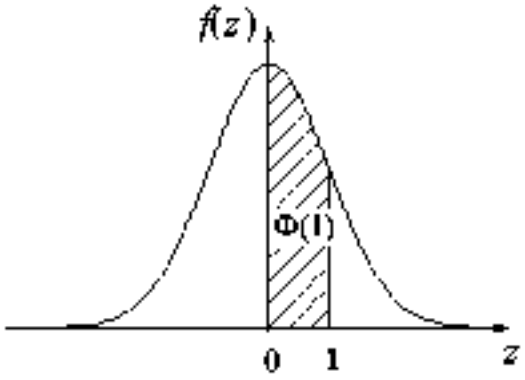


Рис. 1.1. График функции нормированных ошибок

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)

$$P(-5" < \Delta < 10") = P(-1 < z < 2) = \Phi(2) - \Phi(-1) = \Phi(2) + \Phi(1) =$$

$$= 0{,}447 + 0{,}341 = 0{,}818.$$

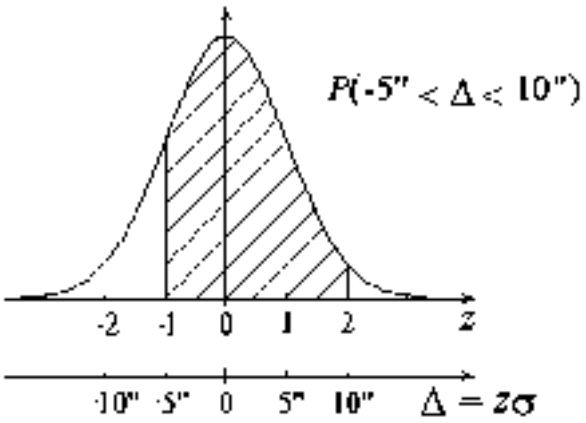


Рис. 1.2. График к задаче 1.1

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.

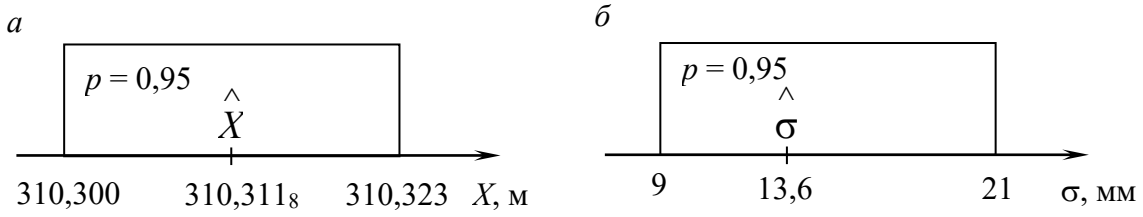


Рис. 2.1. Интервальные оценки истинного значения измеренной величины *а* и стандарта измерения *б*

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
30º45′11″	30º45′08″	+3	9
42º18′48″	42º18′50″	-2	4
70º38′40″	70º38′45″	-5	25
200º45′04″	200º45′10″	-6	36
87º27′11″	87º27′05″	+6	36
90º56′15″	90º56′20″	-5	25
210º32′03″	210º32′05″	-2	4
42º17′22″	42º17′20″	+2	4
62º14′26″	62º14′27″	-1	1
92º13′45″	92º13′44″	+1	1
263º48′04″	263º48′00″	+4	16
37º28′03″	37º28′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)

$$\sigma_{P=0,95} = 2{,}6\sqrt{\frac{12}{\chi^2_{в,н}}} = 1{,}9'' \ldots 3{,}7'',$$

$$\chi^2_{в,н} = 12 + 1{,}894 \pm 2{,}772\sqrt{12} \mp \frac{0{,}4864}{\sqrt{12}} = 21{,}8 \text{ и } 6{,}0.$$

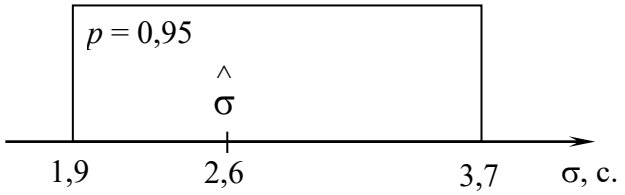


Рис. 2.2. Интервальные оценки стандарта измерения

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 180º:

$$\hat{C}=180°-\overline{A}-\overline{B}.$$

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.

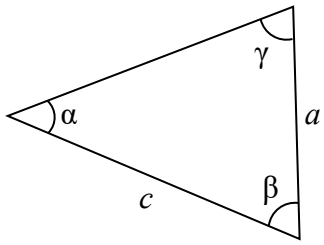


Рис. 3.1. Рисунок к задаче 3.4

По теореме синусов получим выражение для вычисления стороны c:

$$c = \frac{a \cdot \sin\left(180^\circ - \alpha - \beta\right)}{\sin\alpha} = \frac{a \cdot \sin\left(\alpha + \beta\right)}{\sin\alpha} = 51{,}50 \text{ м.}$$

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)

$$m_{\widetilde{x}}=\frac{\mu_1}{\sqrt{[p]}}=\frac{10{,}0}{\sqrt{10{,}3}}=3{,}1 \text{ мм}.$$

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)

$$\mu_{0\,P=0{,}95}=10{,}0\sqrt{\frac{4}{\chi^2_{в,н}}}=6{,}2\ldots 17{,}4 \text{ мм}.$$

$$\chi^2_{в,н}=4+1{,}894\pm 2{,}772\sqrt{4}\mp\frac{0{,}4864}{\sqrt{4}}=10{,}5 \text{ и } 1{,}3.$$

Оценки стандартов измерений каждым способом рассчитаем по формуле (4.16):

$$m_i = \mu_1 \sqrt{n_i / p_x}.$$

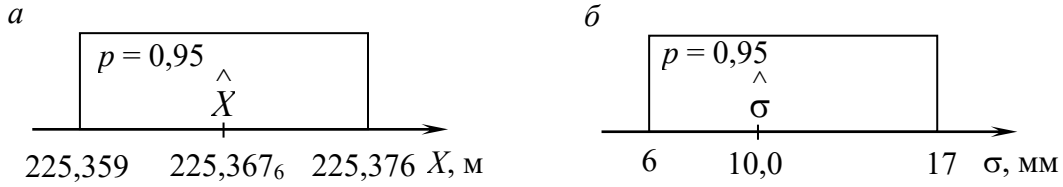


Рис. 4.1. Интервальные оценки истинного значения измеренной величины *а* и стандарта измерения *б*

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**

$$x_0 = 223°15'00'',$$

$$\widetilde{x} = x_0 + \frac{[p\varepsilon]}{[p]} = 223°15'00'' + 1'01'' = 223°16'01''.$$

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).

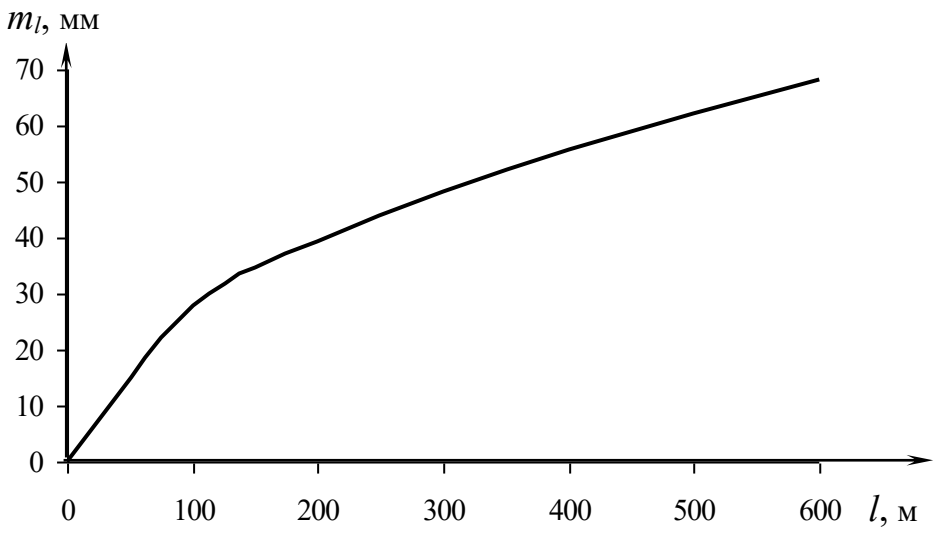


Рис. 4.2. График функции m_l

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)

$$\frac{1}{p_C} = \left(\frac{\partial C}{\partial B_1}\right)^2 \frac{1}{p_{\beta_1}} + \left(\frac{\partial C}{\partial B_2}\right)^2 \frac{1}{p_{\beta_2}} = 1^2 \frac{1}{6} + (-1)^2 \frac{1}{18} = \frac{2}{9} = 0{,}22,$$

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

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В.А. Гордеев, О.С. Раева

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

К практическим занятиям
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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:

$$\begin{gathered} \varphi_1(X_1, \dots, X_N, M_1, \dots, M_L) = 0, \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ \varphi_R(X_1, \dots, X_N, M_1, \dots, M_L) = 0, \end{gathered} \tag{1.2}$$

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**:

$$\begin{gathered} \varphi_1(x_1, \dots, x_N, M_1, \dots, M_L) = w_1, \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ \varphi_R(x_1, \dots, x_N, M_1, \dots, M_L) = w_R. \end{gathered} \tag{1.3}$$

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**

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_{11} \ldots b_{1N} \\ \ldots\ldots \\ b_{R1} \ldots b_{RN} \end{pmatrix}, \tag{1.6}$$

где b_{ji} –коэффициенты линейных уравнений поправок, $b_{ji} = \partial\varphi_j / \partial x_i$; (1.7)

j – номер условного уравнения ($j = 1 \ldots R$);

i – номер измеренной величины ($i = 1 \ldots N$).

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 $\mathbf{Q_w}$ – матрица обратных весов функций невязок

$$\mathbf{Q_w} = \mathbf{BQB}^\mathrm{T} = \mathbf{BP}^{-1}\mathbf{B}^\mathrm{T}; \tag{1.9}$$

w – вектор невязок.

В ходе уравнивания приходится обращать матрицу обратных весов невязок $\mathbf{Q_w}$. Контроль вычисления коэффициентов нормальных уравнений коррелат (элементов матрицы $\mathbf{Q_w}$) производят по *методу сумм*. Суть метода понятна из табл. 1.1.

Контрольные суммы должны сходиться в пределах точности вычислений. Элементы матрицы $\mathbf{Q_w}$ достаточно вычислять с тремя значащими цифрами.

Обращение матрицы $\mathbf{Q_w}$ 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	**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	$([qb_2s] + u_{21}\cdot S_1) / u_{22} = S_2$	
…				…	…	…	…	…	…	…	. . . . .	
R					u_{RR}	R_{1R}	R_{2R}	…	R_{mR}	S_R	$([qb_Rs] + u_{R1}\cdot S_1 + \ldots + u_{R(R-1)}\cdot S_{(R-1)}) / u_{RR} = S_R$	
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:

$$\alpha_{nn} = 1/u_{nn}^2\,, \qquad \alpha_{nj} = \sum_{k=j+1}^{n} \alpha_{nk} u_{jk} \Big/ \left(-u_{jj}\right). \tag{1.15}$$

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 $$\alpha_{jj} = \left(\sum_{k=j+1}^{n} \alpha_{jk} u_{jk} - 1/u_{jj} \right) \Big/ \left(-u_{jj}\right), \tag{1.16}$$

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)

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{v}}{R}}\,. \qquad (1.21)$$

СКО функций от измеренных величин до уравнивания

$$m_{f(x_1,\dots,x_N)} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{R}\mathbf{Q}\mathbf{R}^{\mathbf{T}}\right)_{mm}} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q}_{\mathbf{f}}\right)_{mm}}, \qquad (1.22)$$

где $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \mathbf{r_1} \\ \dots \\ \mathbf{r_m} \end{pmatrix}$ – матрица, составленная из векторов весовых коэффициентов оцениваемых функций.

СКО поправок

$$m_{v_i} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q}\mathbf{B}^{\mathbf{T}}\mathbf{Q}_{\mathbf{W}}^{-\mathbf{1}}\mathbf{B}\mathbf{Q}\right)_{ii}} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q}_{\mathbf{V}}\right)_{ii}}. \qquad (1.23)$$

СКО результатов измерений

$$m_{x_i} = \mu_1 \sqrt{q_{ii}}\,. \qquad (1.24)$$

СКО уравненных значений измеренных величин

$$m_{\hat{X}_i} = \mu_1 \sqrt{q_i - \left(\mathbf{Q}_{\mathbf{V}}\right)_{ii}}\,. \qquad (1.25)$$

СКО функций от уравненных значений измеренных величин

$$m_{f(\hat{X}_1,\dots,\hat{X}_N)} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{R}\left(\mathbf{Q} - \mathbf{Q}_{\mathbf{V}}\right)\mathbf{R}^{\mathbf{T}}\right)_{mm}} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{Q} - \mathbf{Q}_{\mathbf{V}}\right)_{mm}}. \qquad (1.26)$$

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.

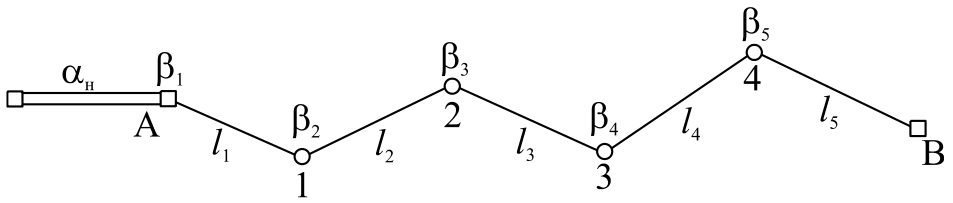


Рис. 1.1. Схема полигонометрического хода между стороной и твердым пунктом

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

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\tau + \mathbf{l} = \mathbf{A}\tau + (\boldsymbol{x}^{o} - \mathbf{x}), \tag{2.2}$$

где **A** – матрица коэффициентов уравнений поправок;

l – вектор свободных членов уравнений поправок, $\mathbf{l} = (l_1 \ldots l_N)^T = \mathbf{x}^{o} - \mathbf{x}$;

$\mathbf{x}^{o}$ – вектор вычисленных по приближенным значениям параметров значений измеренных величин.

Матрица **A** – прямоугольная размера N, K, причем $K < N$.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \ldots & a_{1K} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{N1} & \ldots & a_{NK} \end{pmatrix}, \tag{2.3}$$

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

$$\tau = -\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{l}, \tag{2.5}$$

где **P** – матрица весов результатов измерений;

$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{A}$ – невырожденная квадратная симметричная матрица порядка K. Матрица **N** обладает теми же свойствами, что и матрица $\mathbf{Q_w}$ в коррелатном уравнивании (см.п.1.1).

Уравненные значения параметров определяются по формуле

$$\hat{\mathbf{t}}_0 = \mathbf{t} + \tau. \tag{2.6}$$

Уравненные значения измеренных величин

$$\hat{\mathbf{x}}_0 = \mathbf{x} + \mathbf{v} = \mathbf{x} + \mathbf{A}\tau + \mathbf{l}. \tag{2.7}$$

Элементы вектора τ 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					$[pa_Ka_K]$	$[pa_Ks]$	$[pa_1a_K]+\ldots+[pa_Ka_K] = [pa_Ks]$

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)

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{v}}{N-K}}\,. \qquad (2.10)$$

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 $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_0} = \mathbf{A}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^{\mathrm{T}}$.

СКО функций от уравненных значений измеренных величин

$$m_{f(\hat{X}_1,\ldots,\hat{X}_N)} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{R}\mathbf{Q}_{\hat{x}_0}\mathbf{R}^{\mathrm{T}}\right)_{kk}}\,, \qquad (2.13)$$

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

$$m_{f(\hat{T}_1,\ldots,\hat{T}_K)} = \mu_1 \sqrt{\left(\mathbf{S}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{S}^{\mathrm{T}}\right)_{mm}}\,, \qquad (2.15)$$

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, $c_2 = \sqrt{-2\ln(1-P)}$;

$a = \sqrt{q_1 \cdot q_2 - q_{12}^2}$; $\quad w = \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + 4q_{12}^2}$.

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

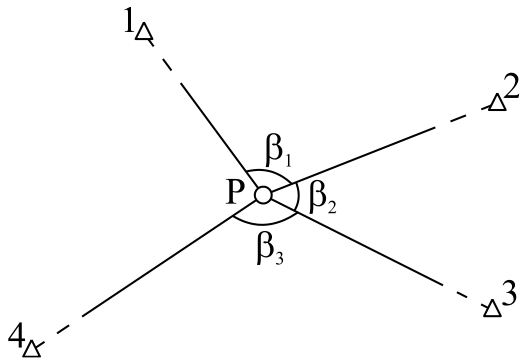


Рис. 2.1. Схема обратной угловой засечки

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 $a_{11} = \rho\left(\dfrac{\sin\alpha^{\circ}_{P-2}}{s^{\circ}_{P-2}} - \dfrac{\sin\alpha^{\circ}_{P-1}}{s^{\circ}_{P-1}}\right)$, $a_{12} = \rho\left(\dfrac{\cos\alpha^{\circ}_{P-1}}{s^{\circ}_{P-1}} - \dfrac{\cos\alpha^{\circ}_{P-2}}{s^{\circ}_{P-2}}\right)$.

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 $\mathbf{P} = \mathbf{E}$ 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.

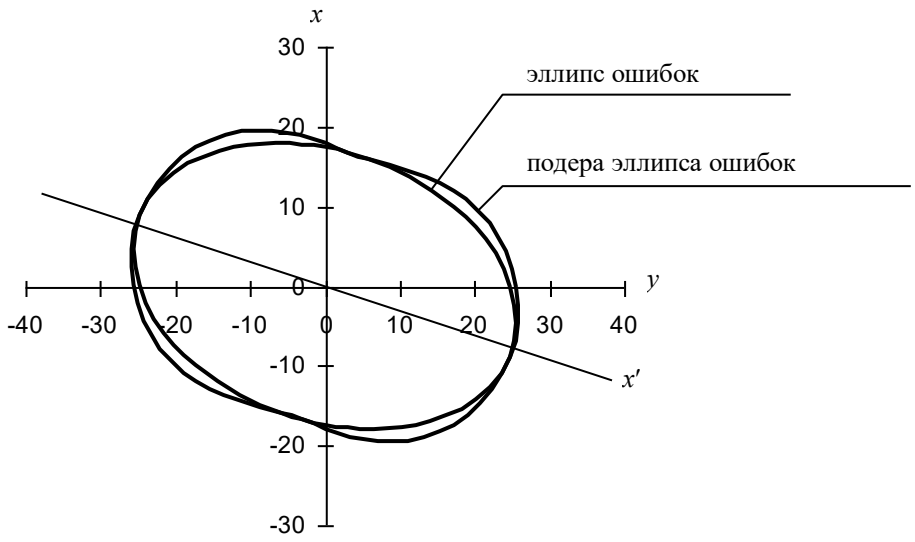


Рис. 2.2.

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.

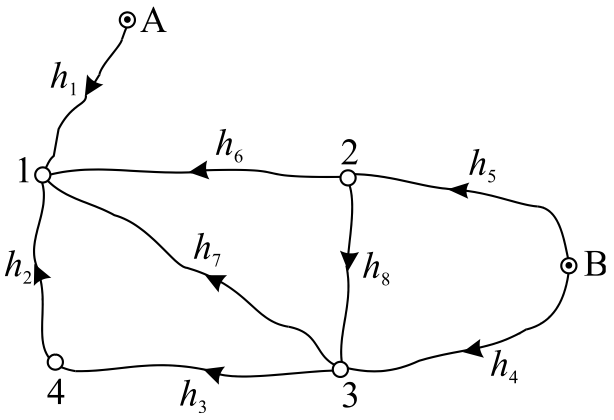


Рис.3.1. Схема уравниваемой нивелирной сети

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:

$$\begin{aligned} H_A + h_1 - h_6 - h_5 - H_B &= w_1 = -11 \text{ мм}, \\ h_2 - h_7 + h_3 &= w_2 = -25 \text{ мм}, \\ h_7 - h_6 + h_8 &= w_3 = -12 \text{ мм}, \end{aligned} \qquad (3.2)$$

$$h_4 - h_8 - h_5 = w_4 = 4 \text{ мм}.$$

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:

$$\mathrm{s}_1 = (0 \quad 1 \quad 0 \quad 0),$$
$$\mathrm{s}_2 = (0 \quad -1 \quad 0 \quad 1).$$

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 $\hat{t}_0$:

$$\hat{\eta}_1 = \hat{T}_1 - H_{\mathrm{A}}, \qquad \hat{\eta}_2 = \hat{T}_1 - \hat{T}_4, \qquad \hat{\eta}_3 = \hat{T}_4 - \hat{T}_3, \qquad \hat{\eta}_4 = \hat{T}_3 - H_{\mathrm{B}},$$

$$\hat{\eta}_5 = \hat{T}_2 - H_{\mathrm{B}}, \qquad \hat{\eta}_6 = \hat{T}_1 - \hat{T}_2, \qquad \hat{\eta}_7 = \hat{T}_1 - \hat{T}_3, \qquad \hat{\eta}_8 = \hat{T}_3 - \hat{T}_2.$$

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

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В.А. Гордеев, Раева О.С.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

к самостоятельной работе
обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург

2019

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В.Л. Клепко

ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие

К практическим занятиям
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 за допуск 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 Барашко **Прием** I

Дата 9.07.2007 г. **Т** +18° **Погода** облачно **Ветер** слабый

Время 16 ч. 35м. **Видимость** удовлетворительная **Изображения** устои

Начальное направление	Круг	Отсчет по штрихам алидады	Отсчеты по микрометру a_1	a_2	$\frac{a_1+a_2}{2}$	$\frac{D+D}{2}$	Значение направлений
1	2	3	4	5	6	7	8
Оленево	Л	0° 00	02,1'	02,2'			
	П	180 00	56,4	06,3			
Кедрово	Л	60 37	25,3	25,3			
	П	240 37	51,5	51,5			
Роща	Л	111 15	96,6	83,6			
	П	291 15	58,1	57,9			
Оленево	Л	0 00	97,7	98,2			
	П	180 00	11,8	11,7			

Невязывание: $\Delta_{\alpha} =$ $\Delta_{\beta} =$ $\Delta_{cp} =$

Образец вычислений значений измеренных направлений в приеме 1, приведенных в табл.1, показан в табл.2.

Таблица 2

Журнал измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов

Пункт Барвиха **Прием** 1

Дата 9.07.2007 г. **Т** +18° **Погода** облачно **Ветер** слабый

Время 16 ч. 25м. **Видимость** удовлетворительная **Изображения** четкие

Названия направлений		Отсчеты по кругам алидад	Отсчеты по микрометру n_1	n_2	$\frac{n_1+n_2}{2}$	$\frac{n_1-n_2}{2}$	Значения направлений
1	2	3	4	5	6	7	8
Опалиха	Л	0° 00'	33,2"	33,2"	33,2"		
	П	180 00	30,4	30,5	30,4	04,8"	0° 00' 00,0"
Калина	Л	68 37	25,9	25,9	25,9	– 1,0	
	П	248 37	31,5	31,1	31,3	28,3	68 37 21,8
Рожь	Л	111 15	06,6	07,0	06,8	– 3,1	
	П	291 14	31,1	57,6	57,6	03,8	111 14 35,7
Опалиха	Л	0 00	07,3	08,2	07,8	– 4,7	
	П	180 00	11,8	13,3	13,6	09,5	

Невязки: $\Delta_Л = +4,8$; $\Delta_П = +4,6$; $\Delta_{ср} = +4,7$

В столбце 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 (невязки) $\Delta_Л$ и $\Delta_П$. Например, на пункт Опалиха 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 средние значения каждого направления, причем разность средних значений начального направления, вычисленные дважды – в начале и в конце приема, должна равняться средней величине невязки 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 должны 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:

$$\mu = K\frac{\sum[V]}{n}, \text{ где } K = \frac{1,25}{\sqrt{m(m-1)}},$$

m – число направлений, n – число приемов.

Средняя квадратическая погрешность направления, полученного из всех приемов, вычисляют по формуле:

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$$

Таблица 3

Вывод средних направлений на пункте Задница

Начальное направление Отсюда 0° 00' 00.0"

Номер приема	Уклонения знака	Кашино		Ретра		Наибольшая величина невязки
		50° 17'	V	111° 14'	V	
I	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	20,3	- 3,5	49,5	- 3,4	
IV	180 30	20,7	- 2,1	54,3	+ 1,4	
V	240 40	23,3	+ 0,7	53,9	+ 1,0	
VI	300 50	24,8	+ 2,0	53,0	+ 0,1	
	Средние	22,8		52,9		
	$\Sigma(+V)$		8,2		4,7	$\Sigma V^2 = 57,77$
	$\Sigma(-V)$		6,0		4,6	$\Sigma \lvert V \rvert = 21,5"$

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;

– вычисление поправок в направления за кривизну изображения геодезических линий на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера;

– составление сводной таблицы приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость измеренных направлений;

– оценка точности измерений

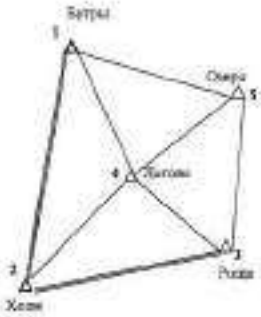
Пример предварительных вычислений в сети триангуляции

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
Бутры		$l = 0,101$ м
Озеро	0° 00' 00"	$\theta = 10°\ 00'$
Логово	48 45 46	$\Delta_1 = 0,150$ м
Холм	84 36 40	$\theta_1 = 15°\ 00'$
		на Озеро
Холм		$l = 0,071$ м
Бутры	0 00 00	$\theta = 120°\ 15'$
Логово	38 56 25	$\Delta_1 = 0,051$ м
Роща	74 20 16	$\theta_1 = 20°\ 00'$
		на Бутры
Роща		$l = 0,053$ м
Холм	0 00 00	$\theta = 210°\ 15'$
Логово	39 00 34	$\Delta_1 = 0,053$ м
Озеро	80 49 45	$\theta_1 = 10°\ 00'$
		на Холм
Логово		
Бутры	0 00 00	
Озеро	68 48 55	
Роща	149 11 41	
Холм	254 27 23	
Озеро		
Роща	0 00 00	$l_1 = 0,101$ м
Логово	50 39 58	$\theta_1 = 150°\ 30'$
Бутры	113 13 18	на Роща

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Бутры	6 800 240,1	11 622 690,1
Холм	6 795 842,5	11 631 210,5
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.

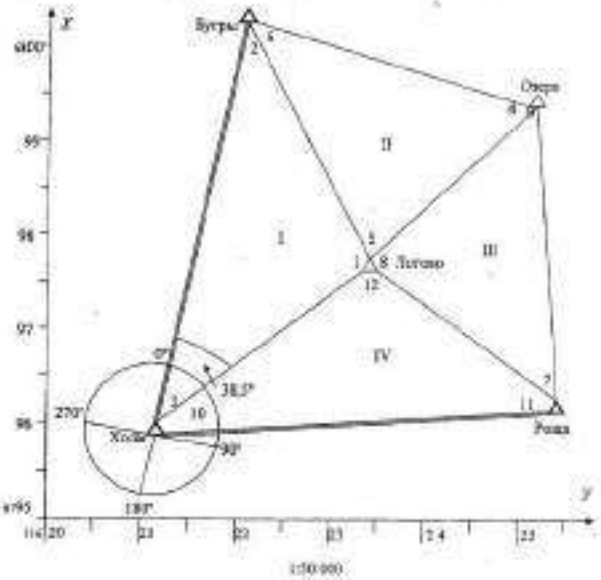


Рис. 1. Рабочая схема сети триангуляции

Рабочая схема сети помогает 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		
Бутрь	6 800 246,1	11 622 060,1	199° 18' 46,6"	4484,9
Хотяж	6 795 843,5	11 621 210,3	85 36 34,5	4180,5
Рожа	6 796 155,9	11 625 378,7		

Предварительное решение треугольников выполняют с целью определения длин сторон сети, которые необходимы для вычисления поправок за центровку прибора и редукции визирных целей (табл. 6).

Сообразуясь с рабочей схемой сети (см. рис. 1), составляют треугольник 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*, *b*, *c* связаны соотношением (теорема синусов):

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = q.$$

Если $\frac{a}{\sin A} = q$, то $b = q \cdot \sin B$, $c = q \cdot \sin C$. 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	Названия пунктов	Номер угла	Углы	Поправки (невязка), "	Длины сторон, м
1	2	3	4	5	6
I	Логово	1	105° 32' 37"		4485
	Бугры	2	35 50 34		2726
	Холм	3	38 36 25		2805
		Σ	179 59 36	+4"	
II	Озеро	4	62 33 20		2906
	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		2510
		Σ	179 59 55	-5	
IV	Холм	10	35 43 33		2510
	Роща	11	39 00 14		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 направлений* вычисляют по формулам:

$$c'' = \frac{l \sin(M + \omega)}{s} \rho'',$$

где c'' – поправка в направлению 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

Наименование пункта	Наименование направления	ω	$M + \omega$	$M + \omega$	s, м	c''	r''
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5	0° 00' 00	109° 00' 00	15° 00' 00"	3050	+1,2	+2,6
	4	48 45 46	58 45 46	61 45 46	2908	+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 35 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	4180	+0,3	+2,5
3	2	0 00 00	210 15 00	13 00 00	4180	-1,2	+0,5
	4	39 00 34	249 15 34	89 00 34	2510	-4,0	+3,4
	5	87 49 49	298 04 43	97 49 43	3226	-3,0	+3,3

Окончание табл. 7

Исх. пункт	Напр. пункт	1	2	3	4	5	6	7	8
4	1	0 00 00					2906		
	5	68 40 35					2462		
	3	140 11 41					2550		
	2	254 27 23					2708		
5	3	0 00 00			180 30 30		3226		-1,3
	4	50 39 58			241 09 58		3462		-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° 57'					6 800,24	11 622,09
		106 41	3,06	-0,88	+2,93		
5	62 33					6 799,36	11 625,01
		224 38	2,46	-1,77	-1,71		
4	279 29					6 797,59	11 623,30
		124 35	2,55	-1,44	+2,08		
3	39 01					6 796,15	11 625,38
		205 58					
2	74 20						
		11 18					

Поправки за кривизну изображения геодезической линии на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера вычисляются по формуле;

$$\delta_{1-2} = f(x_1 - x_2)y_{cp},$$

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_{cp} - среднее расстояние сети от осевого меридиана.

Для вычисления y_{cp} необходимо вычислить истинные значения y' для всех точек сети, т. е. отбросить номер зоны в величине 500 км, а затем взять среднее значение (табл. 9).

Таблица 9

Вычисление y_{cp}

Номер точки	y	y'
1	11 622,09	122,09
2	11 621,71	121,71
3	11 625,38	125,38
4	11 623,30	123,30
5	11 625, 01	125,01
	среднее	**123,40**

Поправка в направление s_{1-4} должна быть равна с противоположным знаком поправке Δ_{4-1}, 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 выписочных столбцов табл. 7, в столбец 4 – вычисленные значения поправки c. Особое внимание следует обратить на правильную запись

поправок c за редукцию визирной цели. Вычисленное значение редукции и измеренные направления на пункте записятся 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

Наим. пункта	Наим. 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	-5,3	+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 48	+4,6	+0,8	-1,4	+6,8	+11,0	84 36 53
	1	0 00 00	+5,2	+0,8	-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	+6,3	+0,3	-0,1	+0,3	-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	-6,4	-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	88 40 55	-	-7,4	-0,5	-7,9	-16,7	88 40 38
	3	149 11 41	-	+5,4	+0,4	+3,8	-5,0	149 11 36
	2	254 27 23	-	+3,2	+0,5	+3,7	-5,1	254 27 18
	1	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 направлении 1–4: $+6{,}9''$. В столбец 8 записано в направлении 1–5: $(c+r+\delta)-(c+r+\delta)_0=0$, а в направлении 1–4: $(c+r+\delta)-(c+r+\delta)_0=+6{,}9''-(-4{,}1'')=+11{,}0''$.

В столбце 9 получают приведенные направления по формуле

$$M' = M + (c+r+\delta) - (c+r+\delta)_0,$$

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 составленно 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
1	1	105° 32' 42"	-5"
	2	35 58 54	
	3	38 36 19	
	Σ	179 59 55	

Продолжение табл. 11

II	4	62 33 22	-3"
	5	68 40 38	
	6	48 46 57	
	Σ	179 59 57	
III	7	48 49 11	+3"
	8	60 39 38	
	9	50 29 54	
	Σ	180 00 03	
IV	10	35 43 57	+3"
	11	39 08 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

$$m_\beta = \pm\sqrt{\frac{\sum w^2}{3n}} = \pm\sqrt{\frac{5^2+3^2+3^2+3^2}{12}} = \pm\sqrt{\frac{92}{12}} \pm 2{,}8",$$

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

$$W_\Pi = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{\Pi_2}\cdot\rho'' = \frac{0{,}22844 - 0{,}22843}{0{,}22843}\cdot 206265" = 9{,}03".$$

$$W_{доп} = \pm 2{,}5m\sqrt{\sum ctg^2\beta} = \pm 2{,}5\cdot 5"\sqrt{8{,}412} = 36{,}25".$$

Вычисления выполнены в табл. 12.

Таблица 12

Вычисление свободного члена полюсного условия и коэффициента для вычисления его допустимого значения

Номер угла	Значения углов	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	0,873	0,766
10	35 43 57	0,58408	1,390	1,932
	Π_1 =	**0,22844**		
3	38 36 19	0,62593	1,252	1,568
6	48 46 57	0,75001	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**		

$W_\Pi = 9{,}03"$ $\qquad \sum ctg^2\beta = 8{,}412$

$W_{доп} = 36{,}25"$

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 кратчайшему 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 .

$$\frac{П_1}{П_2} = \frac{0,35012}{0,37581} = 0,93164; \quad \frac{Б_2}{Б_1} = \frac{4181,2}{4487,4} = 0,93176; \qquad \sum ctg^2\beta = 6,125$$

$$W_\beta = (0,93164 - 0,93176)\,206265'' = 24,75''$$

$$W_{доп} = \pm 2,5 \cdot m \cdot \sqrt{\sum ctg^2\beta} = \pm 2,5 \cdot 5'' \cdot \sqrt{6,125} = 30,94''.$$

Таблица 13

Вычисление поправки члена базисного условия и коэффициента для вычисления его допустимого значения

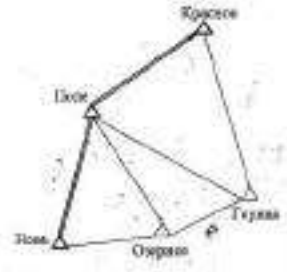
Номер угла	Значение угла	sin β	ctg β	$ctg^2\beta$
5	38 36 39	0,62395	1,252	1,568
6	48 45 57	0,75202	0,876	0,767
9	50 39 54	0,77345	0,820	0,672
12	105 15 42	0,96473	- 0,273	0,074
	$П_1 =$	**0,35012**		
1	103 52 42	0,96342	- 0,278	0,077
4	62 33 22	0,88746	0,519	0,269
7	48 49 11	0,75264	0,875	0,766
10	35 43 57	0,58409	1,390	1,932
	$П_2 =$	**0,37581**		

$W_\beta = -24,75''$ $\quad W_{доп} = 30,94''$. $\quad \sum ctg^2\beta = 6,125$

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"	$\delta = 188°26'$
Горная	51 46 01	$l_1 = 0,169$ м
Озерное	82 15 18	$\theta_1 = 150°00'$
Новая	136 31 52	на Красное
Красное		$l = 0,074$ м
Горная	0 00 00	$\theta = 15°30'$
Поле	60 47 48	$l_1 = 0,149$ м
		$\theta_1 = 38°16'$
		на Горную
Новая		$l = 0,196$ м
Поле	0 00 00	$\theta = 120°30'$
Озерное	52 44 49	$l_1 = 0,183$ м
		$\theta_1 = 104°00'$
		на Поле
Горная		
Озерное	0 00 00	$l_1 = 0,179$ м
Поле	76 28 34	$\theta_1 = 27°00'$
Красное	143 42 44	на Озерное
Озерное		
Новая	0 00 00	$l_1 = 0,116$ м
Поле	72 58 40	$\theta_1 = 275°30'$
Горная	146 12 09	на Новую

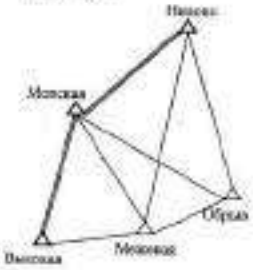
146°12'52"

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красное	5 366 684,6	18 397 067,6
Поле	5 364 733,1	18 392 283,5
Новая	5 359 325,5	18 389 847,2

Вариант № 2

Схема сети



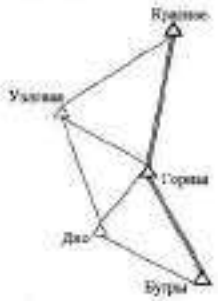
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Нилово		l = 0,216 м
Морская	0° 00' 00"	α = 295°30'
Обрыв	258 38 16	l_1 = 0,191 м
Межевая	314 28 24	α_1 = 302°30'
		на Морскую
Морская		l = 0,048 м
Нилово	0 00 00	α = 212°40'
Обрыв	25 36 20	l_1 = 0,042 м
Межевая	53 17 20	α_1 = 305°10'
Высокая	121 39 37	на Нилово
Высокая		l_1 = 0,044 м
Морская	0 00 00	α_1 = 314°30'
Межевая	56 51 00	на Морскую
Межевая		
Нилово	0 00 00	
Обрыв	42 09 15	l= 0,127 м
Высокая	224 02 05	α = 28°30'
Морская	278 48 32	на Нилово
Обрыв		l = 0,064 м
Нилово	0 00 00	α = 87°00'
Межевая	277 59 26	l_1 = 0,053 м
Морская	307 18 03	α_1 = 345°30'
		на Нилово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Нилово	6 349 496,2	11 358 226,0
Морская	6 347 866,0	11 354 578,5
Высокая	6 345 073,7	11 354 203,6

Вариант № 3

Схема сети



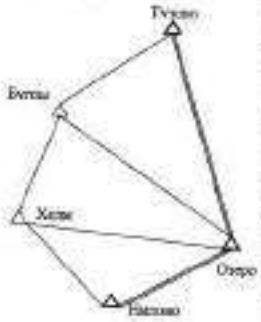
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Красное		l = 0,154 м
Угловая	0°00'00"	θ = 5°00'
Горное	335 01 46	l_1 = 0,202 м
		θ_1 = 64°30'
		на Угловую
Горная		
Бугры	0 00 00	l_1 = 0,120 м
Дно	88 50 57	θ_1 = 328°00'
Угловая	134 44 05	На Бугры
Красное	199 32 25	
Бугры		l = 0,237 м
Горное	0 00 00	θ = 31°30'
Дно	334 22 04	l_1 = 0,475 м
		θ_1 = 32°00'
		на Горное
Дно		
Угловая	0 00 00	
Горная	102 58 49	
Бугры	158 30 17	
Угловая		
Красное	0 00 00	Δ = 0,048 м
Горное	60 15 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	11 397 198,7

Вариант № 4

Схема сети



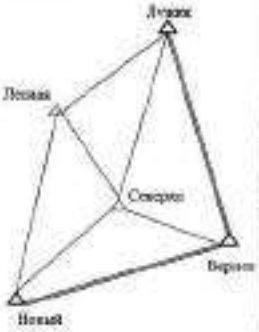
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Озеро		l = 0,021 м
Никово	0°00'00"	θ=67°30'
Холм	37 35 03	l_1 = 0,013 м
Бутры	42 48 54	θ_1 = 75°30'
Тучково	92 31 55	на Никово
Тучково		l_1 = 0,018м
Озеро	0 00 00	θ_1 = 302°00'
Бутры	75 55 06	На Озеро
Никово		l = 0,067м
Холм	0 00 00	θ=182°00'
Озеро	137 59 44	l_1 = 0,014 м
		θ_1 =261°30'
		на Холм
Бутры		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,023 м
Тучково	280 22 16	θ_1 = 284°00'
Озеро	253 44 14	На Холм
Холм		l = 0,043 м
Бутры	0 00 00	θ=168°30'
Озеро	48 30 16	l_1 = 0,040 м
Никово	72 55 28	θ_1 =151°30'
		На Бутры

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Тучково	6 428 517,8	11 358 193,5
Озеро	6 425 406,4	11 358 305,7
Никово	6 425 167,0	11 355 203,6

Вариант № 5

Схема сети



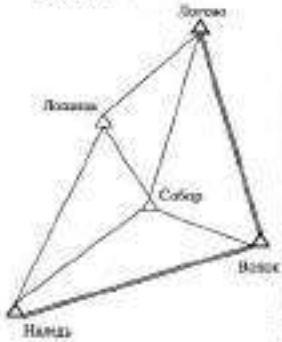
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Лужок		
Верное	0°00'00"	l_1 = 0,087 м
Северка	33 04 11	θ_1 = 217°30'
Лесная	72 22 54	на Верное
Новый		l = 0,422м
Верное	0 00 00	θ = 101°00'
Лесная	116 19 04	l_1 = 0,333 м
Северка	342 19 36	θ_1 = 104°30'
		на Верное
Верное		l = 0,219м
Новый	0 00 00	θ = 141°00'
Северка	29 17 20	l_1 = 0,030 м
Лужок	66 54 19	θ_1 = 108°30'
		на Новый
Северка		
Новый	0 00 00	
Лесная	68 36 02	
Лужок	117 38 43	
Верное	226 57 38	
Лесная		
Новый	0 00 00	
Лужок	182 57 42	
Северка	274 36 22	

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Лужок	6 350 094,3	11 350 757,0
Верное	6 345 853,2	11 352 987,4
Новый	6 345 360,6	11 346 512,2

Вариант № 6

Схема сети



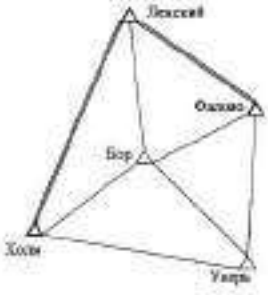
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Логово		l = 0,011м
Волок	0°00'00"	θ = 86°10'
Собор	33 04 10	Δ_1 = 0,014 м
Лощина	72 22 56	θ_2 = 133°10'
		на Волок
Надедь		l = 0,014м
Волок	0 00 00	θ = 210°30'
Лощина	316 19 08	Δ_1 = 0,010 м
Собор	342 19 35	θ_1 = 15°10'
		на Волок
Волок		l = 0,013м
Надедь	0 00 00	θ = 90°30'
Собор	29 17 19	Δ_1 = 0,010 м
Логово	89 54 19	θ_1 = 230°10'
		на Надедь
Собор		l = 0,019м
Надедь	0 00 00	θ = 141°15'
Лощина	68 36 02	Δ_1 = 0,012 м
Логово	117 38 41	θ_1 = 191°30'
Волок	226 57 40	на Надедь
Лощина		l = 0,010м
Надедь	0 00 00	θ = 135°20'
Логово	182 57 44	Δ_1 = 0,017 м
Собор	274 36 21	θ_1 = 210°10'
		на Надедь

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Логово	6 455 122,9	11 455 984,1
Волок	6 449 611,8	11 458 835,6
Надедь	6 448 971,9	11 450 221,1

Вариант № 7

Схема сети



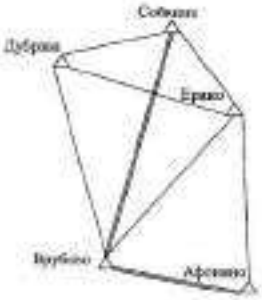
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Ленский		l = 0,139м
Фалово	0°00'00"	θ = 255°10'
Бор	40 28 38	Δ_1 = 0,170 м
Холм	60 05 30	θ_2 = 210°00'
		на Фалово
Холм		l = 0,166м
Ленский	0 00 00	θ = 146°30'
Бор	34 04 19	Δ_1 = 0,117 м
Умарь	68 09 56	θ_1 = 116°00'
		на Ленский
Фалово		
Ленский	0 00 00	l = 0,051 м
Умарь	239 01 23	θ = 107°20'
Бор	279 46 54	на Ленский
Бор		
Холм	0 00 00	Δ_1 = 0,100 м
Ленский	126 19 05	θ_1 = 336°00'
Фалово	185 37 11	на Холм
Умарь	259 22 38	
Умарь		
Холм	0 00 00	Δ_1 = 0,101 м
Бор	43 17 09	θ_1 = 127°30'
Фалово	110 46 01	на Холм

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Ленский	6 564 733,1	11 392 283,1
Холм	6 559 325,5	11 389 847,2
Фалово	6 561 816,0	11 394 390,2

Вариант № 8

Схема сети



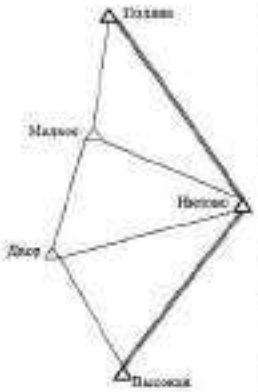
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Собкино		l = 0,170м
Ершо	0°00'00"	θ = 156°10'
Врубово	40 39 24	Δ_1 = 0,126 м
Дубрава	90 15 16	θ_1 = 237°20'
		на Ершо
Врубово		l = 0,088м
Дубрава	0 00 00	θ = 283°40'
Собкино	28 20 53	Δ_1 = 0,186 м
Ершо	48 06 48	θ_1 = 21°40'
Афонино	110 23 56	на Дубрава
Афонино		l = 1,210м
Врубово	0 00 00	θ = 210°50'
Ершо	63 17 07	Δ_1 = 0,118 м
		θ_1 = 328°00'
		на Врубово
Дубрава		l = 0,140м
Собкино	0 00 00	θ = 320°10'
Ершо	38 35 47	Δ_1 = 0,096 м
Врубово	102 05 07	θ_1 = 15°10'
		на Собкино
Ершо		l = 0,142м
Афонино	0 00 00	θ = 78°40'
Врубово	54 26 06	Δ_1 = 0,193 м
Дубрава	122 49 55	θ_1 = 250°10'
Собкино	174 01 24	на Афонино

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Собкино	6 482 623,1	11 435 673,4
Врубово	6 477 643,0	11 433 336,3
Афонино	6 475 992,8	11 437 326,2

Вариант № 9

Схема сети



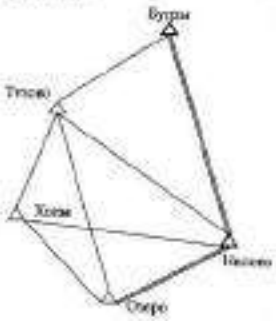
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Налово		l = 0,222 м
Поляна	0°00'00"	θ = 15°30'
Высокая	228 47 12	Δ_1 = 0,213 м
Двор	297 40 36	θ_1 = 20°00'
Малое	333 19 24	на Поляна
Поляна		l = 0,057 м
Налово	0 00 00	θ = 104°00'
Малое	41 24 19	Δ_1 = 0,075 м
		θ_1 = 316°80'
		на Налово
Высокая		l_1 = 0,033 м
Налово	0 00 00	θ_1 = 327°50'
Двор	302 52 52	на Налово
Малое		
Налово	0 00 00	Δ_1 = 0,045 м
Двор	102 02 16	θ_1 = 115°30'
Поляна	248 04 58	На Налово
Двор		
Налово	0 00 00	Δ_1 = 0,138 м
Высокая	83 50 16	θ_1 = 126°00'
Малое	317 31 30	На Налово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Налово	6 349 490,2	11 358 226,0
Поляна	6 353 418,8	11 355 326,0
Высокая	6 345 977,7	11 354 203,6

Вариант № 10

Схема сети



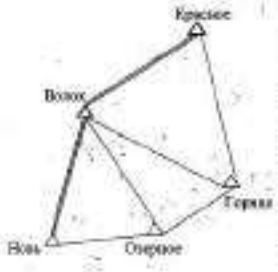
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Никово		$l = 0,021$ м
Озеро	0°00'00"	$\theta = 93°53'$
Холм	17 35 03	$l_1 = 0,015$ м
Тупово	42 08 54	$\theta_1 = 73°30'$
Бугры	92 31 55	на Озеро
Бугры		$l_1 = 0,018$ м
Никово	0 00 00	$\theta_1 = 302°00'$
Тупово	76 35 06	На Никово
Озеро		$l = 3,067$ м
Холм	0 00 00	$\theta = 322°00'$
Тупово	52 52 22	$l_1 = 0,014$ м
Никово	137 59 44	$\theta_1 = 261°30'$
		на Холм
Тупово		
Холм	0 00 00	$l_1 = 0,022$ м
Бугры	300 22 16	$\theta_1 = 284°00'$
Никово	253 44 14	На Холм
Озеро	305 47 58	
Холм		$l = 0,043$ м
Тупово	0 00 00	$\theta = 168°30'$
Никово	48 20 16	$l_1 = 0,040$ м
Озеро	72 50 28	$\theta_1 = 151°30'$
		На Тупово

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Бугры	6 329 517,8	11 408 193,5
Никово	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	$l_1 = 0,253$ м
Озерное	82 15 18	$\theta_1 = 170°00'$
Нова	136 31 32	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
Нова		$l = 0,270$ 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		
Нова	0 00 00	$l_1 = 0,160$ м
Волок	72 58 40	$\theta_1 = 273°30'$
Горная	145 13 09	на Нова

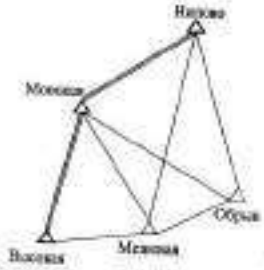
146°72'58"

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красное	6 373 962,4	11 636 957,0
Волок	6 371 269,3	11 632 382,5
Нова	6 363 806,8	11 629 020,4

Вариант № 12

Схема сети



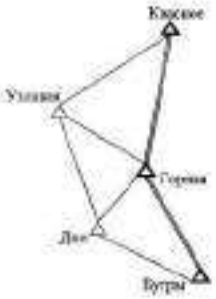
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Нижнее		l = 0,279 м
Морская	0° 00 00"	θ = 296°00'
Обрыв	258 38 16	l_1 = 0,158 м
Можжевая	314 28 24	θ_1 = 302°30'
		на Морскую
Морская		l = 0,080 м
Нижнее	0 00 00	θ = 212°40'
Обрыв	25 56 15	l_1 = 0,835 м
Можжевая	55 17 20	θ_1 = 305°10'
Высокая	121 39 17	На Нижнее
Высокая		l = 0,036 м
Морская	0 00 00	θ_1 = 314°30'
Можжевая	64 51 09	на Морскую
Можжевая		
Нижнее	0 00 00	
Обрыв	42 09 15	l = 0,105 м
Высокая	324 02 45	θ = 26°30'
Морская	278 48 52	на Нижнее
Обрыв		l = 0,053 м
Нижнее	0 00 00	θ = 87°00'
Можжевая	277 59 26	l_1 = 0,044 м
Морская	307 18 00	θ_1 = 345°30'
		на Нижнее

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Нижнее	6 421 532,5	11 361 775,3
Морская	6 420 184,4	11 358 745,1
Высокая	6 417 870,1	11 359 433,9

Вариант № 13

Схема сети



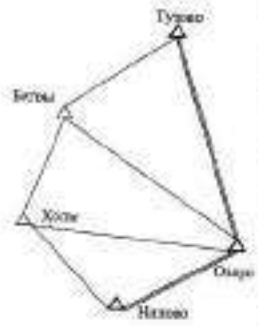
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Красное		l = 0,109 м
Уланка	0°00'00"	θ = 51°00'
Горное	305 01 46	l_1 = 0,743 м
		θ_1 = 64°30'
		на Уланку
Горное		
Бугры	0 00 00	l_1 = 0,685 м
Дно	88 50 57	θ_1 = 328°00'
Уланка	134 04 03	На Бугры
Красное	199 52 25	
Бугры		l = 0,368 м
Горное	0 00 00	θ = 31°30'
Дно	324 22 04	l_1 = 0,337 м
		θ_1 = 35°00'
		на Горное
Дно		
Уланка	0 00 00	
Горное	182 58 49	
Бугры	138 20 17	
Уланка		
Красное	0 00 00	l_1 = 0,034 м
Горное	60 13 12	θ_1 = 117°30'
Дно	90 21 06	на Красное

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красное	6 500 349,1	11 547 585,4
Горное	6 497 262,6	11 547 210,3
Бугры	6 495 113,5	11 547 691,3

Вариант № 14

Схема сети



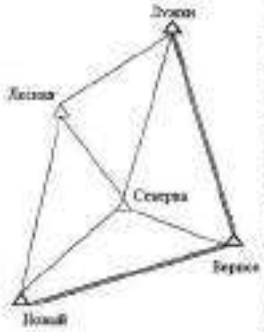
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привязки
Озеро		l = 0,017 м
Нилово	0°00'00"	θ = 93°30'
Холм	17 55 00	Δ = 0,012 м
Бугры	42 48 54	θ_1 = 73°30'
Тухово	92 33 55	на Нилово
Тухово		l_1 = 0,008м
Озеро	0 00 00	θ_1 = 300°00'
Бугры	76 55 08	На Озеро
Нилово		l = 0,084м
Холм	0 00 00	θ = 302°00'
Озеро	137 59 46	Δ_1 = 0,011 м
		θ_1 = 261°30'
		на Холм
Бугры		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,018 м
Тухово	200 22 16	θ_1 = 284°00'
Озеро	253 44 34	На Холм
Холм		l = 0,035 м
Бугры	0 00 00	θ = 168°30'
Озеро	48 30 16	Δ_1 = 0,032 м
Нилово	72 55 28	θ_1 = 151°30'
		На Бугры

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Тухово	6 824 715,2	11 835 319,3
Озеро	6 822 195,0	11 835 410,3
Нилово	6 822 001,1	11 832 994,8

Вариант № 15

Схема сети



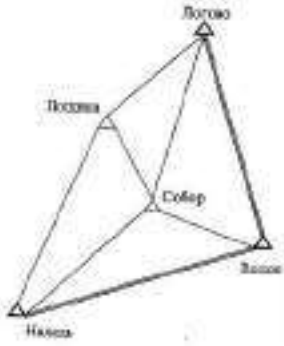
Название пунктов	Измеренные направления	Элементы привязки
Лужки		
Верное	0°00'00"	l_1 = 0,069 м
Северка	33 04 11	θ_1 = 237°30'
Лесная	72 22 54	на Верное
Новый		l = 0,336м
Верное	0 00 00	θ = 101°00'
Лесная	316 19 06	l_1 = 0,265 м
Северка	342 19 36	θ_1 = 104°30'
		на Верное
Верное		l = 0,172м
Новый	0 00 00	θ = 161°00'
Северка	29 17 20	Δ_1 = 0,024 м
Лужки	66 56 19	θ_1 = 168°30'
		на Новый
Северка		
Новый	0 00 00	
Лесная	88 39 02	
Лужки	103 58 43	
Верное	226 57 58	
Лесная		
Новый	0 00 00	
Лужки	182 57 42	
Северка	239 36 22	

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Лужки	6 547 189,7	11 646 625,8
Верное	6 543 823,3	11 648 187,8
Новый	6 543 413,3	11 643 133,7

Вариант № 16

Схема сети



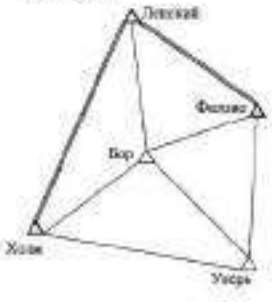
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Логово		l = 0,008м
Волок	0°00'00"	θ = 96°10'
Собор	53 04 10	l_1 = 0,011 м
Лощина	72 22 56	θ_1 = 155°20'
		на Волок
Надель		l = 0,012м
Волок	0 00 00	θ = 210°10'
Лощина	316 19 04	l_1 = 0,008 м
Собор	342 19 35	θ_1 = 15°10'
		на Волок
Волок		l = 0,013м
Надель	0 00 00	θ = 92°10'
Собор	29 17 19	l_1 = 0,008 м
Логово	66 34 19	θ_1 = 230°10'
		на Надель
Собор		l = 0,010м
Надель	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 46	на Надель
Лощина		l = 0,008м
Надель	0 00 00	θ = 155°20'
Логово	182 57 44	l_1 = 0,015 м
Собор	274 36 23	θ_1 = 210°10'
		на Надель

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Логово	6 498 303,6	11 582 317,8
Волок	6496 115,2	11 584 383,4
Надель	6 493 628,8	11 577 837,9

Вариант № 17

Схема сети



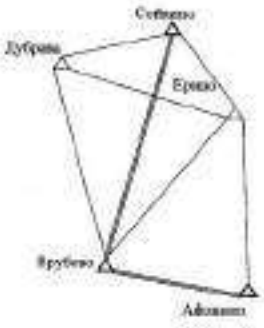
Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Лещина		l = 0,120м
Фалово	0°00'00"	θ = 255°00'
Бор	40 28 38	l_1 = 0,131 м
Холм	60 05 30	θ_1 = 210°00'
		на Фалово
Холм		l = 0,112м
Лесной	0 00 00	θ = 146°30'
Бор	34 04 18	l_1 = 0,090 м
Ухорь	68 09 36	θ_1 = 116°00'
		на Лесной
Фалово		
Лесной	0 00 00	l = 0,039 м
Ухорь	239 03 42	θ = 117°20'
Бор	279 46 54	на Лесной
Бор		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,077 м
Лесной	126 19 00	θ_1 = 336°00'
Фалово	185 57 11	на Холм
Ухорь	259 22 38	
Ухорь		
Холм	0 00 00	l_1 = 0,078 м
Бор	45 17 09	θ_1 = 123°30'
Фалово	110 46 41	на Холм

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Лесной	6 939 417,4	11 406 363,2
Ухорь	6 935 253,5	11 388 487,2
Фалово	6 937 171,2	11 401 985,3

Вариант № 18

Схема сети



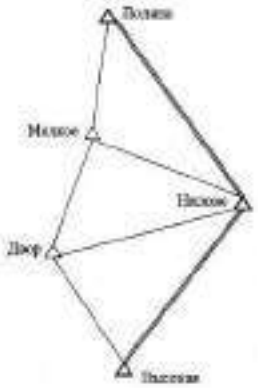
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привидения
Сейково		l = 8,138м
Ерино	0°00'00"	θ = 156°18'
Врубово	40 19 24	l_1 = 8,102 м
Дубрава	90 13 16	θ_1 = 233°20'
		на Ерино
Врубово		l = 8,071м
Дубрава	0 00 00	θ = 283°40'
Сейково	28 20 39	l_1 = 8,151 м
Ерино	48 06 48	θ_1 = 213°40'
Афонино	110 23 36	на Дубрава
Афонино		l = 8,170м
Врубово	0 00 00	θ = 210°50'
Ерино	63 17 07	l_1 = 8,096 м
		θ_1 = 328°00'
		на Врубово
Дубрава		l = 8,113м
Сейково	0 00 00	θ = 320°13'
Ерино	38 35 47	l_1 = 8,078 м
Врубово	102 08 07	θ_1 = 15°10'
		на Сейково
Ерино		l = 8,112м
Афонино	0 00 00	θ = 76°40'
Врубово	54 26 06	l_1 = 8,156 м
Дубрава	122 49 55	θ_1 = 250°10'
Сейково	174 01 24	на Афонино

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Сейково	6 462 236,5	11 435 736,6
Врубово	6 472 718,8	11 433 843,7
Афонино	6 476 866,3	11 437 075,4

Вариант № 19

Схема сети



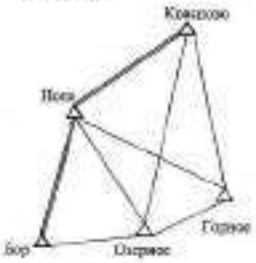
Название пункта	Измеренные направления	Элементы привидения
Низкое		l = 8,167 м
Полево	0°00'00"	θ = 15°30'
Высокая	358 47 32	l_1 = 8,161 м
Дюр	297 49 26	θ_1 = 20°00'
Малое	333 19 24	на Полево
Полево		l = 8,043 м
Низкое	0 00 00	θ = 308°00'
Малое	42 24 19	l_1 = 8,026 м
		θ_1 = 316°00'
		на Низкое
Высокая		l_1 = 8,023 м
Низкое	0 00 00	θ_1 = 327°30'
Дюр	102 32 32	на Низкое
Малое		
Низкое	0 00 00	l_1 = 8,034 м
Дюр	102 02 16	θ_1 = 115°30'
Полево	248 04 58	На Низкое
Дюр		
Низкое	0 00 00	l_1 = 8,104 м
Высокая	83 50 16	θ_1 = 126°00'
Малое	317 32 30	На Низкое

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Низкое	6 349 490,2	11 358 226,3
Полево	6 352 426,6	11 356 051,8
Высокая	6 346 181,0	11 355 209,2

Вариант № 20

Схема сети



Название пункта	Измеренные направления	Элементы приведения
Поле		$l = 0,152$ м
Красное	0°00'00"	$\beta = 188°50'$
Горное	51 46 31	$l_1 = 0,165$ м
Озерное	82 14 24	$\theta_1 = 150°00'$
Бор	136 29 22	на Красное
Красное		$l = 0,074$ м
Горное	0 00 00	$\theta = 15°30'$
Озерное	24 17 30	$l_1 = 3,160$ м
Поле	82 45 18	$\theta_1 = 28°10'$
		на Горное
Бор		$l = 3,196$ м
Поле	0 00 00	$\theta = 120°30'$
Озерное	62 38 29	$l_1 = 0,182$ м
		$\theta_1 = 108°00'$
		на Поле
Горное		
Озерное	0 00 00	$l_1 = 0,179$ м
Поле	63 40 50	$\theta_1 = 27°00'$
Красное	109 10 56	на Озерное
Озерное		
Бор	0 00 00	
Поле	62 46 41	$l_1 = 0,116$ м
Красное	104 24 29	$\theta_1 = 273°30'$
Горное	148 36 17	на Бор

Координаты исходных пунктов, м

Пункт	X	Y
Красное	6 265 936,5	11 495 146,8
Поле	6 264 773,3	11 492 283,5
Бор	6 261 149,0	11 493 670,7

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	Y, м	H, м
Луговая	6 352 171,11	11 436 857,71	
Река	6 348 547,60	11 436 173,83	250,28
Холм	6 345 856,09	11 436 485,28	215,50
Валун	6 342 465,59	11 434 339,44	

Таблица 15

Измеренные длины линий, превышения между пунктами хода и их высоты

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Ромб			**239,28**
	798,32	-50,44	
пв 213			179,84
	706,25	-23,80	
пв 214			155,04
	348,98	+18,88	
пв 215			174,82
	639,26	+40,68	
Холм			**215,50**

Таблица 16

Измеренные направления и элементы привязок

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы привязок
Луговая	Ромб		l_1 = 0,933 м
			Θ_1 = 125°00'
Ромб	Луговая	0° 02' 06"	l = 0,375 м
	пв 213	154 09 30	Θ= 104° 30'
			l_2= 0,165 м
			Θ_2 = 266° 45'
пв 213	Ромб	0° 00' 00"	
	пв 214	185 11 41	
пв 214	пв 215	0° 00' 00"	
	пв 215	192 38 49	
пв 215	пв 214	0° 00' 00"	
	Холм	176 48 24	
Холм	пв 215	0° 00' 00"	l = 1,469 м
	Волк	212 44 59	Θ= 169° 30'
			l_1 = 0,757 м
			Θ_1 = 215° 15'
Волк	Холм		l_1 = 0,754 м
			Θ_1 = 13° 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).

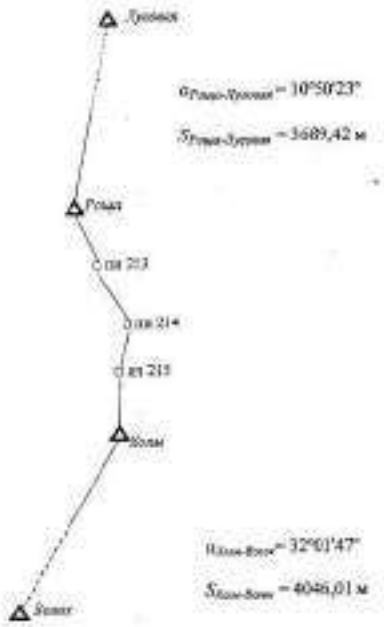


Рис. 2. Схема полигонометрического хода

Приведение измеренных направлений к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера производятся так же, как и предварительных вычислениях в сети триангуляции (см. табл. 6, 7, 8, 9).

Таблица 17

Вычисление поправок за центровку и редукцию

Назв. пункта	Назв. напр.	M	M + θ	M + θ	Δ, 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"	194° 10'	209 45	3689	20,3	-3,3
	пп 213	154 09 50	258 59	354 54	798	-95,0	-3,8
Холм	пп 215	0 00 00	160 50	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

Названия пункта	Измерен. угол	D_i, км	Дирекционный угол	Приращения координат, км		Координаты, км	
				ΔX	ΔY	X	Y
Луговая							11 436,87
			194°50'				
Роща	154° 07'					b 348,35	11 436,17
		0,798	164 57	-0,77	+0,21		
пп 213	185 12					6 347,58	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	136 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							11 434,24
						$Y_{средн.}$ =	436,18

$$Y'_{средн.} = 436{,}18км - 500км = -63{,}82км.$$

Таблица 19

Сводная таблица направлений, приведенных к центрам пунктов и редуцированных на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера

Назв. пункта	Назв. направления	Изм. направления	c''	r''	δ''	$c+r+\delta$	$(c+r+\delta)$ - $(c+r+\delta)_0$	Приведенные направления
Роща	Луговая	0 00 00	+20,3	+ 42,7	+ 0,6	63,6	0	0° 00' 00"
	пп 213	154 09 50	-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 45			-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	-81,1	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 производятся путем введения поправок: ΔD_{II}, ΔD_{I-}, ΔD_M, ΔD_{II}.

Приведение длин линий к центрам пунктов производится путем введения поправки ΔD_{II} по формуле

$$\Delta D_{II} = -\left[l_i \cos(M_{i-j} + \theta_i) + l_j \cos(M_{j-i} + \theta_j)\right]$$

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 центровки, определенные на пункте i;

l_j, θ_j - элементы центровки, 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 центровки определены только на пункте Роща (табл.16), и поправка за центровку вычисляют по формуле:

$$\Delta D_{II} = -\left[l_i \cos(M_{i-j} + \theta_i)\right]$$

Приведенная длина линии вычисляют по формуле:

$$D_Ц = D_М + ДD_Ц,$$

где $D_Ц$ – приведенная к центрам пунктов длина стороны;

$D_М$ – измеренное расстояние (см. табл. 15).

Поправка за центрировку в длину линии Роща–пп. 213

$$\Delta D_ц = -\left[0{,}375\ м \cos(154°09' + 104°30')\right] = +0{,}07\ м,$$

а приведенная к центрам пунктов длина стороны –

$$D_ц = 798{,}32\ м + 0{,}07\ м = 798{,}39\ м.$$

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 пункта измерения 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 Роща – пп 213, приведенная к центрам пунктов, $D_ц = 798{,}39$ м; $h = -50{,}44$ м.

$$\Delta D_г = -\frac{(-51{,}44\text{м})^2}{2 \cdot 798{,}39\text{м}} = -1{,}59\ м; \quad D_г = 798{,}39\ м - 1{,}59\ м = 796{,}80\ м.$$

Редуцирование длины линии $D_Г$ *на уровень моря* производится по формулам: $D_H = D_Г + ДD_H; \quad ДD_H = -\frac{H_м}{R} D_Г,$

где $H_м$ – средняя высота линии над уровнем моря;

R – средний радиус Земли ($R = 6371$ км).

$$H_м = \frac{230{,}28\ м + 179{,}84\ м}{2} = 205{,}06\ м;$$

$$D_h = -\frac{205{,}06\ м}{6371000\ м} 796{,}80\ м = -0{,}02\ м.$$

$$D_H = 796{,}80\ м - 0{,}02 = 796{,}78\ м.$$

Редуцирование длины линии $D_Н$ *на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера* производится по формулам:

$$D_Д = D_Н + ДD_Д; \quad ДD_Д = +\frac{Y_м^2}{2R^2} D_Н,$$

где $Y_м$ - среднее удаление стороны хода от осевого меридиана зоны.

Для решения этой задачи необходимы приближенные прямоугольные координаты пунктов полигонометрического хода (табл. 18).

$$Y_м = \frac{436{,}07\ км + 436{,}38\ км}{2} - 500\ км = -63{,}72\ км;$$

$$\Delta D_Д = +\frac{(-63{,}72\ км)^2}{2 \cdot 6371^2} 796{,}78\ м = 0{,}04\ м; \quad D_Д = 796{,}78\ м + 0{,}04\ м = 796{,}82\ м.$$

Таблица 20

Приведение измеренных длин линий к центрам пунктов и редуцирование их на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера

Наим. пункта	$D_м$, м изм.	$\Delta D_Ц$, м	$D_Ц$, м	$\Delta D_Г$, м	$D_Г$, м	ΔD_H, м	D_H, м	$Y_м$	$\Delta D_Д$, м	$D_Д$, м
Роща										
	798,32	0,07	798,39	-1,59	796,80	-0,02	796,78	-63,72	0,04	**796,82**
пп 123										
	796,33			-0,80	795,53	-0,02	795,51	-63,56	0,04	**795,55**
пп 124										
	548,38			-0,32	548,06	-0,01	548,05	-63,51	0,03	**548,08**
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 производятся вычисления прямоугольных координат пунктов полигонометрического хода и оценка точности (табл. 21, 22).

Таблица 21

Вычисление приращений координат пунктов полигонометрического хода и оценка точности

Наименование пункта	Измеренный угол	Исправленный угол	Дирекционный угол	D, м	Приращения координат, м			
					вычисленные		исправленные	
					ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Луговая								
	+1"		190°50'48"					
Реша	154°06'51"	154°06'52"			+0,01	+0,03		
	+1"		164 57 40	796,82	-769,57	+206,75	-769,52	+206,78
пп 213	185 11 45	185 11 46				+0,00		
	+1"		170 09 26	703,85	-695,46	+120,66	-695,46	+120,69
пп 214	192 20 49	192 20 50				+0,02		
	+1"		182 30 16	548,64	-548,16	-23,95	-548,16	-23,99
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					
Волга								
Σ	921° 10' 54"			Σ = 3689,77	$f_{\Delta X}$ = -0,09м	$f_{\Delta Y}$ = -0,01м		

$f_S = \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2} = 0{,}1$м

$f_{S\,отн} = 1:24432$; $f_{S\,отн.доп} = 1:10000$

$f_{\beta\,теор} = f_{\beta\,теор}$ = 21°10'59"

f_β = 5";

$f_{\beta доп} = 10'\sqrt{n} = 22"$,

где n – число углов; n = 5

Таблица 22

Вычисление прямоугольных координат пунктов полигонометрического хода

Название пункта	Приращения координат, м		Координаты, м	
	ΔX	ΔY	X	Y
Реша			**6 548 547,00**	**11 436 273,83**
	-769,52	+206,78		
пп 213			6 547 778, 08	11 436 380,21
	-695,46	+120,69		
пп 214			6 547 082,62	11 436 501,30
	-548,16	-23,96		
пп 215			6 546 534,46	11 435 477,34
	-638,37	+7,94		
Холм			**6 545 896,09**	**11 436 485,28**

Варианты для самостоятельной работы

Вариант № 1

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Горка	6 327 165,10	11 411 842,40	
Олехово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 870,66	11 411 460,83	349,89
Поляна	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
	598,12	-49,99	
пп 123			350,14
	706,23	+13,48	
пп 124			363,60
	548,38	+20,31	
пп 125			389,91
	639,26	-40,02	
Ручей			349,89

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Названия направлений	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Олехово		l_1 = 1,512 м
			Θ_1 = 122° 00'
Олехово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,593 м
	пп 123	154 09' 46"	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,452 м
			Θ_1 = 209° 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 = 0,112 м
	Поляна	212 44 59	Θ= 160° 30'
			l_1 = 0,357 м
			Θ_1 = 313° 15'
Поляна	Ручей		l_1 = 1,001 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	
Озерово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 738,20	11 411 475,62	347,38
Лесная	6 317 136,65	11 409 222,69	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Озерово			400,13
	839,03	-52,49	
пп 123			347,64
	741,54	+20,66	
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	Озерово		l_1 = 1,083 м
			Θ_1 = 125° 00'
Озерово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,590 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,454 м
			Θ_1 = 200° 45'
пп 123	Озерово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 123	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 = 1,002 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	
Озерово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 695,69	11 411 491,21	344,86
Лесная	6 316 832,38	11 408 130,79	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Озерово			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	Озерово		l_1 = 1,113 м
			Θ_1 = 125° 00'
Озерово	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	Озерово	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	11 431 960,60	
Озерово	6 323 522,36	11 431 148,19	400,13
Ручей	6 320 473,11	11 431 506,81	342,35
Лесная	6 316 528,48	11 409 059,09	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Озерово			400,13
	917,84	-57,48	
пп 123			342,65
	812,37	+22,58	
пп 124			365,23
	451,78	+23,54	
пп 125			388,38
	755,15	- 46,03	
Ручей			342,35

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Озерово		l_1 = 1,164 м
			Θ_1 = 125° 00'
Озерово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,647 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,497 м
			Θ_1 = 280° 45'
пп 123	Озерово	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 39	
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	6 327 670,57	11 431 981,31	
Озерово	6 323 522,36	11 431 148,18	400,13
Ручей	6 320 340,54	11 431 522,40	339,84
Лесная	6 316 224,42	11 408 947,59	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Озерово			400,13
	917,75	-33,98	
пп 123			366,15
	847,48	+21,36	
пп 124			365,51
	650,25	-24,27	
пп 125			387,88
	747,12	- 48,04	
Ручей			339,84

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Озерово		l_1 = 1,214 м
			Θ_1 = 125° 00'
Озерово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,676 м
	пп 123	154 09 46	Θ= 104° 30'
			l_1 = 0,518 м
			Θ_1 = 280° 45'
пп 123	Озерово	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 39	
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	
Опалово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 320 207,96	11 411 537,89	337,33
Лесная	6 313 920,35	11 408 855,69	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Опалово			400,13
	997,66	-62,48	
пп 123			337,65
	880,79	+24,33	
пп 124			361,98
	686,72	+25,38	
пп 125			387,36
	799,06	- 50,03	
Ручей			337,33

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Опалово		Δ_1 = 1,265 м
			Θ_1 = 125° 00'
Опалово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,784 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			Δ_1 = 0,540 м
			Θ_1 = 209° 45'
пп 123	Опалово	0° 00' 00"	
	пп 124	185 11 41	
пп 124	пп 123	0° 00' 00"	
	пп 125	192 20 40	
пп 225	пп 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пп 125	0° 00' 00"	l = 0,141 м
	Лесная	212 44 39	Θ = 168° 30'
			Δ_1 = 0,446 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		Δ_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	
Опалово	6 323 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 323 075,36	11 411 551,58	314,82
Лесная	6 313 616,25	11 408 701,99	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Опалово			400,13
	1037,56	-64,98	
пп 123			335,55
	918,19	+35,30	
пп 124			360,45
	714,14	+26,40	
пп 125			386,85
	801,04	- 52,03	
Ручей			334,82

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горка	Опалово		Δ_1 = 1,316 м
			Θ_1 = 125° 00'
Опалово	Горка	0° 00' 00"	l = 0,732 м
	пп 123	154 09 46	Θ = 104° 30'
			Δ_1 = 0,562 м
			Θ_1 = 209° 45'
пп 123	Опалово	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 39	Θ = 168° 30'
			Δ_1 = 0,464 м
			Θ_1 = 315° 15'
Лесная	Ручей		Δ_1 = 1,327 м
			Θ_1 = 10° 45'

Вариант № 8

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Горки	6 326 964,69	11 411 807,74	
Опалово	6 325 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 321 083,42	11 411 444,44	352,40
Лесная	6 317 344,82	11 409 405,89	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пунктов	D, м	h, м	H, м
Опалово			400,13
	748,22	-47,49	
пк 123			352,64
	670,92	+18,49	
пк 124			371,13
	521,91	+19,29	
пк 125			390,48
	697,10	- 38,02	
Ручей			352,40

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горки	Опалово		$l_1 = 0,961$ м
			$\Theta_1 = 125°00'$
Опалово	Горки	0° 00' 00"	$l = 0,535$ м
	пк 125	154 09 46	$\Theta = 104°30'$
			$l_2 = 0,410$ м
			$\Theta_2 = 200°45'$
пк 123	Опалово	0° 00' 00"	
	пк 124	185 11 41	
пк 124	пк 123	0° 00' 00"	
	пк 125	192 20 40	
пк 125	пк 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пк 125	0° 00' 00"	$l = 0,107$ м
	Лесная	212 44 59	$\Theta = 160°30'$
			$l_1 = 0,339$ м
			$\Theta_1 = 315°15'$
Лесная	Ручей		$l_1 = 0,970$ м
			$\Theta_1 = 10°45'$

Вариант № 9

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Горки	6 326 783,52	11 411 773,05	
Опалово	6 325 522,36	11 411 148,18	400,13
Ручей	6 321 135,90	11 411 428,84	354,91
Лесная	6 318 048,90	11 409 497,38	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Опалово			400,13
	718,31	-44,99	
пк 123			355,14
	605,61	+17,52	
пк 124			372,66
	494,44	+18,28	
пк 125			390,94
	575,34	- 36,03	
Ручей			354,91

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Горки	Опалово		$l_1 = 0,911$ м
			$\Theta_1 = 125°00'$
Опалово	Горки	0° 00' 00"	$l = 0,507$ м
	пк 125	154 09 46	$\Theta = 104°30'$
			$l_2 = 0,389$ м
			$\Theta_2 = 200°45'$
пк 123	Опалово	0° 00' 00"	
	пк 124	185 11 41	
пк 124	пк 123	0° 00' 00"	
	пк 125	192 20 40	
пк 125	пк 124	0° 00' 00"	
	Ручей	176 48 29	
Ручей	пк 125	0° 00' 00"	$l = 0,102$ м
	Лесная	212 44 59	$\Theta = 160°30'$
			$l_1 = 0,321$ м
			$\Theta_1 = 315°15'$
Лесная	Ручей		$l_1 = 0,919$ м
			$\Theta_1 = 10°45'$

Вариант № 10

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Гора	6 326 602,34	11 401 718,32	
Олешко	6 325 572,16	11 401 148,18	400,75
Ручей	6 321 268,57	11 401 413,25	357,42
Лесная	6 318 358,90	11 409 589,09	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Олешко			400,75
	678,41	-42,49	
пп 123			357,64
	600,10	+16,54	
пп 124			374,18
	466,97	+17,25	
пп 125			391,44
	543,17	- 34,00	
Ручей			357,42

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Гора	Олешко		$l_1 = 0,911$ м
			$\Theta_1 = 125° 00'$
Олешко	Гора	0° 00' 00"	$l = 8,507$ м
	пп 123	154 09 46	$\Theta = 104° 30'$
			$l_1 = 0,389$ м
			$\Theta_1 = 200° 45'$
пп 123	Олешко	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 55	$\Theta = 160° 30'$
			$l_1 = 8,321$ м
			$\Theta_1 = 315° 15'$
Лесная	Ручей		$l_1 = 8,919$ м
			$\Theta_1 = 10° 45'$

Вариант № 11

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Олешко	6 326 544,51	11 399 863,24	
Шахта	6 326 777,44	11 401 266,19	100,11
Урочище	6 351 238,51	11 402 683,65	17,76
Холм	6 354 361,68	11 405 131,99	

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
	702,55	-10,08	
пп 174			113,47
	666,79	-55,08	
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		$l_1 = 0,929$ м
			$\Theta_1 = 160° 00'$
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	$l = 0,532$ м
	пп 173	194 59 36	$\Theta = 120° 30'$
			$l_1 = 0,450$ м
			$\Theta_1 = 200° 45'$
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	$\Theta = 210° 30'$
			$l_1 = 1,320$ м
			$\Theta_1 = 280° 15'$
Холм	Урочище		$l_1 = 0,861$ м
			$\Theta_1 = 98° 45'$

Вариант № 12

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Опытное	6 323 879,30	11 400 427,32	
Шахта	6 329 263,65	11 403 549,68	100,11
Урочище	6 331 218,31	11 402 683,65	34,24
Холм	6 333 733,85	11 404 634,12	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Шахта			100,11
	527,70	+14,76	
пп 173			114,87
	562,12	- 8,96	
пп 174			105,91
	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
Опытное	Шахта		l_1 = 0,016 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Опытное	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	Опытное	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
Опытное	6 324 210,8	11 399 722,22	
Шахта	6 328 655,39	11 401 395,52	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,63	13,66
Холм	6 334 518,94	11 403 283,99	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Шахта			100,11
	692,60	+24,82	
пп 173			124,93
	737,79	-10,38	
пп 174			114,15
	700,12	-57,78	
пп 175			56,37
	829,43	-42,71	
Урочище			13,66

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Опытное	Шахта		l_1 = 0,021 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Опытное	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	Опытное	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
Опытное	6 325 565,61	11 400 285,30	
Шахта	6 329 143,60	11 401 478,31	100,11
Урочище	6 331 216,51	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	+19,95	
пр 173			120,04
	597,20	- 8,50	
пр 174			111,48
	566,76	-46,78	
пр 175			64,70
	679,54	- 34,58	
Урочище			30,12

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Опытное	Шахта		l_1 = 0,017 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Опытное	0° 00' 00"	l = 0,469 м
	пр 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,388 м
			Θ_1 = 200° 45'
пр 173	Опытное	0° 00' 00"	
	пр 174	175 11 41	
пр 174	пр 173	0° 00' 00"	
	пр 175	182 51 52	
пр 175	пр 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пр 175	0° 00' 00"	l = 0,048 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,22 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,754 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 15

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Опытное	6 323 877,12	11 399 581,20	
Шахта	6 328 533,34	11 401 326,84	100,11
Урочище	6 331 218,35	11 402 683,65	9,54
Холм	6 334 876,00	11 406 365,82	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Шахта			100,11
	725,58	+25,79	
пр 173			125,90
	772,92	-11,08	
пр 174			114,82
	735,46	-60,54	
пр 175			54,28
	839,40	- 44,74	
Урочище			9,54

Измеренные направления и элементы приведения

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы приведений
Опытное	Шахта		l_1 = 0,022 м
			Θ_1 = 160° 00'
Шахта	Опытное	0° 00' 00"	l = 0,607 м
	пр 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,502 м
			Θ_1 = 200° 45'
пр 173	Опытное	0° 00' 00"	
	пр 174	175 11 41	
пр 174	пр 173	0° 00' 00"	
	пр 175	182 51 52	
пр 175	пр 174	0° 00' 00"	
	Урочище	176 48 29	
Урочище	пр 175	0° 00' 00"	l = 0,082 м
	Холм	189 44 56	Θ = 210° 30'
			l_1 = 1,452 м
			Θ_1 = 280° 15'
Холм	Урочище		l_1 = 0,989 м
			Θ_1 = 98° 45'

Вариант № 16

Исходные данные

Исходные пункты	X, м	Y, м	H, м
Ольгино	6 325 211,91	11 400 145,26	
Шахта	6 329 021,35	11 401 407,95	100,11
Урочище	6 333 218,51	11 402 683,65	26,00
Холм	6 334 047,37	11 406 878,15	

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
	632,89	- 5,07	
пп 174			116,14
	608,10	-49,53	
пп 175			62,61
	719,51	- 36,61	
Урочище			26,00

Измеренные направления и элементы привязки

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы привязки
Ольгино	Шахта		l = 0,018 м
			Θ_1 = 160° 09'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,479 м
	пп 173	194 59 36	Θ = 120° 30'
			l_1 = 0,430 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 = 0,058 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	6 325 145,41	11 399 440,18	
Шахта	6 329 411,28	11 401 053,17	100,11
Урочище	6 333 218,51	11 402 683,65	5,41
Холм	6 334 035,30	11 405 487,74	

Измеренные длины линий, превышения и высоты пунктов

Название пункта	D, м	h, м	H, м
Шахта			100,11
	758,56	+35,96	
пп 173			127,07
	608,05	-11,59	
пп 174			115,48
	704,79	-63,29	
пп 175			52,19
	618,37	- 46,78	
Урочище			5,41

Измеренные направления и элементы привязки

Название пункта	Название направления	Измеренные направления	Элементы привязок
Ольгино	Шахта		l_1 = 0,103 м
			Θ_1 = 160° 09'
Шахта	Ольгино	0° 00' 00"	l = 0,615 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	11 401 357,66	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	21,89
Холм	6 334 204,53	11 405 300,07	

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
	907,52	- 9,57	
пп 174			112,81
	651,44	-52,28	
пп 175			60,53
	758,48	- 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 55 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	11 401 670,55	100,11
Урочище	6 331 218,51	11 402 683,65	38,36
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
	844,72	+17,58	
пп 173			117,69
	526,99	- 7,56	
пп 174			110,13
	900,08	-42,28	
пп 175			68,85
	599,55	-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 55 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 осмыслению теоретических положений, приобретению практических навыков в предварительной обработке результатов геодезических измерений, оценки их точности, и подготовки данных для их дальнейшего уравнивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акулов Е. А., Ковтун В. Л.* Основные геодезические работы: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: УГГГА, 2003. – 39 с.

2. *Высшая геодезия*: учебник / В. Г. Замович [и др.]. – М.: Недра, 1970. – 512 с.

3. *Инструкция по вычислению каталогов*. – М.: Недра,1971. – 112 с.

4. *Ковтун 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 образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



Шмонин А. Б.

ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе
по дисциплине для обучающихся по специальности
21.05.04 «Горное дело»

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург – 2019

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



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Н.В. Кортев, А.Т. Леонтьев, А.В. Самарин

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 не-ориентированных 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 C 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 colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Студент</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5">Создание опорного
обоснования
на карьере “Уралруда”</td><td>Отдел</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td>Руководитель</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">ГТФ
Каф. МД</td><td rowspan="2">1:100</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>Лист 1</td><td>Листов 1</td></tr>
<tr><td>Зав. каф.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></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.

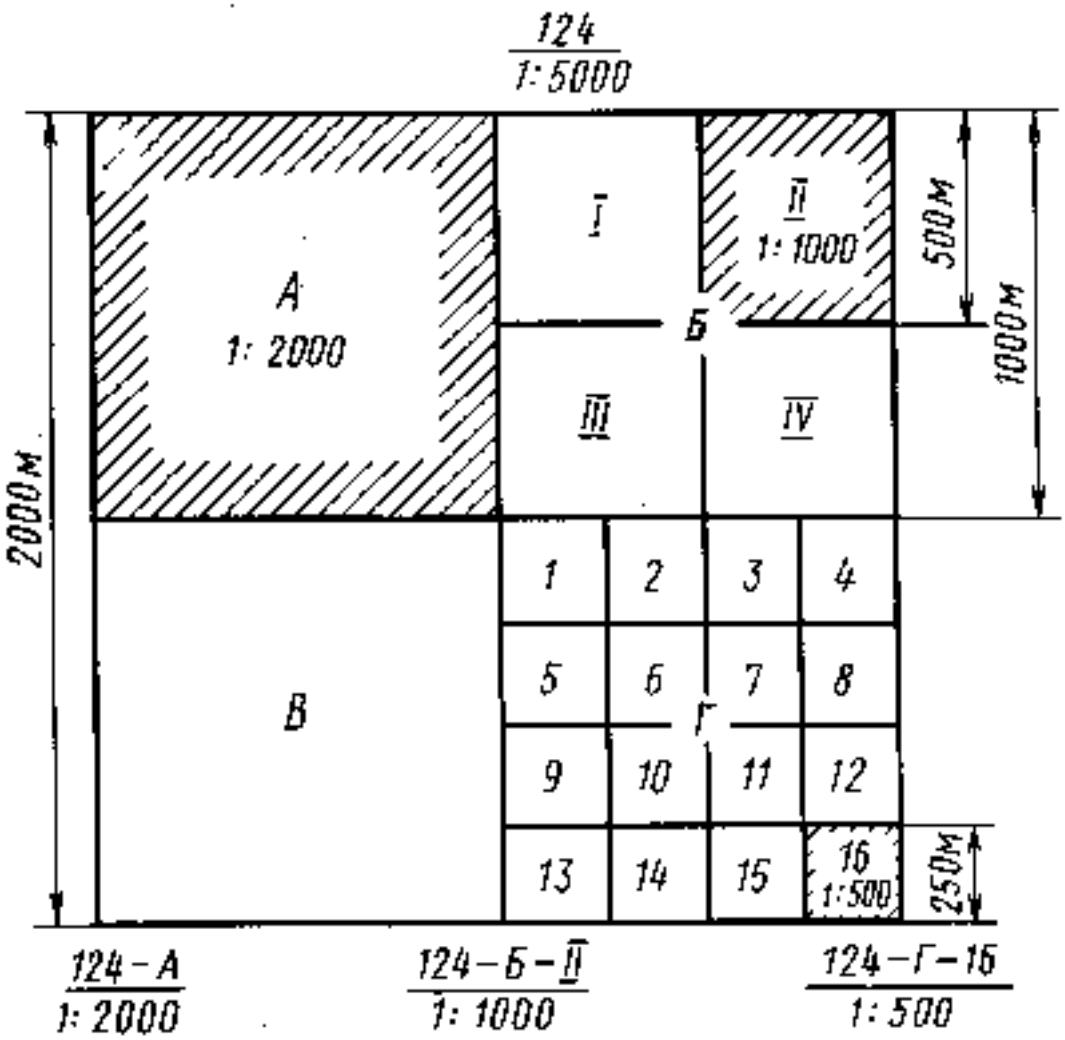


Рисунок 3.13

.

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).

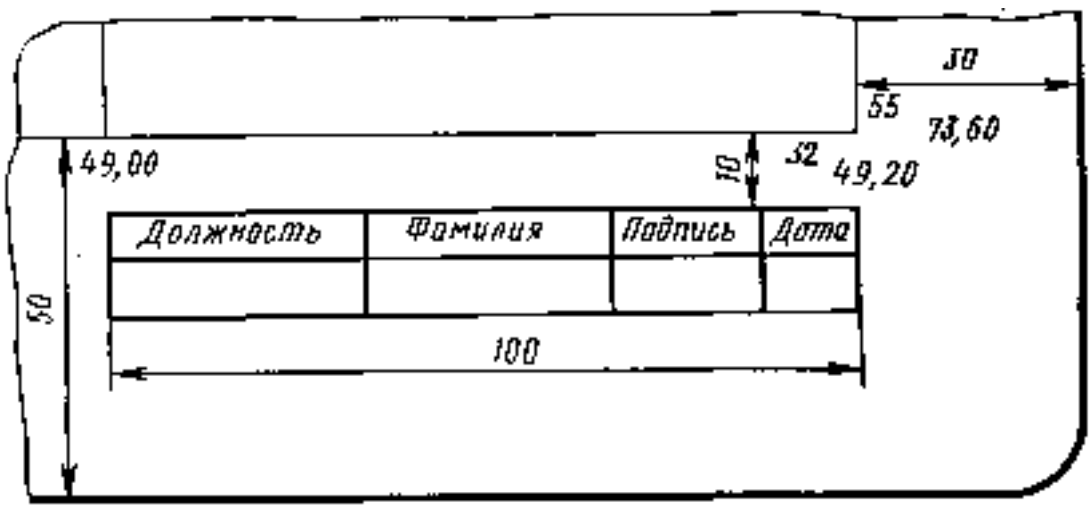


Рисунок 3.18

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).

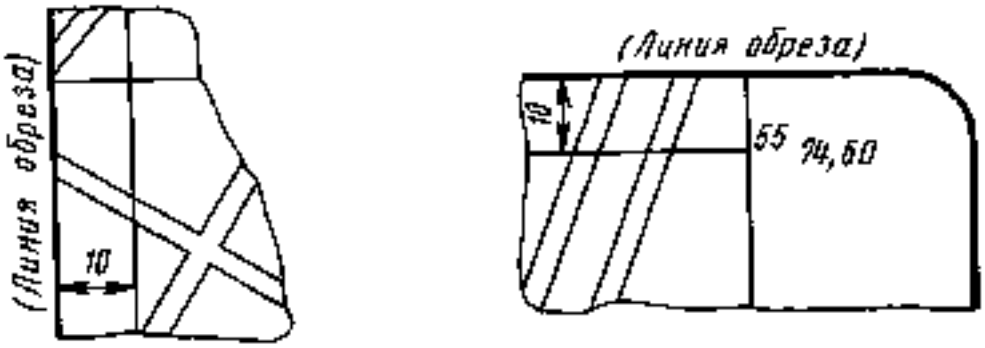


Рисунок 3.19

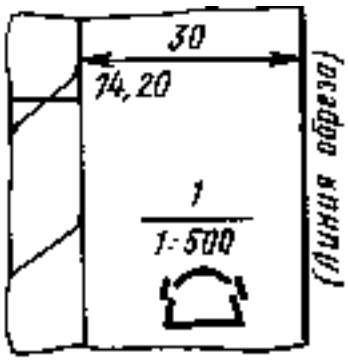


Рисунок 3.20

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.

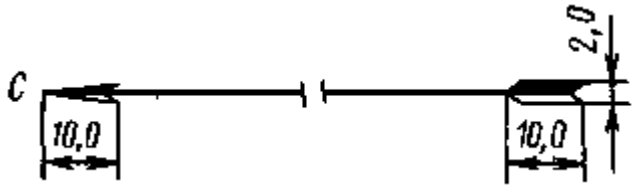


Рисунок 3.21

В случае непараллельности линий сетки линиям рамки чертежа координаты линий сетки следует указывать внутри рамки вдоль нижней и левой ее линий (рисунок 3.22).

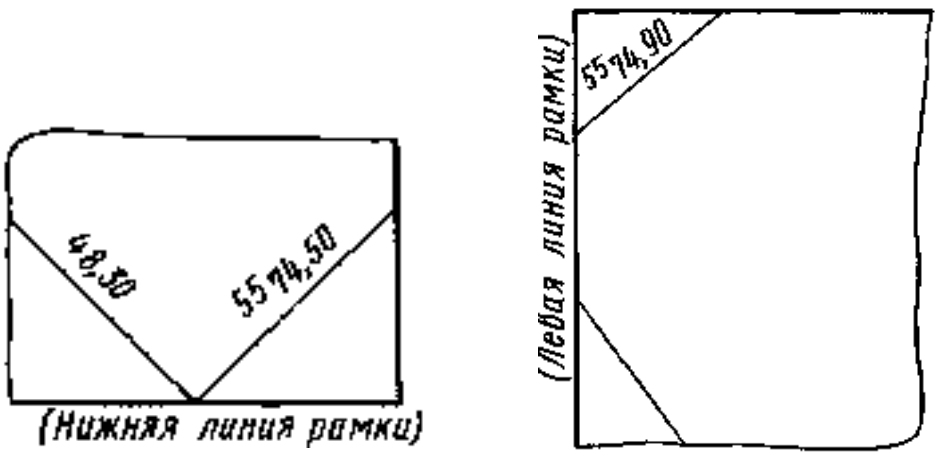


Рисунок 3.22

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 Х 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^{o} 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 образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

Колесатова О.С.

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе
по дисциплине для студентов специальности
21.05.04 «Горное дело» специализации № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург, 2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург
2019

Маркшейдерское черчение: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация № 4 «Маркшейдерское дело» / О.С. Колесатова; Уральский государственный горный университет, кафедра маркшейдерского дела. - Екатеринбург: 2019. – 13 с.

Материал пособия охватывает все разделы дисциплины в соответствии с рабочей программой.

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация № 4 «Маркшейдерское дело» по курсу «Топографическое черчение».

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры маркшейдерского дела «09» апреля 2019 г., протокол № 19

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 6

2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ 7

3 СОДЕРЖАНИЕ, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ (ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ) 17

Введение

Самостоятельная работа студентов — планируемая учебная работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основная цель самостоятельной работы студентов состоит в овладении фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами организации самостоятельной работы студентов являются:

- Развитие способности работать самостоятельно, формирование самостоятельности мышления и принятия решений.
- Развитие активности и познавательных способностей студентов, развитие исследовательских умений.
- Стимулирование самообразования и самовоспитания.
- Развитие способности планировать и распределять свое время.

Кроме того, эта самостоятельная работа неразрывно связана с формированием компетенций.

Среди функций самостоятельной работы студентов в общей системе обучения выделяют следующие:

- Развивающая (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, формирование интеллектуальных способностей студентов).
- Информационно-обучающая.
- Стимулирующая (формирование мотивов образования, самообразования).
- Воспитывающая (формирование личностно-профессиональных качеств специалиста).

Виды самостоятельной работы студентов в настоящее время весьма разнообразны и дают широкий выбор для преподавателя.

К ним относятся:

- работа с книжными источниками (учебниками, задачниками, с основной и дополнительной рекомендованной литературой);
- работа с электронными источниками (обучающие программы, самоучители и т.п.);
- работа в сети Internet (поиск нужной информации, обработка противоречивой и взаимодополняющей информации; работа со специализированными образовательными сайтами);
- выполнение домашних работ.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Программа дисциплины 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. Для углубленного освоения темы рекомендуется основная и дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков выполнения расчетно-графических работ по отдельным разделам дисциплины необходимо использовать методические указания к выполнению практических работ.

При освоении указанных тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебно-методическим материалам освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны учебники и учебные пособия, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы можно 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. Выполните указанные расчетно-графические работы. Условия и примеры выполнения приведены в данном учебном пособии. 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 СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

2.1 Тема: Содержание и задачи дисциплины

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: связь курса с другими дисциплинами; предмет, объекты изучения и задачи дисциплины.

Контрольные вопросы

1. Цель и основные задачи дисциплины.
2. Связь предмета с другими дисциплинами геодезического цикла.
3. Основные приемы и методы топографического черчения.
4. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов топографических карт и планов.
5. Совершенствование техники и технологии чертежнооформительских работ, их механизация и автоматизация.
6. Инструменты и принадлежности для топографического черчения, методы и приемы работы с ними.
7. Виды программного обеспечения для топографического черчения
8. В чем заключаются особенности топографического черчения?

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.
2. Геодезия и маркшейдерия: учебное пособие / В.Н. Попов, В.А. Букринский, П.Н. Бруевич, Д.И. Боровский. — 3-е изд. — Москва : Горная книга, 2010. — 453 с. — ISBN 978-5-98672-179-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/66452
3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679.

2.2 Тема: «Классификация чертежей».

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды чертежей: план, карта, профиль, разрез, проекция; классификация чертежей: по характеру построения, по своему назначению; требования к графической документации.

Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов карт.
2. Историческая справка о развитии топографического черчения.
3. Чертежные материалы и принадлежности (бумага, краски, тушь, клей).
4. Принадлежности для черчения (карандаши, линейки, треугольники, лекала, транспортиры, трафареты).
5. Устройство линейки с поперечным масштабом и координатной линейки Дро- бышева.
6. Построение прямоугольной сетки координат с помощью линейки Дробышева.
7. Чертежная бумага. Виды бумаги. Классификация бумаги. Требования, предъявляемые к чертежной бумаге
8. Требования к составлению топографичеких карт и планов.
9. Порядок вычерчивания элементов содержания.
10. Особенности оформления топографических карт и планов

Расчетно-графическая работа 1

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

На чертежной бумаге формата А6 вертикальными линиями разделить рабочее поле на три равные части. В каждой из них сделать карандашом разметки для четырех линий. По завершении чертежа эти вспомогательные линии аккуратно убрать резинкой.

В левой части рабочего поля вычертить четыре сплошные линии толщиной 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм. Остро отточенным карандашом вычертить первую, самую тонкую линию методом наращивания движением карандаша к себе (сверху вниз) в виде отдельных штрихов, длиной 2–3 мм. Каждый последующий штрих начинать с середины предыдущего.

Каждую последующую линию чертить в два раза толще предыдущей. Все линии вычерчивать произвольной кривизны примерно параллельно друг другу. Весь чертеж, кроме рамки, выполнять от руки.

Толщину линий и интервалы определять вначале по специальной шкале, в дальнейшем необходимо учиться оценивать толщину на глаз.

В центральной части рабочего поля вычертить четыре штриховые линии толщиной 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм, длина штрихов 4 мм, интервал между штрихами 1 мм. Длину нескольких первых штрихов проверить по шкале, затем тренировать глазомер. При вычерчивании штрихов добиваться четкого исполнения краев − они должны быть ровными, образовывать угол примерно 90º.

При нанесении штриховки длину штриха можно немного изменить, чтобы штрих доходил до рамки.

В правой части рабочего поля вычертить четыре линии, состоящие из точек диаметром 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм. Расстояние между краями точек принять равным 1 мм.

Проверить и скорректировать чертеж. Разделить рабочее поле на верхнюю и нижнюю части горизонтальной линией, прочерченной карандашом с применением линейки. Все вычерченные ранее линии, расположенные в верхней части рабочего поля, обвести тушью чертежным пером. Линии, расположенные в верхней части, оставить в карандашном исполнении.

Пример выполнения работы приведен на рис. 1

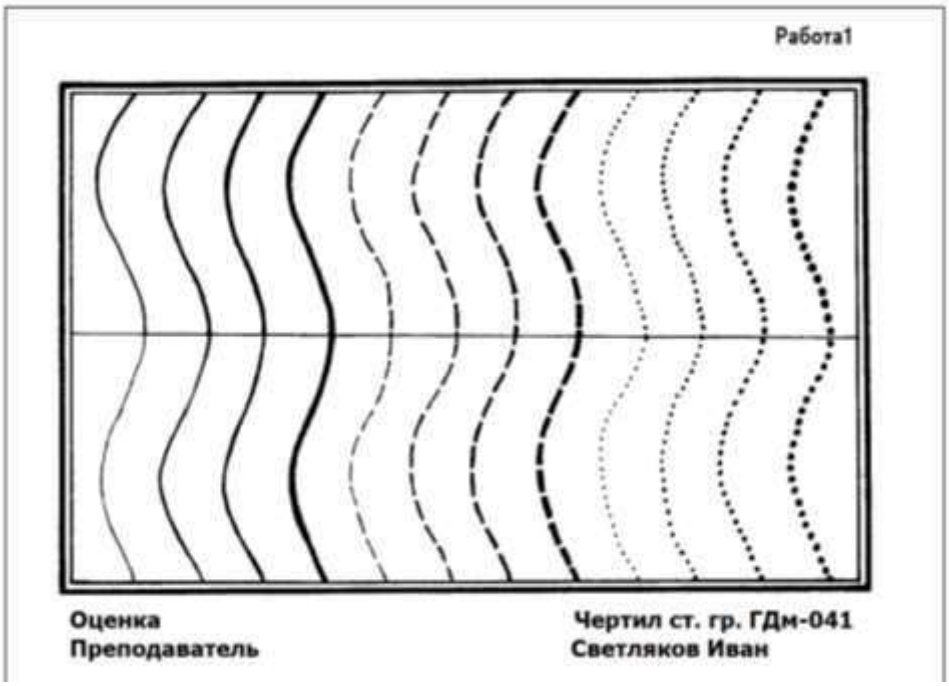


Рисунок 1

В левой части рабочего поля вычертить кронциркулем четыре серии окружностей заданного диаметра:1,2; 1,5; 2,0; 2,5 мм.

Для этого левое поле дополнительно разделить горизонтальными линиями на четыре равные части. В каждой из них карандашом построить сетку 5×5 мм, в вершинах квадратов в шахматном порядке вычертить окружности заданных размеров: в каждом прямоугольнике окружности одного диаметра (рис. 2).

Правую часть рабочего поля разделить на две равные части горизонтальной линией.

В верхней части правого поля вычертить сетку взаимно перпендикулярных линий, расположенных под углом 45° к рамке. Толщина линий 0,1 мм, расстояние между ними 1 мм.

В нижней части правого поля вычертить три серии линий: сплошные, штриховые и точечные.

Толщина линий в серии: 0,2; 0,4 и 0,8 мм.

Для штриховых линий принять длину штриха 4 мм, интервал между ними 1 мм.

Для точечных линий расстояние между точками принять 1 мм.

Длину штрихов и интервалов определять вначале по линейке – на пробном листе, в дальнейшем – на глаз.

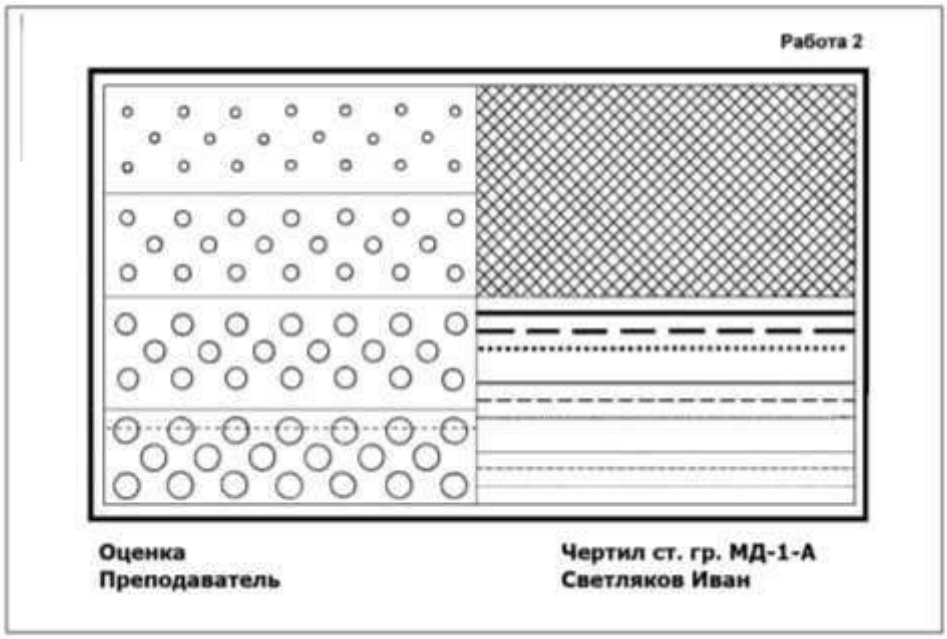


Рисунок 2

Литература:

1. Геодезия [Текст]: курс лекций / В. Л. Клепко, И. В. Назаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный горный университет". - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. - 148 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

2.3 Тема: «Топографические шрифты»

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды шрифтов для надписей на топографических картах и планах;

применение указанных шрифтов на топографических картах и планах; конструкция каждого шрифта: основные размеры, особенности рисунка отдельных букв и их элементов.

Контрольные вопросы

1. Виды шрифтов. Классификация картографических шрифтов.
2. Значение надписей на топографических картах.
3. Требования, предъявляемые к шрифтам.
4. Какие картографические шрифты применяются в топографическом черчении?
5. Какие оптические иллюзии необходимо устранить при вычерчивании букв?
6. Какое соотношение между высотой строчных и заглавных букв?
7. Что такое вычислительный шрифт, где он применяется, как вычерчиваются цифры вычислительного шрифта?
8. Правила расстановки букв при выполнении надписей на оригиналах топографических картах и планах.
9. Размещение и вычерчивание надписей на оригиналах топографических картах и планах.
10. Что регламентируют: ГОСТ 2.105-95 и ГОСТы 2.850 (851-857)?

Расчетно-графическая работа 2

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

До выполнения задания необходимо изучить технику написания цифр вычислительным (скорописным) шрифтом.

В верхней части рабочего поля вычертить две строчки для написания цифр: пять линий с интервалом 2 мм между ними.

В первой строке написать все цифры от 1 до 0 в соответствии с требованиями. На второй строке написать дату своего рождения.

В нижней части рабочего поля черной тушью вычертить фрагмент ведомости в соответствии с рис. 3. Здесь цифры писать, используя лишь одну вспомогательную линию – по аналогии с полевым журналом.

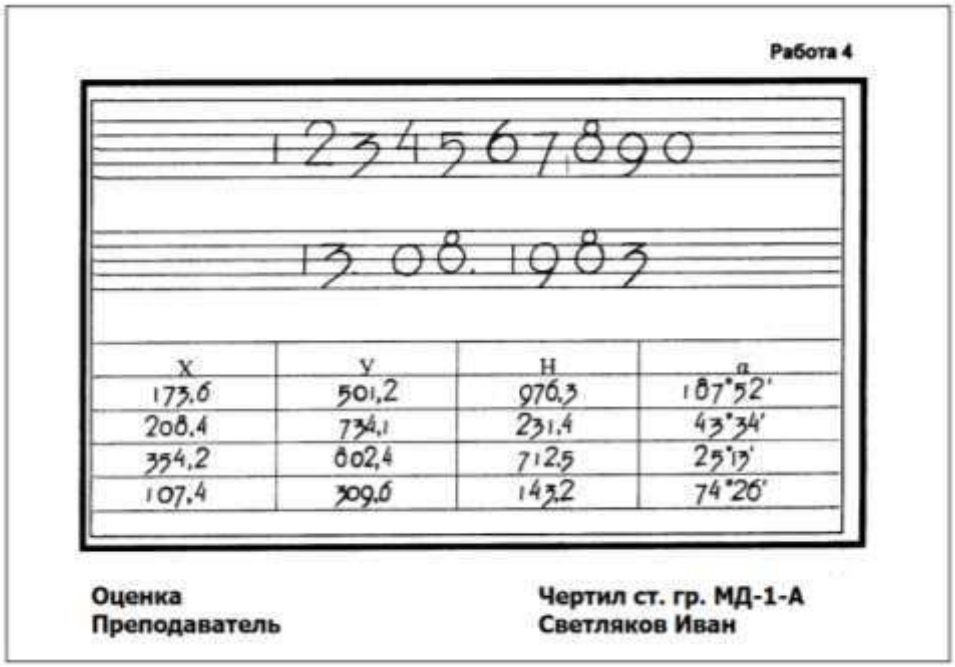


Рисунок – Пример выполнения работы

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

2.4 Тема: Условные знаки для составления чертежей земной поверхности

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения.

Контрольные вопросы

1. Условные знаки для изображения местных предметов. Их классификация.
2. Требования к начертанию условных знаков.
3. Правила вычерчивания условных знаков.
4. Порядок работы при построении внемасштабных условных знаков.
5. На какие группы делятся таблицы «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500»?

6. Какими условными знаками обозначаются геодезические пункты триангуляции и полигонометрии, пункты съемочной сети долговременного и временного закрепления на местности?

7. Какими условными знаками вычерчиваются реки и береговые линии? Как правильно подписать горизонтали?

8. Какими условными знаками вычерчиваются усовершенствованные автомобильные, грунтовые и железные дороги?

9. Какими условными знаками вычерчиваются мосты металлические, кирпичные и деревянные, брод через реку?

10. Какими условными знаками вычерчиваются болота проходимые и непроходимые, высокоствольный смешанный лес, пашни, овраги, урез воды, просеки в лесу?

11. Какими условными знаками вычерчиваются рельеф, жилые здания, сенокос?

12. Что такое внемасштабные условные знаки? Приведите пример.

13. Какими условными знаками вычерчиваются одиноко стоящие хвойные, лиственные деревья, паром через реку?

14. Какими условными знаками вычерчиваются автомобильные дороги в выемке, по насыпи?

15. Как правильно вычертить пересечение штриховых линий?

16. Какими условными знаками вычерчиваются пересечения координатных осей на плане, какой шрифт применяют для вычерчивания численного масштаба?

17. Где на плане располагают надпись численного масштаба, надпись «Топографическая съемка 2000 года»? Какой шрифт используют для этого?

18. Какими условными знаками вычерчиваются направление и скорость течения реки, контуры угодий?

19. Какое различие в изображении основных горизонталей и полугоризонталей?

20. Какими условными знаками вычерчиваются сплошные заросли кустарника?

Расчетно-графическая работа 3

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

Условные знаки топографических карт сведены в специальные таблицы, составленные для различных масштабов карт и планов.

Они подразделяются по признаку однородности: геодезические пункты, строения, здания и их части, объекты промышленные, коммунальные и сельскохозяйственного производства и др. Изучать их надо тоже по

тематикам, начиная с наиболее употребляемых. Таблицы включают условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Для выполнения работ принять исходный масштаб 1:2000.

До выполнения работы изучить условные знаки соответствующих разделов. Вычертить ниже перечисленные условные знаки:

Раздел «Железные дороги и сооружения при них»: условные знаки

Раздел «Автомобильные и грунтовые дороги, тропы»

Раздел «Мосты, путепроводы и переправы»

Раздел «Гидрография»

Раздел «Растительность»

Раздел «Сельскохозяйственные угодья»

Раздел «Болота и солончаки»

Раздел «Геодезические пункты»

Раздел «Рельеф»

Раздел «Грунты и микроформы земной поверхности»

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679

2.4 Тема: Горно-графическая документация

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды горно-графической документации. Классификация горно-графической документации. Комплектность маркшейдерских документов. Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей. Картограммы и схемы расположения планшетов. Рамки и поля чертежей. Сетка координат. Правила оформления и хранения маркшейдерской документации.

Контрольные вопросы

1. Как следует оформлять рисунки в текстовой документации?
2. К какому виду документации следует отнести картограмму земляных масс?

3. К какому виду документации можно отнести ведомость координат вершин теодолитного хода?
4. В чем заключаются особенности оформления реферата?
5. Какие требования предъявляются к таблицам?
6. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
7. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
8. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
9. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания.

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.
2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

Тема 6: Условные знаки для составления чертежей горных выработок

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения. Изображение элементов горных объектов. Методы изображения. Виды, разрезы, сечения. Обозначение элементов открытых горных работ. Изображение элементов подземных горных выработок и сооружений.

Контрольные вопросы

1. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
2. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
3. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
4. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
5. Какой цифрой обозначается отсчетный уровень?
6. Как следует указывать отметки ниже и выше отсчетного уровня?
7. Когда на МГЧ используются масштабные, безмасштабные, разномасштабные изображения?
8. Как обозначаются промышленные здания, сооружения и их элементы?
9. Как изображаются элементы электроснабжения?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания.

Расчетно-графическая работа 4

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

Необходимо изучить виды маркшейдерско–геологичеких чертежей в соответствии с правилами составления МГЧ, выполнить, соблюдая размеры, масштаб, требования к линиям и оформлению чертежа:

- исходный чертеж,
- производный чертеж.

Используемое оборудование: чертежная бумага формата А4 и картон (либо недеформирующаяся прозрачная пленка), линейка, карандаш (черного, синего, красного, зеленого и желтого цвета), циркуль, измеритель, клей и чертежи, на которых представлены фрагменты планов различных горных выработок открытого и подземного способов разработки МПИ (рис.).

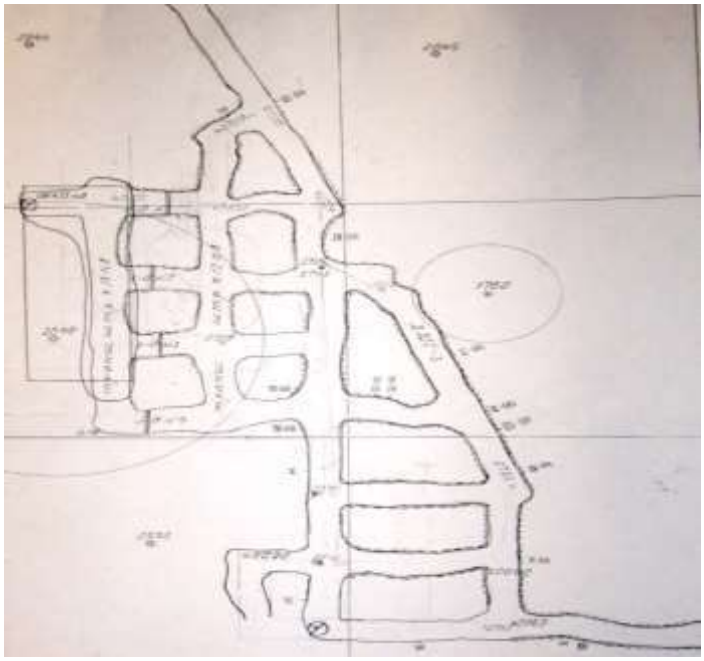


Рисунок 4

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. ГОСТ 2.850-75 – ГОСТ 2.857-75 «Горная графическая документация»

3 СОДЕРЖАНИЕ, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ (ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ)

3.1 Тема 1: Содержание и задачи дисциплины. Классификация чертежей. Топографические шрифты

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы

Контрольные вопросы

1. Цель и основные задачи дисциплины.
2. Связь предмета с другими дисциплинами геодезического цикла.
3. Основные приемы и методы топографического черчения.
4. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов топографических карт и планов.
5. Совершенствование техники и технологии чертежнооформительских работ, их механизация и автоматизация.
6. Инструменты и принадлежности для топографического черчения, методы и приемы работы с ними.
7. Виды программного обеспечения для топографического черчения
8. В чем заключаются особенности топографического черчения?
9. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов карт.
10. Историческая справка о развитии топографического черчения.
11. Чертежные материалы и принадлежности (бумага, краски, тушь, клей).
12. Принадлежности для черчения (карандаши, линейки, треугольники, лекала, транспортиры, трафареты).
13. Устройство линейки с поперечным масштабом и координатной линейки Дробышева.
14. Построение прямоугольной сетки координат с помощью линейки Дробышева.
15. Чертежная бумага. Виды бумаги. Классификация бумаги. Требования, предъявляемые к чертежной бумаге
16. Требования к составлению топографичеких карт и планов.
17. Порядок вычерчивания элементов содержания.
18. Особенности оформления топографических карт и планов
19. Виды шрифтов. Классификация картографических шрифтов.
20. Значение надписей на топографических картах.
21. Требования, предъявляемые к шрифтам.
22. Какие картографические шрифты применяются в топографическом черчении?

23. Какие оптические иллюзии необходимо устранить при вычерчивании букв?

24. Какое соотношение между высотой строчных и заглавных букв?

25. Что такое вычислительный шрифт, где он применяется, как вычерчиваются цифры вычислительного шрифта?

26. Правила расстановки букв при выполнении надписей на оригиналах топографических картах и планах.

27. Размещение и вычерчивание надписей на оригиналах топографических картах и планах.

28. Что регламентируют: ГОСТ 2.105-95 и ГОСТы 2.850 (851-857)?

Литература:

1. Геодезия [Текст]: курс лекций / В. Л. Клепко, И. В. Назаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный горный университет". - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. - 148 с.

2. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

3. Геодезия и маркшейдерия: учебное пособие / В.Н. Попов, В.А. Букринский, П.Н. Бруевич, Д.И. Боровский. — 3-е изд. — Москва: Горная книга, 2010. — 453 с. — ISBN 978-5-98672-179-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/66452

4. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679.

5. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3.2 Тема 2: Условные знаки для составления чертежей земной поверхности

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения.

Контрольные вопросы

1. Условные знаки для изображения местных предметов. Их классификация.

2. Требования к начертанию условных знаков.

3. Правила вычерчивания условных знаков.

4. Порядок работы при построении внемасштабных условных знаков.

5. На какие группы делятся таблицы «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500»?

6. Какими условными знаками обозначаются геодезические пункты триангуляции и полигонометрии, пункты съемочной сети долговременного и временного закрепления на местности?

7. Какими условными знаками вычерчиваются реки и береговые линии? Как правильно подписать горизонтали?

8. Какими условными знаками вычерчиваются усовершенствованные автомобильные, грунтовые и железные дороги?

9. Какими условными знаками вычерчиваются мосты металлические, кирпичные и деревянные, брод через реку?

10. Какими условными знаками вычерчиваются болота проходимые и непроходимые, высокоствольный смешанный лес, пашни, овраги, урез воды, просеки в лесу?

11. Какими условными знаками вычерчиваются рельеф, жилые здания, сенокос?

12. Что такое внемасштабные условные знаки? Приведите пример.

13. Какими условными знаками вычерчиваются одиноко стоящие хвойные, лиственные деревья, паром через реку?

14. Какими условными знаками вычерчиваются автомобильные дороги в выемке, по насыпи?

15. Как правильно вычертить пересечение штриховых линий?

16. Какими условными знаками вычерчиваются пересечения координатных осей на плане, какой шрифт применяют для вычерчивания численного масштаба?

17. Где на плане располагают надпись численного масштаба, надпись «Топографическая съемка 2000 года»? Какой шрифт используют для этого?

18. Какими условными знаками вычерчиваются направление и скорость течения реки, контуры угодий?

19. Какое различие в изображении основных горизонталей и полугоризонталей?

20. Какими условными знаками вычерчиваются сплошные заросли кустарника?

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный

университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679

3.3 Тема 3: Горно-графическая документация

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды горно-графической документации. Классификация горно-графической документации. Комплектность маркшейдерских документов. Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей. Картограммы и схемы расположения планшетов. Рамки и поля чертежей. Сетка координат. Правила оформления и хранения маркшейдерской документации.

Контрольные вопросы

1. Как следует оформлять рисунки в текстовой документации?
2. К какому виду документации следует отнести картограмму земляных масс?
3. К какому виду документации можно отнести ведомость координат вершин теодолитного хода?
4. В чем заключаются особенности оформления реферата?
5. Какие требования предъявляются к таблицам?
6. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
7. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
8. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
9. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания**.**

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3.4 Тема 4: Условные знаки для составления чертежей горных выработок

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения. Изображение элементов горных объектов. Методы изображения. Виды, разрезы, сечения. Обозначение элементов открытых горных работ. Изображение элементов подземных горных выработок и сооружений.

Контрольные вопросы

1. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
2. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
3. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
4. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
5. Какой цифрой обозначается отсчетный уровень?
6. Как следует указывать отметки ниже и выше отсчетного уровня?
7. Когда на МГЧ используются масштабные, безмасштабные, разномасштабные изображения?
8. Как обозначаются промышленные здания, сооружения и их элементы?
9. Как изображаются элементы электроснабжения?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания.

Расчетно-графическая работа

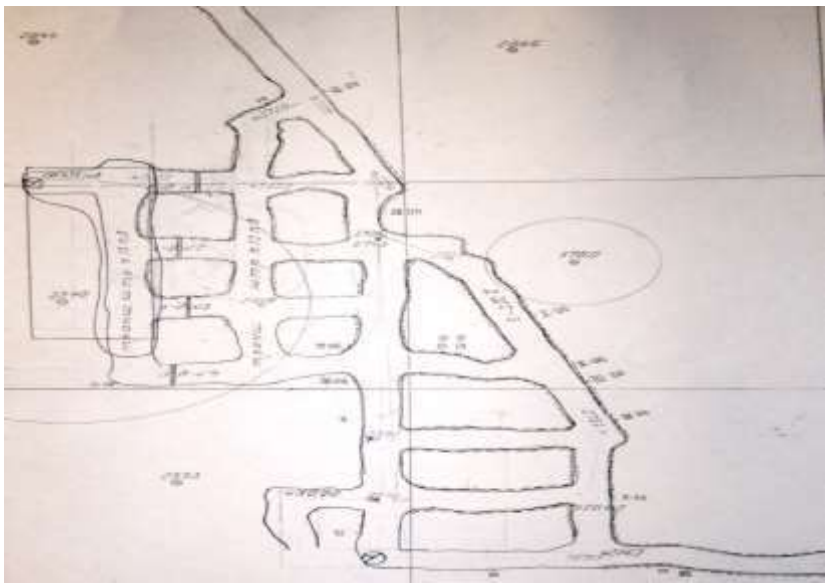
Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

Правила составления маркшейдерско – геологических чертежей (МГЧ)

Необходимо изучить виды маркшейдерско–геологичеких чертежей в соответствии с правилами составления МГЧ, выполнить, соблюдая размеры, масштаб, требования к линиям и оформлению чертежа:

- исходный чертеж,
- производный чертеж.

Используемое оборудование: чертежная бумага формата А4 и картон (либо недеформирующаяся прозрачная пленка), линейка, карандаш (черного, синего, красного, зеленого и желтого цвета), циркуль, измеритель, клей и чертежи, на которых представлены фрагменты планов различных горных выработок открытого и подземного способов разработки МПИ (рис).



Рисунок

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. ГОСТ 2.850-75 – ГОСТ 2.857-75 «Горная графическая документация»

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Н.В. Кортев, А.Т. Леонтьев, А.В. Самарин

ТОПОГРАФИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 не-ориентированных 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 C 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 colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Студент</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5">Создание опорного
обоснования
на карьере “Уралруда”</td><td>Отдел</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td>Руководитель</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">ГТФ
Каф. МД</td><td rowspan="2">1:100</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>Лист 1</td><td>Листов 1</td></tr>
<tr><td>Зав. каф.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></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.

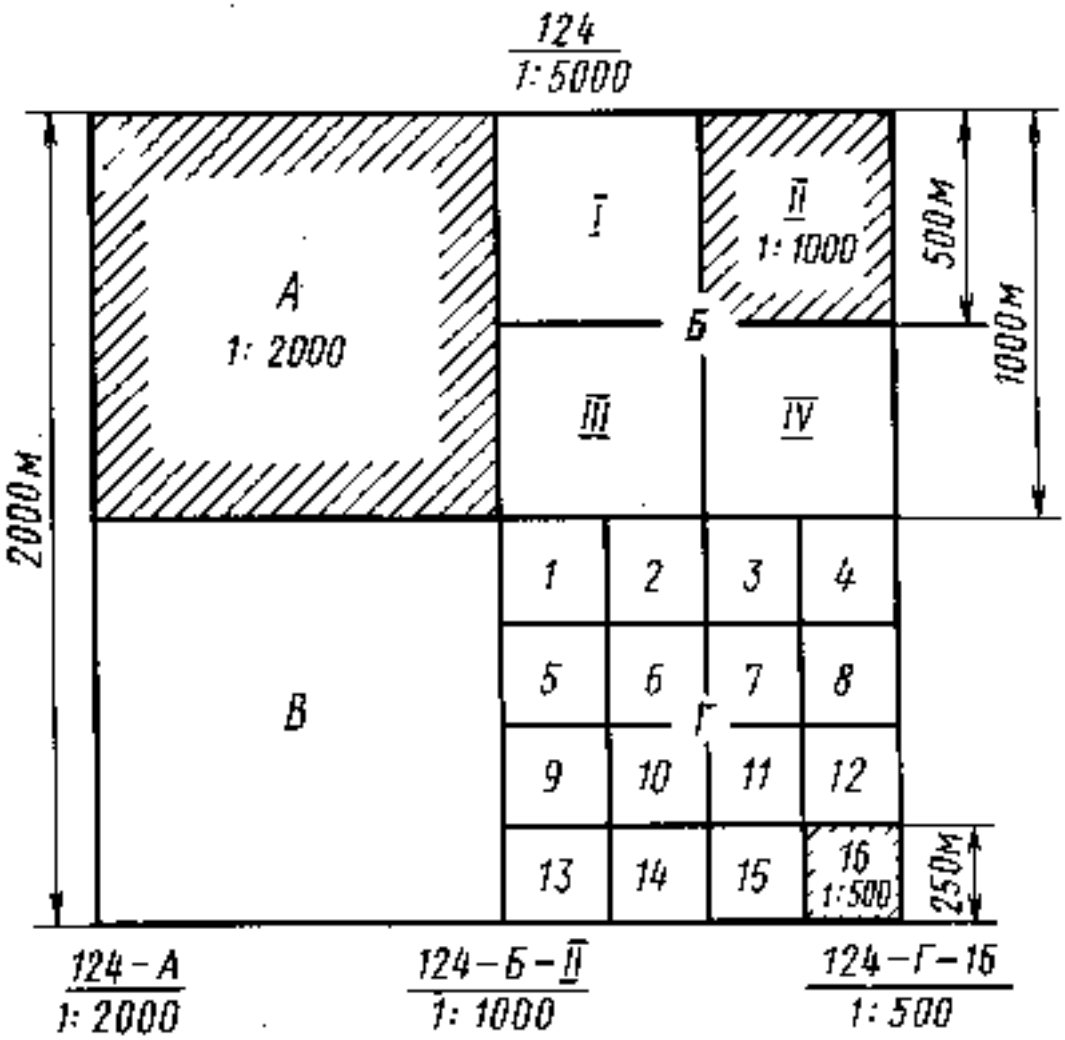


Рисунок 3.13

.

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).

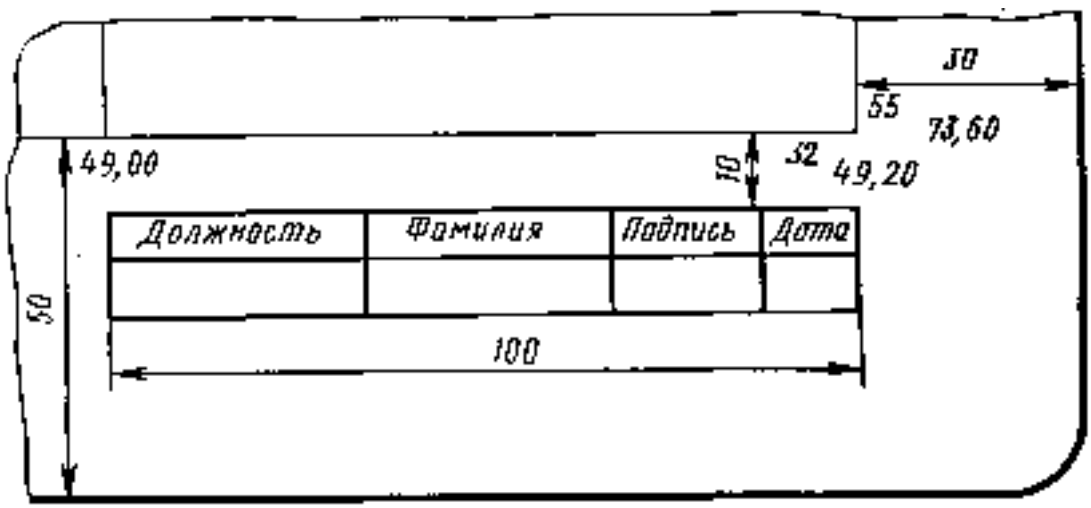


Рисунок 3.18

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).

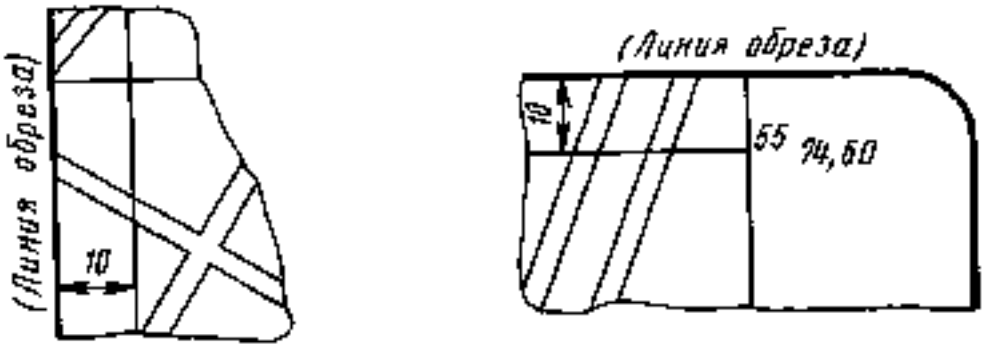


Рисунок 3.19

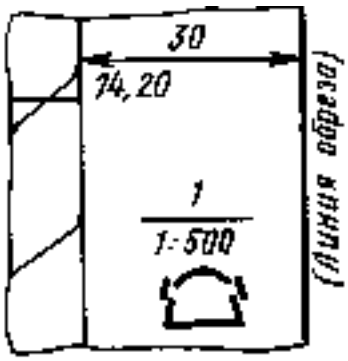


Рисунок 3.20

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.

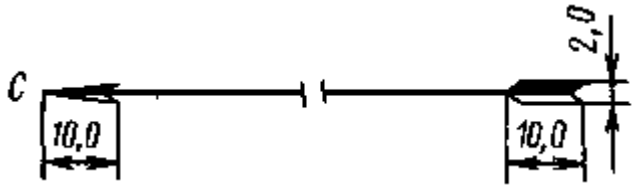


Рисунок 3.21

В случае непараллельности линий сетки линиям рамки чертежа координаты линий сетки следует указывать внутри рамки вдоль нижней и левой ее линий (рисунок 3.22).

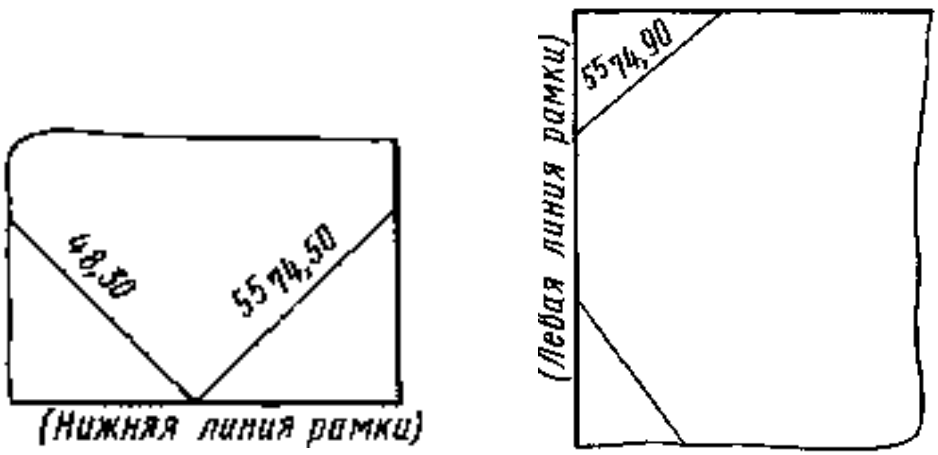


Рисунок 3.22

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 Х 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^{o} 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 профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



Колесатова О.С.

ТОПОГРАФИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе
по дисциплине для студентов специальности
21.05.04 «Горное дело» специализации № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург, 2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург
2019

Топографическое черчение: Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация № 4 «Маркшейдерское дело» / О.С. Колесатова; Уральский государственный горный университет, кафедра маркшейдерского дела. - Екатеринбург: 2019. – 13 с.

Материал пособия охватывает все разделы дисциплины в соответствии с рабочей программой.

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация № 4 «Маркшейдерское дело» по курсу «Топографическое черчение».

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры маркшейдерского дела «09» апреля 2019 г., протокол №19

Оглавление

Введение 5

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 6

2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ 7

3 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ 18

3.1 Контрольная работа 1 18

3.2 Контрольная работа 2 20

4 СОДЕРЖАНИЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ (ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ) 22

Введение

Самостоятельная работа студентов — планируемая учебная работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основная цель самостоятельной работы студентов состоит в овладении фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами организации самостоятельной работы студентов являются:

- Развитие способности работать самостоятельно, формирование самостоятельности мышления и принятия решений.
- Развитие активности и познавательных способностей студентов, развитие исследовательских умений.
- Стимулирование самообразования и самовоспитания.
- Развитие способности планировать и распределять свое время.

Кроме того, эта самостоятельная работа неразрывно связана с формированием компетенций.

Среди функций самостоятельной работы студентов в общей системе обучения выделяют следующие:

- Развивающая (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, формирование интеллектуальных способностей студентов).
- Информационно-обучающая.
- Стимулирующая (формирование мотивов образования, самообразования).
- Воспитывающая (формирование личностно-профессиональных качеств специалиста).

Виды самостоятельной работы студентов в настоящее время весьма разнообразны и дают широкий выбор для преподавателя.

К ним относятся:

- работа с книжными источниками (учебниками, задачниками, с основной и дополнительной рекомендованной литературой);
- работа с электронными источниками (обучающие программы, самоучители и т.п.);
- работа в сети Internet (поиск нужной информации, обработка противоречивой и взаимодополняющей информации; работа со специализированными образовательными сайтами);
- выполнение домашних работ.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Программа дисциплины 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. Для углубленного освоения темы рекомендуется основная и дополнительная литература. Для самоконтроля и приобретения навыков выполнения расчетно-графических работ по отдельным разделам дисциплины необходимо использовать методические указания к выполнению практических работ.

При освоении указанных тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебно-методическим материалам освойте каждый структурный элемент темы. Во всех темах указаны учебники и учебные пособия, содержащие данный материал.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы можно 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. Выполните указанные расчетно-графические работы. Условия и примеры выполнения приведены в данном учебном пособии. 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 СОДЕРЖАНИЕ КУРСА, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

2.1 Тема: Содержание и задачи дисциплины

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: связь курса с другими дисциплинами; предмет, объекты изучения и задачи дисциплины.

Контрольные вопросы

1. Цель и основные задачи дисциплины.
2. Связь предмета с другими дисциплинами геодезического цикла.
3. Основные приемы и методы топографического черчения.
4. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов топографических карт и планов.
5. Совершенствование техники и технологии чертежнооформительских работ, их механизация и автоматизация.
6. Инструменты и принадлежности для топографического черчения, методы и приемы работы с ними.
7. Виды программного обеспечения для топографического черчения
8. В чем заключаются особенности топографического черчения?

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.
2. Геодезия и маркшейдерия: учебное пособие / В.Н. Попов, В.А. Букринский, П.Н. Бруевич, Д.И. Боровский. — 3-е изд. — Москва : Горная книга, 2010. — 453 с. — ISBN 978-5-98672-179-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/66452
3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679.

2.2 Тема: «Классификация чертежей».

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды чертежей: план, карта, профиль, разрез, проекция; классификация чертежей: по характеру построения, по своему назначению; требования к графической документации.

Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов карт.
2. Историческая справка о развитии топографического черчения.
3. Чертежные материалы и принадлежности (бумага, краски, тушь, клей).
4. Принадлежности для черчения (карандаши, линейки, треугольники, лекала, транспортиры, трафареты).
5. Устройство линейки с поперечным масштабом и координатной линейки Дро- бышева.
6. Построение прямоугольной сетки координат с помощью линейки Дробышева.
7. Чертежная бумага. Виды бумаги. Классификация бумаги. Требования, предъявляемые к чертежной бумаге
8. Требования к составлению топографичеких карт и планов.
9. Порядок вычерчивания элементов содержания.
10. Особенности оформления топографических карт и планов

Литература:

1. Геодезия [Текст]: курс лекций / В. Л. Клепко, И. В. Назаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный горный университет". - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. - 148 с.
2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

2.3 Тема: «Топографические шрифты»

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды шрифтов для надписей на топографических картах и планах; применение указанных шрифтов на топографических картах и планах; конструкция каждого шрифта: основные размеры, особенности рисунка отдельных букв и их элементов.

Контрольные вопросы

1. Виды шрифтов. Классификация картографических шрифтов.
2. Значение надписей на топографических картах.
3. Требования, предъявляемые к шрифтам.
4. Какие картографические шрифты применяются в топографическом черчении?

5. Какие оптические иллюзии необходимо устранить при вычерчивании букв?

6. Какое соотношение между высотой строчных и заглавных букв?

7. Что такое вычислительный шрифт, где он применяется, как вычерчиваются цифры вычислительного шрифта?

8. Правила расстановки букв при выполнении надписей на оригиналах топографических картах и планах.

9. Размещение и вычерчивание надписей на оригиналах топографических картах и планах.

10. Что регламентируют: ГОСТ 2.105-95 и ГОСТы 2.850 (851-857)?

Расчетно-графическая работа 1

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

До выполнения задания необходимо изучить технику написания цифр вычислительным (скорописным) шрифтом.

В верхней части рабочего поля вычертить две строчки для написания цифр: пять линий с интервалом 2 мм между ними.

В первой строке написать все цифры от 1 до 0 в соответствии с требованиями. На второй строке написать дату своего рождения.

В нижней части рабочего поля черной тушью вычертить фрагмент ведомости в соответствии с рис. 3. Здесь цифры писать, используя лишь одну вспомогательную линию – по аналогии с полевым журналом.

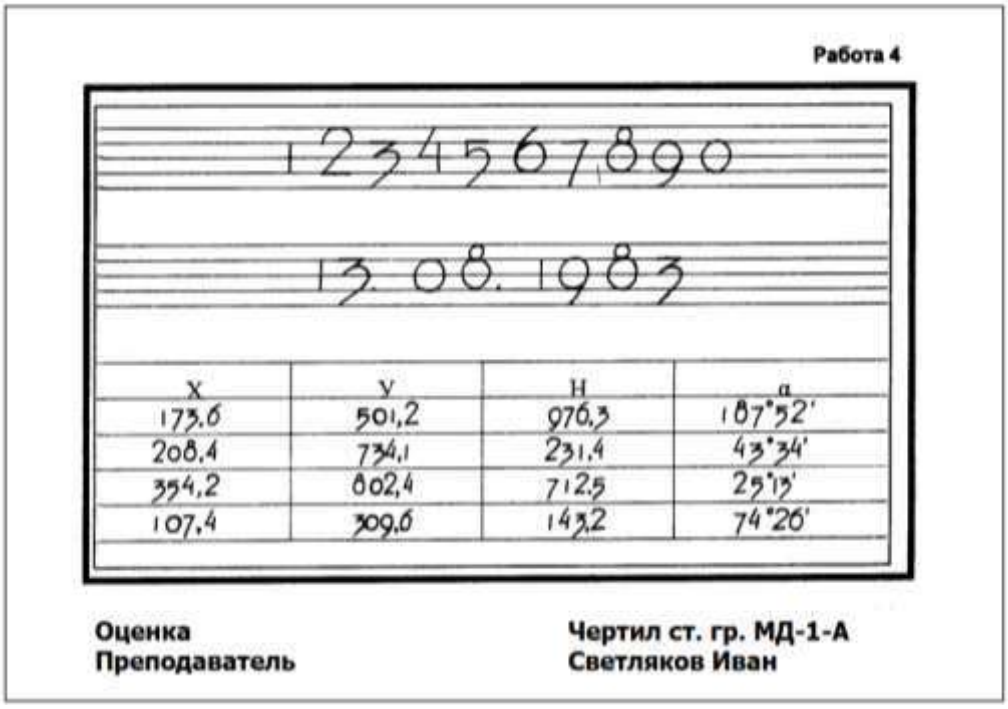


Рисунок – Пример выполнения работы

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

2.4 Тема: Условные знаки для составления чертежей земной поверхности

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения.

Контрольные вопросы

1. Условные знаки для изображения местных предметов. Их классификация.
2. Требования к начертанию условных знаков.
3. Правила вычерчивания условных знаков.
4. Порядок работы при построении внемасштабных условных знаков.
5. На какие группы делятся таблицы «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500»?
6. Какими условными знаками обозначаются геодезические пункты триангуляции и полигонометрии, пункты съемочной сети долговременного и временного закрепления на местности?
7. Какими условными знаками вычерчиваются реки и береговые линии? Как правильно подписать горизонтали?
8. Какими условными знаками вычерчиваются усовершенствованные автомобильные, грунтовые и железные дороги?
9. Какими условными знаками вычерчиваются мосты металлические, кирпичные и деревянные, брод через реку?
10. Какими условными знаками вычерчиваются болота проходимые и непроходимые, высокоствольный смешанный лес, пашни, овраги, урез воды, просеки в лесу?
11. Какими условными знаками вычерчиваются рельеф, жилые здания, сенокос?
12. Что такое внемасштабные условные знаки? Приведите пример.
13. Какими условными знаками вычерчиваются одиноко стоящие хвойные, лиственные деревья, паром через реку?

14. Какими условными знаками вычерчиваются автомобильные дороги в выемке, по насыпи?

15. Как правильно вычертить пересечение штриховых линий?

16. Какими условными знаками вычерчиваются пересечения координатных осей на плане, какой шрифт применяют для вычерчивания численного масштаба?

17. Где на плане располагают надпись численного масштаба, надпись «Топографическая съемка 2000 года»? Какой шрифт используют для этого?

18. Какими условными знаками вычерчиваются направление и скорость течения реки, контуры угодий?

19. Какое различие в изображении основных горизонталей и полугоризонталей?

20. Какими условными знаками вычерчиваются сплошные заросли кустарника?

Расчетно-графическая работа 2 (для заочной формы обучения РГР 1)

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

Условные знаки топографических карт сведены в специальные таблицы, составленные для различных масштабов карт и планов.

Они подразделяются по признаку однородности: геодезические пункты, строения, здания и их части, объекты промышленные, коммунальные и сельскохозяйственного производства и др. Изучать их надо тоже по тематикам, начиная с наиболее употребляемых. Таблицы включают условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Для выполнения работ принять исходный масштаб 1:2000.

До выполнения работы изучить условные знаки соответствующих разделов. Вычертить ниже перечисленные условные знаки:

Раздел «Железные дороги и сооружения при них»: условные знаки

Раздел «Автомобильные и грунтовые дороги, тропы»

Раздел «Мосты, путепроводы и переправы»

Раздел «Гидрография»

Раздел «Растительность»

Раздел «Сельскохозяйственные угодья»

Раздел «Болота и солончаки»

Раздел «Геодезические пункты»

Раздел «Рельеф»

Раздел «Грунты и микроформы земной поверхности»

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679

2.4 Тема: Горно-графическая документация

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды горно-графической документации. Классификация горно-графической документации. Комплектность маркшейдерских документов. Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей. Картограммы и схемы расположения планшетов. Рамки и поля чертежей. Сетка координат. Правила оформления и хранения маркшейдерской документации.

Контрольные вопросы

1. Как следует оформлять рисунки в текстовой документации?
2. К какому виду документации следует отнести картограмму земляных масс?
3. К какому виду документации можно отнести ведомость координат вершин теодолитного хода?
4. В чем заключаются особенности оформления реферата?
5. Какие требования предъявляются к таблицам?
6. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
7. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
8. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
9. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания**.**

Расчетно-графическая работа 3

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму

представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

На чертежной бумаге формата А6 вертикальными линиями разделить рабочее поле на три равные части. В каждой из них сделать карандашом разметки для четырех линий. По завершении чертежа эти вспомогательные линии аккуратно убрать резинкой.

В левой части рабочего поля вычертить четыре сплошные линии толщиной 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм. Остро отточенным карандашом вычертить первую, самую тонкую линию методом наращивания движением карандаша к себе (сверху вниз) в виде отдельных штрихов, длиной 2–3 мм. Каждый последующий штрих начинать с середины предыдущего.

Каждую последующую линию чертить в два раза толще предыдущей. Все линии вычерчивать произвольной кривизны примерно параллельно друг другу. Весь чертеж, кроме рамки, выполнять от руки.

Толщину линий и интервалы определять вначале по специальной шкале, в дальнейшем необходимо учиться оценивать толщину на глаз.

В центральной части рабочего поля вычертить четыре штриховые линии толщиной 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм, длина штрихов 4 мм, интервал между штрихами 1 мм. Длину нескольких первых штрихов проверить по шкале, затем тренировать глазомер. При вычерчивании штрихов добиваться четкого исполнения краев − они должны быть ровными, образовывать угол примерно 90^{o}.

При нанесении штриховки длину штриха можно немного изменить, чтобы штрих доходил до рамки.

В правой части рабочего поля вычертить четыре линии, состоящие из точек диаметром 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм. Расстояние между краями точек принять равным 1 мм.

Проверить и скорректировать чертеж. Разделить рабочее поле на верхнюю и нижнюю части горизонтальной линией, прочерченной карандашом с применением линейки. Все вычерченные ранее линии, расположенные в верхней части рабочего поля, обвести тушью чертежным пером. Линии, расположенные в верхней части, оставить в карандашном исполнении.

Пример выполнения работы приведен на рис. 1

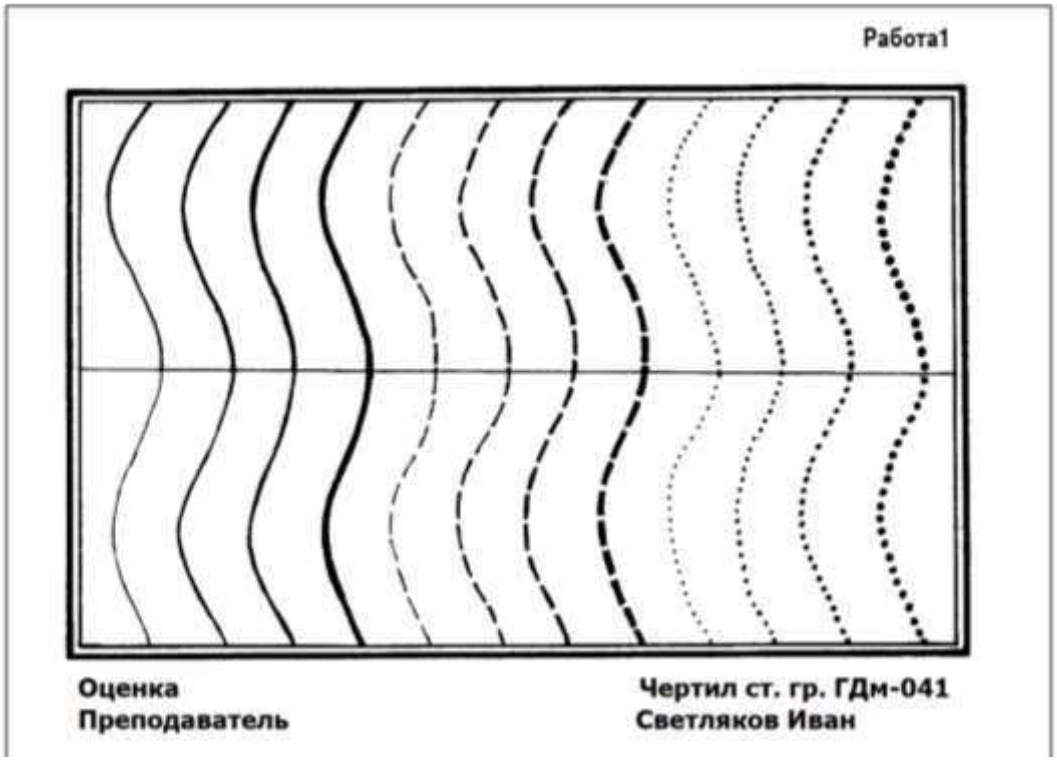


Рисунок 1

В левой части рабочего поля вычертить кронциркулем четыре серии окружностей заданного диаметра:1,2; 1,5; 2,0; 2,5 мм.

Для этого левое поле дополнительно разделить горизонтальными линиями на четыре равные части. В каждой из них карандашом построить сетку 5×5 мм, в вершинах квадратов в шахматном порядке вычертить окружности заданных размеров: в каждом прямоугольнике окружности одного диаметра (рис. 2).

Правую часть рабочего поля разделить на две равные части горизонтальной линией.

В верхней части правого поля вычертить сетку взаимно перпендикулярных линий, расположенных под углом 45° к рамке. Толщина линий 0,1 мм, расстояние между ними 1 мм.

В нижней части правого поля вычертить три серии линий: сплошные, штриховые и точечные.

Толщина линий в серии: 0,2; 0,4 и 0,8 мм.

Для штриховых линий принять длину штриха 4 мм, интервал между ними 1 мм.

Для точечных линий расстояние между точками принять 1 мм.

Длину штрихов и интервалов определять вначале по линейке – на пробном листе, в дальнейшем – на глаз.

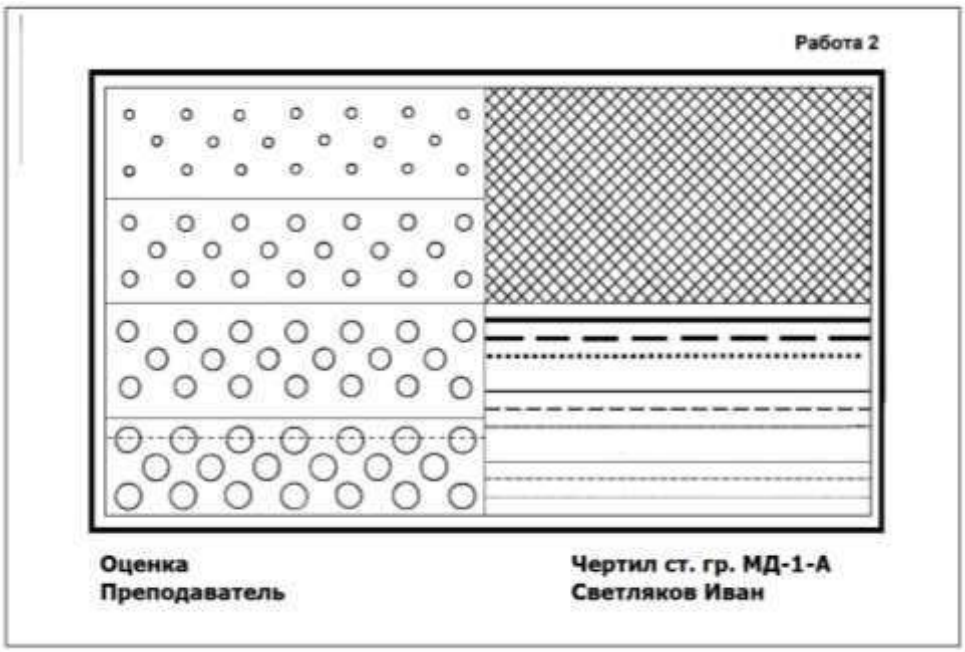


Рисунок 2

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

Тема 6: Условные знаки для составления чертежей горных выработок

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения. Изображение элементов горных объектов. Методы изображения. Виды, разрезы, сечения. Обозначение элементов открытых горных работ. Изображение элементов подземных горных выработок и сооружений.

Контрольные вопросы

1. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
2. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
3. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
4. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
5. Какой цифрой обозначается отсчетный уровень?

6. Как следует указывать отметки ниже и выше отсчетного уровня?

7. Когда на МГЧ используются масштабные, безмасштабные, разномасштабные изображения?

8. Как обозначаются промышленные здания, сооружения и их элементы?

9. Как изображаются элементы электроснабжения?

10. Порядок вычерчивания элементов содержания.

Расчетно-графическая работа 4 (для заочной формы обучения РГР 2)

Студент предварительно должен ознакомиться по методическим указаниям к выполнению практическим работ с планом занятия, включающим тему практической работы, ее цель и решаемые задачи, объем работы, теоретическую основу, порядок выполнения работы и форму представления результатов. Особое внимание необходимо уделить разделу теоретические основы.

Необходимо изучить виды маркшейдерско–геологичеких чертежей в соответствии с правилами составления МГЧ, выполнить, соблюдая размеры, масштаб, требования к линиям и оформлению чертежа:

- исходный чертеж,
- производный чертеж.

Используемое оборудование: чертежная бумага формата А4 и картон (либо недеформирующаяся прозрачная пленка), линейка, карандаш (черного, синего, красного, зеленого и желтого цвета), циркуль, измеритель, клей и чертежи, на которых представлены фрагменты планов различных горных выработок открытого и подземного способов разработки МПИ (рис.).

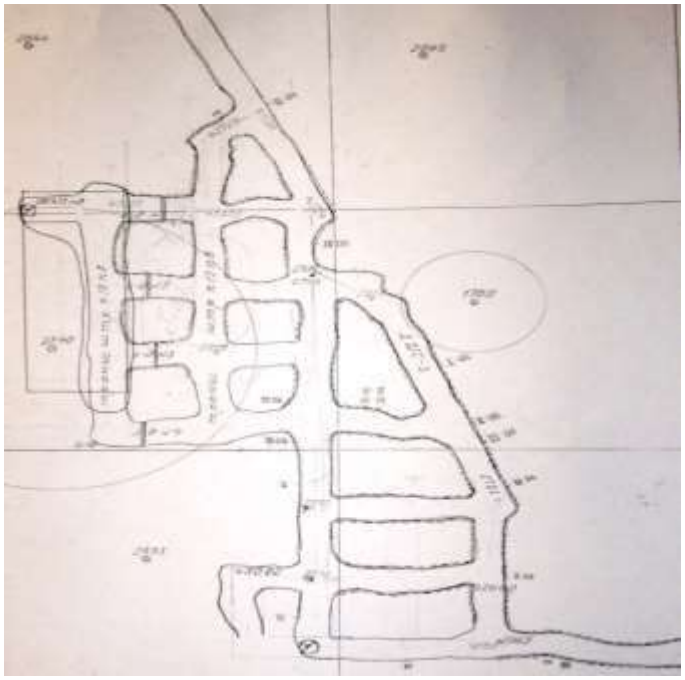


Рисунок 1

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. ГОСТ 2.850-75 – ГОСТ 2.857-75 «Горная графическая документация»

3 КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

3.1 Контрольная работа 1

Вычерчивание участка топографического плана

Контрольная работа студента выполняется в графической форме. Задачами выполнения контрольной работы являются: систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по специальности; развитие навыков самостоятельной работы; определение подготовленности выпускника к самостоятельному выполнению профессиональных задач

На чертежной бумаге формата А4 вычертить участок топографического плана масштаба 1:2000.

С учебного образца, выданного преподавателем, через светокопировальный стол снять копию контуров в карандаше. Контуры угодий копировать сплошными линиями. Пояснительные надписи на план не переносить, их используют для правильного вычерчивания соответствующих условных знаков в соответствии с таблицами. При поиске условных знаков в таблице необходимо пользоваться алфавитным указателем. Тип и размер используемых шрифтов определить, используя условные знаки и также вкладку с образцами оформления рамок.

Порядок работы:

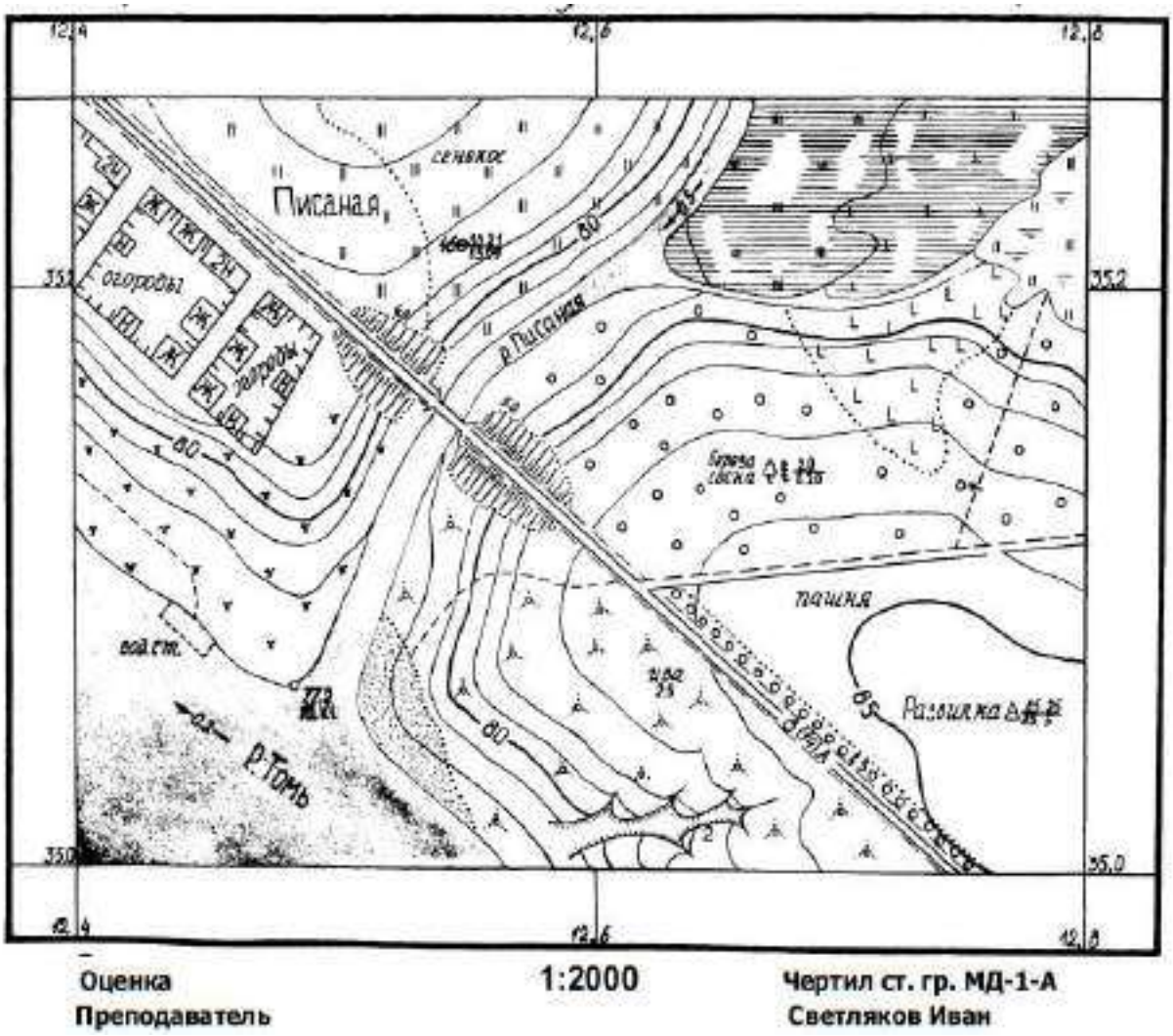
- окрасить водную поверхность;
- вычертить названия населенного пункта (определив предварительно тип и размер шрифта), геодезических пунктов, пояснительные надписи на дороге, отметки точек и горизонталей и т.д.;
- вычертить береговые линии, дороги, строения и другие предметы;
- вычертить рельеф;
- вычертить площадные условные знаки;
- вычертить рамку и зарамочные надписи по приложениям к таблицам условных знаков.

Исходный материал и пример оформления плана приведены на рисунке в уменьшенном виде.

Оценивание выполнения контрольной работы

Критерии оценки контрольной работы	*Количество баллов*
Правильность нанесения условных знаков	0-2
Правильность оформления плана	0-2
Правильность записи основных надписей	0-1
Итого	0-5

5 баллов - оценка «отлично»;
4 балла - оценка «хорошо»;
3 балла - оценка «удовлетворительно»;
0-2 балла - оценка «неудовлетворительно».



Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие /

М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679

3.2 Контрольная работа 2

Вычерчивание участка маркшейдерского плана (выполняется для очной и заочной формы обучения)

Контрольная работа студента выполняется в графической форме. Задачами выполнения контрольной работы являются: систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по специальности; развитие навыков самостоятельной работы; определение подготовленности выпускника к самостоятельному выполнению профессиональных задач

На чертежной бумаге вычертить маркшейдерский планшет (рисунок). На планшет нанести горные выработки, соблюдая размеры, масштаб, требования к линиям и оформлению чертежа.

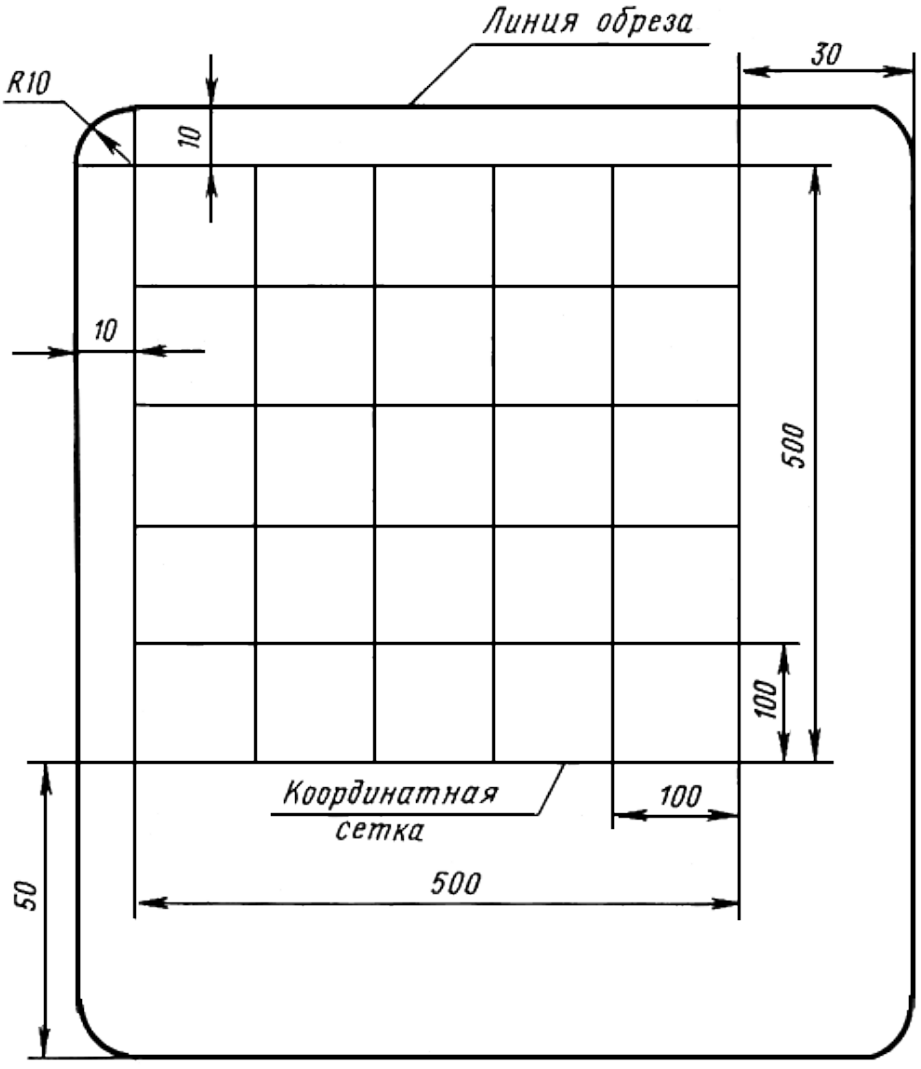


Рисунок – Маркшейдерский планшет

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. ГОСТ 2.850-75 – ГОСТ 2.857-75 «Горная графическая документация»

4 СОДЕРЖАНИЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ (ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ)

4.1 Тема 1: Содержание и задачи дисциплины. Классификация чертежей. Топографические шрифты

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы

Контрольные вопросы

1. Цель и основные задачи дисциплины.
2. Связь предмета с другими дисциплинами геодезического цикла.
3. Основные приемы и методы топографического черчения.
4. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов топографических карт и планов.
5. Совершенствование техники и технологии чертежнооформительских работ, их механизация и автоматизация.
6. Инструменты и принадлежности для топографического черчения, методы и приемы работы с ними.
7. Виды программного обеспечения для топографического черчения
8. В чем заключаются особенности топографического черчения?
9. Требования, предъявляемые к графическому качеству оригиналов карт.
10. Историческая справка о развитии топографического черчения.
11. Чертежные материалы и принадлежности (бумага, краски, тушь, клей).
12. Принадлежности для черчения (карандаши, линейки, треугольники, лекала, транспортиры, трафареты).
13. Устройство линейки с поперечным масштабом и координатной линейки Дробышева.
14. Построение прямоугольной сетки координат с помощью линейки Дробышева.
15. Чертежная бумага. Виды бумаги. Классификация бумаги. Требования, предъявляемые к чертежной бумаге
16. Требования к составлению топографичеких карт и планов.
17. Порядок вычерчивания элементов содержания.
18. Особенности оформления топографических карт и планов
19. Виды шрифтов. Классификация картографических шрифтов.
20. Значение надписей на топографических картах.
21. Требования, предъявляемые к шрифтам.
22. Какие картографические шрифты применяются в топографическом черчении?

23. Какие оптические иллюзии необходимо устранить при вычерчивании букв?

24. Какое соотношение между высотой строчных и заглавных букв?

25. Что такое вычислительный шрифт, где он применяется, как вычерчиваются цифры вычислительного шрифта?

26. Правила расстановки букв при выполнении надписей на оригиналах топографических картах и планах.

27. Размещение и вычерчивание надписей на оригиналах топографических картах и планах.

28. Что регламентируют: ГОСТ 2.105-95 и ГОСТы 2.850 (851-857)?

Литература:

1. Геодезия [Текст]: курс лекций / В. Л. Клепко, И. В. Назаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный горный университет". - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. - 148 с.

2. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

3. Геодезия и маркшейдерия: учебное пособие / В.Н. Попов, В.А. Букринский, П.Н. Бруевич, Д.И. Боровский. — 3-е изд. — Москва: Горная книга, 2010. — 453 с. — ISBN 978-5-98672-179-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/66452

4. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679.

5. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

4.2 Тема 2: Условные знаки для составления чертежей земной поверхности

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения.

Контрольные вопросы

1. Условные знаки для изображения местных предметов. Их классификация.

2. Требования к начертанию условных знаков.

3. Правила вычерчивания условных знаков.

4. Порядок работы при построении внемасштабных условных знаков.

5. На какие группы делятся таблицы «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500»?

6. Какими условными знаками обозначаются геодезические пункты триангуляции и полигонометрии, пункты съемочной сети долговременного и временного закрепления на местности?

7. Какими условными знаками вычерчиваются реки и береговые линии? Как правильно подписать горизонтали?

8. Какими условными знаками вычерчиваются усовершенствованные автомобильные, грунтовые и железные дороги?

9. Какими условными знаками вычерчиваются мосты металлические, кирпичные и деревянные, брод через реку?

10. Какими условными знаками вычерчиваются болота проходимые и непроходимые, высокоствольный смешанный лес, пашни, овраги, урез воды, просеки в лесу?

11. Какими условными знаками вычерчиваются рельеф, жилые здания, сенокос?

12. Что такое внемасштабные условные знаки? Приведите пример.

13. Какими условными знаками вычерчиваются одиноко стоящие хвойные, лиственные деревья, паром через реку?

14. Какими условными знаками вычерчиваются автомобильные дороги в выемке, по насыпи?

15. Как правильно вычертить пересечение штриховых линий?

16. Какими условными знаками вычерчиваются пересечения координатных осей на плане, какой шрифт применяют для вычерчивания численного масштаба?

17. Где на плане располагают надпись численного масштаба, надпись «Топографическая съемка 2000 года»? Какой шрифт используют для этого?

18. Какими условными знаками вычерчиваются направление и скорость течения реки, контуры угодий?

19. Какое различие в изображении основных горизонталей и полугоризонталей?

20. Какими условными знаками вычерчиваются сплошные заросли кустарника?

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный

университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. Захаров, М.С. Картографический метод и геоинформационные системы в инженерной геологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.С. Захаров, А.Г. Кобзев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/97679

4.3 Тема 3: Горно-графическая документация

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: виды горно-графической документации. Классификация горно-графической документации. Комплектность маркшейдерских документов. Правила составления маркшейдерско-геологических чертежей. Картограммы и схемы расположения планшетов. Рамки и поля чертежей. Сетка координат. Правила оформления и хранения маркшейдерской документации.

Контрольные вопросы

1. Как следует оформлять рисунки в текстовой документации?
2. К какому виду документации следует отнести картограмму земляных масс?
3. К какому виду документации можно отнести ведомость координат вершин теодолитного хода?
4. В чем заключаются особенности оформления реферата?
5. Какие требования предъявляются к таблицам?
6. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
7. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
8. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
9. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания**.**

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

4.4 Тема 4: Условные знаки для составления чертежей горных выработок

Чтение и разбор материалов лекции в соответствии с планом, отмеченным в конспекте. Работа над конспектом производится с привлечением дополнительных книжных и электронных источников. При выполнении самостоятельной работы необходимо рассмотреть следующие вопросы: классификация условных знаков. Основные условные обозначения. Изображение элементов горных объектов. Методы изображения. Виды, разрезы, сечения. Обозначение элементов открытых горных работ. Изображение элементов подземных горных выработок и сооружений.

Контрольные вопросы

1. Какая толщина сплошной основной линии допускается на маркшейдерско-геологических чертежах?
2. Как оформляется текстовая часть на поле чертежа?
3. Какие контуры на чертежах допускается выделять цветом?
4. Когда размеры на чертежах указываются в метрах?
5. Какой цифрой обозначается отсчетный уровень?
6. Как следует указывать отметки ниже и выше отсчетного уровня?
7. Когда на МГЧ используются масштабные, безмасштабные, разномасштабные изображения?
8. Как обозначаются промышленные здания, сооружения и их элементы?
9. Как изображаются элементы электроснабжения?
10. Порядок вычерчивания элементов содержания.

Литература:

1. Лебедев, К.М. Топографическое и маркшейдерское черчение: учебное пособие / К.М. Лебедев, В.М. Табаков. – Москва: Недра, 1971. – 108 с.

2. Шпаков, П. С. Маркшейдерско-топографическое черчение [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков. — Электрон. текстовые данные. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — 288 с. — 978-5-7638-2837-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/84371.html

3. ГОСТ 2.850-75 – ГОСТ 2.857-75 «Горная графическая документация»



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Н.В. Кортев, А.Т. Леонтьев, А.В. Самарин

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 не-ориентированных 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 C 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 colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Студент</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5">Создание опорного
обоснования
на карьере “Уралруда”</td><td>Отдел</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td>Руководитель</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">ГТФ
Каф. МД</td><td rowspan="2">1:100</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>Лист 1</td><td>Листов 1</td></tr>
<tr><td>Зав. каф.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></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.

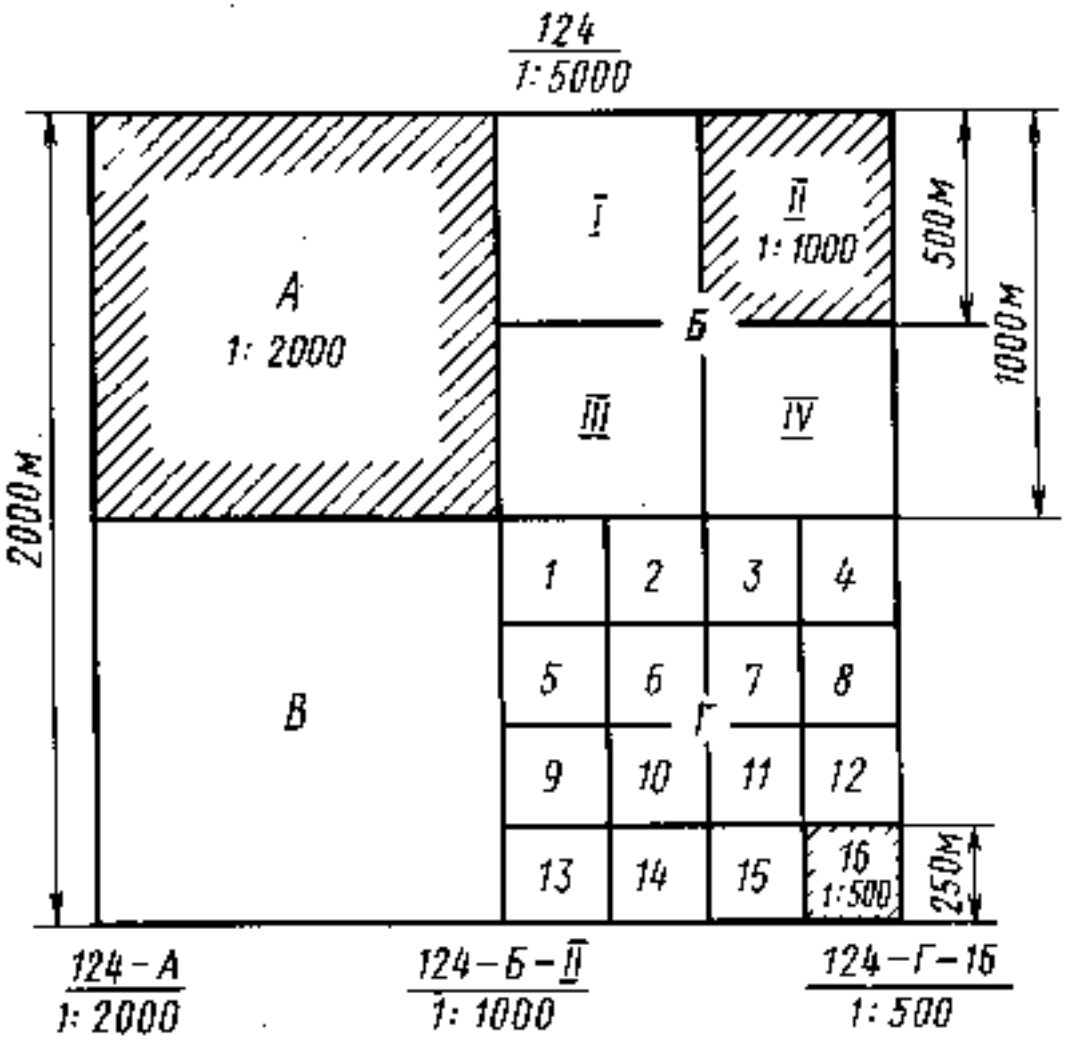


Рисунок 3.13

.

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).

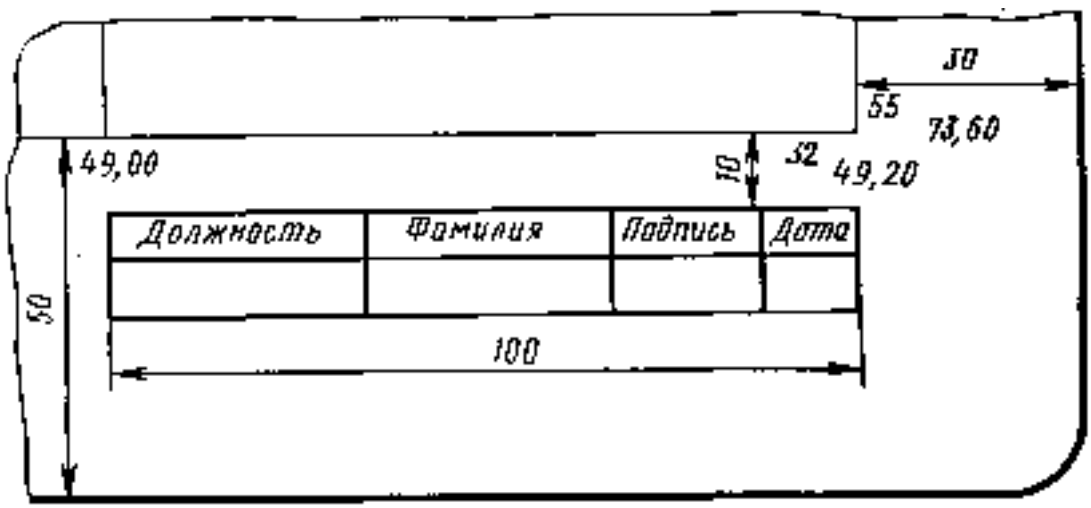


Рисунок 3.18

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).

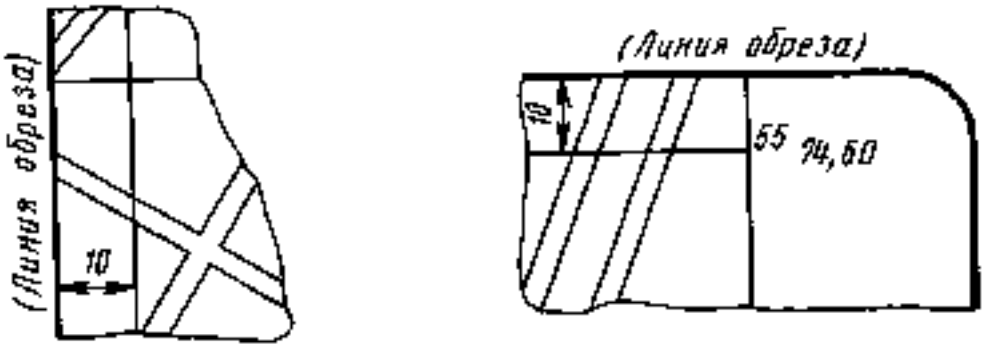


Рисунок 3.19

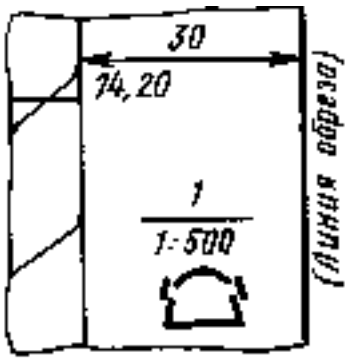


Рисунок 3.20

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.

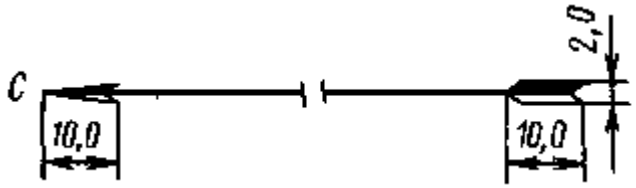


Рисунок 3.21

В случае непараллельности линий сетки линиям рамки чертежа координаты линий сетки следует указывать внутри рамки вдоль нижней и левой ее линий (рисунок 3.22).

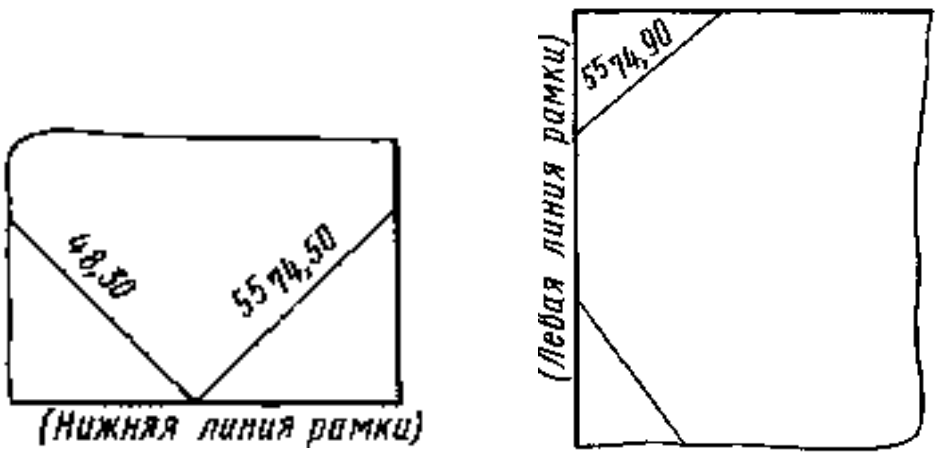


Рисунок 3.22

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 Х 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^{o} 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

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Патко В.А.

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

методические указания
к самостоятельной работе обучающихся специальности
21.05.04 «Маркшейдерское дело» очного и заочного обучения

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург

2019

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

- **м**аркшейдерская 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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Н.В. Кортев, А.Т. Леонтьев, А.В. Самарин

ДОКУМЕНТАЦИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 не-ориентированных 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 C 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 colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Студент</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5">Создание опорного
обоснования
на карьере “Уралруда”</td><td>Отдел</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td>Руководитель</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">ГТФ
Каф. МД</td><td rowspan="2">1:100</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>Лист 1</td><td>Листов 1</td></tr>
<tr><td>Зав. каф.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></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.

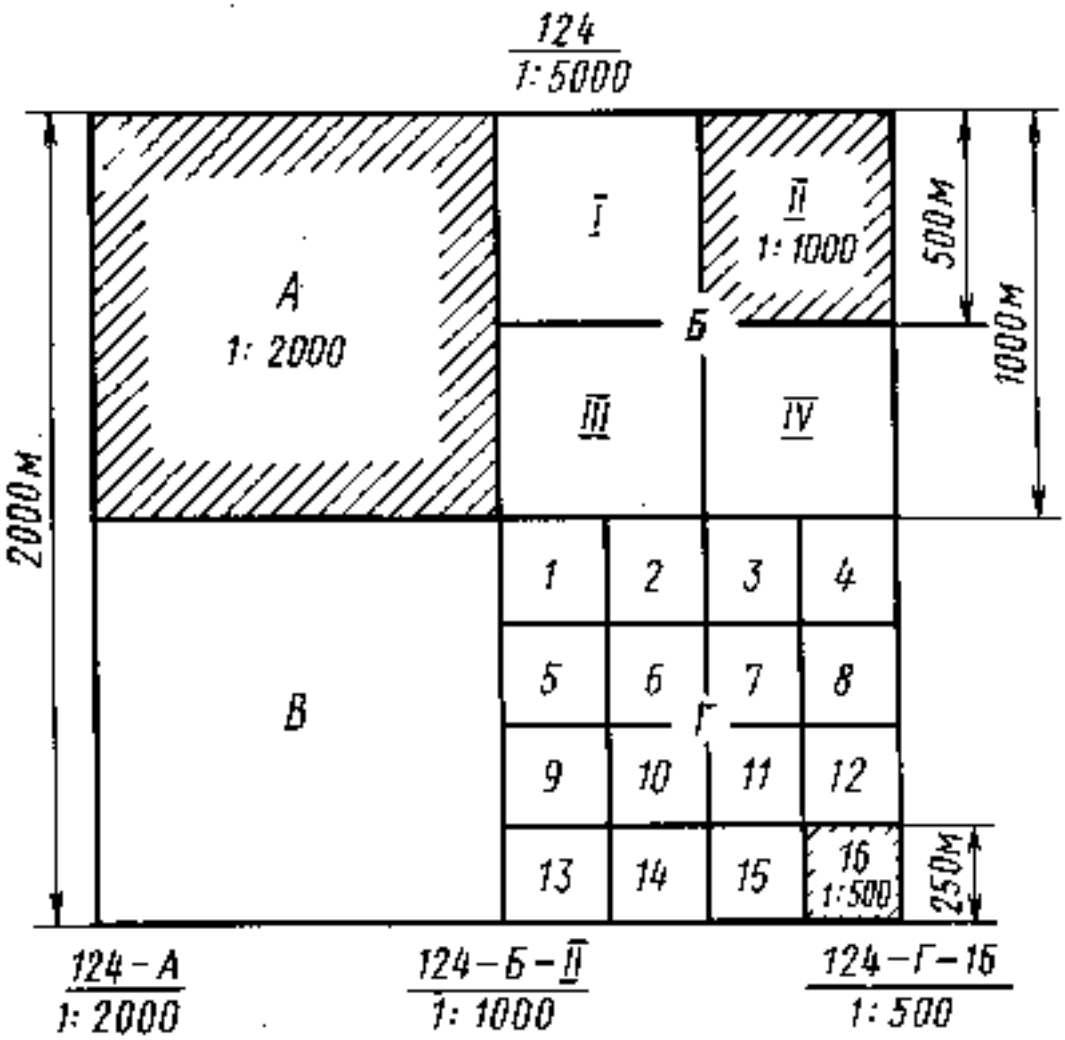


Рисунок 3.13

.

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).

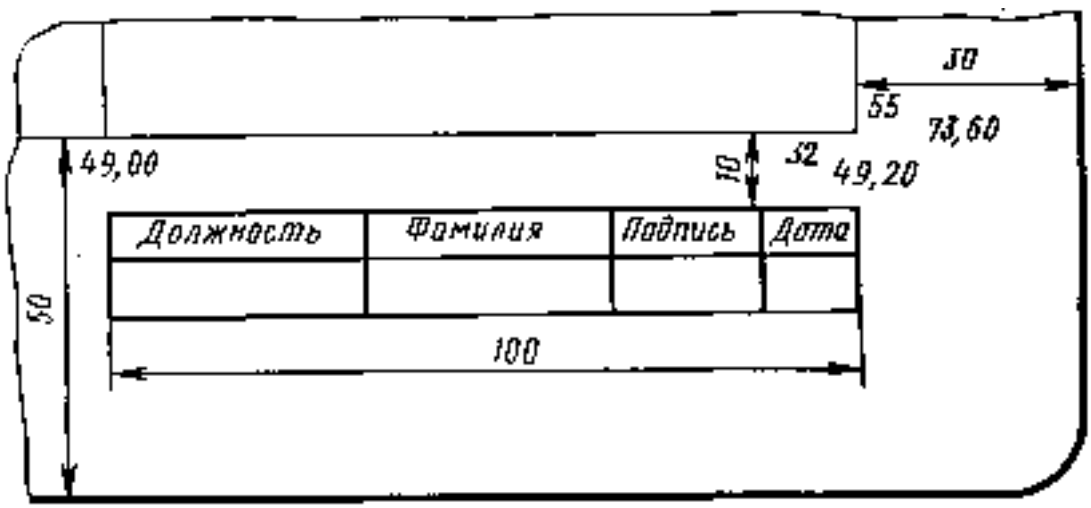


Рисунок 3.18

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).

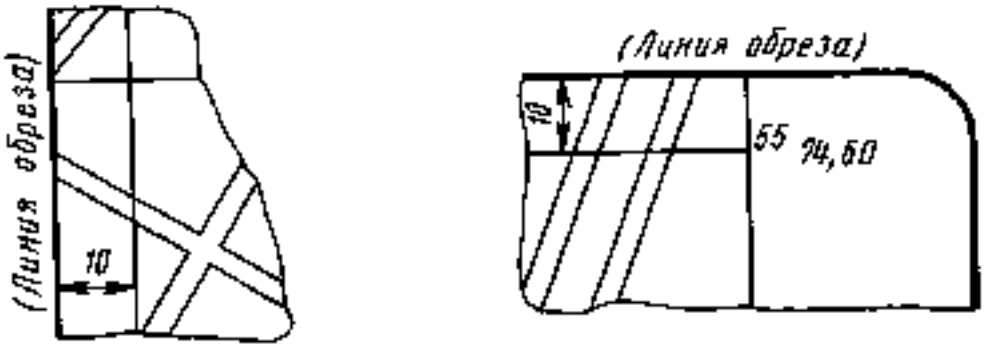


Рисунок 3.19

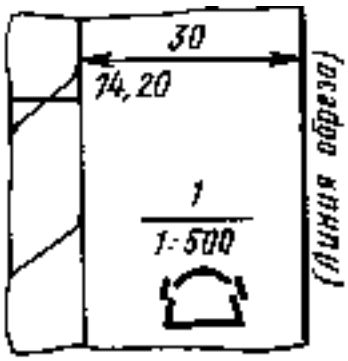


Рисунок 3.20

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.

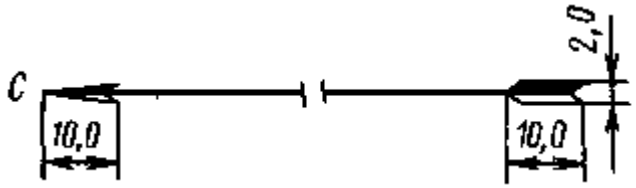


Рисунок 3.21

В случае непараллельности линий сетки линиям рамки чертежа координаты линий сетки следует указывать внутри рамки вдоль нижней и левой ее линий (рисунок 3.22).

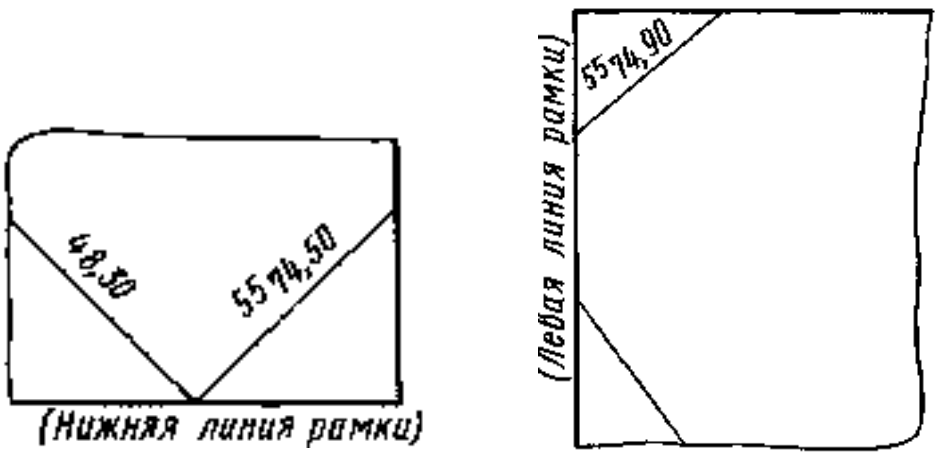


Рисунок 3.22

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 Х 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^{o} 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

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Патко В.А.

ДОКУМЕНТАЦИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

методические указания
к самостоятельной работе обучающихся специальности
21.05.04 «Маркшейдерское дело» очного и заочного обучения

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург
2019

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 образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



Шмонин А. Б.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург – 2019

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	12
	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 по дисциплине «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья» составляет 108 часа или 3 зачетных единиц. Из них 67 часов отводится на самостоятельную работу студентов.

По курсу «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья» 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 добыче углеводородного сырья». 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 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 «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 разработки месторождений углеводородного сырья.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Назовите основные практические задачи маркшейдерских работ при разработке месторождений углеводородного сырья.
2. Назовите основные научно-технические задачи, решаемые при маркшейдерском обеспечении разработок месторождений углеводородного сырья.
3. Какова связь данного курса с другими дисциплинами?
4. Предмет, объекты изучения и задачи курса «Маркшейдерские работы при добыче углеводородного сырья».
5. Каковы организационные и технические особенности маркшейдерских работ при добыче углеводородного сырья?

Тема 2. Общие сведения о геологии и технологиях разработки углеводородов

Геологическое строение месторождений нефти и газа. Геологическая разведка углеводородных месторождений. Производственные процессы при добыче и обогащении углеводородного сырья.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Коллекторы нефти и газа, их характеристика?
2. Системы разработки залежей нефти.

3. Каковы стадии разработки месторождений нефти и газа?
4. Как производится геологическая разведка месторождений нефти и газа?
5. Что такое пластовое давление и как оно меняется в процессе разработки месторождений нефти и газа?

Тема 3. Инфраструктура нефтепромысла

Основные структурные элементы нефтепромысла. Коммуникации промысла. Способы утилизации попутного нефтяного газа

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Что такое инфраструктура нефтепромысла?
2. Какова стандартная инфраструктура нефтепромысла?
3. Перечислите стандартные коммуникации нефтепромысла?
4. Какие вы знаете способы утилизации попутного нефтяного газа?
5. Что такое кустовые площадки и их типовая инфраструктура?

Тема 4. Создание опорных и съёмочных геодезических сетей на нефтегазовых месторождениях

Особенности построения опорных маркшейдерско-геодезических сетей на промысле. Закрепление опорных пунктов. Способы развития опорных сетей. Способы сгущение высотной сети.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Особенности построения опорных маркшейдерско-геодезических сетей на нефтепромысле?
2. Особенности привязки опорных маркшейдерских сетей к государственным геодезическим сетям на нефтепромыслах.
3. Какие виды геодезических сетей используются на нефтепромыслах?
4. Какие методы построения съёмочных маркшейдерских сетей преимущественно используются при разработке нефтегазовых месторождений?
5. Какие методы построения опорных маркшейдерских сетей преимущественно используются при разработке нефтегазовых месторождений?

Тема 5. : Маркшейдерское обеспечение процесса обустройства промысла

Создание опорной геодезической сети на строительной площадке. Понятие о строительной сетке. Связь строительной сетки и опорной геодезической сети. Вынос в натуру строительных осей объектов и инженерных сооружений.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве сети дорог на нефтегазовых месторождениях.
2. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве кустовых площадок на нефтегазовых месторождениях.
3. Создание опорной и съёмочной геодезических сетей на строительной площадке.
4. Маркшейдерские работы при изысканиях и строительстве нефтепроводов.
5. Маркшейдерские работы при изысканиях, строительстве и эксплуатации карьеров стройматериалов для нефтегазовых месторождений?
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 эксплуатационных скважин

Виды 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. 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.

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 нефтепромыслов.

Контрольные вопросы и упражнения:

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 кустовой площадки?

10. Как производится исполнительная съёмка кустовой площадки?

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. 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 оседания поверхности кустовых площадок?
8. Как осуществляется маркшейдерский контроль крена буровой вышки ?
9. Каковы возможные аварийные ситуации при эксплуатации нефтепромыслов, способы их предупреждения и ликвидации последствий?
10. Каковы экологические последствия эксплуатации нефтепромыслов?

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 за-

ложению 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).

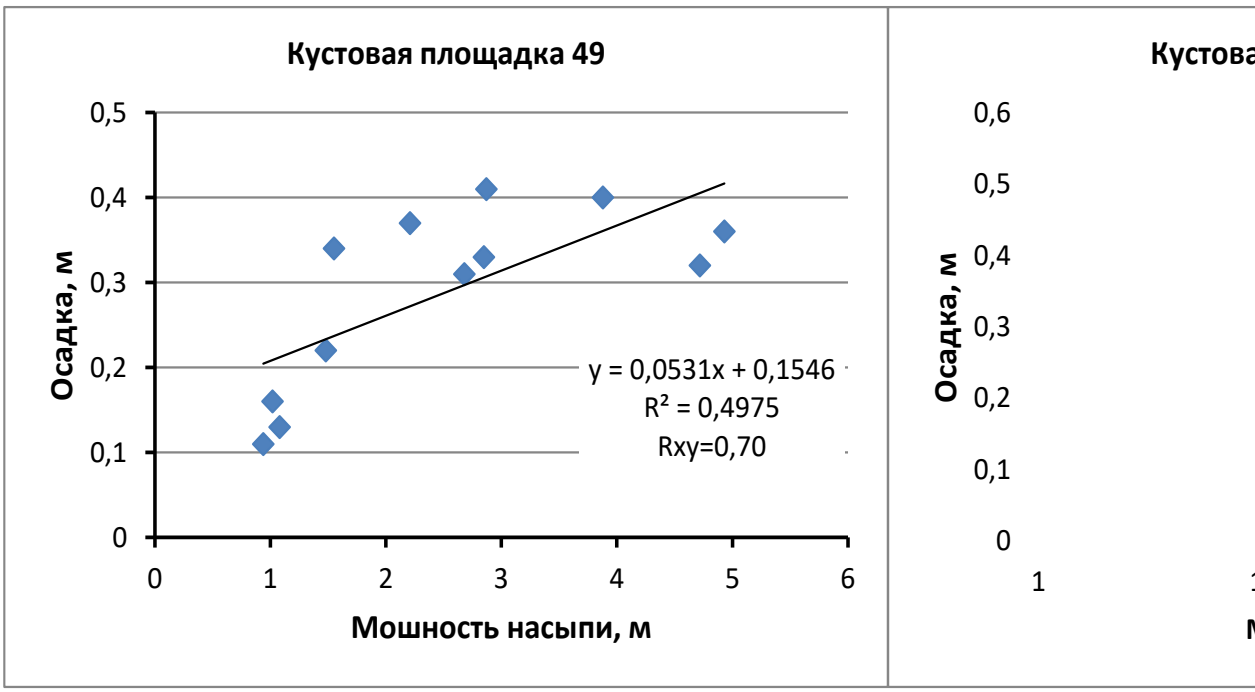
Исходные данные:

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. Жаркимбаев Б.М., Калыбеков Т., Рысбеков К,Б. Маркшейдерия при разработке месторождений нефти и газа: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2005. – 223 с.

3. 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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.Б. Шмонин

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

Оглавление

1. Задачи маркшейдерского обеспечения в период обустройства нефтегазовых месторождений 5
2. Геодезическое обоснование на промышленной площадке 6
2.1. Назначение и классификация геодезических сетей 6
2.2. Разбивочные сети, их построение методом строительных сеток 12
2.3. Проектирование строительной сетки 14
2.4. Вынос в натуру строительной сетки 16
2.5. Общие сведения и понятия о разбивках 20
2.6. Геодезическо-маркшейдерская подготовка к разбивке сооружений 31
3. Понятие о вертикальной планировке, земляные работы на промышленной (строительной) площадке 35
4. Геодезическо-маркшейдерское обеспечение при возведении инженерных сооружений 40
4.1. Работы нулевого цикла 40
4.2. Маркшейдерско-геодезические работы при устройстве котлованов под фундаменты 42
4.3. Геодезические выноски и измерения при строительстве надземной части сооружений 46
5. Исполнительные съемки в промышленном строительстве, маркшейдерско-геодезическая документация 47
6. Маркшейдерско-геодезические работы при строительстве буровых скважин 54
6.1. Основные положения 54
6.2. Перенесение в натуру проектного положения устьев скважин 55
6.3. Работы при сооружении буровой установки 58
6.4. Работы при строительстве кустов скважин 59
6.5. Наклонно-направленное бурение 61
6.6. Профили наклонно направленных скважин. 61
6.7. Контроль за положением оси ствола скважины в пространстве 63
7. Математические методы и алгоритмы построения траектории ствола наклонно направленной скважины 66
7.1. Тангенциальный метод 67
7.2. Метод усреднения углов 68
7.3. Балансный тангенциальный метод 68
7.4. Метод расчета по радиусу кривизны 68
7.5. Метод постоянной кривизны 70
7.6. Метод кольцевых дуг 70
8. Инженерно-геодезические изыскания 71
8.1. Нормативные ссылки 71
8.2. Планово-высотное обоснование 75

8.3. Требования к производству и обеспечению точности топографических съемок при инженерных изысканиях для строительства ... 83
8.4. Тахеометрическая съемка ... 88
8.5. Горизонтальная и высотная (вертикальная) съемка застроенных территорий ... 88
9. Съемка подземных и надземных сооружений ... 91
10. Съемка водных переходов ... 95
11. Линейные изыскания ... 99
11.1. Рекогносцировочное обследование района (участка) трассы и сооружений ... 100
11.2. Камеральное и полевое трассирование линейных сооружений ... 101
12. Оценка уровня возможных геодинамических последствий разработки нефтегазоконденсатного месторождения ... 117
12.1. Определение оптимального состава и типа реперов применительно к физико-географическим условиям района производства работ ... 120
12.1.1. Общие требования к центрам ... 120
12.1.2. Закладка наблюдательных реперов ... 122
12.2. Разработка оптимального регламента системы геодинамических наблюдений на полигоне ... 127
12.2.1. Конфигурация сети, густота наблюдательных пунктов ... 127
12.2.2. Методика и точность измерений ... 131
12.3. Составление схемы нивелирной сети и априорной оценки точности геодезических наблюдений ... 132
12.3.1. Схема нивелирной сети ... 132
12.3.2. Априорная оценка точности геодезических наблюдений ... 134
12.4. Разработка системы спутниковых наблюдений на пунктах (геодинамического) полигона ... 136
12.4.1. Организация и планирование полевых работ ... 143
12.5. Обеспечение безусловного соблюдения требований промышленной безопасности и охраны недр на геодинамической основе ... 148
13. Библиографический список ... 152

1. ЗАДАЧИ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ПЕРИОД ОБУСТРОЙСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Отметим, что геодезия является одной из древнейших, а также базовых наук для специальности «Маркшейдерское дело». В процессе своего развития она разделилась на ряд самостоятельных научно-технических дисциплин в соответствии с обслуживающими сферами деятельности, например:

1. Высшую геодезию, изучающую фигуру и размеры Земли и планет, методы измерений для высокоточного определения точек на земной поверхности.

2. Космическую геодезию, занимающуюся построением космической геодезической сети и решением геодезических задач с помощью искусственных спутников Земли на основе использования спутниковых навигационных систем.

3. Геодезию или топографию, рассматривающую способы изучения земной поверхности и производство измерений на ней, математическую и графическую обработку этих измерений с целью получения карт и планов небольших участков Земли.

4. Картографию, разрабатывающую методы создания карт и их использования.

5. Фототопографию, создающую планы и карты по фотоснимкам и аэрофотоснимками местности.

6. Морскую геодезию, занимающуюся разработкой методов ведения геодезических работ для обеспечения разведки и разработки природных ресурсов на дне морей и океанов.

7. Инженерную (прикладную) геодезию, изучающую методы геодезических работ, выполняемых при различных изысканиях, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, горнорудных предприятий, гражданского строительства, транспортных магистралей и т. п.

Геодезические измерения используются почти во всех отраслях народного хозяйства: при изысканиях и строительстве жилых и промышленных объектов, железных и автомобильных дорог, каналов, ЛЭП, трубопроводов, аэродромов, речных и морских портов и др.

В процессе строительства промышленных предприятий круг задач, решаемых по геодезическому обслуживанию на строительной площадке, зависит от определенного этапа его производства.

При проектно-изыскательских работах на участке строительства разбивают опорную геодезическую сеть, выполняют крупномасштабную съемку и получают топографический план, являющийся основой для проектирования промышленных предприятий и составления генерального

плана. На нем указывают плановое и высотное положение объектов строительства и привязку основных строительных осей.

При проектировании составляют геодезическую часть строительного паспорта, разрабатывают разбивочные чертежи, составляют проект вертикальной планировки и геодезической подготовки исходных данных для перенесения проекта на строительный участок.

При перенесении проекта в натуру разбивают на местности границу отвода участка, проектные линии застройки, выносят и закрепляют главные оси сооружений и основные проектные горизонты.

При текущем обслуживании строительства устанавливают в проектное положение строительные конструкции и оборудование, выверяют их по высоте и вертикали, выполняют текущие съемки и исполнительные чертежи.

2. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКЕ

2.1 Назначение и классификация геодезических сетей

Введение в действие основополагающего документа «Основные положения о государственной геодезической сети РФ» (с 25.06.03 г.) обусловливает необходимость в создании геодезического обоснования на качественно новом, более высоком уровне точности, основанной на применении методов космической геодезии и использовании глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Данный документ является продолжением работы над установлением единых государственных систем координат на территории России и разработан в рамках организационно-технических мероприятий для перехода к системе координат 1995 г.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) представляет собой совокупность геодезических пунктов, расположенных равномерно по всей территории РФ и закрепленных на местности специальными центрами. ГГС также включает в себя пункты с постоянно действующими наземными станциями спутникового автономного определения координат и в целом предназначена для решения следующих основных задач, имеющих хозяйственное, научное и оборонное значение:

- установление и распространение единой государственной системы геодезических координат на всей территории страны и поддержание ее на уровне современных и перспективных требований;
- геодезическое обеспечение картографирования территории России и акваторий окружающих ее морей;
- геодезическое обеспечение изучения земельных ресурсов и землепользования, кадастра, строительства, разведки и освоения природных ресурсов;

- обеспечение исходными геодезическими данными средств наземной, морской и аэрокосмической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенной сред;
- изучение поверхности и гравитационного поля Земли, их изменений во времени;
- изучение геодинамических явлений;
- метрологическое обеспечение высокоточных технических средств определения местоположения и ориентирования.

Государственная геодезическая сеть структурно формируется по принципу перехода от общего к частному и включает в себя геодезические построения различных классов точности в единой системе координат 1995 г. (СК-95):

- Фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС).
- Высокоточную геодезическую сеть (ВГС).
- Спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС-1).
- Геодезические сети специального назначения.

Наряду с ГГС созданы государственные нивелирная и гравиметрическая сети.

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть в структуре координатного обеспечения России занимает высший уровень и служит исходной основой для дальнейшего повышения точности пунктов ГГС. ФАГС состоит из постоянно действующих и периодически определяемых пунктов Роскартографии, формирующих единую сеть на территории РФ. Расстояния между смежными пунктами ФАГС составляют 650–1 000 км, а их центры фундаментально закрепляются с обеспечением долговременной стабильности местонахождения в плане и по высоте.

Пространственное положение пунктов сети определяется методами космической геодезии в геоцентрической системе координат относительно центра масс Земли со средней квадратической ошибкой взаимного расположения не более 2 см в плане и 3 см по высоте. Определение нормальной высоты пунктов производится нивелированием не ниже II класса точности. Периодичность определений пространственного положения пунктов ФАГС устанавливается в пределах 5–8 лет.

Высокоточная геодезическая сеть занимает второй уровень в современной структуре ГГС и опирается на пункты ФАГС. Ее основная функция состоит в дальнейшем распространении на всей территории России геоцентрической системы координат и уточнении параметров взаимного ориентирования геоцентрической и геодезической систем.

ВГС, наряду с ФАГС, служит основой для развития геодезических построений последующих классов и используется для создания высокоточных карт высот квазигеоида. Сеть представляет собой однородное по

точности пространственное геодезическое построение из системы пунктов, удаленных друг от друга на расстояния 150–300 км.

Координаты пунктов ВГС определяются относительными методами космической геодезии со среднеквадратическими ошибками взаимного положения в плане, не превышающими 3 мм + $5 \cdot 10^{-8}$ D (где D – расстояние между пунктами) и 5 мм + $7 \cdot 10^{-8}$ D по высоте.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (астрономо-геодезическая сеть и геодезические сети сгущения) занимает третий уровень в структуре государственной геодезической сети и функционально предназначена для обеспечения оптимальных условий реализации точности и оперативных возможностей спутниковой аппаратуры при переводе геодезического обоснования территории РФ на спутниковые методы определения координат.

СГС-1 представляет собой пространственное геодезическое построение из системы легкодоступных пунктов с плотностью, достаточной для эффективного использования всех возможностей спутниковых определений (координат) потребителями со средними расстояниями между смежными пунктами 25– 35 км.

Сеть СГС-1 создается относительными методами космической геодезии, обеспечивающими определение взаимного положения смежных пунктов со среднеквадратическими ошибками в плане 3 мм + $1 \cdot 10^{-7}$ D и 5 мм + $2 \cdot 10^{-7}$ D по геодезической высоте, а также может строиться отдельными фрагментами. В каждый создаваемый фрагмент должны включаться все пункты ВГС и ФАГС, перекрывающие на треть расстояния между смежными пунктами ВГС на данной территории. Для связи СГС-1 с астрономо-геодезической сетью (АГС) и нивелирной сетью часть пунктов СГС-1 должна быть совмещена или связана с существующими пунктами АГС и реперами нивелирной сети не ниже точности III класса.

Геодезические сети специального назначения создаются в тех случаях, когда дальнейшее сгущение пунктов ГГС экономически не целесообразно или требуется особо высокая точность построения геодезической сети. Эти сети определяются в единых государственных (или местных) системах координат в установленном порядке, учет и хранение исходных данных осуществляется органами государственного геодезического надзора (госгеонадзора).

Система координат 1995 г. установлена так, что ее оси параллельны осям геоцентрической системы координат, а положение начала координат пункта ГГС Пулково совпадает с системой координат 1942 г.

За отсчетную поверхность в СК-95 принят эллипсоид Красовского с параметрами:

- большая полуось равна 6378 245 м;
- сжатие составляет 1:298,3.
- Положение пунктов ГГС задается следующими координатами:

- пространственными прямоугольными координатами *X, Y, Z;*
- геодезическими (эллипсоидальными) координатами *B, L, H*;
- плоскими прямоугольными координатами *x* и *y*, вычисляемыми в проекции Гаусса-Крюгера.

Существующие сети триангуляции и полигонометрии 1–4 классов вписываются в указанную систему построений, и настоящий нормативно-технический акт (НТА) допускает применение «Основных положений о построении государственной геодезической сети СССР» в тех случаях, когда используются методы триангуляции и полигонометрии.

Поэтому уместным будет рассмотреть структуру и методы построения геодезической сети традиционными технологиями.

В соответствии с действующей до 2003 г. классификацией геодезические сети РФ подразделяются на государственные сети, сети сгущения, сети съемочного обоснования.

Государственная геодезическая сеть (ГГС), созданная в 1961–1966 гг., состоит из плановых сетей триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3, 4 классов и нивелирных сетей I, II, III, IV классов, различающихся между собой точностью измерений углов и расстояний, длиной сторон сети, порядком последовательного развития, погрешностью определения превышений.

Развитие государственной геодезической сети ведется по принципу перехода от общего к частному. Точность плановой государственной сети рассчитана на обеспечение координат съемочных работ в крупных масштабах.

Техническая характеристика сетей триангуляции и полигонометрии 1–4 классов приведена в табл. 1, нивелирования I–IV классов – в табл. 2.

Таблица 1. Техническая характеристика сетей триангуляции и полигонометрии

Показатель	Класс			
	1	2	3	4
Триангуляция				
Средняя длина стороны треугольника, км	20–25	7–20	5–8	2–5
Относительная погрешность базиса (выходной стороны) (m_b/b)	1/400 000	1/300 000	1/200 000	1/200 000
Относительная погрешность слабой стороны *	1/150 000	1/130 000	1/120 000	1/ 70 000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с	0,7	1,0	1,5	2,0
Допустимая невязка треугольника, угл. с	3	4	6	8

Наименьшее значение угла треугольника, град.	40	20	20	20
Полигонометрия				
Периметр полигона, км	700−800	150–180	–	–
Длина диагонали звена (хода), не более, км	200	60	30	15, 13, 11**
Длина стороны хода (в звене), км	8–30	5–18	3–10	0,25
Число сторон в ходе (звене)	12	–	–	20
Число сторон между узловыми или исходными и узловыми пунктами, не более	–	6	6	–
Длина диагоналей ходов между узловыми пунктами и между узловыми пунктами и пунктами сети высших классов, не более, км	–	–	–	7
Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с	0,4	1,0	1,5	2,0
Средняя квадратическая погрешность измерения стороны, см:				
до 8 км	–	4	–	–
до 5 км	–	–	5	–
до 500 м	–	–	–	2
до 500–1000 м	–	–	–	3
свыше 1000 м	–	–	–	1/40 000
Относительная погрешность хода	–			1/25 000

Государственные сети геодезического обоснования дополняются сетями сгущения (ГГСС), представленными триангуляцией, полигонометрией 1 и 2 разрядов и техническим нивелированием. Они создаются в соответствии с руководством по топографической съемке в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Геодезические сети сгущения иногда называют опорными инженерно-геодезическими сетями. Необходимость в их построении возникает при изысканиях строительных площадок и проектирования на них различных сооружений, составлении генеральных планов городов и поселков, разработке технических проектов и рабочих чертежей промышленных, горнодобывающих предприятий и других объектов. Как правило, инженерно-геодезические сети проектируются с учетом возможности их последующего сгущения и развития для обеспечения основных разбивочных работ и топографической съемке в масштабе 1:500.

Требования к точности, плотности, стабильности плановых инженерно-геодезических сетей обуславливаются разнообразием технических задач, которые решаются при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Съемочные геодезические сети развиваются на основе государственных сетей сгущения и состоят из планового, высотного и планово-высотного обоснования, а также дополнительных точек. В зависимости от сложности снимаемой территории, расположения зданий и инженерных сооружений, съемочные пункты создаются методами полигонометрических ходов, цепочек треугольников, теодолитных ходов.

Полигонометрическая сеть может быть развита в виде системы прямоугольников с расположением сторон параллельно линиям застройки, что дает возможность получить необходимое количество створных точек и створов.

Таблица 2. Техническая характеристика сетей нивелирования

Показатель	Класс			
	I	II	III	IV
Периметр полигона, км	3 000–4 000	500–600	150–200	50
Средняя квадратическая погрешность на 1 км хода, мм:				
случайная	1	2	4	10
систематическая	0,2	0,4	0,8	2
Длина визирного луча, м	50	65–75	75–100	100–150
Неравенство расстояний, м:				
на станции	0,5	1	2	5
в ходе	1	2	5	10
Высота визирного луча над поверхностью Земли, м	0,8	0,5	0,3	0,2
Допустимые расхождения в превышениях, мм:				
ход до 15 станций на 1 км	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
ход свыше 15 станций на 1 км	$4\sqrt{L}$	$6\sqrt{L}$	$2{,}6\sqrt{n}$ ***	$5\sqrt{n}$ ***
Допустимые расхождения в превышениях на станции, мм:				
по прецизионным рейкам	0,5	0,7	1,5	–
по шашечным	–	–	3	5
Допустимые невязки превышений в полигонах, мм:				
ход до 15 станций на 1 км	$1{,}5\sqrt{L}$	$2{,}5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
ход свыше 15 станций на 1 км	$2\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$	–	–
Увеличение трубы нивелира, крат	45	40–44	30–35	25–30
Цена деления цилиндриче-	12	12	15	25

ского уровня, с Допустимые погрешности метрового интервала рейки, мм ***	0,15	0,30	0,50	1,0

Примечания:
* Погрешность слабой стороны – *ms/ S* (табл. 1);
** При числе сторон хода 10, 15, 20 соответственно (см. табл. 1); *L* – длина хода, км;
*** *n* – число станций в ходе (табл. 2).

В этом случае следует учитывать допустимую длину теодолитных ходов, используемых для получения дополнительных точек путем прокладки их между пунктами полигонометрии, а также число пунктов на площади съемки.

2.2 Разбивочные сети, их построение методом строительных сеток

Для проектирования и строительства инженерных сооружений, тоннелей, промышленных комплексов и других создают разбивочные сети, которые относятся к разряду специальных. Геодезические разбивочные сети служат основой для выноса проектов зданий и сооружений на местность, контролем соблюдения их геометрических параметров, смещения и деформаций элементов несущих конструкций. Они создаются на строительной (промышленной) площадке в виде сети, заложенных в грунт и закрепленных на местности пунктов и обеспечивают последующие построения в процессе строительства и эксплуатации объектов исходными данными.

Разбивочные сети проектируют методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии, строительной сетки, красных линий застройки на основе *проекта производства геодезических работ* (ППГР) и увязывают с пунктами государственной геодезической сети или геодезических сетей сгущения. Составляется проект разбивочной основы в соответствии с генеральным планом строительства объекта, согласующийся со стадиями проектирования и очередями его сооружения. Точность построения разбивочной сети устанавливается при разработке ППГР.

Наиболее удобным видом геодезической основы для производства разбивочных работ на территории крупных строительных и промышленных сооружений является строительная сетка. Она должна обеспечить решение двух инженерно-геодезических задач: осуществление топографической съемки крупного масштаба 1:500, быстрый и удобный перенос проектных данных в натуру для ведения строительства и монтажных работ.

Строительная сетка представляет собой систему квадратов или прямоугольников на площади строительства и состоит из основных и дополнительных фигур со сторонами основания 100–400 м в зависимости от назначения площадок строительства (рис. 1).

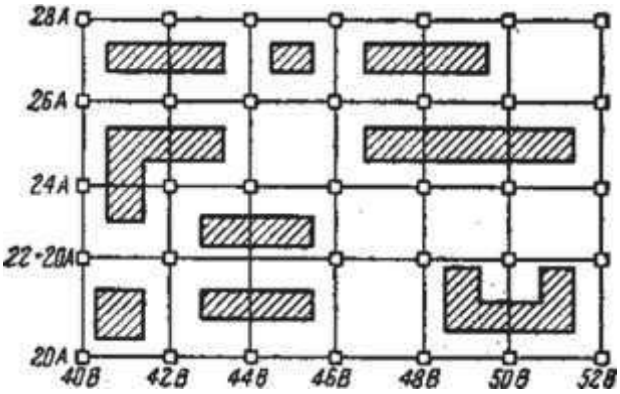


Рисунок 1 - Строительная сетка

Дополнительные фигуры строят в процессе геодезических разбивочных работ с длинами сторон до 20 м.

Как правило, оси объектов, сооружаемых на промышленных (строительных) площадках, параллельны, а сами сооружения прямоугольны. Поэтому стороны сетки ориентируют в частной системе координат, параллельно осям сооружений или проездов. В связи с этим, при разбивках и съемках от пунктов строительных сеток используют прямые углы и повторяющиеся линейные измерения, что значительно упрощает геодезические действия.

Точность планового положения и высот пунктов сетки определяет условия производства крупномасштабной съемки на территории строительства. В этом случае ошибки координат пунктов сетки относительно ее начала не должны превышать ±0,050 м, а ошибки их взаимного положения ±0,020 м.

Технические же условия по обеспечению строительно-монтажных работ требуют построения геодезических сеток допусками полигонометрии 1 разряда, а в ряде случаев – полигонометрии 4 класса.

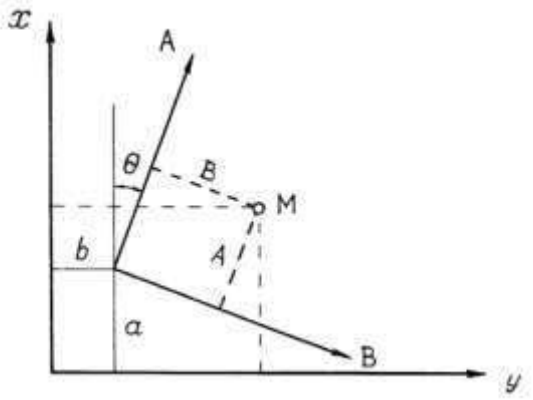


Рисунок 2 - Строительную сетку предварительно проектируют.

На больших площадках, имеющих ломаное очертание, создают несколько строительных сеток в частных системах координат. Ориентирование системы координат осей строительной сетки относительно общегосударственной системы координат может быть произвольным. Переход от

государственной системы к частной системе сетки (рис. 2.2) производят по формулам:

$$A = (x - a)\cos\theta + (y - b)\sin\theta$$
$$B = (y - b)\cos\theta - (x - a)\sin\theta$$

Переход от системы строительной сетки к общегосударственной, осуществляют в следующем порядке:

$$x = a + A\cos\theta - B\sin\theta$$
$$y = b + A\sin\theta + B\cos\theta$$

где x, y – координаты точки М в государственной системе; А, В – координаты точки М в системе строительной сетки; a, b – координаты начала строительной сетки в государственной системе; θ – угол поворота сетки относительно государственной системы.

2.1 Проектирование строительной сетки

Строительную сетку проектируют на топографическом плане промышленной (строительной) площадки или на генеральном плане с учетом расположения всего комплекса зданий и сооружений, рис. 2. Её планируют, как отдельную специальную сеть, положение пунктов которой и направление сторон не зависит от государственной сети и главной плановой основы строительного производства.

Основные требования к строительным сеткам при их проектировании сводятся к следующим положениям:

1. Линии основания сетки намечают и создают строго параллельно главным осям возводимых зданий и сооружений, а фигуры сетки размещают таким образом, чтобы основные проектируемые здания и сооружения оказались внутри и как можно ближе к ее сторонам.
2. Стороны сетки располагают с учетом удобства производства линейных
3. и угловых измерений и не загромождают рядовыми посадками.
4. Линии и пункты сетки проектируют с учетом обеспечения их сохранности и взаимной видимости, вдали от проезжей части, сетей трубопроводов и др.
5. Размеры сторон прямоугольников, квадратов и других фигур принимают с учетом размеров зданий, сооружений из соображений обеспечения технологии строительства.
6. Учитывают характер и порядок использования пунктов строительной сетки для производства разбивочных работ.

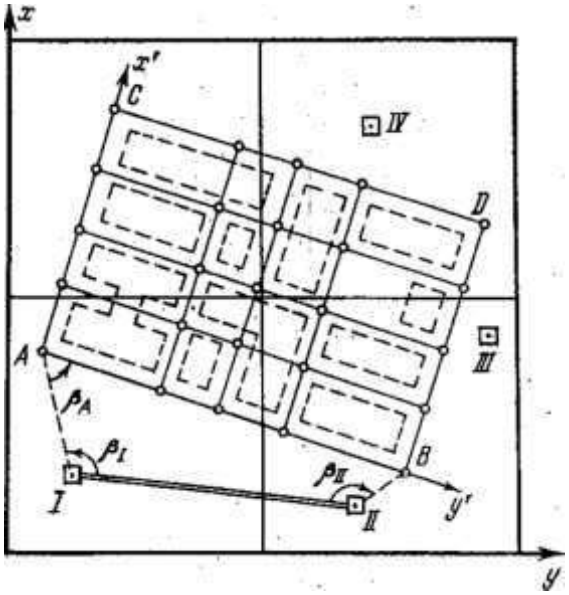


Рисунок 3 - Проектное положение строительной сетки

6. Требования к точности разбивочных работ определяют в зависимости от назначения сооружений, их размеров, технологической связи между собой и других условий:

- ошибки в положении соседних пунктов строительной сетки не должны превышать относительной величины 1:10 000 (1 см на 100 м);
- прямые углы сетки должны быть построены с точностью ±20″;
- ошибки в положении пунктов в наиболее слабом месте сетки относительно опорной геодезической основы не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана 1:500 (т.е. 10 см).

Разбивочные сети создаются в натуре также методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии. Разрешается использовать метод угловых, линейных и комбинированных засечек. При этом выбор разряда точности разбивочных работ должен согласовываться с размерами сторон прямоугольников, квадратов и других фигур или расстояниями между линиями строительной сетки, принимаемых по табл. 3.

При проектировании строительной сетки, следуют предусмотреть способ постоянного возобновления первоначально разбитых точек, фиксирующих пересечение осей, недоступных для непосредственного закрепления. В этом случае необходимо предусмотреть проверку неподвижности пунктов сетки путем систематического их контроля от знаков опорной геодезической основы.

Проектирование разбивочного обоснования завершается вычислением координат вершин сети в условной системе, принятой для данной строительной площадки.

Таблица 3 - Характеристики строительных сеток

Характеристика сетки	Класс сетки / разряд / размеры сторон, м		
	4	1р	2р
Прямоугольная	400 х 200 400 х 100	400 х 100 200 х 100	200 х 100 100 х 50
Квадратная	200 х 200 150 х 150 100 х 100	150 х 150 100 х 100	150 х 150 100 х 100 50 х 50
Расстояния между параллельными линиями	200 150 100	150 100	150 100 50

В системе координат строительной сетки положение ее вершин определяют простым суммированием: к соответствующей координате начального пункта (юго-восточного угла сетки) последовательно прибавляют значения проектных сторон. При этом координаты пунктов разбивочной сети должны иметь положительные значения кратные сотням или десяткам метров. Ось абсцисс можно направить вдоль главной оси основного сооружения строительной площадки, а ось ординат — перпендикулярно к ней.

Для установления аналитической зависимости между частной системой координат (x, y) строительной сетки и системой координат (X, $У$) генплана выбирают два пункта A и B и графически снимают их координаты в системе генплана X'_A, $У'_A$ и X'_B, $У'_B$. Из решения обратной геодезической задачи определяют табличный угол r_{AB} (румб), дирекционный угол α_{AB}, длину S'_{AB} стороны AB:

$$tgr_{AB} = \frac{У'_B - У'_A}{X'_B - X'_A} \; ; \; S'_{AB} = \frac{У'_B - У'_A}{Sinr_{AB}} = \frac{X'_B - X'_A}{Cosr_{AB}} ; \quad (2.3)$$

Затем вычисленную длину S'_{AB} сравнивают с проектной, найденный дирекционный угол α_{AB} с величиной этого угла, определенного графически с плана транспортиром. Если полученные расхождения лежат в пределах графической точности плана ($\Delta S \leq 0{,}3 \div 0{,}5$ мм; $\Delta\alpha \leq 30' \div 60'$), то вычисляют местоположение пунктов A и B в системе координат генплана:

$$X_A = 1/2\,(x'_A + x'_B) - 1/2\,S_{AB}\,Cos\alpha_{AB} ;$$
$$У_A = 1/2\,(y'_A + y'_B) - 1/2\,S_{AB}\,Sin\alpha_{AB} ; \quad (2.4)$$
$$X_B = 1/2\,(x'_A + x'_B) + 1/2\,S_{AB}\,Cos\alpha_{AB} ;$$
$$У_B = 1/2\,(y'_A + y'_B) + 1/2\,S_{AB}\,Sin\alpha_{AB} ,$$

где x'_A, x'_B, y'_A, y'_B — координаты положения пунктов A и B в частной системе координат.

2.2 Вынос в натуру строительной сетки

После составления проекта геодезической строительной прямоугольной сети ее выносят на местность – «разбивают». Разбивку начинают с определения исходного направления, для выноса которого используют

пункты планового геодезического обоснования, расположенные на строительной площадке. Для этого, на основе решения обратных задач по координатам вершин строительной сетки и исходных пунктов вычисляют необходимые элементы разбивки (2.3). Дальнейшее построение сетки прямоугольников (квадратов) осуществляют, как правило, двумя способами: осевым и редуцирования.

Осевой способ основывается на вынесенных и закрепленных на местности исходных направлениях, от которых строят в натуре две строго перпендикулярные оси *EN* и *MD* (рис. 4). Затем вдоль полученных осевых линий от центра откладывают отрезки, равные проектным сторонам сетки. Эти измерения производят шкаловой лентой (с применением динамометра) с постоянным натяжением и учитывают поправки за компарирование, наклон местности и температуру. Возможно применение для детальной разбивки строительной сетки современных тахеометров типа Nicon, 3Ta5P и т.д., что позволяет гораздо продуктивнее использовать существующие методы выноски.

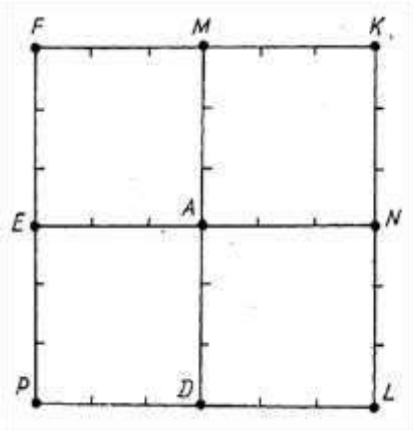


Рисунок 4 - Осевой способ разбивки строительной сетки: *EN* и *MD* – строго перпендикулярные линии

В конечных точках (*F, K, L, P*) строят прямые углы и продолжают разметку фигур сетки по периметру. В этом случае неизбежно накопление линейных ошибок: длины сторон могут несколько отличаться от проектных и не все углы будут равны 90°. Величины полученных ошибок уменьшают путем перемещения пунктов разбивочной сети в прямоугольниках.

Таким образом, на площадке получают четыре построенных полигона, в вершинах которых закладывают постоянные знаки. По их периметрам прокладывают полигонометрические ходы 1 разряда, уравнивают и определяют координаты всех пунктов.

Внутренние точки сгущения сетки получают с помощью создания ходов полигонометрии 2 разряда по предварительно размеченным прямоугольникам.

Осевой способ обычно применяют в том случае, когда строительная площадка сравнительно невелика, или там, где не требуется большая точ-

ность и ошибками взаимного положения пунктов в 3–5 см можно пренебречь.

Метод последовательного приближения или редуцирования рекомендуется применять при вынесении строительных сеток на большие промышленные (строительные) площадки. Способ редуцирования обеспечивает более высокую точность получения элементов разбивочной основы.

После составления проекта геодезической прямоугольной сетки поступают следующим образом:

1) выполняют предварительную разбивку основных фигур разбивочной сети, закрепляют их временными знаками;
2) определяют координаты центров вершин предварительно разбитой сетки;
3) вычисляют элементы редукции (отклонения предварительно разбитых точек от их проектного положения);
4) редуцируют точки на местности (т.е. вводят в их положение поправки и закрепляют полученные новые центры пунктов постоянными знаками);
5) осуществляют контрольные измерения;
6) разбивают и закрепляют промежуточные пункты.

В зависимости от размера и точности строительной сетки могут быть использованы различные методы выполнения вышеперечисленных этапов работ.

Последовательно рассмотрим каждый из обозначенных пунктов метода.

Предварительная разбивка основных фигур сетки зависит от площади застройки, ее вида. Например, если строительная площадка составляет площадь более 1 км^2 (допустим, 1600 х 1800 м) и имеет прямоугольную форму, то целесообразно вынести на местность 6 пунктов. Если же площадь застройки по форме близка к квадрату (например, 1200 х 1200 м), то достаточно ограничиться 4 пунктами.

Для небольших участков застройки, геодезических сетей невысокой точности на местность выносят не фигуры, а базис-линию *АС* строительной сетки, проходящую по возможности в середине разбивочной основы и по местности, доступной для линейных измерений (рис. 5). Для надежной ориентировки сети длина базиса должна быть более 600–800 м, а для небольших сеток не менее половины их протяженности.

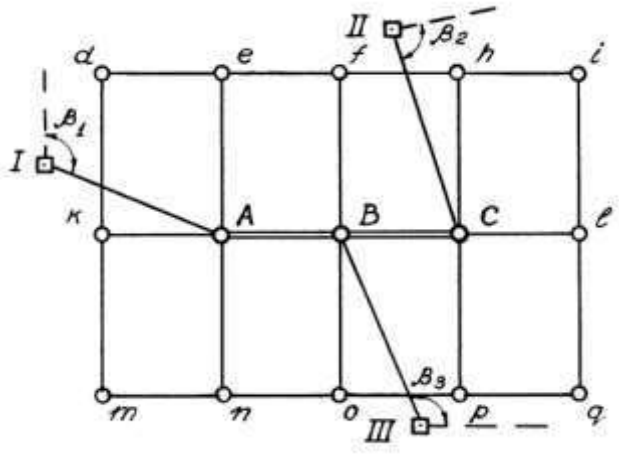


Рисунок 5 - Схема привязки вершин сетки к главной геодезической основе:*I*, *II*, *III* – пункты полигонометрии

Все точки намеченных фигур и не менее трех точек базиса привязывают к ближайшим пунктам главной геодезической основы строительной площадки. Используя данные привязки, вершины фигур *A*, *B*, *C* выносят на местность и закрепляют временными знаками. Методом створных промеров и вывешивания для способа створного базиса (см. рис. 5) предварительно разбивают основные квадраты (400 х 400 м) или прямоугольники (400 х 200 м), а также закрепляют их вершины временными знаками, например, столбами с забитыми в качестве центров гвоздями.

Определение координат центров вершин предварительно разбитой сетки (в зависимости от заданной точности и характера местности) выполняют методами: триангуляции, трилатерации, полигонометрии, засечек А.Н. Дурнева, четырехугольников без диагоналей и др.

Метод полигонометрии в настоящее время является наиболее распространенным. Измерения углов и расстояний, а также обработка результатов измерений выполняются с соблюдением требований инструкции для соответствующего разряда геодезической плановой сети (или по программе, разработанной для каждого случая специально). Координаты вершин полигонов вычисляют в системе строительной сетки, что приводит к существенному упрощению геодезических измерений. По необходимости, пересчет координат от одной системы к другой осуществляют по формулам (2.1), (2.2), (2.4).

Вычисление элементов редукции осуществляется алгебраическим сложением значений проектных координат и фактически полученных. Так, если координаты пункта равны 50 350,023 м и 4 200,009 м, то центр вершины сетки нужно сместить на величину $\delta_x = -0{,}023$ м по оси абсцисс и на величину $\delta_y = -0{,}009$ м по оси ординат.

Редуцировать (смещать) центры пунктов основных фигур сетки возможно различными вариантами, например, если редукционные поправки δ_x и δ_y сравнительно невелики (до 10 см), то можно применять способ фик-

сации центра временного знака при помощи надежно установленного центрира (отвеса) и последующего переноса его на верхнюю поверхность постоянного знака, поставленного вместо временного. В этом случае непосредственно на самой пластине намечают направления координатных осей, по которым откладывают поправки δ_x и δ_y и находят центр исправленных координат вершин сетки (рис. 2.6).

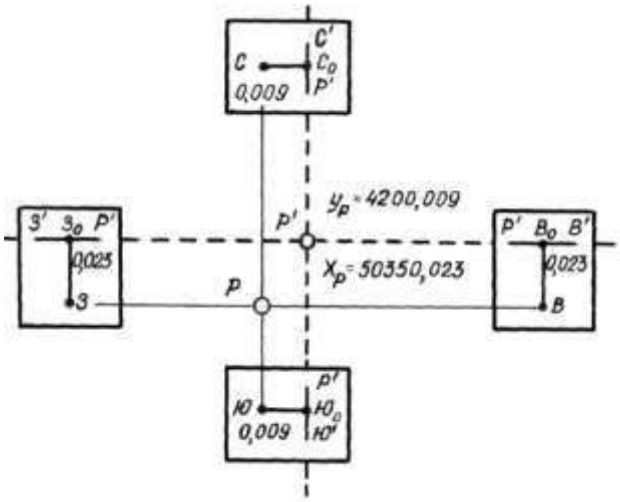


Рисунок 6 - Схема редуцирования пункта в проектное положение

Иногда взамен временных знаков сразу закладывают знаки с приваренными к верхним концам пластинам, толщиной не менее 7 мм и размером 20 х 20 см. На пластинах и знаках вначале намечают временные центры, затем их редуцируют и набивают постоянные. Недостатком этого способа (одностадийной разбивки) является условие повышенной точности предварительной разбивки, обеспечивающей величину элементов редуцирования не более 10 см.

После редуцирования и установления постоянных знаков повторно производят контрольное определение их координат. Затем разбивают и закрепляют промежуточные пункты внутри основных фигур строительной сетки. Обычно это выполняется створными разбивками и линейными промерами с одного пункта сети на другой.

2.3 Общие сведения и понятия о разбивках

Геодезическо-маркшейдерские работы, выполняемые на местности для определения планового и высотного положения характерных точек строящегося сооружения согласно проекту, называются разбивкой сооружения или перенесением проекта в натуру. При этом используют генеральный план строительства, разбивочные и рабочие чертежи фундаментов сооружений, установок и агрегатов, подъездных путей и др.

Геодезические разбивочные работы являются составной частью строительно-монтажного производства и делятся на плановую и высотную разбивки сооружений, которые осуществляются в три этапа.

На первом этапе выполняют основные разбивочные работы. Они заключаются в определении на местности положения главных или основных разбивочных осей и строительного нуля от пунктов плановой и высотной геодезической основы. Оси закрепляют специальными знаками.

На втором этапе производят детальную разбивку сооружения, отмечающую положение частей инженерного сооружения, его геометрические параметры и элементы.

На третьем этапе обеспечивают разбивку и закрепление монтажных осей и установку в проектное положение технологического оборудования. Этап требует соблюдения высокой точности геодезическо-маркшейдерских работ.

Приступая к разбивке объекта:

- определяют необходимую и достаточную точность выноски отдельных его элементов;
- намечают методику измерений, необходимые инструменты, исходящие точки и общий план работы;
- знакомятся с условиями предстоящей разбивки на местности, проверяют наличие препятствий выполнению работ и загромождению площадки;
- составляют детальную схему разбивки в полевом журнале с указанием необходимых данных из рабочих чертежей.

В процессе вынесения проекта в натуру производят разнообразные геодезические измерения, свойственные исключительно разбивочным работам. По своему содержанию они противоположны съемочным работам и имеют свои специфические особенности. Вынос объекта на местность осуществляет в определенном порядке.

Способы геодезических разбивочных работ, построение их элементов

Выбор способа ведения разбивочных работ зависит от места расположения инженерного сооружения, его размеров, назначения и точности выноски в натуру.

Существуют следующие основные способы разбивки: полярный, створной засечки, угловой и линейной засечек, прямоугольных координат, полигонометрии и др. Все они по своей сущности основаны на использовании таких элементов разбивочных определений, как построение на местности горизонтального проектного угла, линии проектной длины, линии проектного уклона, точки с проектной отметкой. Поэтому сначала рассмотрим, как осуществляют построение элементов геодезических разбивочных работ.

Построение горизонтального проектного угла может быть выполнено двумя способами в зависимости от точности имеющегося прибора.

Первый способ применяется в том случае, когда требуемая точность откладывания угла меньше точности отсчета по горизонтальному кругу

теодолита. Он заключается в последовательном откладывании от известного направления *AB* в пункте *A* заданного угла при «круге право» (КП) и «круге лево» (КЛ), (рис. 2.7, *а*). Из двух полученных при выноске точек берут среднюю (*C*) и принимают построенный угол *ABC* за проектный (требуемый). Для контроля отложенный угол измеряют и сверяют с заданным значением.

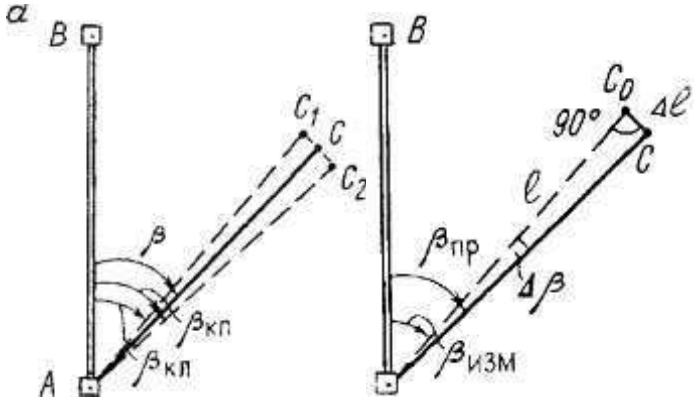


Рисунок 7 - Схема построения горизонтального угла:

а – способ непосредственной выноски; *б* – способ построения угла с применением редукции

Второй способ построения угла используется при необходимости его выноски с более высокой точностью, чем точность применяемого прибора. В этом случае откладывают заданный угол одним приемом и отмечают на местности точку C_0. Затем измеряют этот угол с необходимой точностью и определяют разность $\Delta\beta = \beta_{пр} — \beta_{изм}$ между полученным ($\beta_{изм}$) и проектным ($\beta_{пр}$) углами (рис. 7, *б*), которую и необходимо ввести для уточнения построенного угла. Угловую поправку $\Delta\beta$ заменяют линейной величиной $\Delta\ell = CC_0$:

$$\Delta\ell = \ell\frac{\Delta\beta''}{\rho''},$$

где $\Delta\beta$ определяется в секундах; ρ – радиан в секундах (206 265").

Отложив на местности от точки C_0 величину $\Delta\ell$ перпендикулярно к линии AC_0, получают искомый угол *ABC*. Для контроля построенный угол измеряют.

Построение линии проектной длины зависит от ее размера.

Пример первый. Линия выносится на местность, представленную ровной поверхностью, причем ее длина не превышает пределов измерения мерного прибора (рулетки). В этом случае поступают следующим образом:

1) устанавливают в начальной точке теодолит, отмечают заданное направление вехой, на ней фиксируют высоту инструмента *i* и измеряют угол наклона δ;

2) вычисляют наклонное расстояние *L*, которое необходимо отложить на местности

$$L = \frac{\ell_0}{\cos\delta},$$

где ℓ_o – проектная горизонтальная длина линии с учетом поправок за температуру и компарирование мерного прибора;

3) откладывают вычисленную длину L в натуре и закрепляют ее.

Пример второй. Проектная длина линии велика (больше предела измерения прибора), условия местности неблагоприятны, а требуемая точность выноски высокая.

При построении проектной длины линии с помощью мерных лент или рулеток задача определения её положения сводится к отложению в натуре отрезка, горизонтальное проложение которого должно быть равно заданной длине ℓ_o (рис. 8).

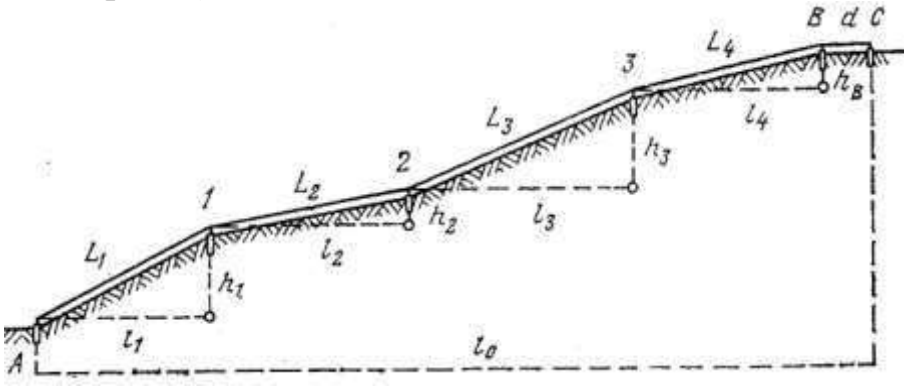


Рисунок 8- линии проектной длины

Разбивочные работы осуществляются следующим образом:

а) по заданному направлению AB откладывают наклонное расстояние $L_0 = \ell/\cos\delta$ и закрепляют его в точке B. Угол наклона δ берется приближенно;

б) отрезок AB делят (разбивают) на отдельные участки, не превышающие длины мерного прибора и фиксируют их, например, кольями;

в) точно измеряют наклонные расстояния L_1, L_2 … L_n, вводят в них поправки за наклон, температуру, компарирование и провес;

г) определяют сумму измеренных длин и вычисляют домер d от точки B

$$d = \ell_0 - \sum \ell_i .$$

д) отложив домер в натуре, получают точку C и закрепляют ее.

Таким образом получают искомую длину AB на местности в виде исправленной линии AC. Для контроля это расстояние измеряют и сравнивают с проектным.

В настоящее время наиболее удобными и эффективными приборами для построения линий на местности являются электронные тахеометры, снабженные встроенными в них светодальномерами. Светодальномер имеет различные режимы измерения расстояний, в том числе получение горизонтального проложения, позволяющего оперативно получать домер d от

предварительно вынесенной, до искомой величины. Например, отечественным электронным тахеометром 3Та5(Р) можно измерять расстояния (D) от двух до 2 000 м со среднеквадратической погрешностью, получаемой из выражения $5 + 3 \cdot 10^{-6} D$ (мм).

Построение точки с проектной отметкой выполняют, как правило, с помощью нивелира и рейки от ближайших реперов, используя горизонт прибора. С этой целью устанавливают нивелир примерно посередине между репером *Rp* с известной отметкой H_{Rp} и местом вынесения точки, например, *B*. По рейке, находящейся на репере, берут отсчет *a* и вычисляют горизонт инструмента

$ГИ = H_{Rp} + a$

Для того, чтобы установить на точке *B* проектную отметку $H_{пр}$, находят величину отсчета *b* (рис. 9).

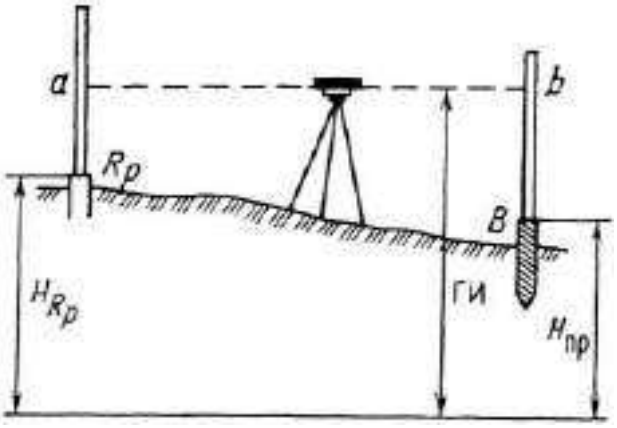


Рисунок 9 - Схема построения точки с проектной отметкой

Отметку горизонта инструмента можно получить, используя формулу (2.5) и равенство

$$H_{Rp} + a = H_{пр} + b = ГИ ,$$

откуда

$$b = ГИ - H_{пр}$$

Затем вычисляют по формуле (2.6) отсчет *b*, рейку в точке *B* передвигают по высоте, добиваясь, чтобы отсчет по средней нити окуляра трубы прибора равнялся искомому – *b*. Пятка рейки, установленной по отсчету, будет соответствовать проектной отметке. Ее фиксируют в натуре с помощью забиваемого колышка, ввинчивая специальный болт, проводя черту на колонне и т.п. Для контроля правильности выноски проектной отметки, ее определяют с помощью повторного нивелирования с заданной точностью.

Среднюю квадратическую погрешность m_T выноски в натуру проектной отметки точки в пределах одной станции геометрическим нивелированием, определяем из выражения

$$m_T = \sqrt{m_o^{\,2} + m_a^{\,2} + m_b^{\,2} + m_Ф^{\,2}} ,$$

где m_0 – погрешность исходных точек высотной основы;

m_a – погрешность отсчета a по рейке;

m_b – погрешность отсчета b по рейке;

$m_Ф$ – погрешность фиксации проектной точки в натуре.

Построение линии и плоскости с проектным уклоном. Разбивка наклонных линий и плоскостей заданного уклона в основном сводится к выносу на местность проектных отметок главных точек проекта вертикальной планировки, при рытье траншей коммуникаций, устройстве земляного полотна автомобильных и железных дорог. Решение этой задачи может быть выполнено с помощью нивелира, теодолита и визирок. Главные точки проектной линии переносят на местность методом геометрического нивелирования путем решения отдельных задач выноса в натуру их заданных отметок.

Итак, вынос линии AB с проектным уклоном от исходной точки A (рис. 10, *а*) начинают с построения проектной H_B отметки точки B. Расстояние между точками разделяют на 100, 50 м и менее, в зависимости от специфики производства строительных работ и характера рельефа. Вынос промежуточных точек линии осуществляют путем наклона нивелира подъемными винтами до отсчета по рейке в точке B, равного высоте i прибора в точке A. После этого ставят рейку в створе линии AB через равные отрезки и забивают колья, например, в точках C и D так, чтобы отсчет на них по рейке равнялся горизонту инструмента.

При разбивке на местности линий со значительными уклонами используют теодолит (рис. 10, *б*).

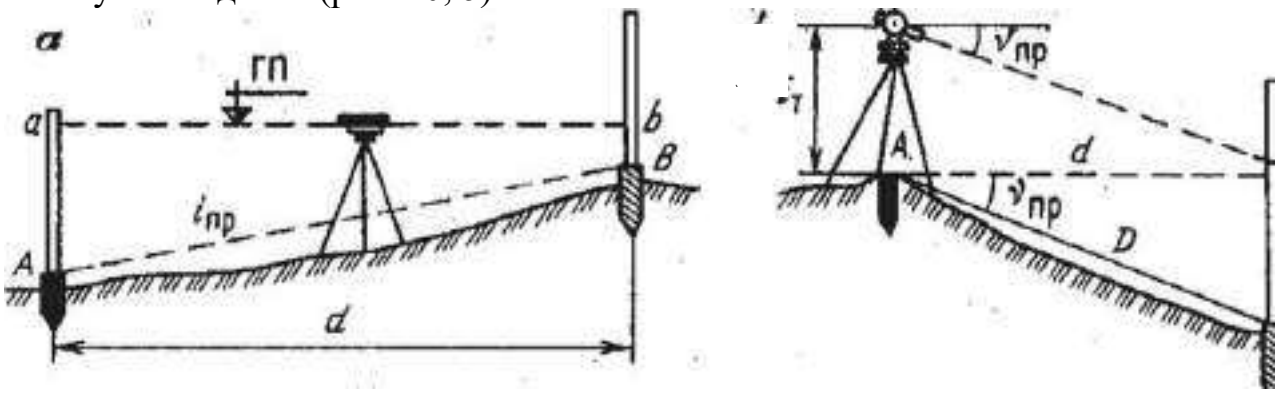


Рисунок 10 - Построение линии (плоскости) с проектным уклоном:

а – с помощью нивелира; *б* – с помощью теодолита

Прибор устанавливают в точке A, откладывают по вертикальному кругу угол, равный проектному уклону, выраженному в градусной мере с учетом места нуля (МО). Проектное положение промежуточных точек C и D определяют с помощью визирки, установленной на высоту i визирного луча зрительной трубы теодолита.

С меньшей точностью задача построения линии заданного уклона может быть выполнена визуально с помощью трех визирок одинаковой длины. Две опорные визирки устанавливают в точках *A* и *B*, а третью (ходовую) – в промежуточных *C* и *D* точках. Высоты на них задаются визирным лучом глаза по опорным визиркам (рис. 11).

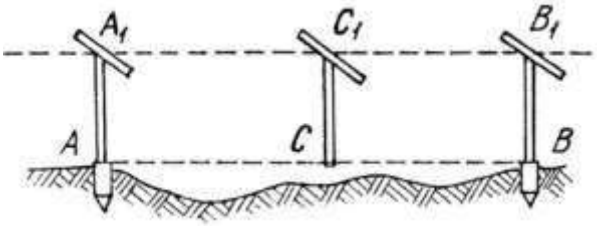


Рисунок 11 - Схема выноса заданного уклона с помощью визирок

Таким образом, в высотном отношении построение линии с заданным уклоном осуществляется в результате выноски проектных отметок начальной и конечной точек, которые определяют необходимый уклон

$$i = \frac{(H_A - H_B)}{S},$$

где $(H_A – H_B)$ – превышение между начальной и конечной точками; S – горизонтальное проложение. Точность выноски в натуру проектного уклона линии зависит от погрешности определения отметок точек и длины линии.

Построение проектной плоскости, заданной, например, точками *A*, *B*, *C*, *D* (рис. 12), производят аналогичным образом. Вначале устанавливают эти точки на проектные отметки, затем, действуя последовательно подъемными винтами нивелира, добиваются, чтобы отсчеты на всех четырех углах были равны высоте инструмента *i*. Поставленная на этот же отсчет нивелирная рейка в любой точке площади фигуры *A*, *B*, *C*, *D* своей пятой будет лежать в проектной плоскости заданного уклона, которую по необходимости закрепляют.

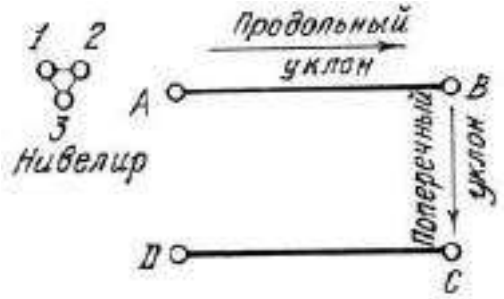


Рисунок 12 - Схема построения плоскости с проектным уклоном

Способы геодезических разбивочных работ основаны на рассмотренных выше элементах разбивок и построены на двух методах:

1. Непосредственной разбивки, состоящей из собственно построения разбивочных величин с заданной точностью, которая применяется, как правило, на работах меньшей точности.
2. Редуцирования, основанного на предварительной разбивке точки, близкой к заданной, с последующим ее смещением в проектное положение. Данный метод применяется на работах, требующих высокой точности разбивки.

Как указывалось ранее, для определения точки на местности наиболее распространенными являются способы прямоугольных и полярных координат, угловых и линейных засечек, а также створов.

Перенесение в натуру точек по их заданным координатам

Способ прямоугольных координат применяется в условиях слабопересеченной открытой местности при разбивке зданий и сооружений от пунктов строительной сетки. Для определения положения точек с минимальной погрешностью исходная линия *AB* должна быть ближе к выносимым элементам здания (сооружения), рис. 13.

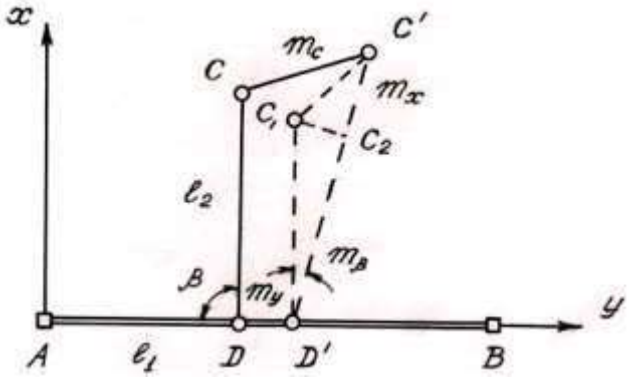


Рисунок 13 - Способ построения точки с помощью прямоугольных координат

Вначале вычисляют приращения координат Δx и Δy от центра ближайшего пункта сетки до искомой точки *C*. В створе линии *AB* откладывают отрезок $\ell_1 = \Delta y$ по оси *У*. Затем из полученной точки *D* с помощью теодолита восстанавливают перпендикуляр длиной $\ell_2 = \Delta x$ и закрепляют найденную точку С.

Вследствие влияния ошибок измерения длин и построения угла на местности, вместо точек *D* и *C* будут получены точки *D*' и *C*'. В этом случае среднеквадратическая погрешность m_C выноса точки *C* способом прямоугольных координат будет складываться из ошибок построения способами линейной створной засечки ($m_{C\ell}$) и полярных координат ($m_П$):

$$m_C = \sqrt{m_{C\ell}^2 + m_П^2} \ .$$

Способ полярных координат заключается в построении проектной точки на местности по заданному углу и расстоянию от ближайшего пункта разбивочного сети (рис. 14). Для этого необходимо решением обратной геодезической задачи по известным координатам двух точек *A* и *C* опреде-

лить полярные координаты искомой точки β и d. Вначале находят дирекционный угол α_{AC} по формуле (2.3):

$$tg\alpha_{AC} = \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A},$$

затем определяют угол направления на точку C

$$\beta = \alpha_{AC} - \alpha_{AB}$$

и горизонтальное расстояние

$$d = \frac{Y_C - Y_A}{\sin\alpha_{AC}} = \frac{X_C - X_A}{\cos\alpha_{AC}} \ .$$

На местности устанавливают на точке A теодолит и откладывают известными способами вычисленный угол β и полярное расстояние d_C. Аналогичным способом находят угол здания D. Для контроля измеряют углы при точках C и D (γ_C, γ_D) в натуре, а также расстояние CD, которое сравнивают с проектным значением.

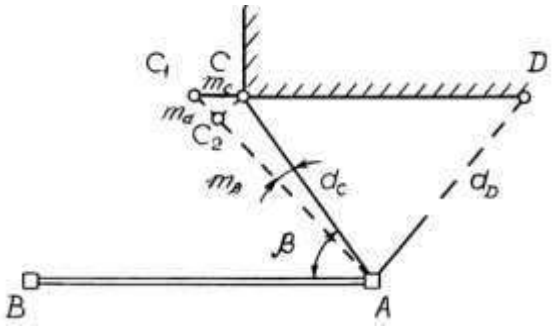


Рисунок 14 - Способ полярных координат и погрешность выноски точки C

Погрешность определения положения точки C без учета погрешностей исходных данных, определяется по формуле

$$m_C = \sqrt{m_\beta^2 \frac{d^2}{\rho^2} + m_d^2} \ ,$$

где m_β – погрешность перенесения угла β в натуру; d – расстояние от исходного пункта до определяемой точки C; m_d – погрешность перенесения расстояния на местности.

Применяют полярный способ на открытой местности, удобной для измерения расстояний.

Способ угловой засечки применяется при разбивке сооружения на пересеченной местности, когда непосредственное измерение расстояний от разбивочного обоснования до определяемой точки затруднено.

Положение точки C в натуре определяют с помощью построения двух углов β_A и β_B от направления между пунктами A и B (рис. 15).

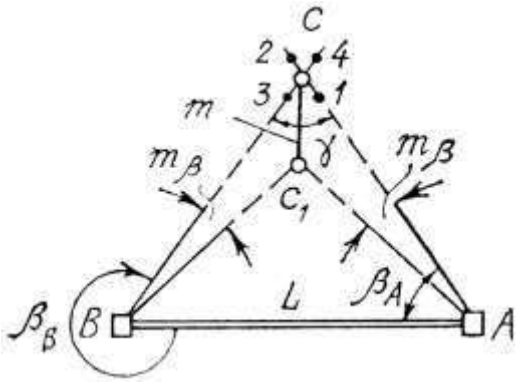


Рисунок 15 - Схема определения точки по способу угловой засечки

Для вынесения точки *C* на местность поступают следующим образом:

1) решением обратной геодезической задачи вычисляют дирекционные углы α_{AB}, α_{AC}, α_{BC}. По разности соответствующих дирекционных углов получают искомые углы β_A и β_B;
2) на местности эти углы откладывают от исходного направления *AB* с помощью теодолитов, установленных в точках *A* и *B*, которые фиксируют четырьмя кольями 1, 2, 3, 4. На пересечении натянутых проволок находят искомую точку *C*. Для контроля правильности ее вынесения, на местности измеряют угол γ при точке *C*.

Точность перенесения точки в натуру угловой засечкой зависит от погрешности построения углов β_A и β_B, а также от формы треугольников

$$m_C = d\frac{m''_\beta}{\rho''}\sqrt{\frac{\sin^2\beta_A + \sin^2\beta_B}{\sin^4\gamma}},$$

где *d* – длина стороны *AB*; γ – угол при точке *C*.

Способ линейной засечки применяют на ровной открытой поверхности и вблизи пунктов геодезической основы на расстояниях, не превышающих длины мерного прибора.

Искомая точка *C* на местности (рис. 16) определяется путем прочерчивания дуг проектных расстояний d_1 и d_2, отложенных от опорных пунктов *A*, *B*.

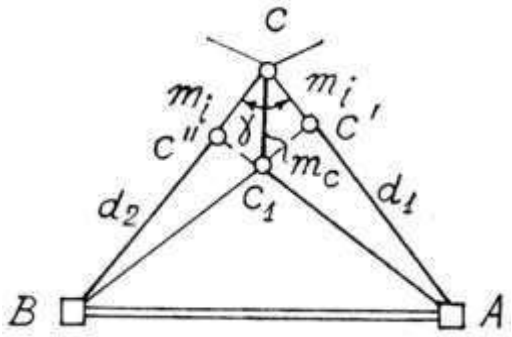


Рисунок 16 - Способ линейной засечки

Расстояния d_1 и d_2 вычисляют из решения обратной геодезической задачи по известной формуле (2.3).

Средняя погрешность m_C определения положения точки С относительно исходных точек *A* и *B* определяется по формуле

$$m_C = \frac{m_i\sqrt{2}}{\sin\gamma} \ ,$$

где $m_i = m_A = m_B$ – средние погрешности измерения расстояний d_1 и d_2; γ – угол при точке *C*.

Способ створной (линейной) засечки широко применяется при разбивке промышленных зданий и инженерных сооружений где, как правило, створы между пунктами разбивочного обоснования параллельны строительным осям и пересекаются под прямыми углами. В общем случае положение точки на местности определяется путем пересечения двух створных линий, закрепленных на двух противоположных сторонах сооружения. В зависимости от вида строительства существует много различных схем построения створной засечки (рис. 17).

Точность построения точки способом створной засечки *m* зависит от точности построения створов *1-1'* и *2-2'* (m_{C1}, m_{C2}), влияния ошибок исходных данных (m_u), а также от точности фиксирования (m_ϕ)

$$m^2 = m_{C1,2}^2 + m_u^2 + m_\phi^2 \ .$$

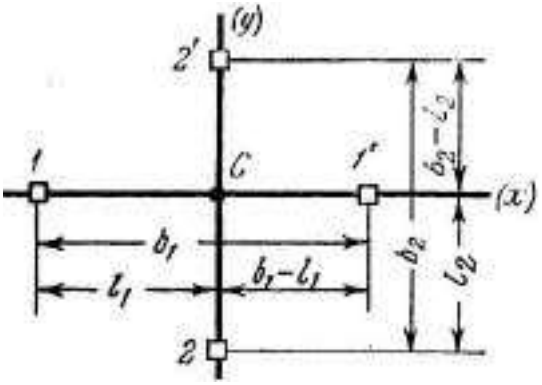


Рисунок 17 - Схема построения точки *C* способом створной засечки

Перенесение в натуру осей сооружений заключается в вынесении, восстановлении и закреплении на местности ряда точек, проекции которых совпадают с проектным положением осей ствола шахты, трасс подъездных путей, ЛЭП, трубопроводов и т.п., используя способы геодезических построений элементов и точек проекта.

Для примера рассмотрим три случая построения проектных осей инженерных сооружений, заданных координатами точек, дирекционным углом, полигонометрическим ходом.

1. Проектная ось шахтного ствола задана точкой *C*, имеющей координаты X_C и Y_C, а также дирекционным углом $\alpha_{пр}$ (рис. 18).

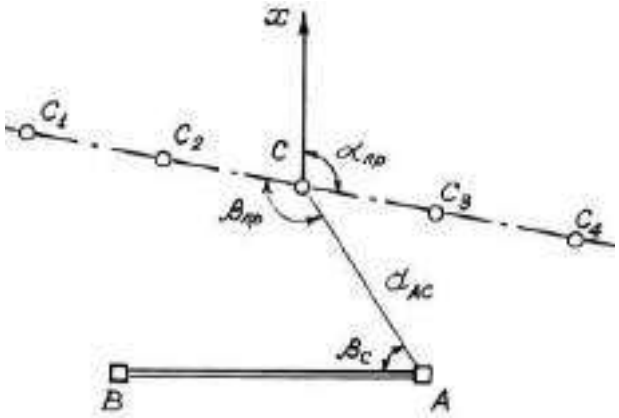


Рисунок 18 - Схема выноса центра и оси ствола

В этом случае, используя опорные пункты *A* и *B* разбивочного обоснования, применяют полярный способ построения точки (см. рис. 18). Решением обратной геодезической задачи определяют полярные координаты точки C – β_C и d_{AC}. Затем выносят искомую точку в натуру и закрепляют ее. По разности дирекционных углов линии AC (α_{AC}) и проектной оси ($\alpha_{пр}$) находят разбивочный угол $\beta_{ПР}$

$$\beta_{ПР} = \alpha_{пр} - \alpha_{AC} .$$

Установив теодолит в точке *C*, откладывают вычисленный угол $\beta_{ПР}$ в натуре (см. построение горизонтального проектного угла) и закрепляют вынесенную ось точками C_1, C_2, … C_i. Для контроля измерения повторяют от пункта *B*.

2. Ось инженерного сооружения задана конечными пунктами P_1 и P_2.

Используя способ полярных координат, определяют угловые и линейные элементы от пунктов опорной сети *A* и *B* для вынесения точек P_1 и P_2 (β_{P1}, β_{P2}, d_{P1}, d_{P2}). Затем с помощью теодолита провешивают выставленную ось между точками P_1 и P_2 и закрепляют, допустим, кольями.

3. Ось задана геометрическими элементами (горизонтальными углами и длинами) полигонного хода, которые последовательно переносятся в натуру от исходных пунктов (например, трассы подъездных путей, тоннелей, коммуникаций и т.п.).

2.4 Геодезическо-маркшейдерская подготовка к разбивке сооружений

Для того чтобы перенести проект инженерного сооружения на местность, необходимо иметь вполне определенные данные для разбивки:

1) плановые координаты точек;
2) проектные и фактические отметки;
3) расстояния до выносимых элементов;
4) уклоны подъездных дорог и площадок;
5) величины угловых и линейных построений.

Геодезические расчеты и набор вышеуказанных составляющих для перенесения проекта в натуру называется геодезической подготовкой исходных данных к разбивке.

Разбивочные величины представляют в удобном для пользования виде: разбивочном чертеже. На нем выписывают все сведения, необходимые для выноски: длины линий, откладываемые в натуре; углы от исходных до проектных направлений; данные для разбивки на местности главных осей сооружений.

Геодезическая подготовка исходных значений может выполняться графическим, аналитическим и графоаналитическим способами.

Графический способ состоит в непосредственном определении по генеральному плану координат точек, расстояний и углов между направлениями с помощью циркуля-измерителя, масштабной линейки и топографического транспортира. Этот способ применяется в случаях, когда не требуется высокой точности вычисления исходных данных для разбивок. Тем не менее, на точность их определения влияют:

- графическая точность построения генерального плана;
- приборные погрешности;
- деформация бумаги.

Деформация бумаги будет оказывать наиболее значительное влияние вдоль осей координат X и Y и характеризуется отношением теоретической длины стороны координатной сетки ℓ_T к измеренной $\ell_И$

$$K = \frac{\ell_T}{\ell_И} ,$$

где K – коэффициент деформации.

Для получения с плана координат точки A необходимо измерить приращения ΔX и ΔY от нижнего левого угла координатной сетки и умножить их на соответствующие коэффициенты деформации K_x и K_y, а затем сложить со значениями этих координат (рис. 19).

Для контроля правильности получения координат точки A, их можно определить от правого верхнего угла сетки аналогичным образом

$$X_A = X'_C - \Delta X' K_x ; \; Y_A = Y'_C - \Delta Y' K_y .$$

При измерении на плане линии ℓ_{AB}, деформация бумаги учитывается следующим образом

$$\ell_{AB} = \ell'_{AB}(K_x \cos^2\alpha + K_y \sin^2\alpha) ,$$

где ℓ'_{AB} – измеренное значение длины; α – измеренное значение дирекционного угла.

В этом случае получим следующие выражения определения координат

$$X_A = X_C + \Delta X K_x ;$$
$$Y_A = Y_C + \Delta Y K_y .$$

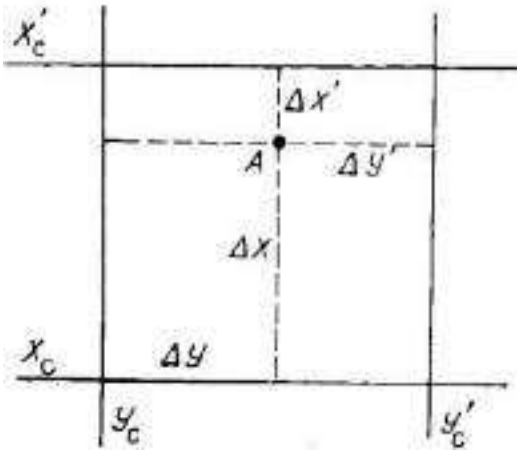


Рисунок 19 - Схема введения поправок за деформацию бумаги

Аналитический способ расчета исходных показателей состоит в математических вычислениях всех данных, необходимых для разбивки проекта. Расчет элементов разбивочных работ ведут от пунктов геодезической сети или твердых контурных точек.

Имея фактические координаты существующих пунктов разбивочной основы и проектные координаты (например, осевых точек сооружений) вычисляют расстояния и направления, связывающие осевые точки между собой и с пунктами опорной сети. Основными определениями, вытекающими из этих целей, являются нахождение расстояний ℓ и углов β при помощи решения обратной геодезической задачи по формуле (2.3).

$$tgr_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\ ;\ \ell = \frac{Y_B - Y_A}{\sin\alpha_{BA}} = \frac{X_B - X_A}{\cos\alpha_{BA}}\ .$$

Разбивочный угол β находят как разность дирекционных углов определяемой и исходной линий

$$\beta = \alpha_{опр} - \alpha_{исх}\,.$$

Способ обеспечивает высокую точность получения разбивочных элементов для выноски их на местность, но является наиболее трудоемким.

Графоаналитический способ подготовки данных разбивки является более оперативным, по сравнению с аналитическим. Он обеспечивает достаточную точность вынесения в натуру строительных элементов и широко используется в строительной практике. В данном способе часть исходных величин берут графически с генеральных или топографических планов, например, размеры существующих зданий, координаты их углов, расстояния, а остальные элементы получают аналитически. Координаты пунктов опорной сети выбирают из ведомостей (каталогов), а дирекционные углы направлений и длины линий вычисляют по формулам обратной геодезической задачи, используя графические определения. Для снижения погрешности за счет деформации бумаги, координаты проектных точек определяют следующим образом.

1. Через точку *A* (рис. 20) проводят линии, параллельные сторонам координатной сетки. Измеряют по плану с помощью циркуля отрезки $\Delta X'$ и $\Delta X''$, $\Delta Y'$ и $\Delta Y''$.

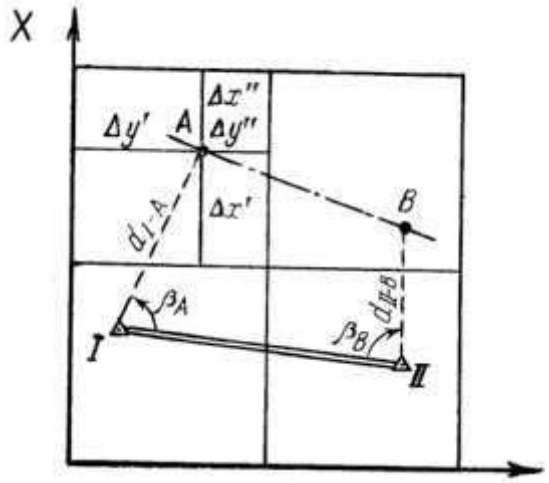


Рисунок 20 - Схема определения координат графоаналитическим способом

2. Вычисляют координаты точки *A*

$$X_A = X'_A + \frac{S}{\Delta X' + \Delta X''}\Delta X';\ Y_A = Y'_A + \frac{S}{\Delta Y' + \Delta Y''}\Delta Y' ,$$

где *S* – теоретическая длина стороны квадрата координатной сетки;

X'_A, Y'_A – координаты точки *A* от юго-западного угла квадрата.

Аналогичным образом определяют координаты точки *B*.

По найденным координатам точек *A* и *B* осей сооружений находят расстояния от точек (*I* и *II*) опорной сети до искомых (*A* и *B*), дирекционные углы $\alpha_{I\text{-}A}$ и $\alpha_{II\text{-}A}$ и разбивочные углы β_A и β_B при опорных пунктах по формулам (2.3)

$$tg\alpha_{I-A} = \frac{Y_A - Y_1}{X_A - X_1} = \frac{\Delta Y_{A-1}}{\Delta X_{A-1}};\ d_{1-A} = \frac{\Delta Y_{A-1}}{\sin\alpha_{A-1}} = \frac{\Delta X_{A-1}}{\cos\alpha_{A-1}},$$

$$\beta_A = \alpha_{I-II} - \alpha_{I-A}\ ;\ \beta_B = \alpha_{II-I} - \alpha_{II-B}\ .$$

Графоаналитический способ подготовки исходных данных позволяет избавиться от невязок за счет погрешностей графического проектирования строительства и элементов геодезического построения. Типовыми задачами, решаемыми при подготовке проекта выноски, являются: прямая и обратная геодезические задачи; нахождение координат точки пересечения двух прямых, прямой и кривой; определение координат центра кривой, створных точек и др. Все эти задачи решаются по формулам аналитической геометрии и сводятся к вычислению в обычной ведомости координат или из решения треугольников.

Пример:

Определить координаты X_0, Y_0 точки пересечения линий AA_1 и BB_1, заданных координатами X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_{A1}, Y_{A1}, X_{B1}, Y_{B1} (рис. 21).

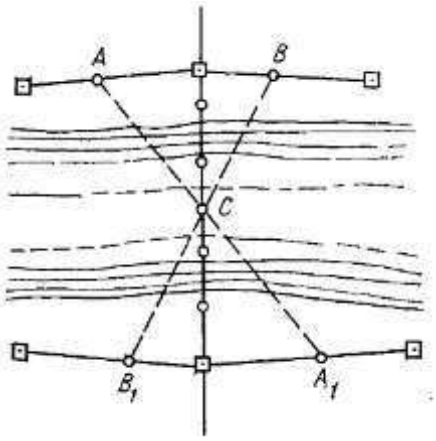


Рисунок 21 - Схема к примеру определения координат точки *C* при пересечении двух прямых

Из решения обратной геодезической задачи (2.3) определяем дирекционные углы α_{AA1}, α_{BB1}, α_{AB1} и длину d_{AB1}. По разности дирекционных углов находим горизонтальные углы в треугольнике AB_1C, по теореме синусов определяем расстояния от точки *C* до одной из точек прямых.

Решая прямую геодезическую задачу, находим координаты точки *C*.

3 ПОНЯТИЕ О ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКЕ, ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ НА ПРОМЫШЛЕННОЙ (СТРОИТЕЛЬНОЙ) ПЛОЩАДКЕ

Вертикальной планировкой называется преобразование естественного рельефа на территории строительной площадки в поверхность, удовлетворяющую техническим требованиям данного сооружения. Проект вертикальной планировки является составной частью генерального плана строительства и в его разработке важное место занимают геодезические расчеты. Основой для составления проекта служат топографические планы в масштабе 1:1000–1:500.

В зависимости от условий эксплуатации возводимых сооружений различают вертикальную планировку под горизонтальную или наклонную площадку. Основными документами проектов вертикальной планировки являются:

- план организации рельефа;
- картограмма земляных работ.

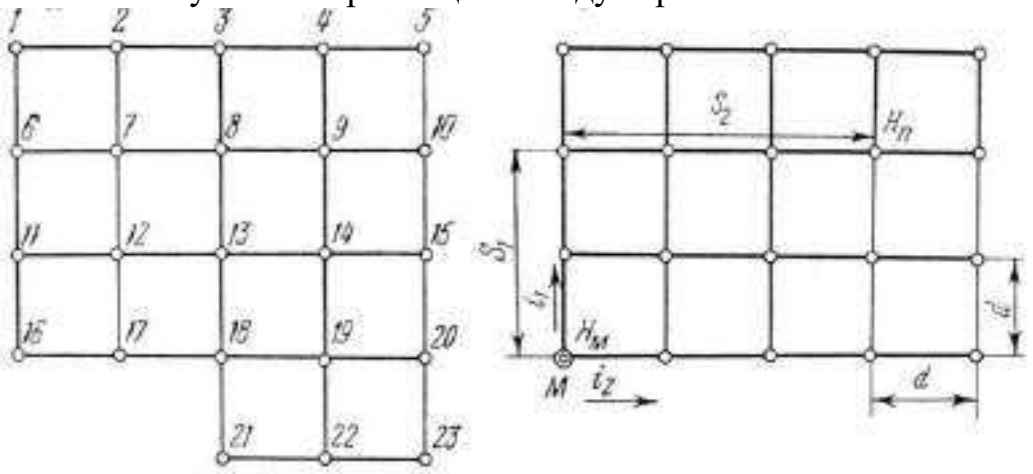
Отметки проектируемой застройки приводят в соответствие с существующей застройкой. Все геодезические расчеты сводятся к определению рабочих отметок создаваемого рельефа – выемки или насыпи.

Для выноса проекта сооружения в натуру производят его геодезическую подготовку (составляют проект геодезической подготовки), включающую:

- аналитический расчет проекта выноски;

- составление разбивочных чертежей с данными привязки главных осей сооружений к пунктам геодезической основы;
- разработку проекта производства геодезических работ (ППГР).

Вертикальная планировка под горизонтальную поверхность обычно предусматривает соблюдение нулевого баланса земляных работ, что означает равенство геометрических объемов выемки и насыпи грунта. В этом случае используют фактические отметки вершин квадратов, полученных при площадном нивелировании (рис. 22, *а*) или из топографической съемки масштаба 1:500 путем интерполяции между горизонталями.



а) *б)*

Рисунок 22 - Вертикальная планировка строительной площадки под:

а – горизонтальную поверхность; *б* – наклонную плоскость

Съемку поверхности (нивелирование площадей) для составления проекта вертикальной планировки чаще всего выполняют методом нивелирования по квадратам или прямоугольникам. Для этого на местности разбивают сетку геометрических фигур со сторонами 10, 20, 50 м и более в зависимости от размеров участка при помощи теодолита и мерной ленты. В это же время ведут съемку подробностей площадки строительства и вычерчивают абрис.

Разбивку квадратов выполняют при помощи теодолита и ленты. На больших площадях для построения сетки возможно использование электронных тахеометров. Каждую вершину квадрата обозначают колышком и сторожком с надписью номера соответствующей вершины.

После разметки участка планировки выбирают схему замкнутого (с целью контроля) нивелирного хода и приступают к нивелированию вершин квадратов.

На местности последовательно устанавливают нивелир в точках *I*, *II*, *III* и вначале берут отсчеты по черной и красной сторонам рейки в связующих точках *1в*, *3б*, и *3г*, рис. 23. После проверки правильности взятых отсчетов, заднюю рейку поочередно устанавливают на соответствующие вершины квадратов согласно схеме нивелирования (рис. 23) и производят

отсчеты только по черным делениям рейки. Все измерения записывают в журнал нивелирования (табл. 4).

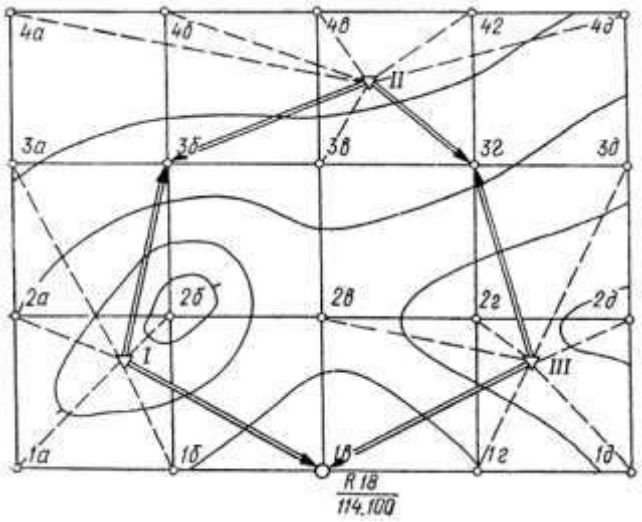


Рисунок 23 - Схема нивелирования по квадратам

При обработке результатов измерений сначала вычисляют превышения и отметки связующих точек хода. Например, отметка *Нзб* точки *3б* будет равна

$Нзб = H_{реп18} + а - в = 114{,}100 + 1{,}228 - 0{,}823 = 114{,}505$ м (не уравненная). Затем через горизонт инструмента (ГИ) вычисляют отметки вершин квадратов

$H_{1б} = ГИ_1 - C_{1б} = 115{,}328 - 0{,}576 = 114{,}752$,

где $C_{1б}$ – отсчет по рейке, установленной на промежуточной точке 1б, табл. 4.

После вычисления отметок всех точек прямоугольной сетки приступают к вычерчиванию плана участка строительной площадки с горизонталями, который используют для составления проекта вертикальной планировки (рис. 24).

Таблица 4 - Журнал технического нивелирования поверхности по квадратам

Станция	Вершина	Отчеты по рейкам, мм			Превышения, мм			Горизонт прибора, м	Абсолютные отметки,м
		задние	передние	промежуточные	вычисленные	средние	исправленные		
I	*1б(R_{18})*	1228 5915						115,328	114,100
	1б			576					114,752
	1а			427	+ 405				114,901
						— 2			
	2а			525		+ 405	+ 403		114,803
	2б			748	+ 405				114,580
	3а			1527					113,801

	3б		823 5510						
II	*3б*	405 5092						114,908	114,503
	4а			2407					112,501
	4б			2006	+ 205				112,902
						− 2			
	4в			2005					
						+ 204	+ 202		112,903
	4г			1607	+ 203				113,301
	4д			402					114,104
	3в			657					114,251
	3г		200 4889						
III	*3г*	2390 7077						117,095	114,705
	3д			1515					115,580
	2г			1075					116,020
	2д			200	− 605				116,895
						− 2			
	1д			1345		− 603	− 605		115,750
	1г			2093	− 601				114,902
	2в			1795					115,300
	1б(R_{18})		2995 7678						114,100

Примечание. f_h = + 6 мм; $f_{h доп}$ = ± 17 мм.

Нулевой баланс земляных работ обеспечивается заданием проектной отметки по следующей формуле

$$H_{ПР} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n}, \qquad (2.7)$$

где $\sum H_1$ – сумма фактических отметок, входящих в один квадрат (1, 5, 16, 23); $\sum H_2$ – сумма отметок вершин, общих для двух квадратов (2, 3, 4, 10, …); $\sum H_3$– сумма отметок вершин, общих для трех квадратов (18); $\sum H_4$– сумма отметок вершин, общих для четырех квадратов (7, 8, 9, …); n – число квадратов.

По разности между проектной отметкой горизонтальной плоскости и фактической (черной) отметки вершины квадрата получают рабочую высоту выемки или насыпи

$$h_n^{РАБ} = H_{ПР} - H_n .$$

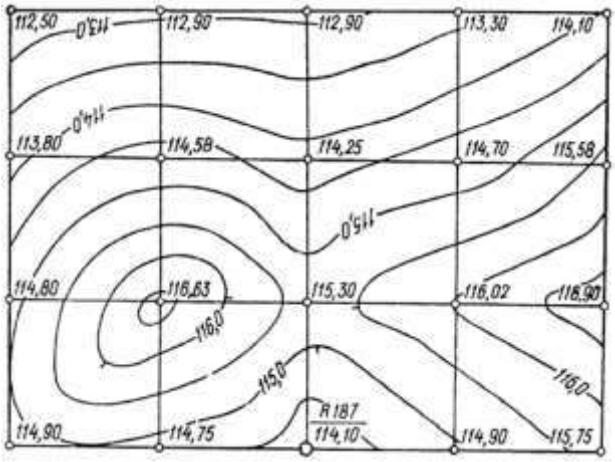


Рисунок 24 - План участка строительной площадки в горизонталях

Рабочие отметки (высоты) подписывают на картограмме земляных работ: со знаком «плюс» – насыпь, «минус» – выемка (рис. 25), а также на сторожках, забитых в вершинах квадратов на местности.

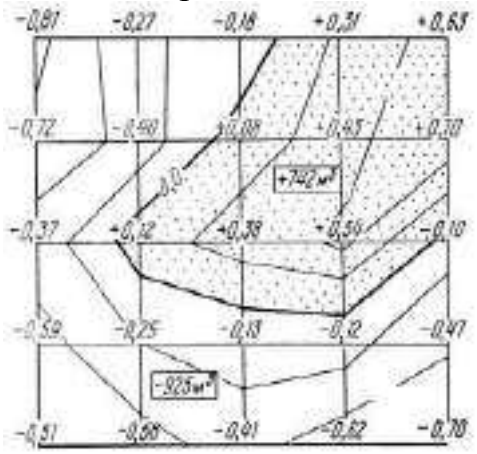


Рисунок 25 - Картограмма земляных работ

Вертикальная планировка под наклонную плоскость производится по заданному проектом уклону $i_{пр}$. Исходными данными являются фактические отметки вершин квадратов, проектная отметка опорной точки M (рис. 22, *б*), а также проектные уклоны по взаимно перпендикулярным сторонам квадратов i_1 и i_2. Проектная отметка точки n определяется из выражения

$$H_n = H_M + i_1 S_1 + i_2 S_2 \ ,$$

где S_1 и S_2 – расстояния по сторонам квадратов от опорной точки M до искомой n.

В частности, проектные превышения по сторонам первого квадрата находятся

$$h_1 = i_1 d \ ; \ h_2 = i_2 d;$$

где d – длина стороны квадрата.

Зная проектные превышения и отметку опорной точки M, находят проектные отметки вершин квадратов, откуда по значениям фактических отметок вычисляют рабочие.

Окончательным графическим документом вертикальной планировки является картограмма земляных работ, (рис. 25). На ней указывают фактические, проектные и рабочие отметки вершин квадратов, а также положение линии нулевых работ и значения объемов выемки или насыпи грунта.

Объемы земляных работ подсчитывают отдельно по каждому квадрату по рабочим отметкам его вершин, раздельно по выемке и насыпке грунта. В зависимости от требуемой точности, характера рельефа местности и конфигурации земляных работ подсчет объемов производят способами объемной палетки П.К. Соболевского, среднего арифметического, параллельных сечений, правильных геометрических фигур.

По окончании расчетов сводят баланс земляных работ, где указывают избыток или недостаток грунта вертикальной планировки строительной площадки. Для упрощения подсчета насыпных работ, как правило, объем засыпки производят без учета коэффициента разрыхления.

4 ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

4.1 Работы нулевого цикла

Геодезическое обеспечение в гражданском и промышленном строительстве подразделяется на работы, связанные с обслуживанием нулевого цикла и на работы, выполняемые выше нулевой отметки.

В состав нулевого цикла входят:

- рытье котлованов и траншей (с зачисткой дна и откосов);
- монтаж фундамента, стен, подвалов;
- устройство приямков, лифтовых шахт;
- присоединение дворовых коммуникаций;
- монтаж оборудования в подвальном помещении (котлов, насосов, вентиляционных устройств и др.).

Заканчивается подземный цикл возведением объектов до нулевой отметки: чистого пола первого этажа.

Перед началом работ нулевого цикла производят разбивку осей зданий и сооружений. Различают три вида осей (рис. 26):

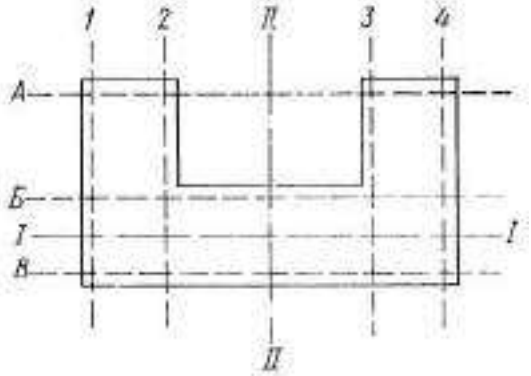


Рисунок 26 - Главные и основные оси здания

Главные оси – две взаимно перпендикулярные линии, относительно которых здание (сооружение) располагаются симметрично. Их обозначают на генеральном плане римскими цифрами.

Основные оси проходят по контуру здания (сооружения). Продольные оси обозначают буквами, а перпендикулярные к ним линии – арабскими цифрами.

Вспомогательные или разбивочные оси служат для детальной разбивки частей и элементов сооружений. Располагаются они по отношению к основным осям как под углом, так и параллельно к ним в зависимости от конструкции сооружения.

При разбивке главных и основных осей, именуемой основными геодезическими разбивочными работами, их закрепление производят четырьмя осевыми пунктами (знаками), по два с каждой стороны здания (рис. 27).

Знаки должны располагаться на одинаковом расстоянии от сооружения, составляющим, по возможности, полторы его высоты с целью передачи осей со створных пунктов на строящиеся этажи. В дополнение оси можно закреплять краской на стенах существующих зданий.

Кроме плановой разбивки на местности для каждого возводимого сооружения создается высотное обоснование в виде двух рабочих реперов. Место их установки выбирается с учетом удобства пользования и сохранности на весь период строительства. Отметка чистого пола первого этажа принимается за нуль, поэтому все отметки ниже пола будут отрицательными. Перенос отметки строительного нуля на рабочие реперы осуществляется геометрическим нивелированием.

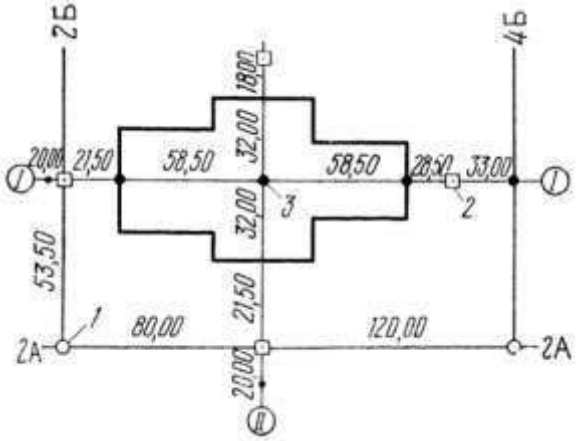
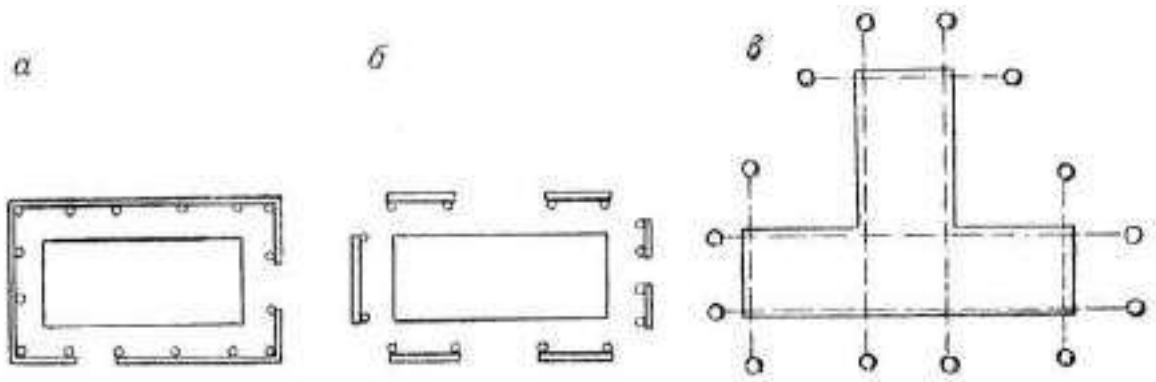


Рисунок 27 - Схема расположения и привязки главных осей: *I-I, II-II*

По завершении разбивки и закреплении главных и основных осей, установки рабочих реперов составляют акт приемки-передачи разбивочных работ с приложением схемы закрепления осей по установленной форме.

Детальные разбивочные работы нулевого цикла осуществляют с помощью обноски: специального ограждения, установленного по внешнему контуру строящегося здания (рис. 28).



а) *б)* *в)*

Рисунок 28 - Варианты обноски: *а* – сплошная; *б* – разреженная; *в* – створная

Сплошная обноска представляет из себя вкопанные по периметру вокруг здания столбы на расстоянии 2–4 м с прибитыми к ним на высоту 0,5–1,2 м обрезными досками. Для въезда/выезда транспорта в зону строительства в отдельных местах ограждения делают разрывы.

Разреженная обноска устраивается только в местах расположения основных осей здания аналогично сплошной.

Створная обноска состоит из отдельных пар вкопанных столбов, установленных в створах всех осей здания. Срезы столбов выполняют на одной высоте.

Относительная погрешность линейных измерений при разбивке осей с помощью обноски достигает 1/10 000–1/25 000. Для соблюдения высокой точности разбивочных работ к устройству обноски выдвигаются следующие требования:

- створность столбов устанавливают по теодолиту;
- высоту обноски выносят нивелиром;
- разбивку обноски выполняют от створных знаков главных или основных осей;
- точки закрепления главных и основных осей переносят на обноску с помощью теодолита;
- положение вспомогательных (разбивочных) осей определяют на обноске линейными промерами.

4.2 Маркшейдерско-геодезические работы при устройстве котлованов под фундаменты

Разбивочные работы. Способы геодезических разбивочных работ зависят от конструкции и глубины заложения фундамента. Например, разбивка контуров неглубоких котлованов и траншей под ленточные фундаменты производится от основных осей с обноски. В этом случае вдоль меток оси натягивают стальную проволоку (струну) и с помощью отвесов ось переносят на земную поверхность, фиксируя ее колышками. Затем вправо

и влево от оси откладывают необходимые расстояния, в сумме составляющие ширину фундамента, и закрепляют кольями. Шнур, натянутый по кольям, обозначает границу траншеи.

При разработке глубоких котлованов разбивку их контуров выполняют понизу и верхней бровки от главных или основных осей. При этом до выполнения земляных работ обноску обычно не устраивают. Границу верхней бровки рассчитывают по каждому углу котлована с учетом величины «*a*» (расстояния нижней бровки котлована от фундамента) по формуле

$$\Delta d_i = (H_i - H_0)m,$$

где H_i – отметка земли на каждом углу; H_0 – отметка дна котлована; m – крутизна откоса, рис. 29.

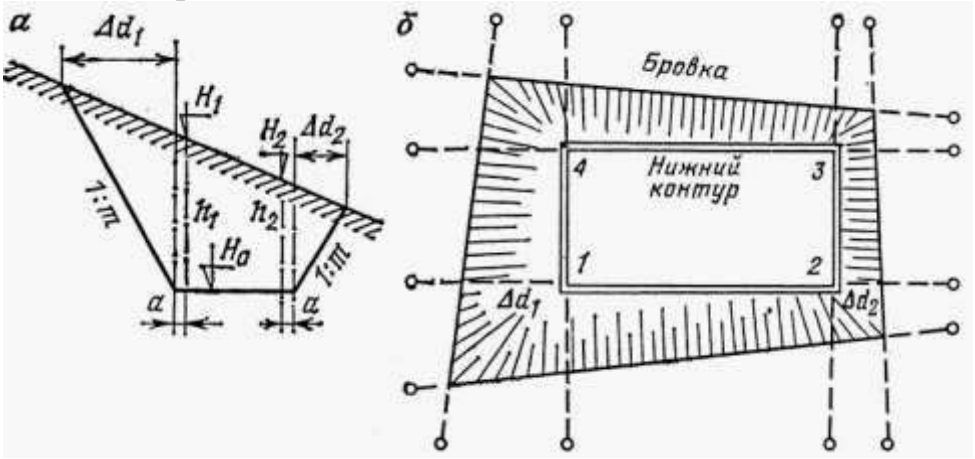


Рисунок 29 - Схема разбивки котлована под фундаменты: *а* – разрез по 1–2; *б* – план разбивки котлована по нижней и верхней бровкам

Средние квадратические погрешности разбивки границ котлована не должны превышать 3 см.

В процессе разработки котлованов выполняют систематический контроль за их углубкой с помощью горизонтальных визирок и геометрического нивелирования для неглубоких выемок. Контроль глубины разработок со значительными размерами ведут тригонометрическим нивелированием (рис. 30), при котором глубина выемки определяется по формуле

$$h = 0{,}5(Kn + c)\sin 2\nu,$$

где K – коэффициент нитяного дальномера; n – число сантиметровых делений рейки между нитями; c – постоянная дальномера; ν – вертикальный угол.

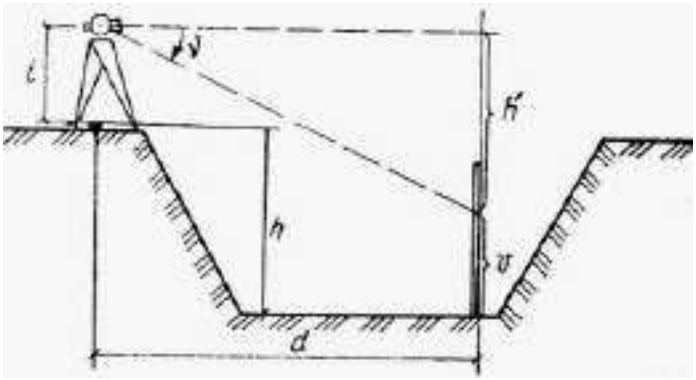


Рисунок 30 - Схема контроля глубины выемки котлована

Среднюю квадратическую погрешность определения глубины котлована вычисляют из выражения

$$m_h^2 = (1/2\sin 2v)^2 m_d^2 + (d\cos 2v)^2 m_v^2 / \rho^2,$$

где m_d и m_v – погрешности измерения расстояния и вертикального угла соответственно.

После окончательной разработки и зачистки дна котлована определяют объем земляных работ, выполняют исполнительную съемку, на которой показывают фактические и проектные размеры, отметки дна, смещения.

Перенос осей осуществляют в зависимости от глубины выемки и вида фундаментов с помощью: створной засечки теодолитом (рис. 31); отвесов, закрепленных на монтажных струнах; обноски, возведенной на дне котлована.

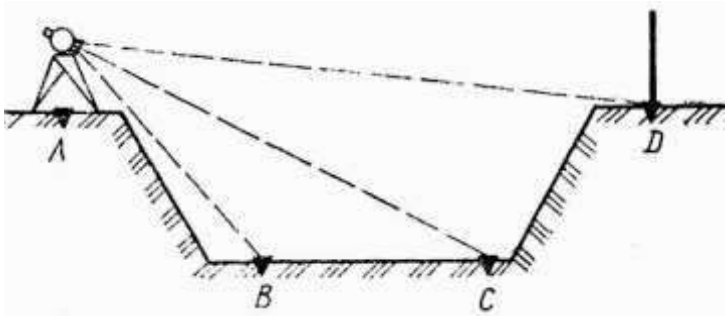


Рисунок 31 - Схема переноса осей на дно котлована

Отметку на дно выработки передают способом геометрического нивелирования с использованием вывешенной вертикально рулетки. Перед этим на дне закладывают два временных репера (марки). Отметку репера, на который осуществляется передача координаты H_{p2}, вычисляют по формуле, вытекающей из рис. 32:

$$H_{p2} = H_{p1} + a - в - (c - d).$$

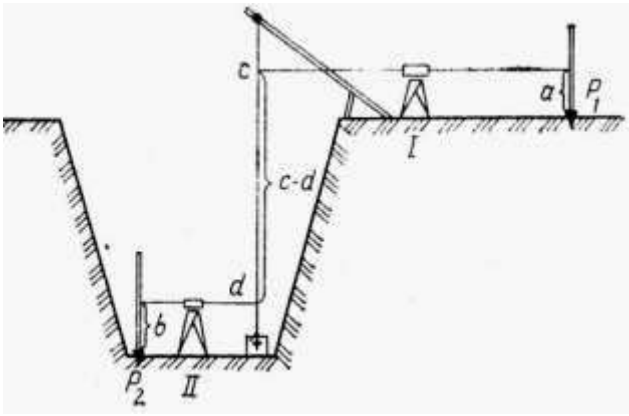


Рисунок 32 - Схема переноса отметки на дно котлована

При этом используют как абсолютную систему высот, так и условную.

Геодезические работы, осуществляемые при возведении фундаментов, зависят от их конструкции, методов и средств монтажа, технологии производства строительно-монтажных работ. Известны ленточные и сплошные (плитные) фундаменты, свайные, монолитные и сборные.

Сборные ленточные фундаменты укладывают на выровненную поверхность, горизонтальность которой контролируют нивелиром. Перед укладкой блоков на их грани наносят установочные риски, служащие для совмещения с осями, вынесенными на дно котлована.

Монтаж фундамента начинают с установки угловых блоков с помощью двух теодолитов, расположенных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а также используя оси, заданные струной из стальной проволоки. Установочные риски совмещают с остриями отвесов, опущенных со струны. Через 15–20 м от угловых блоков вдоль осей размещают маячные блоки, служащие для ориентирования при возведении остальной части фундамента.

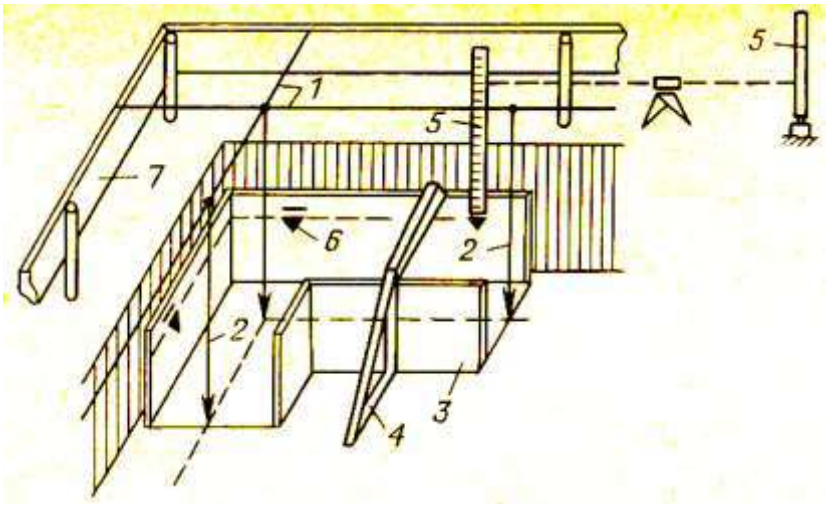


Рисунок 33 - Схема установки опалубки под монолитные фундаменты: 1 – проволочные струны; 2 – отвесы; 3 – щиты опалубки; 4 – крепежные элементы; 5 – мерная рейка; 6 – отметка бетонирования; 7 – обноска

После окончательной выверки в плане и по высоте угловых и маячных блоков между ними натягивают шнур-причалку на расстоянии 15–20 мм от их граней. Промежуточное фундаментное основание устанавливают, ориентируясь на угловые и маячные блоки по шнуру.

Монолитные железобетонные фундаменты (рис. 33).

Монолитные фундаменты возводят по свайному основанию и непосредственно по дну котлована с помощью опалубки. Разбивка под опалубку начинается с проверки высотной и плановой подготовки дна котлована.

4.3 Геодезические выноски и измерения при строительстве надземной части сооружений

Перекрытие первого этажа сооружения является нулевым или исходным монтажным горизонтом. С целью возможности возведения надземной части здания (сооружения) на нулевом перекрытии создаются плановая и высотная геодезические сети. Способы и точность их развития зависит от методов строительного производства, количества этажей здания и конструктивных решений.

При возведении невысоких зданий их основные оси передают от створных знаков и закрепляют на верхнем срезе цоколя (рис. 34). Затем выполняют контрольные промеры и в дальнейшем переносят оси на вышележащие монтажные горизонты от закрепленных на цоколе рисок.

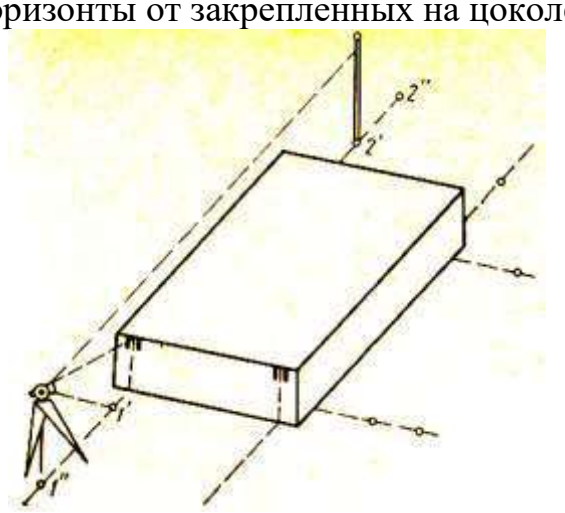


Рисунок 34 - Схема построения осей на основном монтажном горизонте

При повышенных требованиях к точности строительства сооружения (например, высоких зданий), на нулевом монтажном горизонте создается внутренняя разбивочная основа в виде правильных геометрических фигур. Вначале выносят главные или основные оси *А*, *Б*, *1*, *8*, а затем намечают положение пунктов разбивочной сети на расстояниях *а*, *в*, *с* и *d* от вынесенных осей (рис. 35).

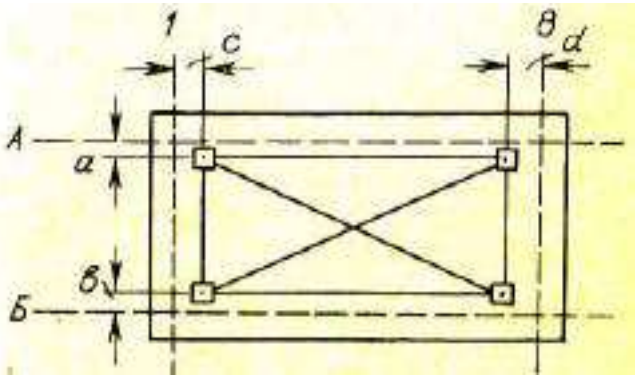


Рисунок 35 - Разбивочная сеть на нулевом перекрытии

Положение центров выбирают исходя из удобства установки прибора, а также обеспечения видимости между соседними знаками в процессе возведения конструкций на этаже. Желательно предусмотреть устройство технологического отверстия в плитах перекрытия.

5 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ В ПРОМЫШЛЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Под исполнительной съемкой понимают комплекс угловых, линейных и высотных геодезических измерений, целью которых является определение фактического положения строительных элементов относительно друг друга в пространстве, а также соответствие их проектным показателям.

Общий состав работ по ведению исполнительных съемок в строительстве включает:

- создание или пополнение съемочного обоснования;
- планово-высотную детальную съемку элементов строительства, их узлов и отдельных конструкций (в том числе поэтажную съемку);
- планово-высотную съемку наземных и подземных коммуникаций;
- контурную съемку завершенного строительства;
- составление маркшейдерско-геодезической документации.

Рассмотрим более подробно обозначенный состав работ.

Создание съемочного обоснования (или его пополнение) производится в случае утраты части пунктов в процессе строительства и осуществляется известными методами: полигонометрических ходов, строительной сетки, цепочки треугольников и др.

Планово-высотную детальную съемку элементов строительства и различных коммуникаций производят с пунктов съемочного обоснования, разбивочной сети, а также разбивочных осей, красных линий, знаков геометрического нивелирования. Ее ведут теми же методами и приборами, что и детальную разбивку осей сооружений. Точность результатов исполнительной съемки должна быть не ниже точности проведения разбивочных

работ, а саму съемку осуществляют преимущественно способом прямоугольных координат, створов, линейных и угловых засечек, геометрического нивелирования. Исполнительные съемки выполняются на протяжении всего строительства, начиная от разбивки осей и заканчивая приемкой его государственной комиссией, при этом заключаются в проведении комплекса геодезических работ для определения планового и высотного положения окончательно установленных конструкций.

В зависимости от этапа строительства исполнительные съемки подразделяют на текущие и окончательные.

Текущие исполнительные съемки ведутся по мере возведения сооружения и завершают каждый вид строительно-монтажных работ с составлением основного технического документа. Его результаты позволяют судить о качестве выполненных работ, подсчитать их объемы, если это необходимо, сделать изменения в проекте. Исполнительной съемке подлежат те элементы и части зданий и сооружений, от правильного положения которых зависит прочность и устойчивость всего сооружения, а также точность установки последующих конструкций. Виды конструкций и этапы строительства, подлежащих исполнительной съемке, порядок и очередность геодезических измерений, их точность и применяемые приборы определяет проект производства геодезических работ.

Текущая исполнительная съемка фиксируется на схемах, на которых указывают все проектные и фактические размеры, а также отметки конструкций и элементов сооружений, расстояния между осями, величины и направления отклонений от проектных положений. Особое внимание обращают на исполнительную съемку частей и конструкции сооружений, становящихся впоследствии недоступными для измерений или подлежащих засыпке грунтом: днища котлованов, оголовки свай, закладные детали монолитных фундаментов, анкерные болты под оборудование, подземные коммуникации и др.

Высотное положение конструкций определяется методом геометрического или гидростатического нивелирования от реперов высотного обоснования или в условной системе высот.

Вертикальность конструкций высотой до 5 м выверяется рейкой-отвесом или рейкой-уровнем. При большей высоте применяют способы вертикального или наклонного проектирования. Результаты исполнительной съемки необходимо контролировать путем промеров между точками и контурами, определяемыми независимыми путями при съемке, а также сравнением их с проектными размерами.

Для съемки фундаментов в плане на их верхние и боковые грани переносят оси, от которых выполняют все замеры. Высотная съемка выполняется от временных реперов, установленных на дне котлована в непосредственной близости от возводимого сооружения на поверхности. Отметки определяются по верху фундамента в местах пересечения осей и через 3–5

м между осями, а также дна и верха фундаментов стаканного типа. При возведении наземной части зданий и сооружений на каждом монтажном горизонте выполняется исполнительная съемка планового положения колонн, панелей, блоков, а также их вертикальности, высотного положения опорных площадок и перекрытий, закладных деталей, оконных проемов и других элементов возводимого сооружения.

Повышенное внимание следует уделять исполнительной съемке при строительстве подземных коммуникаций, которая должна выполняться вслед за строительно-монтажными работами. При этом определяется плановое положение оси коммуникации, соблюдение проектных уклонов, выполняется подсчет объемов земляных работ. Исполнительные съемки при строительстве наземных коммуникаций заключаются в определении планового положения осей земляного полотна, выемок и насыпей, кривых, опор и их фундаментов.

Окончательные исполнительные съемки выполняются после завершения строительства объекта. Они производятся раздельно от пунктов плановой и высотной съемочной (разбивочной) геодезической основы в масштабах 1:500, 1:1 000. Если пункты съемочного обоснования частично утрачены, их восстанавливают и для удобства располагают параллельно линиям застройки.

Контурная съемка (исполнительная съемка контуров) выполняется после завершения всего строительства и благоустройства его территории с целью составления исполнительного генерального плана.

При съемке контурных точек, их координаты вычисляют по результатам геодезических измерений. Точками определения являются углы зданий и сооружений, пересечения осей сетей воздушных, наземных и подземных коммуникаций, центры колодцев, проезды, вершины углов поворота трасс и др.

Кроме съемки и определения координат основных точек, в натуре измеряют габариты и элементы зданий и сооружений, которые невозможно отобразить непосредственно на плане. Поэтому на заготовленных заранее абрисах показывают проемы, входы в здание, вводы и выходы коммуникаций, характеристики сооружений (назначение, этажность, строительные материалы и др.). На обмерных чертежах выписывают координаты основных углов, заносят размеры отдельных и общих частей и сторон здания, выступающих элементов его фасада.

Вертикальная съемка строительства ведется от марок и реперов геодезического обоснования геометрическим или тригонометрическим способами. Помимо съемки рельефа определяются отметки всех вышеперечисленных точек плановой съемки, а также бровок и днищ земляных выемок, кюветов, насыпей и др.

Исполнительная съемка подземных коммуникаций выполняется от пунктов планово-высотного обоснования или четких контуров каменных

строений общепринятыми методами в масштабах от 1:5 000 до 1:200 по мере возведения и монтажа сетей. По результатам съемки вычисляют плановое положение углов поворота трасс и точек их осей через 50 м, центры люков колодцев, начала, середину и конец кривых, расположение входов в здания. В обязательном порядке определяют отметки люков всех колодцев, лотков канализационных, водосточных и дренажных коммуникаций, верха труб и пола каналов теплотрассы и энергетических прокладок.

Съемка подземных коммуникаций сопровождается отображением ситуации земной поверхности полосой 20 м в обе стороны от оси трассы. Плановое положение колодцев коммуникаций контролируется промерами расстояний между центрами люков.

Каждая строительно-монтажная организация обязана иметь полный комплект маркшейдерско-геодезической документации.

Маркшейдерско-геодезическая документация в строительстве подразделяется на проектную, обязательную маркшейдерско-геодезическую и исполнительную.

Проектная техническая документация является основой для организации производства маркшейдерско-геодезических работ. Особое место в ней занимает генеральный план, который содержит проектные решения на вертикальную планировку, строительство инженерных сетей, коммуникаций и т.д., служит базовым документом для вынесения проекта в натуру. В его состав входят графические материалы в виде ситуационного плана размещения объектов в масштабе 1:5 000–1:25 000 (в зависимости от сложности строительства), генерального плана с нанесением существующих, подлежащих сносу и проектируемых зданий, сооружений, дорог для всех видов транспорта, пусковых комплексов, благоустройства и озеленения территории. Здесь же приводятся типы покрытия внутриплощадочных дорог, картограмма земляных работ, инженерные коммуникации, схемы грузопотоков и др.

В общей проектной документации существуют дополнительные планы, схемы и решения (технологическая и строительная части, организация строительства, рабочие чертежи), которые используются по их прямому назначению.

Обязательная маркшейдерско-геодезическая документация подразделяется на первичную, вычислительную и графическую.

Первичная документация представлена журналами измерения базисов, полигонометрических и теодолитных ходов, нивелирования, топографических съемок. Сюда же входят журналы выноса в натуру проектных геометрических элементов строительства, маркшейдерско-геодезического контроля и других необходимых измерений; различные акты о производстве выполненных разбивок осей и т.п.

Журналы измерений, разбивок и съемок имеют стандартные размеры (148 х 210 мм) и регистрационные номера. На последней странице указы-

вают общее количество пронумерованных страниц за подписью главного геодезиста или маркшейдера. Записи в журналах ведут карандашом, их достоверность проверяют в камеральных условиях, о чем делают соответствующие пояснения.

Вычислительная документация содержит журналы вычислений длин базисов, уравнивания и вычисления окончательных координат триангуляции, решения треугольников, обработки длин сторон полигонометрии и вычисления координат, уравнивания нивелирных ходов и вычисления высотных отметок, координат пунктов плановой разбивочной и съемочной основы. Журналы имеют стандартные размеры 297 х 210 мм, им присваивают порядковые номера, указывают общее число пронумерованных страниц (их число не должно превышать 100) за подписью главного маркшейдера или геодезиста. Записи вычислений ведут четко и разборчиво, ошибочные результаты перечеркивают и делают пояснения за подписью лиц, производивших эти вычисления. В журналах вычислений делают ссылки на номера страниц и журналов полевых измерений, из которых выписаны исходные данные. По результатам определений составляют каталоги координат и высот по видам и разрядам всех пунктов геодезических сетей, а также других необходимых параметров строительства. В дополнение к журналам ведут различные ведомости (например, приведенных направлений для пунктов триангуляции, углов поворота главных осей инженерных коммуникаций и др.).

Графическая документация представляет собой обязательные основные и специальные планы, профили, разрезы, проекции, составленные по результатам маркшейдерско-геодезических съемок и измерений. Они являются важнейшими техническими и юридическими документами строительства, а также служат основой для составления всех остальных видов графических материалов. В виду этого маркшейдерско-геодезическая графическая документация должна быть выполнена с необходимой точностью, полнотой и достоверностью.

Примерный перечень основной и специальной графической маркшейдерско-геодезической документации приведен в табл. 5.

Конкретный состав графических материалов определяется в зависимости от вида отрасли или строительства, а также специфики возведения объектов, объемов работ, конструктивных решений и регламентируется специальными инструкциями. Уточненный комплект этой документации устанавливается маркшейдерско-геодезической службой генеральной подрядной организации, согласовывается с заказчиком и утверждается техническим руководством.

Чертежи, составляемые непосредственно по результатам геодезической или маркшейдерской съемки, являются оригиналами и выполняются на планшетах или листах бумаги высшего качества и стандартных разме-

ров. Допускается применение прозрачных материалов из листов винипроза или пленок лавсана, хостофена и др.

Планшеты изготавливают самостоятельно на жесткой, полужесткой или мягкой основе в зависимости от оснащенности предприятия современными технологиями и оборудованием, или заказывают специализированным организациям.

Таблица 5 - Примерный перечень основной и специальной графической маркшейдерско-геодезической документации приведен

Вид документа	Масштаб
Состав основной маркшейдерско-геодезической графической документации	
Обзорная карта района строительства	1:10 000–1:25 000
Сводные планы строительно-монтажных площадок	1:5 000–1:10 000
Сводный план внешних линейных сооружений	1:5 000–1:10 000
План промышленного предприятия, комплекса, объекта	1:500–1:200
План строительства отдельных подсобных предприятий	1:1 000–1:2 000
Планы строительных карьеров	1:500–1:2 000
Состав специальной маркшейдерско-геодезической графической документации	
План геодезической плановой и высотной основы	1:5 000–1:25 000
План наземных зданий и сооружений	в масштабе основного плана
План подземных инженерных коммуникаций и сооружений	1:500–1:2 000
План надземных линий и сооружений	1:500–1:2 000
Планы разбивки и закрепления главных, основных и вспомогательных осей зданий и сооружений	в масштабе рабочих планов
Картограмма геодезической и топографической изученности	1:10 000–1:50 000
Исполнительные планы, профили, проекции и разрезы законченного строительства	в масштабе рабочих чертежей
Схема расположения планшетов	—

Динамика строительного производства характеризуется постоянным изменением ситуации на промышленной (строительной) площадке. В силу этих изменений ведут *оперативный* (или рабочий) маркшейдерско-

геодезический план территории строительства, представляющий комплекс исполнительных графических материалов. Основное назначение этого документа состоит в своевременном и достаточно точном отражении всех изменений в строительстве, происходящих на промышленной площадке.

На крупных строительных предприятиях для ведения оперативных планов создается специальная группа специалистов, на небольших объектах – ими занимается маркшейдерско-геодезическая служба.

В комплект материалов оперативного маркшейдерско-геодезического плана входит следующая документация:

- основная графическая (сводные и основные планы, профили, разрезы);
- детальная (по объектам);
- вспомогательная (обосновывающая и пояснительная).

Кроме того, в составе оперативного плана имеются сведения по назначению объекта, геометрических размеров объекта в натуре, координат угловых и основных точек, даты сдачи в эксплуатацию и т.п.

Исполнительная маркшейдерско-геодезическая документация подразделяется на текущую, выполнение которой осуществляется в процессе возведения зданий и сооружений, и приемо-сдаточную, т.е. документацию законченного строительства. В совокупности исполнительные материалы должны давать полное представление о фактическом состоянии строительства и его частей.

Текущая документация используется для внутреннего контроля за правильностью ведения строительства объектов и является основанием для выдачи разрешений на производство дальнейших работ. Она включает в себя исполнительные акты и схемы разбивки осей, котлованов, свайных полей, устройство опалубки, детальную разбивку на нулевом (монтажном) горизонте, схемы нивелирования бетонной подготовки под полы.

При возведении надземной части зданий и сооружений исполнительная документация состоит из схем создания разбивочной сети на монтажном горизонте, планово-высотных отображений установки стенных панелей, расположения оконных и дверных проемов, плит, перегородок и др.

Приемо-сдаточная документация готовится на основе текущей после завершения определенного этапа строительства и включает следующие основные материалы:

1) планово-высотные схемы по всем видам инженерных коммуникаций (схемы и акты на разбивку и приемку трассы и ее сооружений, исполнительный план и профиль, размеры колодцев и камер, каталог координат и высот, полную характеристику коммуникаций);
2) планово-высотные схемы и акты приемки разбивочных и выполненных работ по земляным сооружениям (готовому котловану, земляному полотну дорог, траншеям и др.);

3) планово-высотные схемы и акты на устройство фундаментов (свайные поля, сборные и монолитные ленточные фундаменты, стаканы под установку колонн и др.);
4) исполнительные чертежи планово-высотной съемки колонн, подкрановых балок и путей, ферм и балок перекрытий;
5) схемы плановой, вертикальной и высотной поэтажных съемок;
6) исполнительные съемки кирпичных, блочных и панельных зданий, их полов, плит перекрытий;
7) исполнительные планово-высотные схемы на законченные этапы возведения различных зданий и сооружений в зависимости от их назначения (лифтовых шахт, плотин, каналов, тоннелей метро и др.).

Приемо-сдаточная документация подписывается главным маркшейдером или геодезистом и предъявляется при сдаче объекта в эксплуатацию.

Отчетная документация исполнительной съемки представляется исполнительным генеральным планом и дополнительными (исполнительными) чертежами. Исполнительный генеральный план включает в себя план всей территории законченного строительства масштаба 1:500. На нем показывают координатную сетку, пункты геодезического обоснования, центры строительной сетки, гидрографию, рельеф, все здания и сооружения, нанесенные после приемки их государственной комиссией.

Исполнительные чертежи дополняют генеральный план съемкой сложных участков масштаба 1:200, планом подземных коммуникаций масштабов 1:1 000–1: 2 000 с приложением каталога координат и высот колодцев, их эскизов, абрисов, обмерных чертежей отдельных частей, деталей зданий и сооружений.

6 МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ БУРОВЫХ СКВАЖИН

6.1 Основные положения

Организации, составляющие проекты разведки, строительства скважин, технологические схемы, должны представить заказчику ведомость проектных координат забоев скважин. В случае наклонной скважины в ведомости дополнительно приводят координаты забоев по кровле каждого продуктивного горизонта.

Местоположение устьев скважин выбирают и уточняют в натуре с обязательным использованием имеющейся горно-технической документации: маркшейдерских, топографических, землеустроительных планов и карт, геологических и структурных карт.

Перенесение в натуру устьев скважин, разбивку и закрепление направлений смещения забоев для наклонных скважин производят маркшейдерско-геодезические службы предприятия-заказчика на основе проектных значений координат устья, забоя и дирекционного угла горизонтальной проекции смещения забоя. Если условия местности не позволяют

закрепить направление смещения забоя, то разбивают ориентирное направление.

При проектировании местоположения устьев скважин и направлений их стволов следует учитывать требования пожарной безопасности, существующие подземные коммуникации и другие объекты обустройства, а также пространственное положение стволов и забоев ранее пробуренных и бурящихся скважин.

6.2 Перенесение в натуру проектного положения устьев скважин

Перенесение проектного положения устьев скважин в натуру производят на основании письменного распоряжения (задания), подписанного главным геологом предприятия – заказчика.

Работы по перенесению в натуру проектного положения устьев скважин включают:

- подбор топографо-геодезических, картографических и аэрофотосъемочных материалов;
- подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру;
- перенесение в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин;
- предварительное определение высот вынесенных в натуру устьев скважин;
- передачу по акту местоположения устьев скважин представителю организации, производящей бурение.

Предельные погрешности перенесения в натуру проектного положения устьев скважин относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения не должны превышать значений, указанных в табл. 6.

Таблица 6 - Предельные погрешности перенесения в натуру проектного положения устьев скважин относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения

Группа скважин	Предельные погрешности, м	
	перенесения в натуру планового положение устьев скважин	предварительного определения абсолютных высот устьев скважин
Одиночные опорные и параметрические скважины (1 группа)	150	15
Структурные и поисковые скважины, закладываемые по профилям и на площадях	50	10
Разведочные скважины (2 группа)	25	5
Все категории скважин на раз-	10	5

рабатываемых месторождениях (3 группа)		

В случае отступления от требований при разбуривании месторождений сеткой обособленных скважин (без кустования) предложения об изменении проектных координат устьев должны вноситься комиссиями, состоящими из представителей нефтедобывающих и буровых предприятий, а также работников маркшейдерской службы. Комиссия принимает решение после рассмотрения на местности вынесенных в натуру устьев скважин, исходя из условий орогидрографии и застроенности территории месторождения.

Решение об изменении проектного положения устьев скважин должно быть оформлено актом выбора площадок для бурения, утверждаемым руководителями добывающих и буровых предприятий.

При невозможности достижения проектного местоположения забоя скважин при первоначальном, а также измененном положении устья решение о возможности и целесообразности бурения скважины должен принимать главный геолог объединения по согласованию с авторами ПТД разработки месторождения.

Изменение проектного положения устьев параметрических, поисковых и разведочных скважин, как исключение, допускается, если оно не влечет изменения геологических задач, решаемых данной скважиной. При этом обязательно требуется письменное разрешение главного геолога предприятия.

Документация по перенесению в натуру проектного положения устьев скважин включает:

- решение на перенесение проектного положения устья скважин в натуру, а при смещении его проектного положения и документ, разрешающий это смещение;
- маркшейдерский план площадки, отведенной для бурения скважины, или абрис вынесенного и закрепленного устья скважины;
- документ сдачи перенесенных в натуру мест заложения устьев скважин;
- журналы полевых измерений, ведомости вычислений, каталоги координат и высот устьев скважин.

Плановую и высотную привязки устьев скважин производят после монтажа буровой установки.

Координаты и высоты вычисляются и вносятся в каталоги координат и высот устьев скважин. По вычисленным координатам устья скважины наносятся на маркшейдерско-геодезические планы.

Таблица 7 - Предельные значения погрешностей определения планового и высотного положений устьев скважин относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения 1 и 2 разрядов:

Группа скважин	Предельные погрешности определения положения устьев скважин, м	
	в плане	по высоте
Одиночные опорные и параметрические скважины (1 группа)	100	5,0
Структурные и поисковые скважины, закладываемые по профилям и на площадях	25	1,0
Разведочные скважины (2 группа)	10	0,5
Все группы скважин на эксплуатационных площадях	4	0,3

Для решения задачи перенесения проектного местоположения устьев скважин в натуру допускается использовать топографические карты, обеспечивающие требуемую в табл. 6 точность. При этом в зависимости от группы скважин (см. табл. 6)масштаб топографических карт должен быть не мельче:

Группа скважин

1) 1:100 000
2) 1:50 000
3) 1:25 000
4) 1:10 000–1:5000

Допускается использовать следующие методы перенесения устьев скважин в натуру: совмещение устьев скважины с четко выраженным контуром, промер вдоль контура, метод створов, линейная засечка и др. При построении линейной засечки на местности по расстояниям, взятым с карты (не менее чем от трех контуров), сторона треугольника погрешности не должна превышать значения предельной стороны погрешности для соответствующей группы скважин.

В случае отсутствия топографических карт требуемого масштаба или при отсутствии четких контуров вынесение проектного положения устьев скважин осуществляют проложением теодолитных ходов, построением триангуляции, геодезическими засечками и спутниковой геодезической аппаратурой.

Если для перенесения проекта в натуру необходимо развитие геодезических сетей, то их проектируют с таким расчетом, чтобы погрешность окончательного определения планового положения устьев скважин не превышала значений, регламентируемых т. 2.

Места заложения скважин закрепляют металлическими трубами или деревянными столбами длиной 1,5-2 м, закладываемыми на глубину не менее 0,7 м. На верхней части трубы (столба) несмываемой краской надписывают номер скважины, название площади (месторождения), организа-

ции, производящей бурение, и дату перенесения проектного положения устья скважины в натуру.

Если сохранность знака вызывает сомнение, то в надежных местах закладывают створ из двух знаков и измеряют расстояние от каждого их них до вынесенного положения устья.

На перенесенное в натуру местоположение устья скважины составляют абрис, на котором, кроме расстояний от створных знаков, приводят не менее трех промеров от существующих контуров. Абрис подписывается составителем и лицом, принявшим местоположение устья.

Предварительные высоты перенесенных в натуру местоположений устьев скважин определяют по топографическим картам, а при их отсутствии – барометрическим или тригонометрическим нивелированием.

В необходимых случаях (зачастую это так) до начала строительства буровой на участке, отведенном для этой цели, производят маркшейдерскую съемку в соответствии с техническими условиями.

Съемку выполняют согласно требованиям Инструкции [].

6.3 Работы при сооружении буровой установки

Маркшейдерские работы при сооружении буровой установки включают:

- разбивки главных осей буровой установки и осей оснований оборудования горнопроходческого комплекса;
- плановую и высотную выверки фундаментов, опорных конструкций и оборудования;
- проверку вертикальности шахтного направления;
- проверку соосности буровой вышки, ротора и шахтного направления; определение высоты буровой установки.

Вынесение в натуру главных осей буровой установки обязательно в случаях, когда срок строительства последней составляет более одного года.

Исходной точкой для разбивки главных осей является центр устья ствола скважины. Вынесение этих осей производят с помощью теодолита, устанавливаемого над центром устья скважины. Начальное направление ориентируют в сторону приемных мостков.

Вынесение в натуру разбивочных осей оснований оборудования выполняют относительно главных осей буровой установки полярным способом, способами прямоугольных координат и линейной засечки или их комбинацией.

Две разбивочные взаимно перпендикулярные оси закрепляют на местности знаками, устанавливаемыми по два с каждой стороны от центра: главные оси – постоянными знаками, обеспечивающими их долговременную сохранность; вспомогательные оси – временными знаками (металлические штыри, деревянные колышки). Постоянные знаки следует устанав-

ливать за пределами зоны земляных работ. Расстояния от них до вышки должны обеспечивать нормативные условия для последующих наблюдений за деформацией вышки. Знаки должны сохраняться на весь период работы буровой; ответственность за их сохранность несет буровой мастер.

По результатам разбивочных работ составляют исполнительную схему закрепления осей с привязкой осевых знаков не менее чем к трем четко выраженным объектам местности.

Выверку планового положения конструкций и оборудования рекомендуется выполнять створными методами. При этом створ задают леской, проволокой, лазерным или оптическим лучом.

Выверку конструкций и оборудования по высоте следует производить геометрическим нивелированием.

Проверка соотношения геометрических элементов буровой установки является обязательной для скважин, срок строительства которых более трех месяцев.

Контроль за остальными буровыми производят при необходимости.

Проверку соблюдения соосности ведущей трубы, ротора и шахтного направления выполняют: теодолитами с пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях; приборами вертикального проектирования; отвесами.

Точность монтажа вышки и оборудования должна соответствовать требованиям, изложенным в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации, прилагаемых заводами-изготовителями.

Высота буровой вышки используется при высотной привязке строящейся скважины методом геодезического нивелирования, а также при определении относительной деформации вышки при последующих наблюдениях.

Высоту вышки определяют непосредственным измерением или, когда высоты вышек достигают 50 м и более и непосредственное измерение затруднено, аналитическим способом.

Результаты контрольных измерений заносят в буровой журнал.

6.4 Работы при строительстве кустов скважин

Кустовое бурение, сооружение группы наклонных скважин с общего основания ограниченной площади, на котором размещаются буровая установка и устьевое оборудование. При К. б. продуктивные горизонты вскрываются наклонно-направленными скважинами в заданных точках. К. б. иногда оказывается наиболее экономически целесообразным инженерным решением — при разработке нефтяных и газовых месторождений, расположенных в акватории морей, сильно заболоченной местности или в местности со сложным рельефом поверхности. На практике количество скважин одного куста не превышает 20, хотя известно, что в Калифорнийском заливе 68 скважин пробурены с насыпного острова размером 60×60 м.

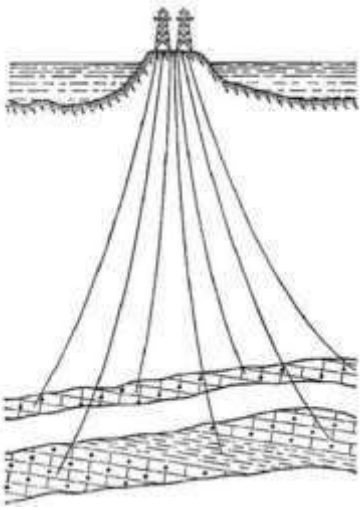


Рисунок 36

Местоположение куста скважин определяют главный геолог и главный маркшейдер НГДУ, в присутствии представителя технологической службы УБР, на основании ПТД на разработку месторождения. В ПТН указано расположение забоев скважин с учетом условий бурения и разработки, правил техники безопасности, глубин продуктивных пластов, сохранения наиболее ценных сельскохозяйственных и лесных угодий, а также норм отвода земельных участков под объекты добычи нефти и газа, допустимых расстояний от существующих на поверхности объектов, соответствующих санитарным и противопожарным нормам.

Перенесение и закрепление куста скважин в натуре производит маркшейдерская служба НГДУ по письменному распоряжению главного геолога.

Для определения координат и высот устьев скважин в кусте и выдачи ориентирных направлений до начала бурения вблизи или на территории куста закладывают не менее чем два опорных пункта и определяют их координаты и высоты. Пункты закладывают с учетом их долговременной сохранности.

Направление оси ствола скважины и длину проекции смещения забоя определяют по фактическим координатам устья и проектным координатам забоя скважины.

Перенесение в натуру осей куста устьев скважин производят отделы инженерных изысканий территориальных НИПИ или отделы маркшейдерских работ НГДУ.

Закрепленные на местности оси куста передают по акту представителю управления буровых работ; второй экземпляр акта хранится в нефтегазодобывающем управлении.

По окончании строительства площадки куста представителю УБР передают местоположение устьев всех скважин. При этом необходимо учесть размеры участка куста по проекту.

При привязки первой скважины в кусте одновременно определяют дирекционный угол направления мостков (ориентирное направление) и уточняют дирекционный угол движения станка. Ориентирное направление и направление движения станков определяют со средней квадратической погрешностью 5′.

После окончания бурения всех скважин в кусте, по известному дирекционному углу направления движения станка и измеренным расстояниям между устьями скважин вычисляют окончательные координаты устьев скважин, также координаты определяются от ранее заложенных пунктов. Координаты записывают в каталог.

Маркшейдерская служба УБР в процессе бурения ведет дежурный план расположения устьев и забоев скважин в кусте, передает исполнительный план куста маркшейдерской службе НГДУ.

Маркшейдерская служба НГДУ проверяет исполнительный план куста и с учетом данных промыслово-геофизических исследований скважин ведет каталог координат точек маркирующих горизонтов.

6.5 Наклонно-направленное бурение

Наклонно-направленное бурение, способ проведения скважины с отклонением от вертикали по заранее заданной кривой. Н.-н. б. впервые осуществлено в СССР на Грозненских нефтепромыслах (1934). Н.-н. б. оказывается целесообразным при: сложном рельефе местности (например, при расположении залежи под дном крупного водоёма или под капитальными сооружениями); геологических условиях залегания полезных ископаемых, не позволяющих вскрыть их вертикальными скважинами; *кустовом бурении* или *многозабойном бурении*; тушении горящих нефтяных и газовых фонтанов. При геологоразведочных работах Н.-н. б. осуществляется шпиндельными буровыми станками, причём скважина забуривается наклонно непосредственно с земной поверхности; при вскрытии нефтяных и газовых пластов Н.-н. б. производится турбобурами или роторным способом (скважина с поверхности забуривается вертикально с последующим отклонением на заданной глубине в запроектированном направлении).

Отклонение скважины от вертикали при Н.-н. б. (изменение зенитного угла и азимута бурения) осуществляется отклоняющими устройствами, например турбинными отклонителями. Бурение прямолинейно-наклонных участков производится с помощью бурильных устройств, включающих центрирующие и калибрующие элементы. Наибольшее отклонение от вертикали при Н.-н. б. (3836 *м*) получено в США в заливе Кука: на о. Сахалин отклонение составило 2453 *м* (1972).

6.6 Профили наклонно направленных скважин.

Проектирование профиля наклонно направленных скважин и их реализация на практике в указанном регионе определяются рядом инструкций, регламентирующих проектирование, строительство и эксплуатацию кустовых наклонно направленных скважин.

При отклонении забоя скважины от вертикали до 300 м применяется тангенсальный трехинтервальный профиль, состоящий из вертикального участка, участка начального искривлении и тангенсального участка.

При отклонении забоя скважины свыше 300 м используют S-образный четырхинтервальный профиль, включающий вертикальный участок начального искривления, тангенсальный участок и участок уменьшения зенитного угла.

Для проектирования наклонно направленных скважин специального назначения применяется j-образный вид профиля, включающий вертикальный участок; участок начального искривления, тангенсальный участок и участок малоинтенсивного увеличения зенитного угла до проектной глубины.

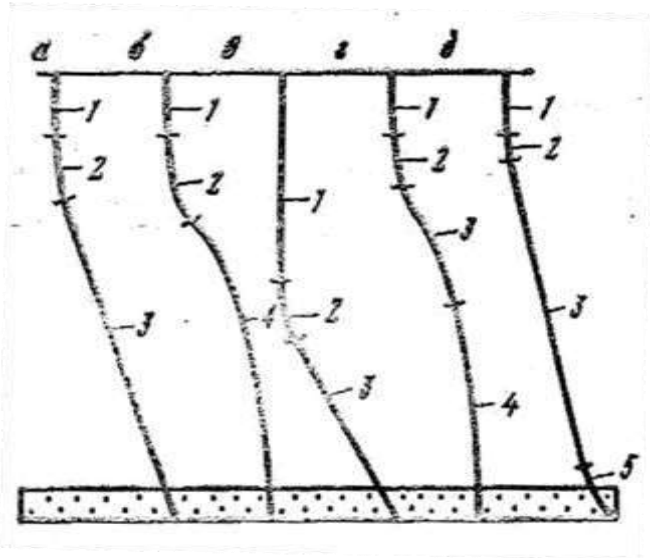


Рисунок 37 - Проектные профили наклонно направленных скважин:

а - тангенциальный; *б* –S - образный; *в* - тангенциальный с большим вертикальным участком; *г* - S-образный с тангенциальным участком; *д* – J-образный;

1,2,3 - участки соответственно вертикальный, начального искривления и тангенциальный; *4,5* - участки соответственно уменьшения и малоинтенсивного увеличения зенитного угла

Если обратится к зарубежному опыту проводки наклонно направленных скважин, то можно отметить, что большинство скважин, проводка которых осуществляется ведущими буровыми фирмами в США и Англии, проектируются по S-образному четырехинтервальному профилю. Всё

большее применение находит тангенсальный профиль, чаще всего используемый в целях достижения значительных отклонений от вертикали.

Данные профили проектируются в одной плоскости, т.е. являются плоскими. При проводке скважин в сложных горно-геологических условиях, когда геологические факторы оказывают значительное воздействие на траекторию скважины, используются профили пространственного типа, предусматривающие участки с естественно изменяющимся зенитным углом и азимутом.

Таким образом, все профили, используемые для проектирования наклонно направленных скважин, можно разделить на плоские и пространственные. В свою очередь плоские профили по форме выполнения завершающего интервала профиля разделяются на три типа: S-образный, тангенсальный и J-образный.

6.7. Инклинометрия

Инклинометрия, метод определения основных параметров (угла и азимута), характеризующих искривление буровых скважин, путём контроля *инклинометрами* с целью построения фактических координат бурящихся скважин. По данным замеров угла и азимута искривления скважины, а также глубины ствола в точке замера строится план (инклинограмма) — проекция оси скважины на горизонтальную плоскость и профиль — вертикальная проекция на плоскость магнитного меридиана, широтную или любую др. Таковой обычно принимается плоскость, в которой составляется геологический разрез по месторождению, проходящий через исследуемую скважину. Наличие фактических координат бурящихся скважин позволяет точно установить точки пересечения скважиной различных участков геологического разреза, т. е. установить правильность бурения в заданном направлении.

6.8 Контроль за положением оси ствола скважины в пространстве

Фактическая траектория оси ствола скважины всегда будет отличаться от проектной. Допустимые отклонения устанавливают с учетом требований разработки месторождений, бурения скважин и их эксплуатации.

Проект (технологическая схема) разработки месторождения предусматривает для каждой скважины определенную точку вскрытия продуктивного горизонта. При этом допускается некоторое отклонение этой точки от проектного положения, учитывающее геологическое строение разбуриваемой площади (месторождения), физику пласта, технологические факторы бурения, погрешности проводки скважины и определения ее пространственного положения.

Для оптимальных условий бурения и эксплуатации скважин необходимо учитывать угол общего искривления оси ствола скважин, интенсивности искривления ствола (отношение общего искривления в градусах к длине интервала скважины, выраженной в десятках метров). Угол искривления φ_i определяют из выражения:

$$\varphi_i = \arcsin\left(\sin\frac{\theta_i-\theta_{i-1}}{2}+\sin^2\frac{\alpha_i-\alpha_{i-1}}{2}\times\sin\theta_{i-1}\times\sin\theta_i\right)^{\frac{1}{2}},$$

а погрешность угла φ_i íàõîäÿò ïî ôîðìóëå:

$$m_{\varphi_i}=\frac{\sqrt{2}}{\sin\varphi_i}\left(m_\theta^2\times\sin^2(\theta_i+\theta_{i+1})\times\sin^4\frac{\alpha_i-\alpha_{i-1}}{2}+m_\theta\times\sin^2(\theta_i-\theta_{i-1})\times\right.$$

$$\left.\times cos^4\frac{\alpha_i-\alpha_{i-1}}{2}+m_\alpha^2\times\sin^2(\alpha_i-\alpha_{i-1})\times\sin^2\theta_{i-1}\times\sin^2\theta_i\right)^{\frac{1}{2}},$$

где m_θ - средняя квадратическая погрешность определения угла отклонения оси ствола скважины от вертикали: θ_i, θ_{i-1} и α_i, α_{i-1} – соответственно углы отклонения оси ствола скважины от вертикали и азимуты вертикальной плоскости в начале и в конце интервала измерений; m_α - средняя квадратическая погрешность определения азимута.

Допустимые величины отклонений точек вскрытия пласта скважиной от их проектного местоположения по каждому продуктивному горизонту определяют исходя из параметров, приведенных в табл. 8.

Таблица 8 - Допустимые величины отклонений точек вскрытия пласта скважиной от их проектного местоположения по каждому продуктивному горизонту

Глубина добывающих скважин H, м	Платформенные области			Складчатые области		
	Расстояние S между скважинами, м	Допустимые отклонения		Расстояние S между скважинами, м	Допустимые отклонения	
		в % от S	в метрах		в % от S	в метрах
До 2000	200	10	20	135	15	20
2000-2500	250	12	30	150	20	30
2500-3000	267	15	40	160	25	40
более 3000	250	20	50	167	30	50
Примечание. Допустимые значения горизонтальной проекции отклонения забоя скважины от устья для разведочных скважин складчатых областей составляют 1 и 5% для опорных и поисковых скважин платформенных и складчатых областей, соответственно. При S и H больше указанных в настоящей таблице горизонтальная проекция отклонения конечного забоя от устья скважины не должна превышать 50 м.						

Для расстояний между местоположениями точек вскрытия менее указанных в табл. 7 допуски установлены исходя из предельных значений погрешностей применяемых в настоящее время технических средств и методики инклинометрических измерений.

При определении расстояний между проектными и фактическими точками вскрытия пласта вводят поправку за наклон, если фактические углы наклона и расстояния больше указанных в табл. 9.

Таблица 9 - поправку за наклон, если фактические углы наклона и расстояния больше указанных в табл.

Минимальный угол наклона пласта, град	Масштаб карты разреза	Минимальное расстояние между точками вскрытия пласта, м
10	1:10 000	135
15	1:25 000	135
15	1:50 000	300

Оценивать положение характерной точки оси ствола скважины можно также на плоскости и в пространстве через эллипс и эллипсоид погрешностей, соответственно.

Для сравнения фактического положения характерной точки оси ствола скважины с проектным ее положением необходимо иметь дежурный план проводки скважины в масштабе 1:500-1:2000, на котором изображена проектная и строится фактическая трассы оси ствола скважины.

Вокруг проектного положения характерной точки радиусом R, равным значению допуска, в соответствующем масштабе строят окружность.

Точку фактического местоположения накрывают эллипсом погрешностей. При этом может быть один из пяти приведенных на рис. 38 случаев:

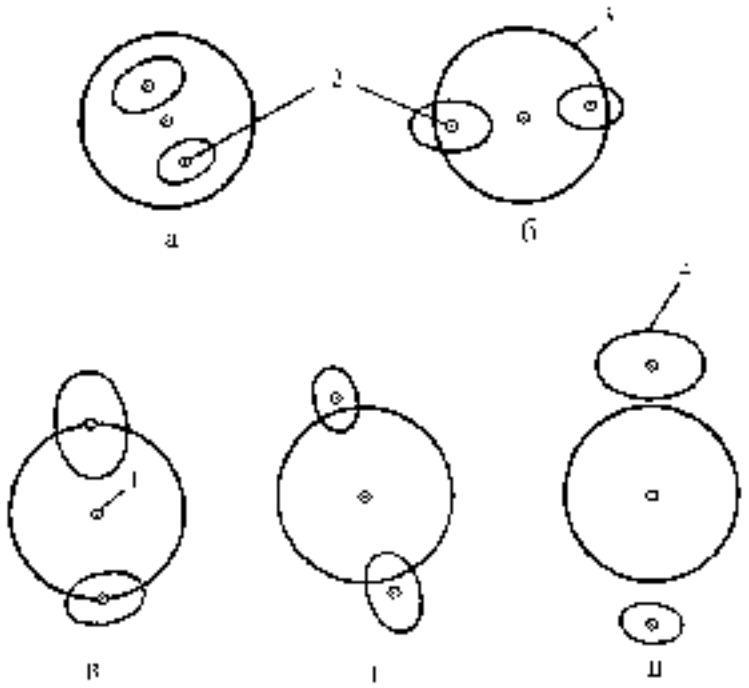


Рисунок 38 - Возможные случаи попадания характерной точки оси ствола скважины в заданную зону допуска:

1 – проектное местоположение характерной точки; 2 – возможное фактическое местоположение характерной точки; 3 – граница зоны допустимого отклонения возможного фактического местоположения характерной точки; 4 – эллипс погрешностей, накрывающий фактическое местоположение характерной точки в плане с доверительной вероятностью 0,95

- эллипс погрешностей находится в пределах границы допуска (рис. 38, *а*);
- характерная точка находится внутри границы допуска, а эллипс погрешностей частично выходит за пределы допуска (рис. 38, *б*);
- характерная точка находится на линии, обозначающей границы допуска, а 50% площади эллипса погрешностей выходят за пределы допуска (рис. 38, *в*);
- характерная точка находится за пределами допуска, но какая-то часть эллипса погрешностей (менее 50%) накрывает допуск (рис. 38, *г*);
- эллипс погрешностей находится за пределами границы допуска (рис. 38, *д*).

В первом случае можно констатировать, что характерная точка попала в зону, предусмотренную проектом работ, и работу по проводке скважины оценивают на “отлично”.

При ситуации два работу по проводке скважины оценивают на “хорошо”.

При ситуации три работу по проводке скважины оценивают на “удовлетворительно”.

При ситуациях четыре и пять скважину в эксплуатацию не принимают. Положение оси ствола скважины в пространстве необходимо исправить.

Оформление результатов измерений, вычисление окончательных координат и определение погрешностей измерений, а также выдачу материалов заказчику должны производить в соответствии с требованиями Инструкции по инклинометрии.

При кустовом бурении запрещается начинать строительство очередной скважины, если на предыдущую отсутствуют данные по пространственному положению ее ствола.

7 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ СТВОЛА НАКЛОННО НАПРАВЛЕННОЙ СКВАЖИНЫ

В процессе инклинометрических работ в отдельных характерных точках ствола скважины измеряется глубина по бурильной колонне l, зенитный угол Θ и азимут α (рис. 39).

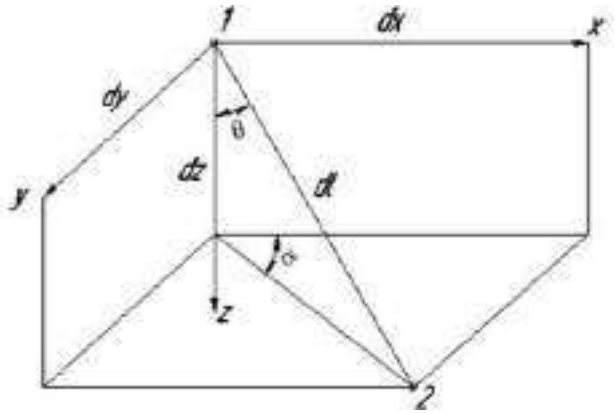


Рисунок 39

Задача построения траектории ствола скважины состоит в том, чтобы по известному массиву инклинометрических данных определить координаты соответствующих точек в прямоугольной системе координат xyz, связанной с устьем скважины, т.е. определить глубину Z и горизонт, смещая в направлении север – юг, ось X – север, Y – восток.

При расчетах принимаем, что ошибки измерения имеют нормальное распределение с нулевыми средними и известными СКП соответственно.

Элементарные приращения координат будут следующими:

$$d_x = d_l \cdot sin\theta sin\alpha;$$
$$d_y = d_l \cdot sin\theta cos\alpha;$$
$$d_z = d_l \cdot cos\theta.$$

Приращение координат Дх, Ду, Дz на исследуемом интервале Дl, определяются путем интегрирования элементарных приращений по длине интервала.

$$\Delta x = \int_0^{\Delta l} sin\theta(l) sin\alpha(l) \cdot dl \ ;$$
$$\Delta y = \int_0^{\Delta l} cos\theta(l) \cdot dl \ .$$

В простейших методах для определения приращений координат используют результаты измерения зенитного угла и азимута в двух соседних точках (двухточечные методы). В более точных и сложных методах используют результаты измерения по большему числу точек.

7.1 Тангенциальный метод

В качестве исходных данных используются значения зенитного угла и азимута, измеренные в нижней точке интервала. Делается допущение, что оба эти угла сохраняют свои значения на всей протяженности исследуемого интервала, который представляет собой прямую.

$$\Delta x = \Delta l \cdot sin\theta_2 cos\alpha_2 \ ;$$
$$\Delta y = \Delta l \cdot sin\theta_2 sin\alpha_2 \ ;$$
$$\Delta z = \Delta l \cdot cos\theta_2 \ .$$

Является самым простым методом, но наиболее ошибочным.

7.2 Метод усреднения углов

Исследуемый участок ствола скважины между двумя точками замера представляется отрезком прямой. Однако зенитный угол и азимут на протяжении участка интерполяции принимается равным средним арифметическим соответствующих углов, замеренных на конце интервала.

$$\Delta x = \Delta l \cdot \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{2} \cos(\alpha_1 + \alpha_2);$$

$$\Delta y = \Delta l \cdot \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{2} \sin(\alpha_1 + \alpha_2);$$

$$\Delta z = \Delta l \cdot \frac{\cos(\theta_1 + \theta_2)}{2}.$$

“1” – означает параметр замеренный у верхнего конца скважины.

7.3 Балансный тангенциальный метод

Исследуемый интервал разбивается на два интервала одинаковой длины: верхний и нижний, каждый участок интерполируется отрезком прямой, причем зенитный угол и азимут прямой, интерполирующей верхний участок, принимаются равными соответствующим углам в верхней точке замера, а зенитный угол и азимут прямой, интерполирующей нижний участок, принимаются равным соответствующим углам в нижней точке замера, таким образом, отрезки прямой

Приращения координат находят как сумму приращений координат для верхнего и нижнего участка.

$$\Delta x = \frac{\Delta l}{2(\sin\theta_1 \cos\alpha_1 + \sin\theta_2 \cos\alpha_2)};$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l}{2(\sin\theta_1 \sin\alpha_1 + \sin\theta_2 \sin\alpha_2)};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l}{2}(\cos\theta_1 + \cos\theta_2).$$

7.4 Метод расчета по радиусу кривизны

Участок ствола скважины между двумя точками замера апроксимируется пространственной кривой. Принимается, что проекции исследуемого участка ствола между точками замера на вертикальную и горизонтальную плоскость представляют собой дуги окружностей. В каждой из плоскостей эти дуги проходят таким образом, что касательные к ним в точках, являющиеся проекциями точек замера, направлены по отношению к исходной координатной сетке под углами, равными соответственно зенитным углам и азимутом в этих точках.

Участок прямой между двумя точками замера характеризуется радиусом кривизны проекции треугольника на вертикальную плоскость (дуга

окружности) и радиусом кривизны проекции на горизонтальную плоскость.

Выражения для приращения координат можно получить на основании следующих соотношений:

$$R_{\text{в}} = \Delta l(\theta_2 - \theta_1);$$

$$\Delta z = R_{\text{в}}\left(\sin[\theta_2 - \sin\theta_1) == \frac{\Delta l(\sin\theta_2 - \sin\theta_1)}{\theta_2 - \theta_1}\right]$$

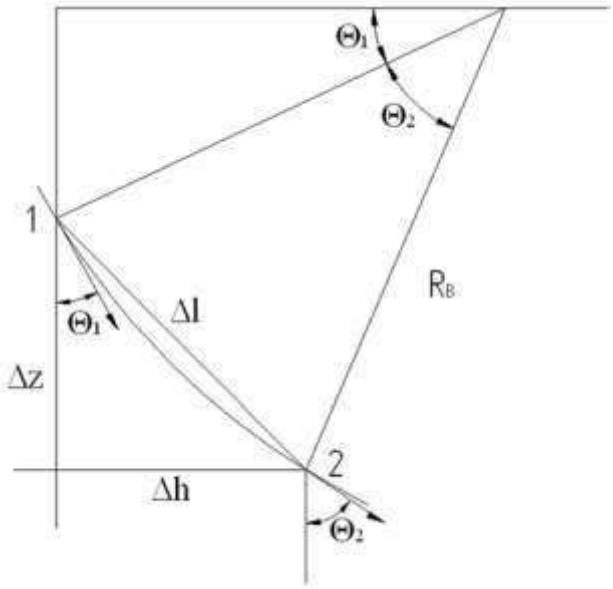


Рисунок 40

В этой методике принимается , что длина дуги окружности $\Delta S \approx \Delta l_{\Delta h}$, т.е это справедливо при небольшой величине азимута,

$$Rr = \frac{\Delta h}{\alpha_2 - \alpha_1};$$

$$\Delta x = Rr * \text{EMBED Equation.3} = \frac{\Delta h * (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$\Delta h = Rr * \text{EMBED Equation.3} = \frac{\Delta h * (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)}{(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)}{2 * (\Theta_2 - \Theta_1) * \sin\frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)}{2 * (\Theta_1 - \Theta_2) * \sin\frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l * (\sin\Theta_2 - \sin\Theta_1)}{\Theta_2 - \Theta_1}.$$

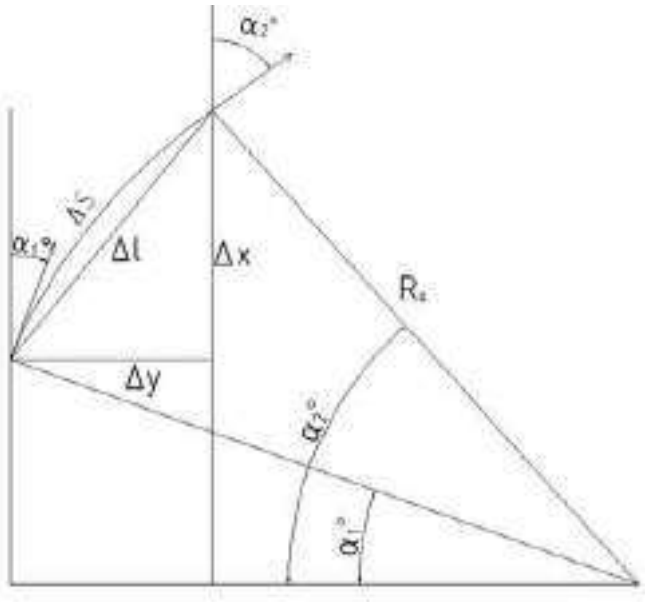


Рисунок 41

7.5 Метод постоянной кривизны

$$\Delta S = \frac{\Delta h * (\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta x = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)}{2 * (\Theta_2 - \Theta_1) * \sin \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)}{2 * (\Theta_1 - \Theta_2) * \sin \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l * (\sin\Theta_2 - \sin\Theta_1)}{\Theta_2 - \Theta_1}.$$

7.6 Метод кольцевых дуг

В методе расчета кольцевых дуг исследуемый участок представляется в виде дуги. Метод КД обеспечивает более плавню стыковку дуг в точках замера, исключаются сколообразные изменения направления вектора в точке замера.

Длина дуги такая же как и измеренные по створу скважины расстояния.

Обозначим единичные касательные вектора в точках замера как $\bar{V}_1$ и $\bar{V}_2$.

$cos_1\gamma_x = sin\theta_1 * sin\alpha_1$

$$cos_1\gamma_x = sin\theta_1 * sin\alpha_1 \qquad cos_2\gamma_x = sin\theta_2 * sin\alpha_2$$
$$cos_1\gamma_y = sin\theta_1 * cos\alpha_1 \qquad cos_2\gamma_y = sin\theta_2 * cos\alpha_2$$
$$cos_1\gamma_z = cos\theta_1 \qquad cos_2\gamma_z = cos\theta_2$$

D – это между касательными векторами $\overline{V_1}$ и $\overline{V_2}$.

$$cosD = cos_1\gamma_x * cos_2\gamma_x + cos_1\gamma_y * cos_2\gamma_y + * cos_1\gamma_z cos_2\gamma_z$$

$$\overline{U} = \frac{\overline{V_1} + \overline{V_2}}{(\overline{V_1} + \overline{V_2})}$$

где с- длина хорды искомой дуги

$$c = 2 * \Delta l * {\sin\left(\frac{D}{2}\right)}/{D}$$

$$(\overline{V_1} + \overline{V_2}) = 2 * \frac{\cos D}{2}$$

$$\overline{\Delta p} = \overline{Cu} = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} * \frac{(\overline{V_1} + \overline{V_2})}{2}$$

Вместо $\overline{V_1}$ и $\overline{V_2}$ подставляем сумму их направляющих косинусов по соответствующим координатным осям.

$$\Delta x = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{2} * (sin\theta_1 sin\alpha_1 + sin\theta_2 sin\alpha_2)$$

$$\Delta y = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{2} * (sin\theta_1 cos\alpha_1 + sin\theta_2 cos\alpha_2)$$

$$\Delta z = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{2} * (cos\theta_1 + cos\theta_2)$$

$$cosD = \cos(\theta_2 - \theta_1) - sin\theta_1 sin\theta_2 [1 - \cos(\alpha_2 - \alpha_1)]$$

8 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

8.1 Нормативные ссылки

СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения».

СНиП 11-01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве».

СНиП 14-01-96 «Основные положения создания и ведения государственного градостроительного кадастра Российской Федерации».

СНиП 22-01-85 «Геофизика опасных природных воздействий».

СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах».

ГОСТ 24846-81 «Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений».

ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету». Изменение № 1.

ГОСТ 22268-76 «Геодезия. Термины и определения».

ГОСТ 22651 «Картография. Термины и определения».

ГОСТ 21.101-93 «Основные требования к рабочей документации».

ГОСТ 21.508-93 «Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов».

ГОСТ 21.510-83* «СПДС. Пути железнодорожные. Рабочие чертежи».

ГОСТ 21.511-83* «СПДС. Автомобильные дороги. Земляное полотно и дорожная одежда».

СП 11-101-95 «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений».

«Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения градостроительной документации» (Госстрой России. - М.: ГП ЦПП, 1994).

ГКИНП-17-002-93. «Инструкция о порядке осуществления государственного геодезического надзора в Российской Федерации» (Роскартография. - М, 1993).

ГКИНП-07-016-91 «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей СССР» (ЦНИИГАиК. - М.: Недра, 1991).

«Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» (ГУГК СССР. - Недра, 1989).

«Условные знаки для топографических планов масштаба 1:500. Правила начертания» (Мосгоргеотрест. - М, 1978).

«Классификатор топографической информации (Информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000)» ГУГК СССР. - М.: Наука, 1986.

ПР 50.2.002-94 «ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм».

ПТБ-88. «Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах».

* Проектная подготовка строительства включает в себя: определение цели инвестирования, разработку ходатайства (декларации) о намерениях инвестирования и обоснования инвестиций в строительство, разработку градостроительной, проектной и рабочей документации строительства новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений.

8.2 Инженерные изыскания

Инженерные изыскания - комплекс технических и экономических исследований района строительства с целью получения исходных данных, необходимых для разработки наиболее целесообразных технико-экономических решений при проектировании, строительстве и реконструкции зданий и сооружений. И. и. предшествуют всем видам строительства: промышленного, жилищного, гражданского, гидротехнического, транспортного, дорожного и др. Характер И. и. изменяется в зависимости от вида строительства и степени изученности обследуемого района.

До технических изысканий проводятся, как правило, экономические исследования в целях выбора района (пункта) размещения объекта и экономического обоснования намечаемого строительства. Правильность выбора места строительства существенно облегчается, если на территории предварительно проведена *районная планировка*, требования которой должны учитываться при И. и.

Программа И. и. должна предусматривать интересы сохранения окружающей среды — продуктивности, чистоты и привлекательности природы — и обеспечивать предотвращение или сведение к минимуму того ущерба, который может быть ей нанесён как самими И. и., так и последующим строительством.

Комплекс технических изысканий включает изучение топографических, геологических, гидрологических и метеорологических условий района строительства, обследование месторождений местных строительных материалов, сбор исходных данных для составления проекта организации строительства и смет, а также проведение необходимых согласований. Особый характер имеют И. и. автодорожные, железнодорожные, для про-

кладки нефте- и газопроводов, линий связи и электропередачи (так называемые линейные изыскания).

И. и. проводятся, как правило, в один этап, включающий получение исходных данных для разработки технического проекта и рабочих чертежей. Для сложных в инженерном отношении объектов И. и. проводятся в два этапа на основе технических заданий, в которых определяются основной состав, детальность и порядок проведения И. и. Изыскательские работы обычно выполняются проектным институтом, осуществляющим проектирование объекта, с привлечением специализированных организаций.

В проведении изыскательских работ различают три периода: подготовительный, полевой и камеральный. В подготовительный период собираются и изучаются необходимые данные по объекту и уточняется задание, выдаваемое изыскательской партии. В период полевых работ проводятся геодезические, топографические, буровые и др. работы. Камеральная обработка состоит в систематизации полевых материалов, составлении топографических планов, геологических разрезов, гидрологических, климатических и др. характеристик района и строительной площадки. Ускорение, повышение качества и снижение стоимости И. и. достигаются при проведении их по единой методологии путём концентрации И. и. в крупных специализированных организациях, имеющих в своём составе постоянно действующие экспедиции и партии.

Инженерно-геодезические изыскания для строительства должны обеспечивать получение топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности (в том числе дна водотоков, водоемов и акваторий), существующих зданиях и сооружениях (наземных, подземных и надземных) и других элементах планировки (в цифровой, графической, фотографической и иных формах), необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий территории строительства и обоснования проектирования, а также создания и ведения государственных кадастров, обеспечения управления территорией.

Инженерно-геодезические изыскания выполняются как самостоятельный вид инженерных изысканий и в комплексе с другими видами инженерных изысканий (изыскательских работ и исследований), в том числе инженерно-геологическими, инженерно-гидрометеорологическими и инженерно-экологическими изысканиями, а также изысканиями грунтовых строительных материалов и источников водоснабжения на базе подземных вод.

Инженерно-геодезические изыскания следует выполнять, как правило, в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

Подготовительные работы

В подготовительном этапе должно быть выполнено:

- получение технического задания и подготовка договорной (контрактной) документации;

- сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет на район (участок, площадку) изысканий, а также топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов и данных, находящихся в государственных и ведомственных фондах в архиве изыскательской организации;
- подготовка программы (предписания) инженерно-геодезических изысканий в соответствии с требованиями технического задания заказчика и пп. 4.14. и 5.6 СНиП 11-02-96, с учетом опасных природных и техногенных условий территории;
- осуществление в установленном порядке регистрации (получение разрешений) производства инженерно-геодезических изысканий.

Полевые работы

В полевом этапе должны быть произведены рекогносцировочные обследования территории, и комплекс полевых работ в составе инженерно-геодезических изысканий, а также необходимый объем вычислительных и других работ по предварительной обработке полученных материалов и данных для обеспечения контроля их качества, полноты и точности.

Камеральные работы

В камеральном этапе должны быть выполнены:

- окончательная обработка полевых материалов и данных с оценкой точности полученных результатов, с необходимой для проектирования и строительства информацией об объектах, элементах ситуации и рельефа местности, о подземных и надземных сооружениях с указанием их технических характеристик, а также об опасных природных и техноприродных процессах;
- составление и передача заказчику технического отчета (пояснительной записки) с необходимыми приложениями по результатам выполненных инженерно-геодезических изысканий; передача в установленном порядке отчетных мате-, риалов выполненных инженерно-геодезических изысканий в государственные фонды (п. 4.25 СНиП 11-02-96).

8.3 Планово-высотное обоснование

При производстве инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений геодезической основой служат точки (пункты) планово-высотной съемочной геодезической сети, создаваемой в виде магистральных ходов, прокладываемых вдоль трассы.

Магистральные ходы при изысканиях линейных сооружений должны быть привязаны в плане и по высоте к пунктам государственной или опорной геодезической сети не реже чем через 30 км (при изысканиях магистральных каналов 8 км).

При удалении пунктов государственной или опорной геодезической сети от трассы на расстояние более 5 км допускается вместо плановой привязки определять истинные азимуты сторон магистрального хода не реже чем через 15 км. Методы определения истинных азимутов и требования к точности измерений должны устанавливаться в программе изысканий.

При изысканиях линейных сооружений на территориях городов и других поселений, а также промышленных (агропромышленных) и горнодобывающих предприятий плановая и высотная привязка съемочной геодезической сети к пунктам государственной или опорной геодезической сети обязательна.

Методические указания, на которые мы будем опираться, разработаны во ВНИМИ на основе обобщения результатов исследования спутниковых систем за рубежом и на горных предприятиях Российской Федерации.[1]

Теодолитные ходы

Теодолитные ходы между пунктами опорной геодезической сети прокладываются в виде отдельных ходов с узловыми точками.

Допускается проложение висячих теодолитных ходов. На незастроенных территориях длина хода не должна быть более 500 м при съемке в масштабе 1:5000, 300 м - при съемке в масштабе 1:2000 и 150 м - при съемке в масштабе 1:1000 и 1:500. Длины висячих ходов на застроенных территориях должны приниматься соответственно с коэффициентом 0,7.

При развитии съемочной геодезической сети полярным способом с применением электронных тахеометров длины полярных направлений допускается увеличивать до 1000 м. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов не должна превышать 15".

Отдельный теодолитный ход должен опираться на два исходных пункта и два исходных дирекционных угла.

Развитие планово-высотной съемочной сети с использованием электронных тахеометров с регистрацией и накоплением результатов измерений (горизонтальных проложений, дирекционных углов, координат и высот пунктов и точек) допускается выполнять одновременно с производством топографической съемки.

При создании (развитии) съемочной геодезической сети предельные длины теодолитных ходов и их предельные абсолютные невязки следует принимать в соответствии с табл. 10.

Таблица 10 - Предельные длины теодолитных ходов и их предельные абсолютные невязки

Масштаб топографической съемки	Предельная длина теодолитного хода, км		Предельная абсолютная невязка теодолитного хода, м	
	между исходными геодезиче-	между исходными пунктами и узловыми	Застроенная территория, открытая	Незастроенная территория, закрытая дре-

	скими пунктами	точками (или между узловыми точками)	местность на незастроенной территории	весиной и кустарниковой растительностью
1:5000	6,0	4,2	2,0	3,0
1:2000	3,0	2,1	1,0	1,5
1:1000	1,8	1,3	0,6	0,9
1:500	0,9	0,6	0,3	0,4

Примечания

1. При использовании для измерения сторон теодолитного хода светодальномеров и электронных тахеометров предельная длина хода может быть увеличена в 1,3 раза, при этом предельные длины сторон хода не устанавливаются, а количество сторон в ходе не должно превышать:
- при съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000 в открытой местности - 50 и в закрытой - 100;
- при съемке в масштабе 1:1000 - 40 и 80 соответственно характеристике местности, а при съемке в масштабе 1:500 - 20.
2. Предельные длины теодолитных ходов и их предельные абсолютные невязки для съемки в масштабе 1:200 устанавливаются в программе изысканий. Предельные длины теодолитных ходов на существующих железнодорожных станциях определяются схемой станций (длиной парков).

Допустимые невязки измерений в геодезических ходах при изысканиях для строительства линейных сооружений должны приниматься согласно табл. 11.

Таблица 11 - Допустимые невязки измерений в геодезических ходах при изысканиях линейных сооружений

№№ п/п	Геодезические ходы при изысканиях для строительства линейных сооружений	Допустимые невязки измерений		
		угловых, мин	линейных	высотных, мм
1	Ходы съемочной геодезической сети (магистральные ходы, ходы привязки к пунктам государственной или опорной геодезической сети, ходы планово-высотной привязки аэрофотоснимков) при изысканиях:			
	новых железных дорог	$0{,}3\sqrt{n}$	11/4000	$30\sqrt{L}$
	новых автомобильных дорог	$1\sqrt{n}$	1/2000 (1/1000*)	$50\sqrt{L}$
	Трубопроводов с условным диаметром:			
	до 1000 мм	$1{,}5\sqrt{n}$	1/1000	$50\sqrt{L}$
	свыше 1000 м	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
	Линий электропередачи, связи, канатно-	$1{,}5\sqrt{n}$	1/1000	$50\sqrt{L}$

	подвесных дорог			
	Магистральных каналов и коллекторов, линейных сооружений на застроенных территориях	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
2	Полевое трассирование (вынос трассы в натуру) новых железных и автомобильных дорог, трубопроводов, магистральных каналов и коллекторов	$1\sqrt{n}$	1/2000 (1/1000*)	$50\sqrt{L}$
3	Ходы съемочной геодезической сети при изысканиях для реконструкции и расширения существующих дорог:			
	базисные и съемочные ходы на железнодорожных станциях, магистральные ходы на перегонах в населенных пунктах;	$0{,}3\sqrt{n}$	1/4000	$30\sqrt{L}$
	съемочные ходы на железнодорожных станциях, базисные ходы на разъездах, магистральные ходы на перегонах и автомобильных дорогах вне населенных пунктов	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
4	Линейные измерения при разбивке пикетажа (двойной промер мерной лентой)	-	1/2000	-

Обозначения: n - число углов в ходе; L - длина хода, км; (*) - в трудных условиях пересеченной и горной местности.

Примечания

1. При изысканиях для строительства трубопроводов, линий электропередачи и канатно-подвесных дорог в пересеченной и горной местности может выполняться тригонометрическое нивелирование.
2. Допустимые невязки измерений при изысканиях для строительства высокоскоростных железных дорог устанавливаются в соответствии с требованиями производственно-отраслевых (ведомственных) нормативных документов.

Поправка за приведение длин линий к горизонту должна учитываться при величине угла наклона рельефа местности более 1,5°.

В длины линий, измеренные стальными лентами и рулетками, следует вводить поправку за температуру, если разность температуры воздуха при компарировании и измерении линий превышает 8 °С.

Поправки за компарирование вводятся, когда длина мерного прибора отличается от номинальной более чем на 1/10000.

Измерение углов в теодолитных ходах должно производиться теодолитами (типа 3Т5КП, Т15МКП и 4Т30П или им равноточными) одним приемом с перестановкой лимба между полуприемами (для теодолитов с двусторонней системой отсчета на величину, близкую к 90°, а для теодолитов с односторонней системой отсчета - в пределах 5°).

Расхождения значений угла между полуприемами не должны превышать 45″.

Угловые невязки в теодолитных ходах и полигонах не должны превышать величины $f_\beta = 1'\sqrt{n}$, где n - число углов в ходе (полигоне).

Определение положения (координат) точек постоянного съемочного обоснования (углов капитальных зданий и сооружений, центров люков смотровых колодцев, опор линий электропередачи и др.) следует выполнять полярным способом с пунктов опорной геодезической сети и точек теодолитных ходов первого порядка. При этом расхождения (в минутах) между результатами измерений примыкающего угла в полуприемах не должны превышать величины Δ=50/L, где L - расстояние в метрах до определенной точки, которое не должно превышать длины мерного прибора (но не более 50 м). Предельные длины полярных направлений, измеряемые светодальномерами или электронными тахеометрами, не должны превышать 1000 м.

Съемочные сети можно развивать методом триангуляции (трилатерации) взамен теодолитных ходов, а также прямыми и обратными геодезическими засечками.

Между исходными сторонами (базисами) или пунктами опорных (государственных) геодезических сетей допускается построение цепочки треугольников триангуляции в количестве, не более:

- 20 - для съемки в масштабе 1:5000;
- 17- для съемки в масштабе 1:2000;
- 15 - для съемки в масштабе 1:1000;
- 10 - для съемки в масштабе 1:500.

Не допускается развитие геодезических сетей и цепочек треугольников, опирающихся на одну исходную сторону.

Длина цепи треугольников триангуляции не должна превышать допустимой длины теодолитного хода для соответствующего масштаба съемки, согласно табл. 9.

Базисы (выходные стороны) триангуляции следует измерять с относительной средней квадратической погрешностью не более 1/5000.

Углы в треугольниках должны быть не менее 20°, а длины сторон не менее 150 м.

Измерение углов следует производить в соответствии с п. 5.34. (СП 11-104-97)

Невязки в треугольниках не должны превышать 1,5'.

В измеренные на пунктах углы должны вводиться поправки за центрировку и редукцию, если величины линейных элементов приведения превышают 1/10000 длин линий (сторон).

Прямые засечки следует выполнять не менее чем с трех пунктов опорной геодезической сети так, чтобы углы между смежными направлениями на определяемой точке были не менее 30° и не более 150°.

Обратные засечки должны выполняться не менее чем по четырем пунктам опорной геодезической сети при условии, чтобы определяемая точка не находилась вблизи окружности, проходящей через три исходных пункта.

Комбинированные засечки должны строиться сочетанием прямых и обратных засечек с использованием не менее трех исходных пунктов.

При создании съемочной геодезической сети могут быть использованы: метод определения двух точек по двум исходным пунктам (Задача Ганзена) и линейные засечки с трех и более исходных пунктов.

Техническое нивелирование

Техническим нивелированием должны определяться высоты точек съемочной сети, а также пунктов триангуляции (трилатерации) и полигонометрии, высоты которых не определены нивелированием III-IV классов.

Ходы технического нивелирования должны прокладываться, как правило, между реперами (марками) нивелирования II-IV классов в виде отдельных ходов или систем ходов (полигонов).

Допускаются замкнутые ходы технического нивелирования, опирающиеся на один исходный репер (ходы, прокладываемые в прямом и обратном направлениях).

При построении высотной съемочной сети, в случае отсутствия на участке инженерных изысканий реперов и марок государственной нивелирной сети, ходы технического нивелирования должны закрепляться нивелирными знаками из расчета не менее двух на участок работ и не реже чем через 3 км один от другого.

Допустимые длины ходов технического нивелирования в зависимости от высоты сечения рельефа топографической съемки должны приниматься по табл. 12.

Таблица 12 - Допустимые длины ходов технического нивелирования в зависимости от высоты сечения рельефа топографической съемки

Ходы технического нивелирования	Предельная длина хода, км, при высоте сечения рельефа, м		
	0,25	0,5	1 и более
Между двумя исходными реперами (марками)	2	8	16
Между исходным пунктом и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1	4	8

Техническое нивелирование следует выполнять нивелирами (типа 3Н-5Л, 2Н-10КЛ или им равноточными), а также теодолитами с компенсаторами (типа Т15МКП и др.) или уровнем при трубе, с отсчетом по средней нити по двум сторонам рейки.

Расхождения между значениями превышений, полученными на станции по двум сторонам реек, не должен быть более 5 мм.

Расстояние от инструмента до мест установки реек должны быть по возможности равными и не превышать 150 м.

Невязка хода технического нивелирования или полигона не должна превышать величины $50\sqrt{L}$, мм, где L - длина хода, км.

При числе станций на 1 км хода более 25 невязка хода нивелирования или полигона не должна превышать величины $10\sqrt{n}$, мм, где n - число станций в ходе.

Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование следует применять для определения высот точек съемочной геодезической сети при топографических съемках с высотой сечения рельефа через 2 и 5 м, а на всхолмленной и пересеченной местности - через 1 м.

В качестве исходных для тригонометрического нивелирования должны использоваться пункты, высоты которых определены методом геометрического нивелирования. В горных районах допускается использовать в качестве исходных пункты государственной или опорной геодезической сети, высоты которых определены тригонометрическим нивелированием.

Длина ходов тригонометрического нивелирования не должна превышать при топографических съемках с высотой сечения рельефа через 1, 2 и 5 м соответственно 2, 6 и 12 км.

Тригонометрическое нивелирование точек съемочной сети должно производиться в прямом или обратном направлениях с измерением вертикальных углов теодолитом по средней нити одним приемом при двух положениях вертикального круга.

Допускается приложение висячих ходов тригонометрического нивелирования длиной, не более указанной в п. 5.27, с измерением вертикальных углов в одном направлении по трем нитям при двух положениях вертикального круга. Колебание «места нуля» на станции не должно превышать 1. Высоты инструмента и визирных целей следует измерять с точностью до 1 см.

Расхождение между прямым и обратным превышениями для одной и той же линии при тригонометрическом нивелировании не должно быть более 0,04S, м, где S - длина линии, выраженная в сотнях метров.

Допустимые невязки в ходах и замкнутых полигонах тригонометрического нивелирования не должны превышать величины

$\frac{0,04S}{\sqrt{n}}$, см,

где S - длина хода в метрах, а n - число линий в ходе или полигоне.

При изысканиях для строительства линейных сооружений на незастроенных территориях начальная и конечная точки трасс (если они не фиксированы на местности), вершины углов поворота, а также створные точки прямолинейных участков в пределах взаимной видимости (но не ре-

же чем через 1 км) должны закрепляться временными знаками (деревянными и железобетонными столбами, металлическими уголками и др.).

На застроенных территориях закрепление трасс, как правило, не производится, а их точки должны привязываться не менее чем тремя линейными промерами к постоянным предметам местности (углы зданий, сооружений и др.).

При изысканиях для строительства линейных сооружений нивелирные знаки должны устанавливаться:

по трассам автомобильных и железных дорог, магистральных каналов не реже чем через 2 км;

по трассам трубопроводов не реже чем через 5 км (в том числе на переходах через большие водотоки и на организуемых водомерных постах).

На мостовых переходах через большие реки следует устанавливать постоянные реперы на обоих берегах реки.

Геодезические пункты, закрепленные постоянными знаками (грунтовыми и стенными реперами, марками и др.), и долговременно закрепленные точки съемочных сетей подлежат учету и сдаче для наблюдения за их сохранностью заказчику и органам архитектуры и градостроительства в установленном порядке.

Обработка результатов полевых измерений при создании (развитии) съемочной геодезической сети производится на ПЭВМ или на основе использования других средств вычислительной техники. Уравнивание съемочной сети производится упрощенными способами при условии отсутствия ходов более 2-го порядка.

Висячие ходы разрешается вычислять с пунктов опорных (государственных) геодезических сетей и точек съемочных сетей после их уравнивания. При этом в съемочных сетях значения углов следует вычислять до 0.1’, а координат - до 0,01 м. Значения высот точек в ходах технического нивелирования должны вычисляться до 0,001 м и в ходах тригонометрического нивелирования - до 0,01 м.

В результате выполнения инженерно-геодезических изысканий по созданию геодезической основы должны быть представлены:

- ведомости обследования исходных геодезических пунктов (марок, реперов и др.);
- схемы планово-высотных геодезических сетей с указанием привязок к исходным пунктам;
- материалы вычислений, уравнивания и оценки точности, ведомости (каталоги) координат и высот геодезических пунктов, нивелирных знаков и точек, закрепленных постоянными знаками;
- данные о метрологической аттестации средств измерений (исследований, поверок и эталонирования приборов, компарирования реек и мерных приборов и т.д.);

- акты о сдаче геодезических пунктов и точек геодезических сетей, закрепленных постоянными знаками, на наблюдение за их сохранностью;
- акты полевого (камерального) контроля.

По опорной геодезической сети дополнительно представляются:

- карточки установленных постоянных геодезических знаков и центров;
- журналы измерения направлений (углов), сводки измеренных направлений и листы графического определения элементов приведения;
- абрисы геодезических пунктов, привязанных к постоянным предметам местности;
- абрисы нивелирных знаков (марок, стенных и грунтовых реперов);
- журналы измерения базисов и длин линий, материалы по определению их высот;
- журналы нивелирования;
- ведомости превышений.

По планово-высотной съемочной геодезической сети дополнительно представляются:

- абрисы точек, закрепленных постоянными знаками, и точек постоянного съемочного обоснования;
- журналы измерения углов и линий, технического и тригонометрического нивелирования.

Примечание

Результаты выполненных геодезических измерений могут быть представлены в виде данных, полученных с регистрирующих устройств, спутниковой геодезической аппаратуры или других носителей информации.

8.1 Требования к производству и обеспечению точности топографических съемок при инженерных изысканиях для строительства

Топографическая съемка местности при инженерно-геодезических изысканиях для строительства выполняется методами: горизонтальным, высотным (вертикальным), мензульным, тахеометрическим, нивелированием поверхности, наземным фототопографическим, стереотопографическим, комбинированным аэрофототопографическим, с использованием спутниковой геодезической аппаратуры (приемников GPS и др.), а также сочетанием различных методов.

Наименование	Горизонтальная и высотная (вертикальная) съемка	Мензульная съемка	Тахеометрическая съемка
Предельные расстояния, м, от прибора до четких контуров местности при измерении:			

Электронным тахеометром при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	1000
1:2000	750	-	750
1:1000	400	-	400
1:500	250	-	250
Рулеткой (лентой) при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	250	-	250
1:1000	180	-	180
1:500	120	-	120
Нитяным дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	150	150
1:2000	100	100	100
1:1000	80	80	80
1:500	60	60	60
Оптическим дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	180	-	180
1:1000	120	-	120
1:500	80	-	80
Предельные расстояния, м, от прибора до нечетких контуров местности при измерении:			
Электронным тахеометром при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	1000
1:2000	1000	-	1000
1:1000	600	-	600
1:500	375	-	375
Рулеткой (лентой) при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	370	-	370
1:1000	270	-	270
1:500	180	-	180
Нитяным дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	220-	220-
1:2000	150	150	150
1:1000	120	120	120
1:500	90	90	90
Оптическим дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	270	-	270
1:1000	180	-	180
1:500	120	-	120
Предельные расстояния, м, от прибора до рейки при съемке рельефа и измерении длин линий нитяным дальномером:			
в масштабе 1:5000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	-	250	250
1,0	-	300	300
2,0	-	350	350
5,0	-	350	350
в масштабе 1:2000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	200	200	200

1,0	250	250	250
2,0	250	250	250
в масштабе 1:1000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	150	150	150
1,0	200	200	200
в масштабе 1:500 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	100	100	100
1,0	150	150	150
Предельные расстояние между пикетами, м, съемке:			
в масштабе 1:5000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	-	70	60
1,0	-	100	80
2,0	-	120	100
5,0	-	150	120
в масштабе 1:2000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	40	50	40
1,0	50	60	50
2,0	60	70	60
в масштабе 1:1000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	20	30	20
1,0	30	40	30
в масштабе 1:500 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	15	20	15
1,0	20	30	20
Предельные длины съемочных ходов (тахеометрических и мензульных), м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	1000	1200
1:2000	-	500	600
1:1000	-	250	300
1:500	-	200	200
Предельные число линий в съемочных ходах (тахеометрических и мензульных), м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	5	6
1:2000	-	5	5
1:1000	-	3	3
1:500	-	2	2
Предельные длины сторон в съемочных ходах (тахеометрических и мензульных), м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	250	300
1:2000	-	200	200
1:1000	-	100	150
1:500	-	100	100
Предельная длина направления засечки, м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	600	-
1:2000	50	300	-
1:1000	50	150	-
1:500	50	-	-
Погрешность центрирования, см, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	25	1

1:2000	-	10	1
1:1000	-	5	1
1:500	-	5	1
Длины перпендикуляров, м, (без эккера /с эккером при съемке в масштабах:			
1:2000	8/60	-	-
1:1000	6/40	-	-
1:500	4/20	-	-
Предельные невязки съемочных (тахеометрических и мензульных) ходов:			
по высоте, см	-	$\frac{0{,}04S}{\sqrt{n}}$	$\frac{0{,}04S}{\sqrt{n}}$
в плане,м	-	-	$\frac{S}{400\sqrt{n}}$

Обозначения: S - длина хода в м, *n* - число линий в ходе

Примечания

1. Съемка в масштабе 1:500 основных углов капитальных зданий (сооружений) с измерением расстояний нитяным дальномером не допускается

2. Допускается проложение висячих ходов с двумя переходными точками от аналитически определенных пунктов (точек) при съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000 и с одной переходной точкой при съемке в масштабах 1:1000 и 1:500.

Инженерно-топографические планы при изысканиях для разработки градостроительной и проектной документации для строительства крупных промышленных предприятий, железных и автомобильных дорог, магистральных каналов и магистральных трубопроводов следует составлять, как правило, аэрофототопографическим методом по материалам аэрофотосъемки.

Наземную топографическую съемку следует производить в случаях, когда применение аэрофотосъемки экономически нецелесообразно, ее выполнение не представляется возможным или аэрофототопографический метод не обеспечивает требуемой точности составления планов.

При изысканиях для строительства железных и автомобильных дорог, магистральных каналов и магистральных трубопроводов наземная топографическая съемка выполняется, как правило, на площадках и в местах переходов и пересечений этих линейных сооружений.

Инженерно-топографические планы могут быть представлены в графическом или цифровом видах (цифровой инженерно-топографический план).

В соответствии с техническим заданием заказчика результаты топографических съемок могут быть представлены в виде топографо-геодезических материалов для составления градостроительного кадастра (СНиП 14-01-96) и других кадастров, банков инженерно-геодезических данных, а также в виде геоинформационных систем (ГИС) поселений и предприятий соответствующего уровня.

Инженерно-топографические планы создаются на копиях (репродукциях) с фотопланов, изготовленных на жесткой основе; на малодеформируемых пластиках; на чертежной бумаге, наклеенной на жесткую основу.

Планы-оригиналы одноразового пользования небольших (до 1 км^2) изолированных участков и узких полос на незастроенной территории допускается составлять на чертежной бумаге.

Цифровые инженерно-топографические планы создаются на основе автоматизированных методов (передача информации с электронных накопителей геодезических приборов) или путем оцифровки графического изображения планов и последующей векторизации растровых файлов, полученных после сканирования планов.

Точность цифрового инженерно-топографического плана должна быть не ниже точности инженерно-топографического плана в графическом виде соответствующего масштаба. Информация цифрового инженерно-топографического плана должна соответствовать действующим условным знакам для топографических планов (п. 5.8 СНиП 11-02-96).

При создании цифровых инженерно-топографических планов и карт, банков инженерно-геодезических данных, геоинформационных систем (ГИС) поселений и предприятий, а также при других процессах автоматизированной обработки результатов инженерно-геодезических изысканий должны использоваться утвержденные в установленном порядке классификаторы единой системы классификации и кодирования топографической и картографической информации - «Классификатор топографической информации. (Информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000)» и др.

Номенклатура листов инженерно-топографических планов должна устанавливаться в программе изысканий. На территории существующих населенных пунктов и действующих предприятий принятая разграфка и номенклатура листов планов должны быть сохранены, если они не противоречат единой разграфке планов населенного пункта (поселения).

При создании инженерно-топографических планов участков местности площадью до 20 км^2, как правило, применяется квадратная разграфка с рамками размерами 40×40 см для листов планов в масштабе 1:5000 и 50×50 см для листов планов в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500.

В результате выполнения топографической съемки должны быть представлены:

- оригиналы инженерно-топографических и кадастровых планов с формулярами;
- журналы обследования надземных сооружений и колодцев, шурфов подземных сооружений;
- абрисы съемки подземных сооружений и др. материалы (п. 5.188);
- акты полевого приемочного контроля.
- Дополнительно по видам наземных съемок должны представляться:

- по горизонтальной и высотной съемке - абрисы и журналы съемки;
- по мензульной съемке - схема участков съемки с разграфкой листов плана;
- журналы мензульной съемки;
- кальки высот и контуров (электрографические копии, выкопировки по рамкам южной и восточной) планов в масштабах 1:5000 - 1:2000;
- по тахеометрической съемке - кальки стереообработки, контуров и высот;
- журналы обработки стереопар;
- сводки по рамкам;
- ведомости оценки качества негативов.

8.4 Тахеометрическая съемка

Тахеометрическая съемка применяется для съемки небольших и узких полос местности.

При выполнении тахеометрической съемки для сокращения продолжительности полевых и камеральных работ следует использовать электронные тахеометры с регистрацией и накоплением результатов измерений.

Тахеометрическая съемка выполняется с пунктов (точек) съемочного обоснования. Сгущение съемочного обоснования допускается выполнять проложением тахеометрических ходов, графическими прямыми и комбинированными засечками с числом направлений не менее трех.

По окончании работы на станции следует контролировать ориентирование лимба теодолита. Отклонение от первоначального ориентирования не должно быть более 1,5'.

На каждой станции должен составляться абрис, в котором следует показывать пикеты, ситуацию, а также структурные линии рельефа местности (тальвеги, водоразделы и др.), направление скатов.

Планы тахеометрической съемки должны приниматься в полевых условиях с оформлением актов контроля и приемки работ.

8.5 Горизонтальная и высотная (вертикальная) съемка застроенных территорий

Горизонтальная съемка застроенных территорий в масштабах 1:2000 - 1: 500 выполняется самостоятельности или в сочетании с высотной съемкой.

Горизонтальная съемка выполняется способами: полярным, створов, графоаналитическим, засечек, перпендикуляров (абсцисс и ординат), стереотопографическим.

При всех способах горизонтальной съемки должны составляться абрисы, производиться обмеры контуров зданий (сооружений) и измеряться контрольные связки между ними.

Съемка застроенной территории должна производиться с пунктов (точек) опорной и съемочной геодезических сетей (приложение Г).

Производить съемку с точек мензульных ходов не разрешается.

Створные точки, определяемые от пунктов и точек геодезической основы, должны определяться с точностью не менее 1:2000.

При использовании способа засечек допускаются углы в пределах от 30° до 150°.

Измерение горизонтальных углов при съемке следует выполнять теодолитом при одном положении вертикального круга со средней погрешностью не более 1' и с контролем ориентирования лимба на станции, расхождение от первоначального ориентирования допускается не более 1,5'.

Накладка контуров капитальных зданий (сооружений) с помощью транспортира допускается при величине полярных расстояний до 6 см в масштабе плана. При полярных расстояниях, превышающих указанную величину, накладка таких контуров на план должна производиться по координатам.

При графоаналитическом способе съемки углы кварталов и капитальные здания (сооружения), опоры, колодцы, центры стрелочных переводов должны наноситься на план по координатам, определенным с пунктов планового съемочного обоснования, и данным обмеров контуров зданий (сооружений). Съемку прочих элементов ситуации допускается производить методом мензульной или тахеометрической съемки.

Высоты люков колодцев подземных сооружений и верха труб на дорогах, урезов воды в водоемах (водотоках), полов в капитальных зданиях (по дополнительному заданию) должны определяться геометрическим нивелированием по двум сторонам рейки или тригонометрическим нивелированием при двух положениях вертикального круга. Расхождение между превышениями не должны быть более 2 см. Высоты других пикетов следует определять по одной стороне рейки (при одном положении вертикального круга в случае тригонометрического нивелирования), при расстояниях до пикетов более 250 м следует вводить поправки за кривизну земной поверхности и рефракцию.

На улицах (проездах) поперечные профили должны измеряться через 40, 60, 100 м (в зависимости от масштаба планов), а также в местах перегиба рельефа и по осям пересекающихся улиц (проездов).

При нивелировании поперечных профилей должны быть определены высоты у фасадной линии, бровки тротуара (бордюрного камня), оси улицы (проезда), бровки и дна кюветов, а также других характерных точек рельефа.

Расстояние между нивелирными точками на поперечных профилях не должны превышать 40 м на планах и в масштабе 1:2000 и 20 м - 1:1000 и 1:500.

В результате выполнения аэрофотосъемки дополнительно (п. 5.74) следует представлять:

- оригиналы инженерно-топографических и кадастровых планов с формулярами;
- журналы обследования надземных сооружений и колодцев, шурфов подземных сооружений;
- абрисы съемки подземных сооружений и др. материалы;
- акты полевого приемочного контроля.

Дополнительно по видам наземных съемок должны представляться:

- по горизонтальной и высотной съемке - абрисы и журналы съемки;
- по мензульной съемке - схема участков съемки с разграфкой листов плана;
- журналы мензульной съемки;
- кальки высот и контуров (электрографические копии, выкопировки по рамкам южной и восточной) планов в масштабах 1:5000 - 1:2000;
- по тахеометрической съемке - кальки стереообработки, контуров и высот;
- журналы обработки стереопар;
- сводки по рамкам;
- ведомости оценки качества негативов.

Результаты выполненной топографической съемки, контроля и приемки работ должны включаться в состав технического отчета в соответствии с требованиями п. 5.13 СНиП 11-02-96.

Обновление топографических планов (корректура)

При обновлении инженерно-топографических (цифровых инженерно-топографических) и кадастровых планов должна выполняться топографическая съемка вновь появившихся контуров, элементов ситуации, зданий и сооружений (подземных, наземных и надземных) и рельефа местности в местах их изменений.

На участках местности, где общие изменения ситуации и рельефа составляют более 35 %, топографическая съемка должна производиться заново.

Инженерно-топографические планы, составленные по материалам съемки при высоте снежного покрова более 20 см, подлежат обновлению.

Обновление инженерно-топографических (цифровых инженерно-топографических) планов и банков инженерно-геодезических данных должно осуществляться на основе использования:

- государственных фондов Роскартографии, государственных территориальных фондов материалов инженерных изысканий органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации или местного самоуправления, государственного ведомственного фонда материалов

комплексных инженерных изысканий Госстроя России, а также фондов материалов других министерств и ведомств;

- материалов и данных геоинформационных систем (ГИС) поселений и предприятий;
- материалов и данных государственных кадастров;
- топографо-геодезических материалов предприятий и организаций - оригиналы и копии планов, их формуляры, каталоги координат и высот закрепленных на местности пунктов (постоянных точек) геодезической основы, исполнительные чертежи и планы законченных строительных объектов, профили;
- материалов контрольных геодезических съемок законченных строительством объектов и коммуникаций.

При обновлении планов съемочным плановым обоснованием должны служить пункты существующей опорной геодезической сети, точки постоянного съемочного обоснования, четкие контуры и предметы-ориентиры, а высотным обоснованием - нивелирные знаки и твердые контуры (колодцы, цоколи зданий и т.п.), имеющие высотные отметки.

Съемка вновь появившихся объектов (контуров) и изменений рельефа, а также оформление полевых и камеральных материалов должны производиться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к наземной топографической съемке.

9 СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ И НАДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На инженерно-топографические планы должны наноситься все существующие подземные и надземные сооружения (коммуникации).

В случае отсутствия планов подземных и надземных сооружений (коммуникаций), исполнительных чертежей, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок и других материалов или их недостаточной полноте или точности должна выполняться съемка и обследование подземных и надземных сооружений методами, применяемыми при горизонтальной и высотной съемке застроенных территорий.

Примечание

Подземные, надземные линейные сооружения, предназначенные для транспортировки жидкостей и газов, передачи энергии и информации, относятся к инженерным коммуникациям.

Съемка подземных и надземных сооружений должна производиться с учетом требований пп. 5.7-5.10, 5.12 СНиП 11-02-96.

Составление эскизов опор, определение напряжения и числа проводников в линиях электропередачи и связи, марки проводов и кабелей, ведомственной принадлежности коммуникаций, габаритов и номеров опор, расположения прокладок на опорах, высоты опор и эстакад, видов прокла-

док на них, высот проводов и кабелей между опорами выполняются по дополнительному заданию заказчика.

Работы по съемке и обследованию существующих подземных сооружений включают:

- сбор и анализ имеющихся материалов о подземных сооружениях (исполнительных чертежей, инженерно-топографических и кадастровых планов, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок и др.)
- рекогносцировочное обследование (отыскание на местности сооружений, определение назначения и участков для поиска прокладок с помощью трубокабелеискателей);
- обследование и (или) детальное обследование подземных сооружений в колодцах (шурфах);
- поиск и съемка подземных сооружений, не имеющих выходов на поверхность земли;
- плановая и высотная (нивелирование) съемки выходов подземных сооружений на поверхность земли;
- составление плана и при необходимости схемы сетей подземных сооружений с их техническими характеристиками;
- согласование полноты плана подземных сооружений и технических характеристик сетей, нанесенных на план, с эксплуатирующими организациями.

До начала полевых работ по съемке существующих подземных сооружений должны быть собраны:

- исполнительные чертежи;
- инженерно-топографические планы;
- материалы исполнительной и контрольной геодезических съемок, а также материалы (планы) градостроительного кадастра;
- проектные, инвентаризационные и другие материалы и данные о наличии, технических характеристиках и планово-высотном положении подземных сооружений.

На основе анализа собранных материалов должна быть установлена возможность их использования в намечаемых работах, а также определены предварительные объемы съемки подземных сооружений.

Рекогносцировочное обследование местности должно проводиться для отыскания на ней по внешним признакам местоположения и назначения подземных сооружений, а также определения участков трубопроводов и кабелей для поиска с помощью трубокабелеискателей.

Координирование выходов, углов поворота и других точек подземных сооружений на застроенной территории должно производиться по дополнительному заданию заказчика.

Расположение углов поворота и других скрытых точек подземных сооружений, а также глубина их заложения должны определяться с помощью трубокабелеискателей, а в случае невозможности их использования применяется шурфование.

При обследовании подземных и надземных сооружений должны быть определены следующие их элементы и технические характеристики:

- по водопроводу
- материал и наружный диаметр труб;
- назначение (хозяйственно-питьевой, производственный);
- по канализации
- характеристика сети (напорная, самотечная);
- назначение (бытовая, производственная, дождевая);
- материал и диаметр труб (внутренний для самотечных и наружный для напорных сетей);
- по теплосети
- тип прокладки (канальная или бесканальная);
- тип канала (проходной, полупроходной, непроходной);
- материал и внутренние размеры канала;
- количество и наружный диаметр труб;
- по газопроводу
- наружный диаметр и материал труб;
- давление газа (низкое, среднее, высокое);
- по кабельным сетям
- напряжение электрических кабелей (высоковольтные 6 кВ и выше, низковольтные);
- направление (номера трансформаторных подстанций) для высоковольтных кабелей;
- условия прокладки (в канализации, в коллекторах, бронированный кабель);
- принадлежность кабелей связи;
- количество отверстий в телефонной канализации;
- материал и размеры распределительных пунктов, трансформаторных подстанций, телефонных шкафов и коробок;
- по подземному дренажу
- материал и наружный диаметр труб;
- поперечное сечение галерейных дрен, глухих коллекторов (по дополнительному заданию заказчика).

При обследовании в колодцах (шурфах) должно быть определено назначение инженерных коммуникаций, диаметр и материал труб, материал и тип каналов, число кабелей (также труб при кабельной канализации),

направление стока в самотечных трубопроводах, направления на смежные колодцы (камеры) и вводы в здания (сооружения) с составлением схемы.

Габариты колодцев (камер) надлежит отражать в масштабе плана, если площадь колодцев (камер) составляет в натуре не менее 4 $м^2$ при съемке в масштабе 1:500 и 9 $м^2$ - в масштабе 1:1000.

Плановое положение прокладок, размещенных в колодцах (камерах) указанных размеров, определяется относительно проекции центра люка.

При съемках в масштабах 1:2000 и 1:5000 обмер габаритов колодцев (камер), а также привязка размещенных в них коммуникаций не выполняются.

Детальное обследование колодцев (камер), выполняемое по дополнительным требованиям заказчика, кроме работ, указанных в п. 5.181, должно включать:

- обмеры габаритов и определение материалов колодцев (камер) и каналов;
- обмеры конструктивных элементов трубопроводов и их фасонных частей;
- определение взаимного местоположения вводов, выпусков и присоединений прокладок, составление эскизов по основным сечениям этих сооружений.

Нивелирование подземных сооружений включает определение высот обечаек (верха чугунного кольца люка колодца), земли или мощения у колодца, а также высот, расположенных в колодце труб, кабелей, каналов (промерами от обечайки с отсчетом до 1 см).

В колодцах (камерах) подлежат нивелированию:

- в самотечных сетях - дно лотка;
- в перепадных колодцах, дополнительно - низ входящей трубы;
- в колодцах-отстойниках - дно колодца, низ входящей и выходящей труб;
- в напорных трубопроводах - верх труб;
- в каналах коллекторах - верх низ каналов (коллекторов);
- в кабельных сетях - место пересечения кабеля со стенками колодца, верх и низ пакета (блока) при кабельной канализации.

Съемка точек подземных коммуникаций, отыскиваемых с помощью трубокабелеискателей, на прямолинейных участках должна производиться, как правило, через 20, 30, 50 и 100 м соответственно для масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

Глубина заложения безколодезных прокладок должна определяться на углах поворота, в точках резкого излома рельефа, но не реже чем через 10 см в масштабе съемки.

Определение глубины заложения прокладок с помощью трубокабелеискателей должно выполняться дважды. Расхождения между результатами измерений не должны превышать 15 %.

В зависимости от насыщенности подземными и надземными сооружениями инженерно-топографические планы разрешается составлять совмещенными с изображением на одном листе плана ситуации, рельефа и подземных (надземных) сооружений, планы отдельных подземных надземных сооружений, групп их и др. Необходимость составления совмещенных или раздельных планов подземных (надземных) сооружений должна устанавливаться в техническом задании заказчика.

В результате выполнения съемки подземных и надземных сооружений дополнительно (п. 5.74) должны быть представлены:

- журналы детального обследования наземных и подземных сооружений;
- журналы технического нивелирования;
- эскизы опор и колодцев (камер) при их детальном обследовании;
- планы надземных и подземных сооружений, согласованные с эксплуатирующими организациями;
- каталоги координат выходов, углов поворота и других точек подземных сооружений.

10 СЪЕМКА ВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Русловые съемки (подробные и облегченные), включающие съемку подводного рельефа и береговой полосы, выполняются с соблюдением требований, предъявляемых к топографическим съемкам суши и промерам глубин. При русловой съемке подлежат отображению на планах русловые образования (острова, побочни, косы и осередки), протоки, ручьи, участки размываемого берега и промоины.

Русловые облегченные съемки выполняются с точностью смежного более мелкого масштаба.

Съемки русел рек при подробных и облегченных русловых съемках выполняются, как правило, в масштабах 1:10000-1:2000.

Ширина береговой полосы русловых съемок устанавливается в техническом задании заказчика исходя из цели съемки и ее назначения в зависимости от конкретных условий местности. Ширина береговой полосы должна, как правило, составлять по каждому берегу (считая от меженной бровки) для масштабов: 1:2000-100 м, 1:5000-150 м и 10000-200 м.

Промеры глубин характеризуются подробностью и способами: проложения галсов, определения мест на галсах, измерения глубин.

Промеры глубин следует производить по галсам, пересекающим водоем (водоток), как правило, нормально к общему направлению изобат и расположенным на определенном расстоянии друг от друга.

Для контроля выполняются промеры по продольным галсам, пересекающим основные галсы под углом в пределах 30°-150°.

По подробности промеры глубин подразделяют на специальные, подробные и облегченные.

Каждый из этих видов промеров характеризуется частотой галсов и измеренных глубин на них, а также масштабом оформления плана. Расстояние между галсами и промерными точками и масштаб оформления плана следует принимать в соответствии с табл. 13.

Таблица 13 - Расстояние между галсами и промерными точками и масштаб оформления плана

Подробность промеров глубин	Масштаб плана	Расстояние, м			
		между галсами при рельефе дна		между промерными точками при рельефе дна	
		сложном	спокойном	сложном	спокойном
Специальные	1:500	5	10	2	2
	1:1000	10	20	5	10
Подробные	1:2000	20	40	10	20
	1:5000	50	100	20	30
	1:10000	100	200	30	40
Облегченные	1:2000	40	60	10	20
	1:5000	100	150	20	30
	1:10000	200	300	30	40

Подводный рельеф на планах изображается изобатами или горизонталями.

Планы составляются в изобатах в тех случаях, когда они предназначаются для проектирования мероприятий, непосредственно связанных с эксплуатацией акваторий, и на них должны быть показаны глубины.

Для проектирования объектов строительства, сопряженных с берегом, рельеф дна на планах акваторий изображается, как правило, горизонталями.

Высота сечения рельефа дна при изображении его горизонталями (изобатами) в зависимости от подробности промера, масштаба плана и сложности рельефа принимается равной 0,5 или 1 м.

Галсы при промерах глубин прокладывают: по береговым створам, фотогалсам и навигационным приборам, маятниковым методом.

В том случае, когда проектируемые береговые створы служат в качестве одной из линий положения, разбивка их на местности должна производиться от точек съемочной сети или промером магистрали, которая прокладывается параллельно линии берега с относительной погрешностью не

ниже 1:1000. Если створы предназначены только для ориентировки на галсе, разбивку их на местности можно выполнять упрощенным способом.

При проложении фотогалсов их привязка осуществляется к контурным точкам, опознаваемым в натуре и на фотоснимках.

По способам определения планового положения промежуточных точек промеры глубин подразделяются на следующие виды:

- без инструментальных засечек;
- с инструментальными засечками;
- по непосредственно разбитым в натуре промерным точкам;
- с применением радиогеодезических и спутниковых геодезических систем.

При промерах глубин без инструментальных засечек измеренные глубины разносятся на плане исходя из условия, что движение катера при промере было равномерным. Этот вид промеров применяется на небольших реках и закрытых водоемах, при наличии фотоплана или топографического плана, и длине галсов, не превышающей 4 см в масштабе плана, но не более 200 м на местности.

Промеры глубин с инструментальными засечками выполняются с применением следующих основных способах координирования:

- по створу и прямым засечками с берега одним инструментом;
- прямыми засечками с берега двумя инструментами;
- по створу и обратными засечками одним секстантом;
- обратными засечками двумя секстантами.

К промерам глубин способом непосредственной разбивки в натуре промерных точек относятся промеры по размеченному тросу и промеры со льда.

Промеры глубин с применением радиогеодезических систем и спутниковых систем осуществляются на базе автоматизированных гидрографических комплексов, позволяющих выполнить весь состав инженерно-гидрографических работ, включая составление рабочего планшета.

Средняя погрешность определения планового положения промерных точек а масштабе плана относительно ближайших точек съемочной геодезической сети при промерах глубин на реках, внутренних водоемах и других акваториях не должна превышать допусков, установленных п. 5.9 СНиП 11-02-96.

Дополнительные требования к промерам глубин и способам определения положения промерных точек при инженерно-гидрографических работах следует устанавливать в программе изысканий.

Промеры глубин выполняются эхолотами, наметкой или ручным лотом, механическим лотом.

Отсчеты при измерениях глубин должны производиться с точностью не менее 0,1 м при глубинах до 10 м; 0,2 м при глубинах от 10 до 20 м и 0,5 м при глубинах свыше 20 м.

В комплекс работ по высотному обоснованию промеров глубин входят:

- установка и нивелирование реперов;
- устройство водомерных постов и наблюдения за уровнем воды;
- мгновенная или однодневная связка уровней воды;
- нивелирование по рабочим уровням воды.

На участках рек и зон выклинивания водохранилищ, для которых планы составляются в изобатах, выполняются: нивелирование по рабочим уровням воды и однодневная или многодневная связка уровней воды.

На участках рек, для которых планы составляются в горизонталях, а также на озерах и водохранилищах выполняется нивелирование по рабочим уровням воды.

Нивелирование по рабочим уровням воды, от которых измеряются глубины, выполняется одиночными ходами IV класса, опирающимися на реперы высотной опорной геодезической сети. Определение уровней воды в отдельных точках выполняется двойными висячими ходами (шлейфами) нивелирования IV класса или технического нивелирования. Привязка уровней воды производится у каждого галса или через несколько галсов (но реже, чем через 1 км) при условии, что падение уровней поверхности между привязанными галсами было равномерным и не превышало 10 см.

При производстве однодневной связки высотные отметки урезов воды определяются во всех точках излома водной поверхности, положение которых зафиксировано постоянными и временными реперами (ТОС).

При выполнении промеров глубин в прибрежной зоне морей погрешность передачи теоретического нуля глубин (ТНГ) от постоянного уровенного поста на временный не должна превышать 5 см.

Обнаружение подводных препятствий, представляющих опасность для судоходства, производится гидрографическим тралением. Гидрографическое траление допускается выполнять жестким тралом, высокочастотным каналом эхолота, гидролокатором бокового обзора (ГБО).

Обследование подводных препятствий производится:

- сгущением галсов до частоты, обеспечивающей детальное определение контура мели или банки и выявление минимальных глубин на них;
- проложением специальных галсов, перпендикулярны основным.

Работы по трассированию судовых ходов и съемке створных площадок включают:

- вынос и закрепление на местности оси трассы, створа и границ судового хода и створных площадок;

- разбивку и нивелирование пикетажа по оси судового хода и створа с последующим составлением продольного профиля;
- съемку полосы трассы и створных площадок.

В результате выполнения инженерно-гидрографических работ должны быть представлены:

- материалы по созданию опорной и съемочной геодезических сетей;
- журналы прибрежной топографической и русловой съемок;
- журналы промеров глубин или эхограммы;
- материалы по плановому определению промерных точек на галсах;
- материалы нивелирования водной поверхности (однодневных и мгновенных связок);
- продольные профили водной поверхности;
- инженерно-топографические планы (русел рек, акваторий и прибрежной части) а горизонталях или изобатах;
- материалы гидрографического траления и обследования подводных препятствий;
- материалы инженерно-гидрографических работ по судоходным трассам и створным площадкам.

11 ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

При изысканиях новых трасс линейных сооружений, как правило, выполняются:

- анализ и доработка материалов, выполненных на предшествующих стадиях проектирования;
- рекогносцировочное обследование района (участка) трассы и сооружений;
- полевое трассирование (вынос трассы в натуру);
- планово-высотная привязка трассы к пунктам государственной (опорной) геодезической сети;
- топографическая съемка полосы местности вдоль трассы (съемка текущих изменений при наличии планов) в масштабах 1:1000-1:500;
- съемка переходов, пересечений инженерных коммуникаций, выявление и нанесение на инженерно-топографические планы и другие топографические материалы участков проявления карста;
- составление инженерно-топографических планов;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

По трассам магистральных трубопроводов (прокладываемых в несложных условиях), электрических кабелей 6-20 кВ, кабелей связи, ЛЭП выполняется съемка ситуации.

Под карьеры грунтовых строительных материалов выполняется топографическая съемка площадок их разработки.

При изысканиях для расширения (реконструкции) существующих линейных сооружений следует выполнять:

- съемку плана сооружений и координирование их основных элементов;
- съемку поперечных и продольных профилей (при необходимости для уточнения положения трассы);
- составление топографических планов;
- полевое трассирование трасс сооружений;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

11.1 Рекогносцировочное обследование района (участка) трассы и сооружений

Рекогносцировочное обследование выполняется в зависимости от состава материалов, которыми располагает изыскатель к моменту начала работ. Обычно это материалы, подготовленные на этапе составления акта выбора трассы, камерального трассирования по картам или результаты камеральной укладки трассы на полосе маршрутной съемки, составленной на основе проложения магистрального хода.

Перед началом работ вместе с представителем эксплуатационной службы заказчика пройти (проехать) по маршруту намечаемой трассы. При рекогносцировке определяется оптимальный вариант прохождения трассы относительно инженерных сооружений, дорог, естественных преград, коридоров коммуникаций и т.д. в соответствии с требованиями настоящих строительных норм и правил Российской Федерации, а также нормативно-технических документов Федеральной службы геодезии и картографии России.

По возможности необходимо провести подобную рекогносцировочную работу с представителями всех служб и владельцев существующих инженерных сооружений, выявленных на стадии ТЭО, а также при согласовании акта выбора прохождения трассы. Во время рекогносцировки необходимо максимально полно получить информацию о наличии, месторасположении, характеристиках инженерных сооружений, находящихся в введении той или иной службы.

Во время выезда с представителем заказчика уточняется на местности начало, конец трассы - точка отмыкания и примыкания, врезки и т.д.

На территориях нефтяных и газовых месторождений НГДУ нужно более плотно работать с маркшейдерской службой НГДУ, инженерным составом Производственного отдела НГДУ, мастерами ДНС, операторами, обходчиками. Так как они наиболее полно владеют информацией о наличии и месторасположении подземных коммуникаций.

В состав работ при полевом трассировании входят:

- - проложение теодолитных (тахеометрических) ходов по оси трассы, разбивка и ведение пикетажа с разбивкой горизонтальных кривых;

- - нивелирование трассы и установка реперов;
- - съемка поперечников на пикетных и всех плюсовых (переломных) точках, съемка поперечных профилей по осям водопропускных труб;
- - закрепление трассы (углов поворота и створных точек, мостовых переходов и др.).

На территории населенных пунктов и промышленных предприятий вместо полевого трассирования должна выполняться крупномасштабная топографическая съемка полосы местности по выбранной трассе с последующей камеральной укладкой трассы по материалам съемки в существующих системах координат и высот.

Ширина полосы съемки вдоль трассы линейного сооружения должна составлять до 100 м на незастроенных территориях, а для застроенных территорий должна ограничиваться шириной проезда (улицы). Для существующих железных дорог ширина полосы съемки ограничивается, как правило, полосой отвода железной дороги. На участках пересечений и сближений трасс с существующими коммуникациями и другими сооружениями ширину полосы съемки следует принимать с учетом обеспечения требований проектирования по их переустройству и переносу.

11.1Камеральное и полевое трассирование линейных сооружений

В данной главе под линейными сооружениями подразумеваются железные и автомобильные дороги, главное требование к которым заключается в обеспечении безопасности и равномерности движения с заданными уклонами, радиусами поворота и скоростями следования. В связи с этим строительными нормами и правилами (СНиП) строго регламентируются максимальные (руководящие) уклоны и минимальные радиусы кривых всех видов постоянных дорог.

Существуют и другие виды линейных сооружений (например, линии электропередач, теплотрассы, канализации), к которым предъявляются свои специфические требования. Однако многие вопросы, касающиеся инженерных изысканий, геодезических разбивок и съемок имеют общий характер.

Трассировочные работы (трассирование) являются одним из видов инженерно-геодезических изысканий и служат для выбора наиболее оптимального положения на местности трассы и отвечающие всем требованиям технических условий на ее проектирование. Независимо от характера линейного сооружения и параметров трассирования все трассы должны вписываться в ландшафт местности и не нарушать природного рельефа. По возможности трассу располагают на землях, имеющих наименьшую ценность для сельского хозяйства.

Трассой называют главную ось проектируемого линейного сооружения значительной протяженности. Ось наносится на топографическую карту, задается координатами основных точек и обозначается на местности.

Основными элементами трассы являются план и продольный профиль (вертикальный разрез по проектируемой линии).

План трассы представляет собой сложную линию, состоящую из прямолинейных участков различного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянных и переменных радиусов. Есть трассы, на которых закругления не проектируют, например, линии электропередач, канализаций. В этом случае трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

Продольный профиль трассы состоит из линий переменного уклона, сопрягаемыми обычно вертикальными круговыми кривыми. Для наглядности вертикальный масштаб разреза выполняют в 10 раз крупнее горизонтального. Чтобы наиболее полно охарактеризовать местность, на которой проектируется прокладка линейного сооружения, перпендикулярно трассе составляют поперечные профили.

По топографическим условиям расположения трассы различают долинные, водораздельные, косогорные, поперечно-водораздельные категории.

Долинная трасса проходит по надпойменной террасе долины, имеет обычно спокойный план и профиль, но пересекает большое число водотоков. В силу этого требует возведения дорогостоящих переходов.

Водораздельная трасса пересекает наиболее высокие отметки рельефа. В холмистой местности трассу приходится крайне усложнять, что уменьшает ее преимущество перед другими категориями. Однако в равнинных и среднепересеченных местностях она выгодно отличается по трудоемкости возведения в виду создания небольшого числа искусственных сооружений.

Косогорная трасса располагается на склонах возвышенностей. При ее проектировании со слабым уклоном создается извилистая в плане линия с большим количеством переходов. Эксплуатацию сооружения затрудняют возможные обвалы, осыпи и селевые потоки.

Поперечно-водораздельная трасса пересекает долины и водоразделы и в плане близка к прямой. В продольном же профиле часто встречаются предельные уклоны, что вынуждает строить сложные переходы.

На практике сочетают различные категории трасс путем технико-экономического сравнения возможных вариантов. Таким образом, основная задача трассирования линии на местности заключается в выборе оптимального варианта трассы, расположенной в благоприятных условиях и требующей на строительство и эксплуатацию минимальных затрат.

Трассирование в зависимости от стадии изысканий может быть камеральным или полевым.

Камеральное трассирование выполняют на стадии технического проекта с целью выбора основного направления и вариантов трассы. Для этого на топографической карте масштаба 1:500 000–1:100 000 (для трассы зна-

чительного протяжения) намечают начальный, конечный и промежуточный пункты. Получают так называемую воздушную линию, к которой стремятся приблизить проектируемую. Затем на картах масштаба 1:50 000 или 1:25 000 фиксируют и уточняют точки положения трассы, определяющие ее ось, при обходе или пересечении различного рода препятствий.

В зависимости от условий местности трассирование по топографической карте выполняют способом попыток или построением линии допустимого уклона.

Способ попыток применяют в условиях равнинной местности, положение трассы определяется, прежде всего, ситуацией, т.е. контурными препятствиями. В виду того, что средний уклон равнинного рельефа меньше допустимого в высотном отношении трассу намечают «вольным ходом», т.е. определяют проектную линию по характерным точкам местности вдоль намеченного направления. При этом в плане стремятся создать прямую трассу по заданному направлению. Тем не менее, в процессе трассирования обязательному обходу подлежат крупные населенные пункты, промышленные предприятия, аэродромы, заповедники и др., заставляющие отклонять трассу в ту или иную сторону. Происходит ее удлинение на каждом участке отклонения, которое может быть вычислено по формуле

$$\Delta L = \frac{AC - AB}{AB},$$

где φ – угол отклонения трассы; $AC = \frac{AB}{\cos\varphi}$,

тогда

$$\Delta L = \frac{1 - \cos\varphi}{\cos\varphi} .$$

Для получения наиболее короткой трассы в равнинных районах придерживаются следующих правил:

1. Трассу прокладывают по прямой линии от одного контурного препятствия к другому. Необходимость в отклонениях от прямолинейного направления и назначение углов поворота должна быть обоснована.
2. Вершину углов поворота выбирают против середины препятствия с таким расчетом, чтобы трасса огибала это препятствие.
3. Углы поворота трассы выдерживают в пределах не более 25–30º, чтобы ее удлинение было минимальным.

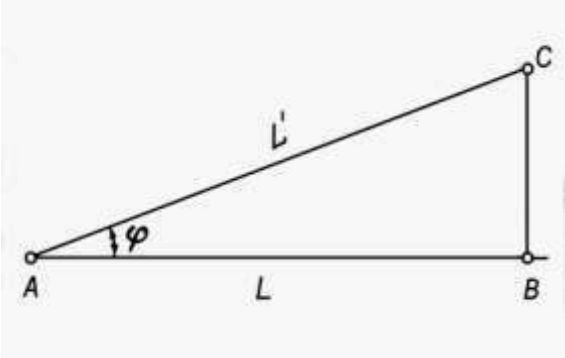


Рисунок 42 - Схема к расчету удлинения трассы

Способ линии предельно допустимого уклона применяется в горных условиях и местности со сложным рельефом. В этом случае по карте выбранного масштаба 1 : М и по высоте сечения рельефа h определяют величину заложения ℓ для уклона $i_{пр}$

$$\ell = \frac{h}{i_{пр}} \frac{1}{M}.$$

Например, для карты масштаба 1:25 000, при h = 5 м, $i_{пр}$ = 0,020

$$\ell = \frac{5000}{0{,}020} \frac{1}{25000} = 10\,мм.$$

По найденному значению ℓ на карте, выделяют участки вольного и напряженного ходов. На участке вольного хода (уклон местности $i_м$ меньше предельного $i_{пр}$) трассу намечают по кратчайшему направлению. На участках напряженного хода ($i_м$ больше $i_{пр}$) трассу намечают по предельно допустимому уклону. Например, из начальной точки *А* раствором циркуля, равным заложению ℓ, засекают соседнюю горизонталь (рис. 43). Из полученной точки *Б* этим же раствором циркуля вновь засекают уже следующую горизонталь, получая точку *В* и т.д. При пересечении оврагов и рек (на этой стадии трассирования) сразу переходят на другую сторону, не принимая во внимание переходы. На участках, где расстояние между горизонталями больше заложения ℓ, точки выбирают в необходимом направлении свободно (см. рис. 43, участок *ГД*).

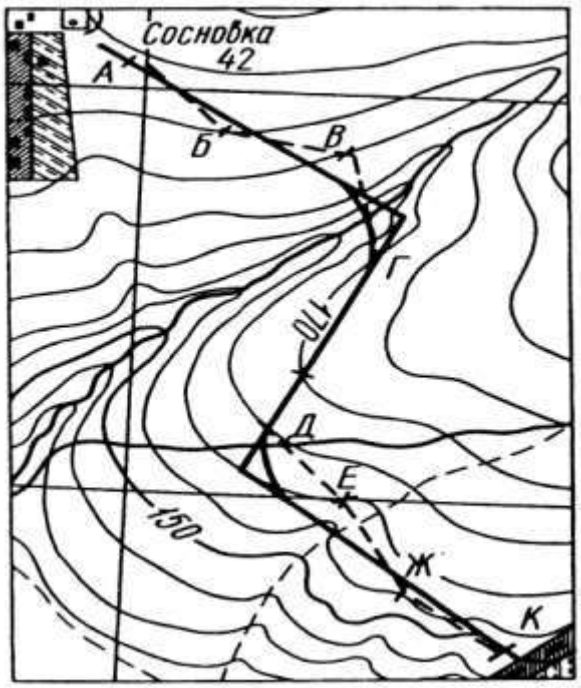


Рисунок 43 - Трассирование по заданному уклону

В результате на карте получают ломаную линию равных уклонов *А*, *Б*, *В*, *Г*, *Д*, *Е*, *Ж*, *К* – линию нулевых работ, так как трассирование велось без учета насыпей и выемок. Линию нулевых работ заменяют участками более длинных прямых (спрямляют), вписывают кривые, разбивают пикеты, намечают характерные точки рельефа (плюсовые точки). Спрямление трассы ведет к появлению земляных работ.

Для построения профиля спрямленной трассы (черного профиля) отметки пикетов и плюсовых точек определяют интерполированием по горизонталям. Затем, руководствуясь техническими нормативами, проектируют профиль дороги и получают «красный профиль».

Полевое трассирование осуществляют на стадии рабочего проектирования, основой которого служат материалы камеральных изысканий, с целью определения наиболее оптимального положения трассы на местности. Основной состав этих изысканий включает:

- вынесение проекта трассы в натуру, ее уточнение и закрепление;
- определение фактических углов поворота линейного сооружения;
- линейные измерения и разбивку пикетажа;
- разбивку круговых кривых;
- установку грунтовых реперов и нивелирование трассы;
- топографическую съемку прилегающих к трассе полос местности;
- привязку трассы к пунктам геодезической основы;
- обработку полевых материалов, составление и ведение необходимой документации.

Вынесение проекта трассы в натуру осуществляется, прежде всего, по подготовленным в камеральных условиях данным привязки углов вершин поворота к пунктам геодезической сети. Трассировочные работы на местности начинают с рекогносцировки, включающей выявление вблизи трассы существующих пунктов геодезической основы по мере продвижения изысканий. От найденных центров геодезической сети выносят в натуру положение исходных точек трассы известными способами. На этих точках устанавливают вехи, обследуют намеченные направления, смещают углы поворотов, если это необходимо, составляют продольный профиль. После проверки пригодности фактического профиля к строительным работам продолжают трассирование следующего участка.

Окончательно выбранное положение вершин углов поворота трассы закрепляют на местности деревянными или железобетонными столбами. Для обозначения трассы между углами поворота, через каждые 100–800 м устанавливают створные вехи по теодолиту.

Определение фактических углов поворота трассы выполняют путем проложения теодолитных ходов между закрепленными вершинами, с измерением правых углов, рис. 44. При повороте линии вправо, углы поворота определяют по формуле

$$\varphi_n = 180° - \beta_1,$$

при повороте трассы влево

$$\varphi_л = \beta_2 - 180°.$$

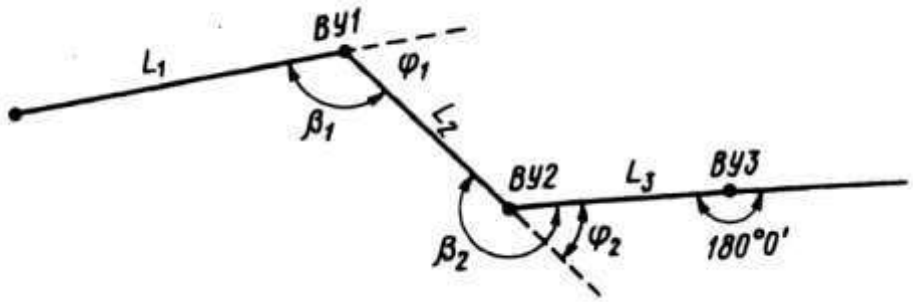


Рисунок 44 - Схема к определению углов поворота трассы

Линейные измерения и разбивку пикетажа производят в процессе проложения теодолитных ходов при определении расстояний между вершинами углов поворота и створными точками. По результатам этих измерений, наряду с плановой привязкой трассы к геодезическим пунктам, вычисляют координаты углов поворота. Определение расстояний осуществляют мерными лентами, оптическими, световыми и другими дальномерами с введением необходимых поправок в соответствии с инструкциями к приборам. Предельная ошибка измерений должна находится в пределах от 1:1 000 до 1:2 000 в зависимости от условий местности.

Разбивку пикетажа обычно выполняют мерными лентами или 50-метровыми рулетками через каждые 100 м. Кроме собственно пикетов, на местности отмечают дополнительные плюсовые точки. Ими могут быть места перегиба рельефа, пересечения трассы с водотоками, другими сооружениями. В процессе разбивки пикетов вводят поправку за наклон местности. Как правило, во избежание дополнительного измерения углов наклона, мерную ленту располагают горизонтально и проектируют конец отсчета на землю с помощью отвеса.

Разбивку круговых кривых производят через равные отрезки такой длины, при которой можно принимать полученную дугу за прямую линию. В качестве основной кривой, сопрягающей два прямых участка оси трассы дорог и каналов, применяют окружность определенного (допустимого по техническим условиям эксплуатации линейного сооружения) радиуса. К тому же расчет и разбивка круговой кривой на местности отличается наибольшей простотой.

Основными параметрами для расчета выноски части окружности в натуру служат угол поворота φ и радиус кривой R (рис. 45). Для определения на местности главных точек кривой необходимо знать ее основные элементы: T – тангенс (касательную), $Б$ – биссектрису, $К$ – длину кривой, $Д$ – домер. Вычисляют эти величины по формулам

$$T = Rtg\frac{\varphi}{2};\ K = \frac{R_{\phi}}{57{,}2958};\ Б = R(\sec\frac{\varphi}{2} - 1)\ ;\ Д = 2T - K\ .$$

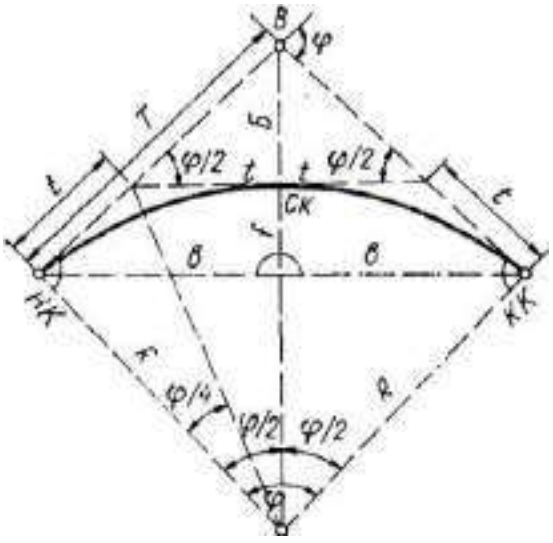


Рисунок 45 - Основные элементы круговой кривой

При разбивке кривой также пользуются готовыми таблицами, где вышеуказанные элементы даны для разных значений угла φ и радиуса R.

Тем не менее, главные точки круговой кривой не дают достаточного обозначения фрагмента окружности на местности. Так, при радиусе больше 500 м кривую разбивают через 20 м, при радиусе от 100 до 500 м – через 10 м. Для осуществления этой задачи используют несколько способов:

прямоугольных координат, линейно-угловой засечки, продолженных хорд, вписанного многоугольника и др. Наиболее распространенными являются первые три способа.

Способ прямоугольных координат применяется в открытой равнинной местности, является наиболее простым и точным. Каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной точки к другой ошибка измерений не накапливается. В этом способе за ось абсцисс принимают касательную к окружности (линию тангенса), за начало координат – начало кривой (НК) в точке касания с линией тангенса или конец кривой (КК).

Работу начинают с вычисления центрального угла φ, задавшись величиной дуги *к* (например, 5, 10, 20 м), исходя из размера радиуса кривой

$$\varphi = \frac{360}{2\pi R}к = \frac{180}{\pi R}к\,.$$

Далее находят прямоугольные координаты точек *1*, *2*, …, *i*

$$X_i = R\sin i\varphi\,;\; Y_i = R(1-\cos i\varphi)\,,$$

где *i* – текущий номер точки кривой.

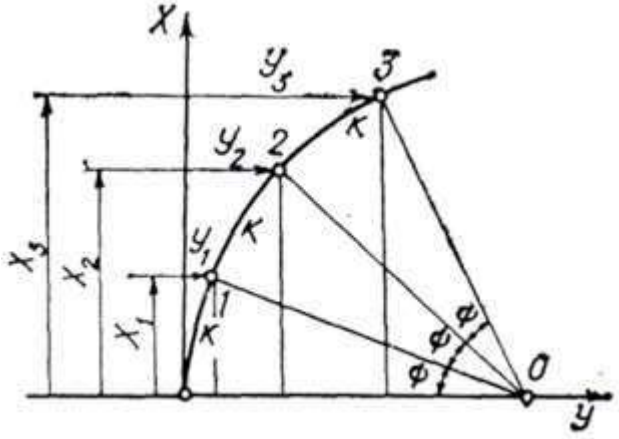


Рисунок 46 - Разбивка кривой способом прямоугольных координат

Разбивку точек *1*, *2*, *3*, … *i* кривой на местности производят с помощью рулетки от начала кривой (*НК*) по касательной (рис. 46). Вначале откладывают на ней величины $X_1, X_2, \ldots X_i$, затем по направлению перпендикуляров к разбитым отрезкам выносят составляющие $Y_1, Y_2, \ldots Y_i$.

Построение осуществляют от начала кривой (НК) до середины. После этого разбивают фрагмент окружности от конца кривой (КК) также до середины (СК). Сомкнутые половинки кривой в точке СК являются контролем точности разбивки.

Способ линейно-угловой засечки (полярный) используется для выноски круговых кривых земляных сооружений на косогорах, насыпях и в полузакрытой равнинной местности (рис. 47).

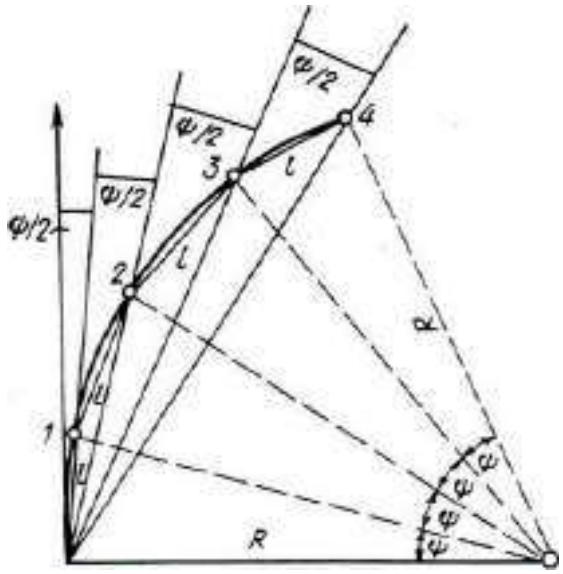


Рисунок 47 - Разбивка кривой способом линейно-угловой засечки

Способ заключается в последовательном построении угла $\varphi/2$ в начале координат от линии тангенса и отложении отрезков хорды ℓ. Исходя из выбранной длины хорды, угол φ определяют по формуле

$$\sin\frac{\varphi}{2}=\frac{\ell}{2R}.$$

Положение точек кривой на местности выносят с помощью теодолита. Его ориентируют по линии тангенса, например, в точке *НК*, затем отмеряют угол $\varphi/2$. Отложив вдоль построенного направления хорду ℓ, закрепляют точку *1*. Затем из той же точки *НК* строят последовательно углы φ, $3\varphi/2$ и т.д. Из точки *1* протягивают рулетку до пересечения отрезка ℓ со вторым визирным лучом (φ) и закрепляют точку *2*. Таким образом, выносят точки *3*, *4*, …, *i*.

Недостаток способа – снижение точности разбивки кривой по мере увеличения числа выносимых точек (происходит накопление ошибок).

Способ продолженных хорд заключается в определении искомых точек кривой на местности путем их засечек двумя постоянными величинами ℓ и *a* от исходной точки *1*(рис. 48). Ее положение обычно определяют при помощи прямоугольных координат X_1 и Y_1 по формуле (2.9).

Закрепив точку *1* (на продолжении створа *A1*), откладывают длину хорды ℓ и временно закрепляют промежуточную точку *2*'. Линейной засечкой с помощью отрезков *a* и ℓ из точек *2*' и *1* получают следующее положение кривой – *2*. Остальные точки дуги сектора окружности отстраивают аналогично. Смещение *a* получают из выражения

$$d=\frac{\ell^2}{R}.$$

Данный способ применяют в стесненных условиях местности и невысокой точности разбивки.

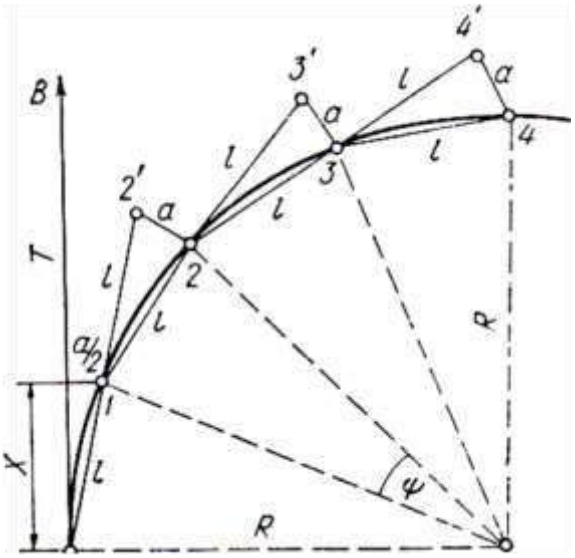


Рисунок 48 - Разбивка круговой кривой способом продолженных хорд

Кроме плановой разбивки трассы, ее выносят и в высотном отношении. Контроль вертикального положения элементов разбивки осуществляют с помощью грунтовых реперов.

Установку грунтовых реперов производят при закреплении трассы через каждые 20–30 км и в местах пересечений существующих магистралей, переходов через реки и т.п. В дополнение к основным через 2–3 км устанавливают постоянные (по необходимости) и временные реперы в виде деревянных столбов, каких-либо устойчивых предметов местности. Местоположение реперов выбирают вне зоны земляных работ строительства сооружения с составлением абриса привязки к пикетам трассы и местности.

Нивелирование трассы осуществляют, как правило, по двум направлениям (в два нивелира). Одним прибором нивелируют все пикеты, плюсовые точки, постоянные и временные реперы. Вторым – нивелируют реперы, связующие точки и поперечные профили. При этих работах применяют технические нивелиры различных типов. Расстояние от нивелира до рейки обычно принимают равным 100–150 м. Невязки хода между исходными пунктами (или замкнутого полигона) не должны превышать, мм:

$$f_{пр} = 50\sqrt{L} \ ,$$

где L – длина хода или полигона, км.

Расхождение между суммой превышений из первого и второго нивелирования не должно быть более величины, мм:

$$\Delta h = 70\sqrt{L} \ .$$

Топографическую съемку отдельных участков и площадок в крупном масштабе (1:500–1:2 000) производят в процессе ведения полевого трасси-

рования. Съемке подлежат переходы через водотоки, горные ущелья и перевалы, различные площадки под станции и т.п. В сильно пересеченной и сравнительно открытой местности используют тахеометрическую и мензульную съемки. В зависимости от ситуации и рельефа, а также технической возможности изыскательской партии применяют различные виды аэрофотосъемки, наземной фотограмметрической съемки, лазерное сканирование.

Привязку трассы к пунктам геодезической основы выполняют как для контроля полевых работ и повышения их точности, так и для вычисления координат вершин углов поворота и абсолютных отметок набранных точек. Точность геодезических измерений по привязке должна быть не ниже точности работ при построении трассы. Места привязки трассы (начало, конец и середину) к пунктам триангуляции или полигонометрии указывают в проекте привязки трассы к пунктам геодезической основы.

Обработку полевых материалов, составление и ведение необходимой документации выполняют путем проверки полевых журналов, уравнивания нивелирных и теодолитных ходов, вычисления плановых координат и высот точек, вычерчивания различных планов и профилей трассы.

На тщательную камеральную обработку полевых материалов и безошибочное составление графических документов обращают особое внимание. Так, при проверке журналов измерения углов смотрят на правильность вычисления углов поворота трассы. Линейные измерения сравнивают промерами длин между углами поворота и с данными разбивки пикетажа. В пикетажных журналах проверяют вычисление элементов дуг окружностей, значений пикетов начала и конца кривых и т.д. Полевые журналы и вычисления независимо обрабатывают «в две руки». Подготовленные планы и профили также тщательно проверяют, корректируют, сверяют в натуре и устраняют выявленные недостатки и ошибки.

Основными документами полевого трассирования являются:

2) пояснительная записка (с обоснованием выноса проекта в натуру и согласованием трассы);
3) план, продольный и поперечные профили;
4) крупномасштабные планы переходов, пересечений, станций, площадок и других участков;
5) схематические планы отвода земель;
6) ведомости пересекаемых трассой искусственных сооружений;
7) ведомости закреплений прямых и кривых трассы, уравнивания ходов, вычисления координат;
8) каталоги координат углов поворота, высот реперов, схемы геодезических сетей, их центров и знаков.

Трассирование линейных сооружений проводится параллельно с выполнением работ по отысканию подземных коммуникаций.

Обычно сначала производят отыскивание на местности подземных коммуникаций, а потом, принимая к сведению весь комплекс полученной информации (подземные сети, воздушные сети, другие существующие инженерные сооруже-ния, рельеф местности, естественные водотоки, лога, данные «Акта выбора», пожелания эксплуатационных служб выявленных в процессе рекогносцировочных работ, и т.д.), укладывают трассу на местности с учетом норм и правил существующих нормативных документов (СНиП, СП, ВСН, ГОСТ).

Все случаи отклонения оси трассы от «Акта выбора» обязательно согласовываются с эксплуатирующей службой. Так же необходимо поставить руководство своего предприятия в известность об изменении местоположения изыскиваемой трассы на конкретном участке.

Особое внимание необходимо уделить определению подземных сетей в местах отмыкания и примыкания трасс, в местах переходов через коридоры подземных коммуникаций.

Если наблюдается очень большая насыщенность подземных сетей и других инженерных сооружений (промышленные площадки), а также сложность рельефа, то в таком случае лучше вначале сделать съемку данного участка местности в М 1:500 -Г.2000. На основе полученного материала выполнить камеральное трассирование данного участка трассы, с последующим выносом её натуру и закреплением.

Отыскание подземных сетей проводить трубокабелеискателем. Во время поиска обязательно обращать внимание не только на явные признаки, указывающие на наличие той или иной коммуникации, (выходы труб, колодцы, задвижки, аншлаги, и т.д.), но и по местным признакам (понижение грунта, наличие ранее проводимых и ликвидированных земляных работ, расположение вблизи от проектируемой трассы каких либо инженерных сооружений). Делать аналитические выводы о наличии коммуникаций только после сопоставления и проверки всех имеющихся сведений.

По уложенной на местности оси трассы прокладывается теодолитный (тахеометрический) ход. Допустимые невязки в ходах при изысканиях линейных сооружений даны в табл. 14.

Таблица 14 - Допустимые невязки в ходах при изысканиях линейных сооружений

№ № п/п	Геодезические ходы при изысканиях для строительства линейных сооружений	Допустимые невязки измерений		
		Угловых, мин	Линейных	Высотных, м
1	Ходы съемочной геодезической сети (магистральные ходы, ходы привязки к пунктам государственной или опорной геодезической сети, ходы планово-высотной привязки аэрофотоснимков) при изысканиях			
	новых железных дорог	$0,3\sqrt{n}$	1/4000	$30\sqrt{L}$
	новых автомобильных дорог	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$

			(1/1000)	
	Трубопроводов с условным диаметром до 1000 мм свыше 1000 м	$1{,}5\sqrt{n}$ $1\sqrt{n}$	1/1000 1/2000	$50\sqrt{L}$ $50\sqrt{L}$
	Линий электропередачи, связи, канатно-подвесных дорог	$1{,}5\sqrt{n}$	1/1000	$50\sqrt{L}$
	Магистральных каналов и коллекторов, линейных сооружений на застроенных территориях	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
2	Полевое трассирование (вынос трассы в натуру) новых железных и автомобильных дорог, трубопроводов, магистральных каналов и коллекторов	$1\sqrt{n}$	1/2000 (1/1000)	$50\sqrt{L}$
3	Ходы съемочной геодезической сети при изысканиях для реконструкции и расширения существующих дорог			
	базисные и съемочные ходы на железнодорожных станциях, магистральные ходы на перегонах в населенных пунктах,	$0{,}3\sqrt{n}$	1/4000	$30\sqrt{L}$
	Съемочные ходы на железнодорожных станциях, базисные ходы на разъездах, магистральные ходы на перегонах и автомобильных дорогах вне населенных пунктов	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
4	Линейные измерения при разбивке пикетажа (двойной промер мерной лентой)	-	1/2000	-

Нивелирование трассы и установка реперов

По всем пикетам и плюсовым точкам трассы прокладывается ход технического нивелирования.

При пересечении трассами водотоков нивелируются урезы воды и уровень горизонта высоких вод (ГВВ). ГВВ определяется по местным признакам или опросу жителей близлежащих деревень.

При пересечении с железными дорогами нивелируются головки рельсов.

Ходы технического нивелирования должны прокладываться, как правило, между реперами (марками) нивелирования II-IV классов в виде отдельных ходов или систем ходов (полигонов).

Допускаются замкнутые ходы технического нивелирования, опирающиеся на один исходный репер (ходы, прокладываемые в прямом и обратном направлениях).

В начале, конце трассы на переходах через водотоки, железные и автомобильные дороги, коридоры коммуникаций устанавливаются временные репера.

При изысканиях для строительства линейных сооружений нивелирные знаки должны устанавливаться:

- по трассам автомобильных и железных дорог, магистральных каналов не реже чем через 2 км;
- по трассам трубопроводов не реже чем через 5 км (в том числе на переходах через большие водотоки и на организуемых водомерных постах).

Репера устанавливаются в местах обеспечивающих их сохранность на период строительства и эксплуатации. В качестве временного репера можно использовать окружающее сооружения: опоры, скважины, мосты, фундаменты и т.д.

Закрепление трассы

При изысканиях для строительства линейных сооружений на незастроенных территориях начальная и конечная точки трасс (если они не фиксированы на местности), вершины углов поворота, а также створные точки прямолинейных участков в пределах взаимной видимости (но не реже чем через 1 км) должны закрепляться временными знаками (деревянными столбами, металлическими трубами и уголками с табличкой и др.).

На застроенных территориях закрепление трасс, как правило, не производится, а их точки должны привязываться не менее чем тремя линейными промерами к постоянным предметам местности (углы зданий, сооружений и др.).

Знаки маркируются масляной краской. На знаке подписывается название трассы, наименование или номер закрепительного знака, пикетное значение или расстояние до оси трассы (для вынесенных знаков), год установки и название организации.

На все закрепленные точки и репера составляются кроки.

Геодезические знаки (реперы), закрепляющие ось трассы линейных сооружений, подлежат использованию в качестве разбивочной основы при последующем строительстве и должны быть переданы по акту заказчику или указанной им организации.

Съемка пересечений линий электропередач и связи

При пересечении линий электропередач и связи должны быть определены:

- пикетажное значение и угол пересечения ЛЭП (ЛС) с трассой;
- отметки земли и расстояние до нижнего провода в месте пересечения;
- расстояние от трассы или оси пути до центров двух ближайших опор ЛЭП (ЛС) справа и слева от пересечения (подписывается на опорах);
- отметки земли и нижнего провода на опорах справа и слева от пересечения; материал и форма опор, система подвески, количество проводов и изоляторов.

При съемке составляют абрис пересечения, в котором должны быть указаны: температура воздуха в момент измерений, марка проводов и кабелей, пункты, соединяемые ЛЭП (ЛС), ведомственная принадлежность и адрес владельца (по специальному заданию). Кроме того, составляют эскизы всех опор, с указанием номера, формы и материала опор, числа, длины и сторонности траверс на опорах, количества проводов и изоляторов.

Для ВЛ с горизонтальным расположением проводов, пересекаемых под углом менее 60°, необходимо определять высоту каждого провода и троса в месте пересечения.

Пикетажные значения, угол пересечения ЛЭП (ЛС) с трассой и расстояния до ближайших опор можно определять по топографическому плану.

Верх подвески проводов и низ провиса следует определять тригонометрическим нивелированием при измерении вертикального угла при двух положениях вертикального круга, вычисляя место ноля прибора на станции. Отклонение места ноля прибора от значения, определенного ранее, должно быть не более ±Г. Расстояние от прибора до проекции проводов на землю при измерении нитяным дальномером или рулеткой должно быть не менее удвоенной высоты провода над землей.

Съемку пересечений и определение высот подвеса проводов ВЛ напряжением до 20 кВ и ЛС выполняют с одной станции, а ВЛ напряжением 350 кВ и выше - с двух независимых станций.

Высоты проводов над их проекциями на землю вычисляются по формуле:

$$Hпр=Hст+i+D*tg\ v$$

Где: Нпр - высота определяемой точки; Нст - высота точки стояния инструмента; D - расстояние от инструмента до определяемой точки (горизонтальное проложение); ν - угол наклона на определяемый провод; i - высота инструмента над точкой стояния инструмента.

Вычисление по формулам выполняется непосредственно после проведения измерений. Расхождение в вычислении отметок между двумя значениями измерений с двух стоянок инструмента не должны превышать ±20 см.

При измерении расстояний до проекции проводов рейку нужно устанавливать точно под проекцией проводов и троса, но не около опор или оси пересекаемого сооружения.

Напряжение ЛЭП в поле можно определить по типу опор и количеству изоляторов:

- ЛЭП 6-10 кВ - опоры бетонные или деревянные на бетонном пасынке высотой до 10 м, количество изоляторов 1 или по 2 в местах переходов через дороги и коммуникации, количество проводов 3;
- ЛЭП 35 кВ - опоры, в основном, бетонные, круглые, высотой 10-15 м, угловые опоры, в целом, металлические фермовые, количество изоляторов на проводе 3-5, количество проводов 3 или 6;
- ЛЭП 110 кВ - опоры бетонные круглые или металлические фермовые высотой 15-20 м, количество изоляторов 6-10, количество проводов 3 или 6, по верху опор обычно идет трос заземления.

Иногда на опорах подписано напряжение и номер фидера. Напряжение ЛЭП уточняется при согласованиях в эксплуатирующих организациях.

Полевые документы

Все записи при производстве полевых топографо-геодезических работ следует вести в угломерных, нивелировочных, тахеометрических, аб-

рисных журналах и пикетажных книжках установленной формы карандашом (шариковой ручкой) (ВСН 208-89). Зарисовки снимаемых объектов в абрисных и тахеометрических журналах должны быть четкими и иметь в необходимых случаях краткие характеристики снимаемых объектов.

При съемке ситуации способом полярных координат и угловой засечки все записи угловых и линейных измерений следует вести в абрисном журнале.

При съемке ситуации способом ординат промеры по съемочному ходу (абсциссы) записывают вблизи него перпендикулярно ходу, поперечные промеры (ординаты) - около изображений снимаемых объектов, параллельно съемочному ходу. При насыщенной ситуации результаты промеров записывают в вычерчиваемую сбоку сетку.

Все здания в абрисном журнале должны быть пронумерованы порядковыми номерами, а сведения о них приведены в особой ведомости, помещаемой на одной из страниц того же журнала.

Все страницы полевых журналов должны быть пронумерованы.

Перед выдачей исполнителям работ журналы должны быть подписаны начальником партии (отряда). При съемке больших объектов следует составлять указатель, с помощью которого можно было бы быстро разыскать записи любого элемента работы.

При производстве топографо-геодезических работ с использованием электронных и электрооптических тахеометров или светодальномеров запись результатов измерений должна производиться на магнитный носитель (при автоматизированной регистрации результатов измерений) или в специальных журналах.

В результате выполненных полевых топографо-геодезических работ изыскательской партией должны быть представлены следующие материалы:

- полевые журналы с вычисленными элементами угловых и линейных измерений, пикетажные книжки, а также файлы электронных тахеометров (при автоматической регистрации результатов измерений);
- схемы ходов геодезической съемочной сети и привязок к пунктам государственной геодезической сети;
- топографические карты (схемы), на которых показаны трасса и границы съемок;
- ведомости вычислений и каталог координат и высот пунктов съемочной геодезической сети;
- ведомость реперов;
- инженерно-топографические планы (если их составление в поле предусмотрено программой изысканий);
- схемы пересечений ЛЭП (ЛС) и других коммуникаций;
- схема закрепления трассы;

- акт приемки материалов завершенных инженерных изысканий;
- акты сдачи трасс и материалы согласований.

12 ОЦЕНКА УРОВНЯ ВОЗМОЖНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время физико-механические и компрессионные свойства пород-коллекторов Марковского месторождения практически не изучены. Исходя из этого, значение модуля упругости и коэффициента Пуассона в расчетах оседаний земной поверхности принимались из известных зависимостей, а параметры упрочнения – по аналогии с другими месторождениями.

В механике горных пород известен тот факт, что точечные лабораторные испытания (проводимые, как правило, по кернам) не моделируют поведение массива горных пород в целом и не отображают в достаточной мере его физико-механические свойства. Влияние слоистости, трещиноватости, факторов выветривания и других структурных особенностей приводит к тому, что прочность и модуль упругости массива может быть более чем на порядок меньше соответствующих величин в образце.

Поэтому для исследования свойств горных массивов проводят крупномасштабные натурные испытания на соответствующем оборудовании, позволяющие получить наиболее достоверные данные о прочности и деформируемости массивов. Однако, выполнение таких работ характеризуется значительной трудоемкостью и требует больших затрат. В практике применяют различные эмпирические и теоретические методы оценки (перехода) к упругим и прочностным свойствам горных массивов по данным лабораторных испытаний образцов пород.

Один из способов оценки прочностных свойств массива заключается в использовании коэффициента структурного ослабления. Среди эмпирических методов можно отметить методику К.Л. Тер-Микаэляна.

Выполненный комплекс работ по прогнозу параметров процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при добыче углеводородов на месторождении показал, что прогнозные максимальные оседания земной поверхности находятся в пределах 330-340 мм (рис. 49). Приведенные величины не представляют существенной угрозы для промышленных, гражданских сооружений и объектов обустройства нефтепромысла.

Тем не менее, исходя из предварительных расчетов и полученных возможных величин оседаний массива пород, можно примерно оценить некоторые ситуации. Одними из важных показателей, характеризующих процесс сдвижения и безопасность наземных сооружений, являются наклоны и кривизна. Если обратиться к рис. 1, отражающим показания расчетных оседаний земной поверхности при отработке Марковского месторождения, и предположить, например, что произойдет одностороннее

оседание земной поверхности над нефтяным пластом, то получим следующее значение наклонов из формулы

$$i = (\eta_i - \eta_{i-1})/L$$

где $\eta_i - \eta_{i-1}$ – значение оседаний переднего и заднего пунктов наблюдения; L – горизонтальное расстояние между пунктами.

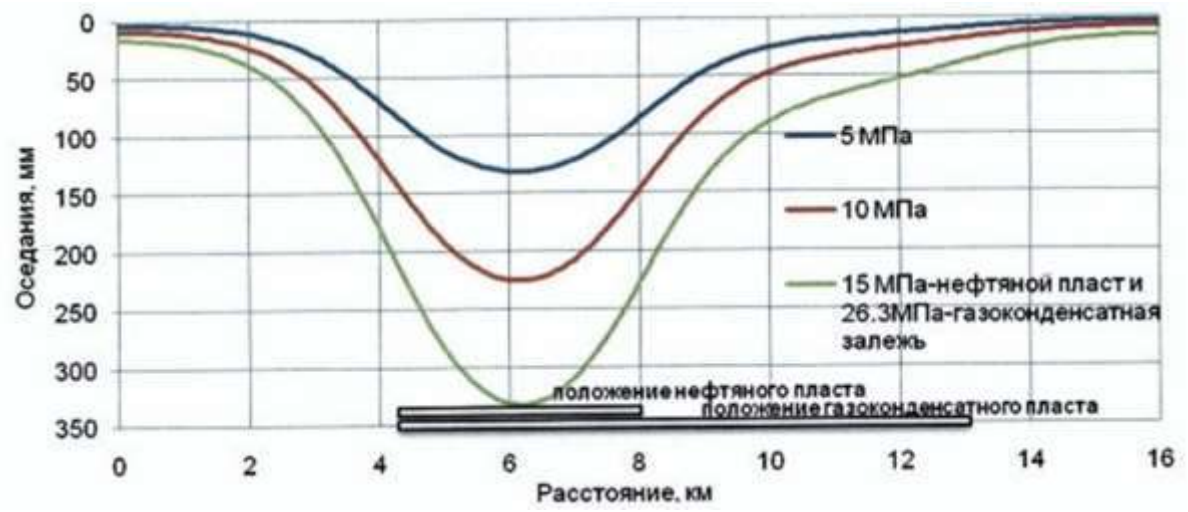


Рисунок 49 – График положения расчетных оседаний при отработке месторождения

Предположив, что η_i = о, η_{i-1} = 0,340 м, L = 2000 м и подставив эти величины в формулу (1), получим

i = 0,340 м/2000 м = 0,17 · 10^{-3} при допустимой (критической) величине наклона i = 4,0 · 10^{-3} для зоны опасного влияния и углов сдвижения [6].

Кривизна определяется по формуле

$$k = (i_n - i_{n-1})d_{ср}$$

где $d_{ср} = (d_n - d_{n-1})/2$ – полусумма горизонтальных длин последующего и предыдущего интервалов.

Подставив в формулу (2) соответствующие значения, получим

k = 0,17/2000 = 0,08 · 10^{-6} при допустимой величине k = 0,2 · 10^{-3}.

Для 100 метрового участка в таком случае i = 3,4 · 10^{-3}, k = 0,03 · 10^{-3} ,что также меньше допустимых величин.

Таким образом, даже предполагаемая и, в принципе невозможная ситуация деформации земной поверхности не может нанести вред охраняемым объектам.

Однако в районах структурных неоднородностей верхней части горного массива существует возможность локальных концентраций деформаций на земной поверхности, что может представлять опасность для объек-

тов инфраструктуры, (для чего в последующем, возможно потребуется выполнить геодинамическое районирование территории месторождения).

Тем не менее, при разработке нефтегазовых месторождений наибольшему техногенному воздействию подвержены природные ландшафты. Под влиянием хозяйственной деятельности происходит их изменение: нарушается естественный профиль почвенно-растительного покрова вплоть до его полного уничтожения, что нередко приводит к образованию начальных эрозионных форм. В результате техногенного воздействия в условиях криолитозоны на границе поверхность-порода нарушается уровень теплообмена, следствием чего является полная деградация многолетнемерзлых пород или снижение ее границ. Оттаивание мерзлых глинистых грунтов сопровождается термокарстовыми просадками на десятки сантиметров и более.

Для добычи строительного камня на площади месторождения, как правило, активно осуществляется разработка карьеров. При разработке карьеров происходит нарушение естественных горно-геологических условий, создание техногенных и природно-техногенных склонов, активизация оползневых процессов.

При разработке месторождения требуется большой объём технической воды с целью поддержания пластового давления (ППД). Источником воды могут служить как поверхностные, так и подземные воды. Последствия изменения их состояния в условиях массового водоотбора трудно оценить, особенно в случае недостаточных ресурсов. При длительной эксплуатации подземных вод, имеющих ограниченное распространение в условиях криолитозоны, возможно истощение запасов и осушение водоносных горизонтов. В условиях связи подземных вод с карбонатными породами, широко распространенными, к примеру, на Верхнечонском месторождении, возможно проявление процессов суффозии. В результате длительной закачки поверхностных вод непредсказуемы изменения гидрологического режима поверхностных водотоков.

Отсюда явствует однозначный вывод: даже при всех предварительных положительных расчетах и выкладках по воздействию извлечения нефти из недр на состояние земной поверхности, маркшейдерско-геодезический мониторинг за охраной недр и рельефом поверхности с использование геодинамического полигона на Марковском нефтегазовом месторождении необходим.

12.1-Определение оптимального состава и типа реперов применительно к физико-географическим условиям района производства работ

12.1.1 Общие требования к центрам

Геодезические сети представляют собой совокупность закрепленных точек на земной поверхности с известными координатами, высотами или значениями силы тяжести, отнесенными к центрам этих геодезических пунктов. Составные элементы центров геодезических пунктов, имеющих метки, к которым относят координаты, называют «марками» центров.

Существует два типа марок: одни закладываются в бетон, другие привариваются к трубе. На марке указываются начальные буквы организации, выполняющей работы, номер марки или репера. Для обеспечения лучшей сохранности и опознования на местности геодезические пункты имеют соответствующее внешнее оформление: наружный знак, канавы, курганы, опознавательные столбы или опознавательные знаки.

Геодезические пункты рассчитаны на использование в течение длительного времени и находятся под охраной государства.

Основными требованиями к конструкциям реперов являются незначительная их подверженность сезонным промерзаниям и пучениям грунтов, простота конструкции, удобство в работе.

Опорные и наблюдательные реперы изготавливают и закладывают с особой тщательностью, так как они обеспечивают сохранность и неподвижность закрепленных точек в плановом и высотном положениях на многие годы.

В настоящее время предложено достаточное количество различных конструкций центров геодезических пунктов, учитывающих их ценность и назначение, географические условия местности, характеристики грунтов. Реперы должны быть стойкими к пучению, механическим нагрузкам и химическому воздействию грунтового раствора. Поэтому типовые конструкции реперов выбирают с учетом климатических и физико-географических условий зон, а также в соответствии со схемами, приведенными на рис. 50 и51.

Установка пунктов геодинамического полигона должна обеспечивать их устойчивость, исключение влияния сезонных колебаний почвы и сохранность. Поскольку территория МГКМ относится к Северным районам, необходимо также учитывать наличие многолетнемерзлых пород.

В области сезонного промерзания грунтов глубину закладки центров вычисляют по формуле З = Г + 50 см (З – глубина закладки, Г – глубина промерзания грунта, см).

Закладку центров и реперов, как правило, выполняют с помощью механических средств; допускается установка котлованным способом.

При закладке центров должны соблюдаться требования «Правил по технике безопасности на топографо-геодезических работах».

Для закрепления исходных, опорных и рабочих пунктов базового назначения и GPS- сети, а также опорных пунктов профильных линий проектом рекомендована конструкция центров для местных условий в соответствии с инструкциями Роскартографии (ГУГК), а так же ведомственными методическими указаниями.

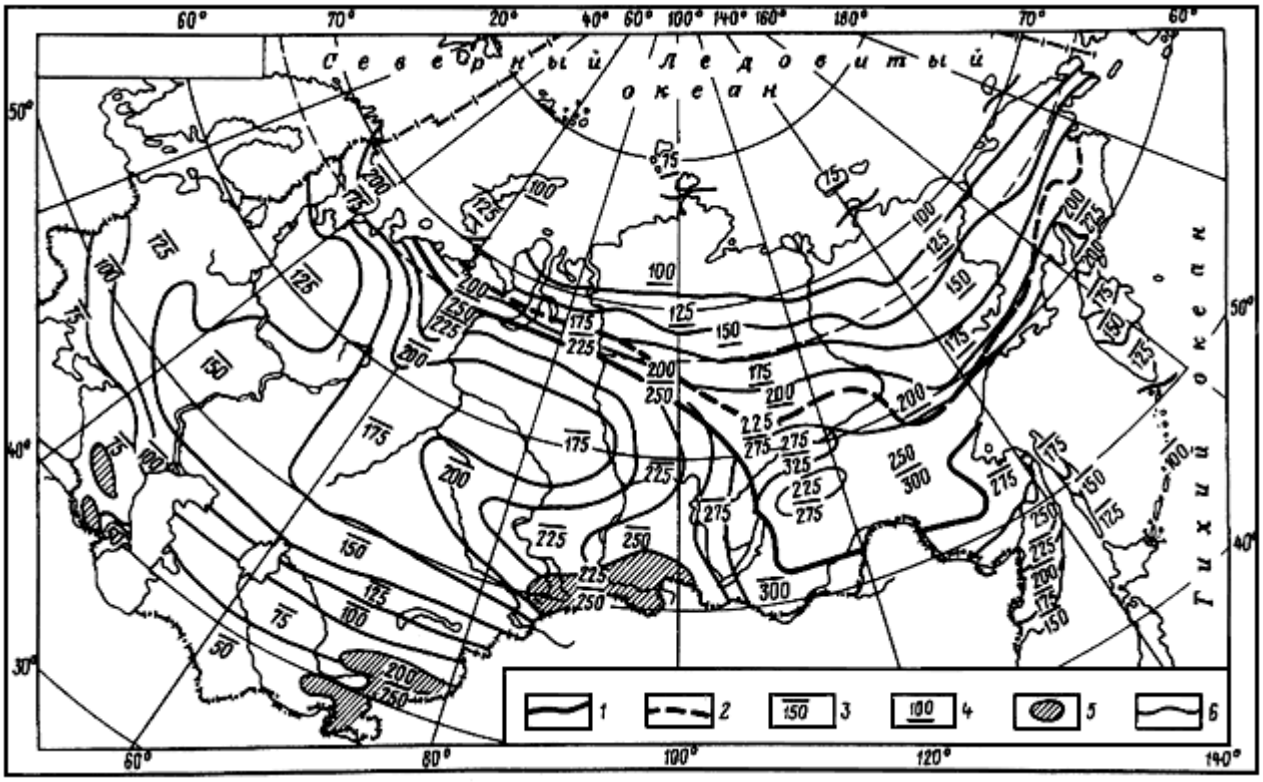


Рисунок 50 - Схема промерзания и протаивания грунтов для определения глубины закладки центров:

1 - южная граница зоны прерывистого распространения многолетней мерзлоты; 2 - северная граница зоны прерывистого распространения многолетней мерзлоты и южная граница области применения знаков, закладываемых в узкие скважины протаиванием или бурением; 3 - глубина промерзания грунтов, принимаемая при расчете глубины закладки знаков, см; 4 - глубина протаивания грунтов, принимаемая при расчете глубины закладки знаков, см; 5 - высокогорные области с преимущественно каменистыми породами и прерывистым распространением многолетнемерзлых грунтов; 6 - изолинии равных глубин промерзания (протаивания)

Основными требованиями, предъявляемым к глубинным и грунтовым реперам, является их сохранность и устойчивость. Рекомендуемый тип центра репера 2ГР с бетонным якорем отвечает этим требованиям.

Выбор типа продиктован необходимостью исключения влияния на репер сезонных колебаний почвы. Для повышения устойчивости репера рекомендуется увеличить глубину расположения якорной части:

- в местах, где скальные породы расположены близко к поверхности, достаточно внедриться в них на величину 2,0 м ниже глубины оттаивания;

- в местах распространения многолетней мерзлоты (если скальные породы располагаются глубоко) закладку якоря производить на глубину не менее 2,5 м ниже глубины оттаивания;

- в местах с сезонным промерзанием грунта глубину закладки якоря увеличить до 1,0-1,5 м ниже глубины промерзания;

- по возможности исключить закладку реперов на заболоченных участках.

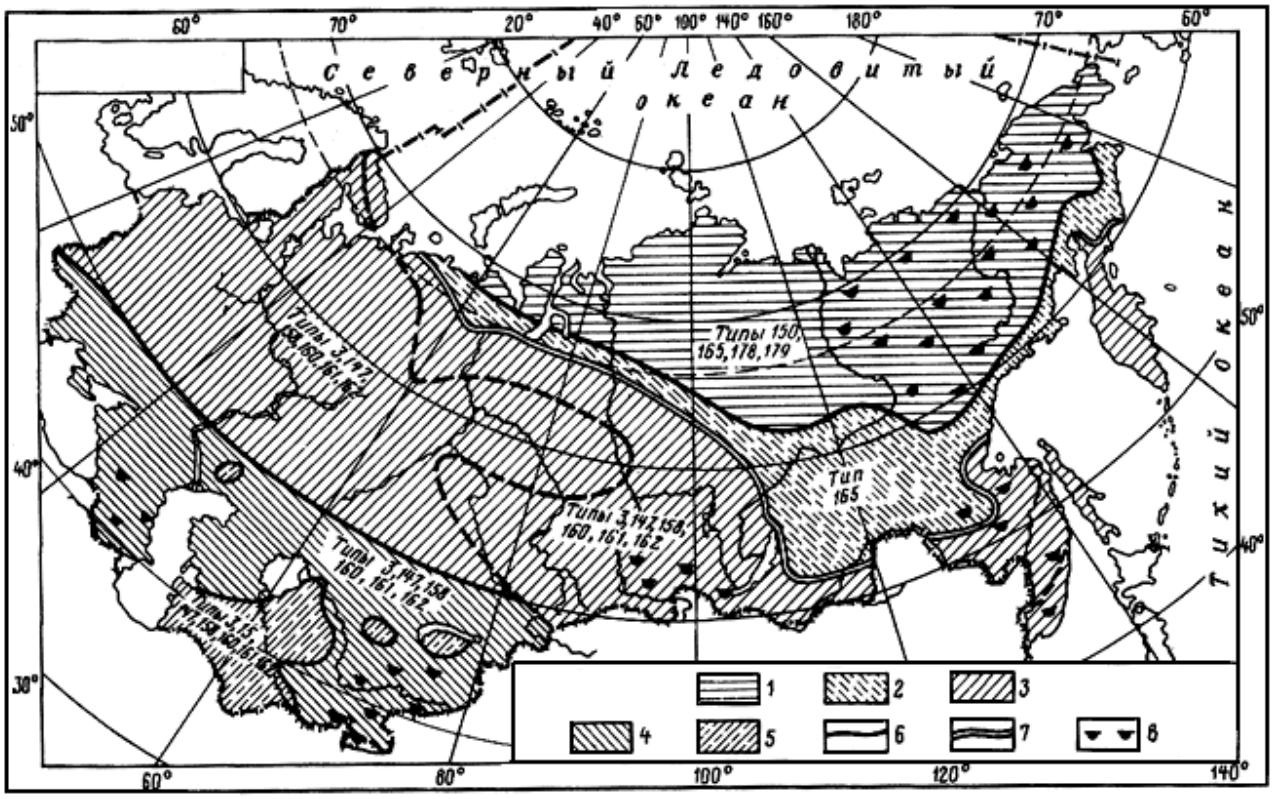


Рисунок 51 - Схема областей применения центров и реперов:

1 - средняя и северная зоны области многолетней мерзлоты; 2 - южная зона области многолетней мерзлоты; 3 - северная зона области сезонного промерзания грунтов; 4 - южная зона области сезонного промерзания грунтов; 5 - область подвижных песков; 6 - границы между зонами с применением различных типов знаков; 7 - южная граница многолетней мерзлоты; 8 - области возможного применения скальных центров и реперов. В "Схему" не включены: 1. Вековые реперы (типы 173, 174, 175). 2. Фундаментальные реперы (типы 114, 161, 164). 3. Центры и реперы, закладываемые в скальных грунтах (тип 7, 8, 9, 92, 164). 4. Образцовые базисы (тип 181, 187). 5. Стенной центр (репер) (тип 143). 6. Центр (репер) для заболоченных территорий (тип 183 и 188)

12.1.2 Закладка наблюдательных реперов

Центры опорных и рабочих реперы устанавливаются в скважины диаметром 150—400 мм. Бетонируемая часть репера должна располагаться на 500—700 мм ниже глубины промерзания грунта *hu.* Глубина промерза-

ния грунта *hu* практически всегда известна для каждой климатической зоны.

Глубина закладки реперов выбирается с учетом геологических и местных условий участка проведения работ: мощностью залегания коренных пород на склонах, равной 1,5-2,5 м; глубиной промерзания или оттаивания; мощностью осадочных пород. В связи с этим глубина закладки якоря составит 2,5-4,0 м.

Способ закладки реперов зависит как от места расположения пункта, так и от глубины закладки: в крепких породах применяется механизированная закладка, в мягких не глубоких наносах – котлованная, ручная.

Рядом с центром оборудуется сторожок. Он представляет собой столбик из асбоцементной трубы высотой 1 м, выступающий над земной поверхностью. На сторожке помещается табличка с подписью имени (номера), принадлежности конкретной сети и даты закладки. Каждый пункт обносится металлической оградкой размерами 2 м×2 м×1,5 м (рис. 2.3), выкрашенной в сигнальный цвет, что позволяет легко различить пункт на фоне остального естественного пейзажа (фона).

Обустройство всех пунктов геодинамических полигонов должно соответствовать следующим требованиям:

- центры устанавливаются в местах, пригодных для производства спутниковых наблюдений. Под этим понимается отсутствие естественных препятствий, мешающих уверенному приему сигнала от спутников (древесная и кустарниковая растительность, металлические конструкции, здания и сооружения), а так же отсутствие радиопомех;
- место закладки должно обеспечивать его сохранность при производстве работ, а так же сохранность оборудования устанавливаемого на него;
- расположение центра должно быть легкодоступным и безопасным для исполнителей, с возможностью продолжительного нахождения на пункте;
- уровень грунтовых вод в местах закладки центров должен находится не ближе 5 м от поверхности земли.

Материалами для изготовления бетонных центров и реперов служат цемент, песок, щебень (гравий), вода. Наилучшим цементом для изготовления бетонных центров считается портланд-цемен. Он обеспечивает высокую прочность бетона и быстрое твердение. Можно использовать глиноземный и ангидрито-глиноземный цемент марки 300-500.

Качество бетона зависит от чистоты заполнителей, а также от качества и количества воды, от тщательности перемешивания сухой бетонной смеси и бетонного раствора. Количество глинистых и землистых примесей в песке не должно превышать по массе 5 %, а в щебне и гравии – 20 %. Заполнять якорную часть бетоном следует не позже чем через 30 мин после

его изготовления. Для приготовления бетонной смеси на базах можно применять бетономешалки и растворосмесители, для уплотнения – вибраторы.

Для защиты труб и бетона от коррозии их покрывают битумом, эпоксидной смолой, хлорвиниловой липкой лентой и другими средствами.

Перед закладкой центров заранее заказываются и выполняются металлические и другие детали пункта, осуществляется бурение скважин под центры, доставляются все материалы, необходимые для закладки и обустройства пункта.

По окончании закладки центров и реперов представляются документы:

- акт о сдаче геодезических пунктов и наблюдательных реперов для наблюдения за сохранностью;
- журнал закладки;
- карточка закладки пунктов (Приложение 2).

Ниже приводятся некоторые конструкции центров, наиболее подходящие для закладки в условиях Марковского месторождения.

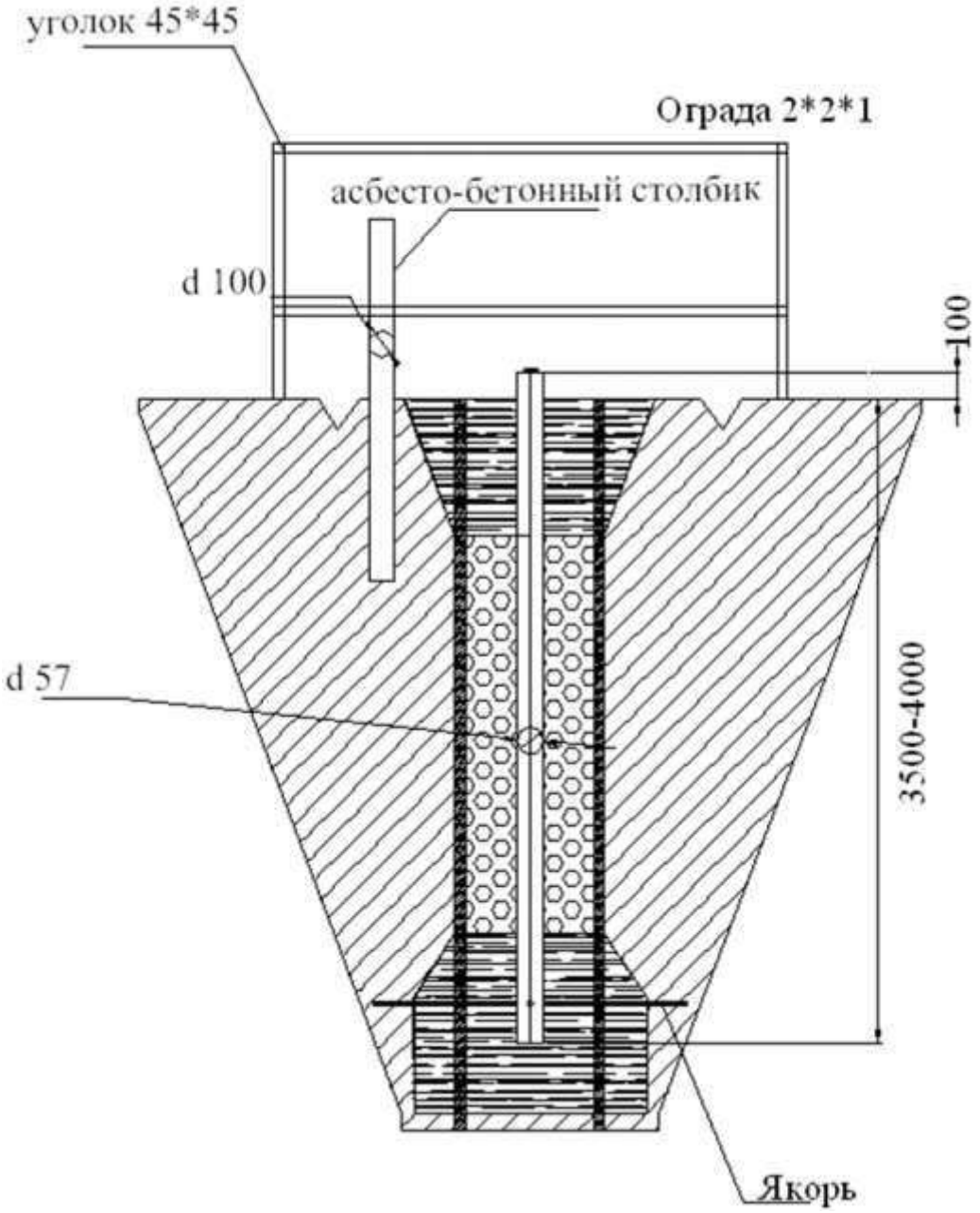


Рисунок 52 - Модель грунтового центра



Рисунок 53 - Конструкция пункта геодинамического полигона «Тип 162»

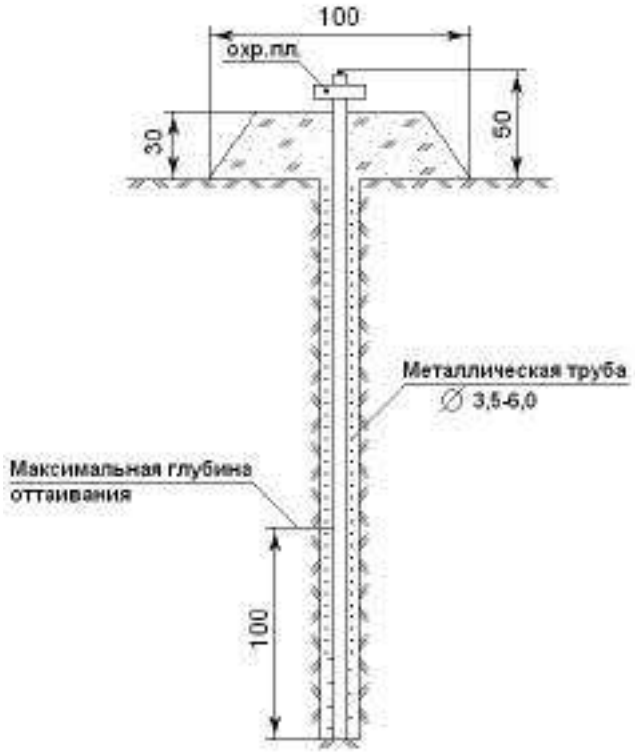


Рисунок 54 - Конструкция пункта геодинамического полигона «Тип 179»
(размеры даны в см)

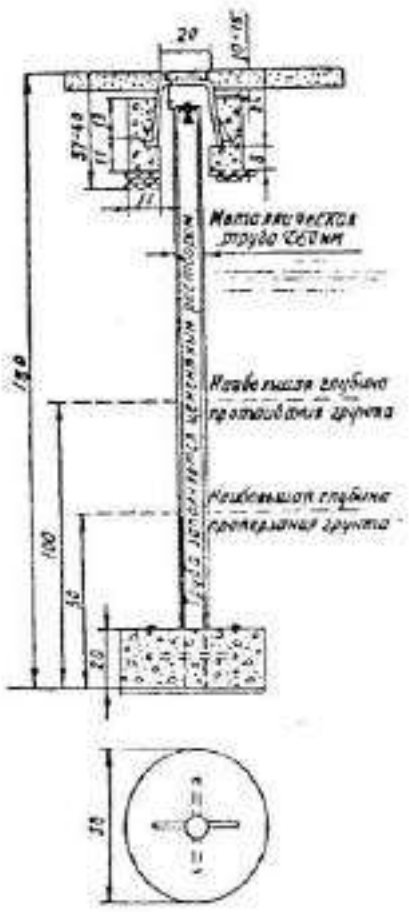


Рисунок 55 – конструкция репера тип 2ГР

Пространство между центром и стенками скважины заполняется гравием и грунтом, который затем утрамбовывается. Для защиты верха центра от различных внешних воздействий, он закрывается откидной металлической крышкой.

Разработка оптимального регламента системы геодинамических наблюдений на полигоне

12.2 Конфигурация сети, густота наблюдательных пунктов

Традиционно, для наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности на месторождениях твердых полезных ископаемых на поверхности закладывают наблюдательные станции, состоящие их профильных линий. Причем типовая наблюдательная станция состоит из одной-двух прямолинейных профильных линий, располагаемых вкрест простирания и одной профильной линии, располагаемой по простиранию пласта в главных сечениях мульды сдвижения. Длины профильных линий определяются границами разработок с учетом расстояний, получаемых при проведении линий от границ разработки под углами сдвижения до пересечения с поверхностью. На расстоянии 30-50 м от этих границ закладывают по

одному-два опорных репера с расстояниями между ними равными 30-50 м. Интервалы между рабочими реперами в зависимости от глубины разработки (обычно составляющих 300-600 м, исключение – Норильск, 2 км.) выбирают от 5 до 30 м.

Полная серия наблюдений на таких станциях включает определение высотных отметок реперов (нивелирование) и определение расстояний между реперами. В результате обработки измерений получают значения оседаний реперов, горизонтальные сдвижения, горизонтальные деформации, наклоны, кривизну и сравнивают эти величины с допустимыми величинами. Метод контроля считается надежным.

Нефтегазовое месторождение разрабатывается на глубине 2150-2585 м и имеет размеры по площади 17,4 на 10 км. При таких несоизмеримых размерах месторождения и тяжелых условиях для выполнения работ, применение данного метода практически неприемлимо. Исключение могут составлять отдельные участки.

Учитывая вышеизложенное, проектом рассматривается создание варианта трех уровневой конфигурации формирования маркшейдерско-геодезического обоснования. Геодинамический полигон месторождения представлен серией исходных, опорных и рабочих пунктов геодезических сетей различного назначения, при создании которых предусмотрены следующие принципы.

1. ***Исходные*** пункты располагаются за зоной влияния процессов сдвижения, определяемой граничным углом сдвижения (60^{o} – по результатам моделирования, с учетом поправки) и, по возможности, вдали от границ тектонических разломов и элементов линеаментной сети. Настоящим проектом предусмотрено включение в систему наблюдений пяти исходных пунктов, расположенных по периметру месторождения: Большая Рассоха, Елань, Сенная, Мысовая, Марково. Пункт «Оболкино» является временным (в тоже время центральным) и служит для осуществления геометрической связи между исходными пунктами.

2. ***Опорные*** пункты располагаются внутри треугольников, образованных центральным пунктом «Оболкино» и остальными пунктами исходной сети, составляя локальную сеть второго уровня (сеть пунктов GPS), покрывающую места расположения производственных объектов нефтепромысла.

Пункты GPS - сети, по возможности, должны быть совмещены с пунктами ГГС и реперами государственной нивелирной сети, исходя из условий сохранности и радиовидимости. Условия радиовидимости на всех пунктах сети должны быть близки к идеальным: в поле зрения антенны приемника от 15° над горизонтом и выше не должно быть посторонних предметов во время проведения сеанса наблюдений.

3. ***Рабочие*** реперы (пункты) закладываются по обе стороны тектони-

ческого нарушения и непосредственно возле контуров промплощадок и промышленных сооружений нефтепромысла, обеспечивая контроль за оседаниями охраняемых объектов (приложение 1).

4. ***Пункты маркшейдерско-геодезической сети*** располагаются вдали от трансформаторных станций, ЛЭП и других объектов, способных создавать внешние электромагнитные поля.

5. ***Наблюдательные реперы*** закладываются в благоприятных условиях с точки зрения инженерной геологии: следует избегать оползневых участков, крутых склонов, заболоченных участков, участков оврагообразования и т.п.

6. ***Все пункты-реперы*** геодинамического полигона должны по возможности располагаться так, чтобы на них была обеспечена оперативная доставка исполнителей и оборудования различным транспортом.

7. Не рекомендуется изменять имеющуюся геометрию сети в последующих циклах наблюдений (при условии сохранности пунктов).

Для определения координат опорных и рабочих реперов наблюдательных станций используют исходные пункты, в качестве которых могут служить государственные геодезические сети.

При создании GPS-сети также необходимо соблюдать следующие условия:

- рабочие, опорные и исходные пункты должны образовывать сеть связанных многоугольников в виде плоской или объемной фигуры;

- направления и количество измеряемых векторов в сети рекомендуется определять методом оптимальной триангуляции, т.е. триангуляции с минимальным количеством сторон и суммарной длиной ребер.

При этом геометрическое построение сети выполняется таким образом, чтобы при необходимости обеспечить дальнейшее сгущение пунктов в выделенных динамически напряженных зонах. Кроме того, сеть должна быть такой конфигурации, чтобы все объекты наблюдений находились "внутри" границ внешних векторов сети. Это условие необходимо для правильной трансформации результатов наблюдений из геоцентрической системы координат в прямоугольную.

Проектная схема геодинамического полигона (см. приложение 1) включает пять участков. Такое разделение обусловлено значительными размерами месторождения и поэтапным развитием работ по добыче нефти из недр. Исходя из этого, работы по сгущению наблюдательной сети (закладка опорных и рабочих пунктов) производятся также поэтапно, по мере развития инфраструктуры нефтедобывающего комплекса. Это позволит экономить материальные затраты и распределять их во времени.

Проектом также предусматривается закладка опорных и рабочих реперов на перспективных участках месторождения.

Участок № 1, предназначен для наблюдения за сдвижением земной

поверхности, вызванного извлечением из недр нефти и служит связующим звеном в геометрической системе наблюдений. Определение местоположения профильных линий, предназначенных для наблюдения за оседанием земной поверхности вследствие откачки воды, в настоящее время затруднено в связи с отсутствием проекта куста гидроскважин и схемы их расположения. Поэтому схему расположения реперов наблюдательной станции в районе гидрокуста целесообразно составить в виде дополнения к техническому проекту (программе) после изучения данных проекта подземного водозабора.

Участок № 2 сформирован для наблюдения за сдвижением земной поверхности, вызванного добычей нефти, оценки активизации тектонических разломов и состоит из 2-х опорных пунктов, совмещенных с пунктами ГГС. Закладка парных рабочих реперов в количестве 5-ти предусматривается вдоль тектонического нарушения по реперу с каждой его стороны.

Участок № 3 на данный момент времени является краевым в системе наблюдений за земной поверхностью. Является связующим звеном в измерениях и совмещен с пунктами ГГС и опорной маркшейдерской сетью через 2 опорных пункта.

Участки № 4 и № 5 являются основными по добыче нефти, поэтому проект предусматривает наибольшее сгущение сети. В его состав входит 8 опорных и 23 рабочих пунктов, 4 из которых совмещены с опорными пунктами, 21 репер образуют профильную линию для геометрического нивелирования II класса и используются в целях оценки активизации тектонических разломов, наблюдением за земной поверхностью с развитием работ по откачке нефти.

Участок № 6 – перспективный. Здесь закладываются рабочие реперы у скважин Р-11, Р-30, Р-33 с целью определения начальных наблюдений с последующим подключением к ним дополнительных рабочих реперов и слежением за поведением земной поверхности в результате откачки нефти. Далее планируется разбить участок № 5 на 2 фигуры, переориентировав систему на центральный, временный пункт ГГС «Оболкино».

Участок № 7 также перспективный. Предназначен для наблюдения за сдвижением земной поверхности в результате извлечения нефти и оценки активизации тектонических нарушений. К наблюдениям подключаются рабочие реперы, закладываемые вдоль тектонического шва и являющиеся продолжением продольной линии парных рабочих реперов участка № 2.

Дополнительные участки № 6, 7 включены для решения о необходимости проведения наблюдений, которые следует принять на завершающем этапе эксплуатации месторождения, исходя из результатов наблюдений на других участках.

На участках профильных линий, примыкающих к тектоническим разломам (по 500 м в обе стороны от точки пересечения), расстояния между реперами сокращаются до 100 м, согласно требований инструкции [4].

12.2.1 Методика и точность измерений

Все опорные пункты, служащие в некоторых случаях и в качестве рабочих реперов связаны между собой GPS-сетью.

При выполнении работ по определению координат и высот пунктов (реперов) используется комплект спутниковой аппаратуры, например, Trimble R8 GNSS ГЛОНАСС. Измерения на всех пунктах выполняются в статистическом режиме продолжительностью сеанса не менее одного часа.

До начала измерений составляется проект определения мест расположения опорных пунктов. При проектировании построена сеть в виде цепочек треугольников, позволяющая в дальнейшем произвести контроль плановых и высотных координат пунктов. В сеансе измерений отдельная станция устанавливается на определяемые пункты, которые в дальнейшем являются исходными пунктами при продолжении цепочки.

Наблюдения выполняются в периоды, когда в созвездии спутников участвует не менее 6-ти спутников (как правило, 12-14) и их расположение соответствует схеме: один спутник расположен над определяемой точкой, остальные - по всему горизонту. С целью уменьшения ионосферной и тропосферной рефракции, спутники, возвышение которых над горизонтом составляет менее 10° при измерениях не учитываются.

Для исключения явления рассеивания радиосигналов спутников, определяемые пункты (реперы) обеспечиваются открытыми площадками (50х50 м). Наблюдения на пунктах ГГС выполняются при отсутствии на них наружного знака. Координаты пунктов получают в системе координат Киренского района с их трансформацией с помощью программного продукта TrimbleBusinessCenter 2.20.

Для привязки цепочки треугольников ГДП к пунктам геодезической основы месторождения, два приёмника устанавливались на исходных пунктах геодезической сети, каждый из которых пункт триангуляции не ниже 3 класса. Два других приемника устанавливались на пунктах геодинамического полигона. Как на исходных, так и на определяемых пунктах антенны устанавливаются над центрами на штативы, а там где возможно, на реперы с принудительным центрированием. Затем измеряется наклонная высота до середины прокладки приемника до начала наблюдений и по завершению. Высота измеряется в трёх точках антенны равномерно по окружности. Запись информации осуществляется синхронно на всех пунктах, включенных в сеанс наблюдений.

Периодичность записи 10 секунд, маска – 10 градусов (предварительно выбрана и подготовлена площадку для наблюдений с тем, чтобы обеспечить условия по маске).

Между сеансами производится повторная центрировка антенн.

Вычислительная обработка выполняется программами, обрабатывающими как GPS так и ГЛОНАСС информацию дважды – независимо дву-

мя исполнителями. Для вычисления отметок пунктов геодинамического полигона подключается модель геоида EGM96.

По завершению всех измерений и создания жесткой сети в виде цепочки треугольников, в ПО TrimbleBusinessCenter сначала выполняется свободное уравнивание в системе координат WGS-84, затем производится калибровка в местную систему координат по имеющимся пунктам триангуляции.

Большое количество пунктов, имеющих координаты в двух системах, а также избыточные измерения, позволяют с достаточной точностью получить координаты определяемых пунктов.

Ежедневно, при просмотре файлов данных с приемников производится непосредственный контроль качества записанной информации, т.е. проверяются допуски дисперсии, СКО, отношения векторов. Векторы должны обсчитываться с допустимыми значениями этих параметров. Контроль полноты осуществляется методом предобработки результатов спутниковых измерений. При этом фиксируются как факты недостатка информации, так и факты ее избыточности.

Достаточно большое количество избыточных измерений позволяет выполнять оценку точности спутниковых измерений в ПО TrimbleBusinessCenter, а также обеспечивать заданную заводом изготовителем:

в плане ±5 мм + 0,5 мм/км СКО;

по высоте ±5 мм + 1 мм/км СКО.

12.3--Составление схемы нивелирной сети и априорной оценки точности геодезических наблюдений

12.2.2 Схема нивелирной сети

Предварительным проектом [15] предусмотрена закладка реперов по ломаной профильной линии (графическое приложение 1) для выполнения по ним нивелирования II класса. Линия расположена вдоль берега реки Лены и пересекает Осинский горизонт с запасами C_1. Сеть нивелирования состоит из одной линии, расположенной вкрест простирания (падения пластового давления) залежи и тектонического нарушения. Ее длина составляет 11 км, количество закладываемых рабочих реперов 21 шт., количество опорных реперов 6 шт,

Проектирование такой линии можно сравнить с трассировочными работами, которые предусматривают камеральное и полевое трассирование.

Камеральное трассирование выполняется на стадии технического проекта с целью выбора основного направления трассы. Для этого пользуются топографическими картами (в данном случае масштаба 1:25 000) и намечают начальный, конечный и промежуточные пункты. Затем осуществляют полевое трассирование с целью определения наиболее опти-

мального положения трассы на местности. В результате таких изысканий местоположение наблюдательных пунктов и реперов может отличаться от проектного в силу различного рода непредвиденных ситуаций.

1. При выборе мест закладки реперов в натуре руководствуются следующими принципами:

1) реперы располагаются в непосредственной близости от основных промышленных сооружений газопромысла, т.к. основное назначение любой наблюдательной станции - исследование процессов сдвижения в районе сооружений, контроль развивающихся деформаций в подрабатываемых объектах;

2) реперы закладываются в благоприятных условиях с позиции инженерной геологии: следует избегать оползневых участков, крутых склонов, заболоченных участков, участков карстоообразования, участков оврагообразования и т.п. Профильная линия, по возможности, не должна проходить через сложный рельеф;

3) профильные линии должны, по возможности, проходить через эффективные максимальные нефте и газонасыщенные толщины продуктивных объектов и пересекать максимально возможное число структурных особенностей месторождения, т.к. геодинамика недр, прежде всего, определяется смещением по крупным тектоническим нарушениям и линеаментным структурам. Другим условием должно быть прохождение профильных линий через зоны прогнозного максимального падения пластового давления, т.е. фактически через зону максимальных оседаний.

2. При определении длины профильной линии реперов руководствуются, прежде всего, накопленными сведениями о граничных углах сдвижения на уже исследованных участках территории месторождения. Однако учитывая отсутствие таких сведений используются результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива при отработке месторождения, которые показали значение граничного угла сдвижения с поправками 60-55°, откладываемым от нижней границы водонефтяного контакта (ВНК), где должны располагаться кусты опорных реперов. По мере накопления результатов наблюдений величина граничного угла сдвижения уточняется.

3. Куст опорных реперов должен состоять не менее чем из трех опорных реперов, заложенных в вершинах треугольника со сторонами в среднем 50 м. Рекомендуется располагать опорные репера так, чтобы была возможность измерять превышения между ними с одной станции.

4. При определении расстояний между реперами использованы следующие положения.

Расстояние между рабочими реперами должно быть примерно одинаковым и составлять в среднем 500 м, т.к. прогнозируемые незначительные величины оседаний и горизонтальных смещений, а также большая глу-

бина разработки обуславливают возникновение плавной мульды сдвижений. Реперы, располагаемые через 500 м закладываются, по возможности, на возвышенных местах, не подверженных оползневым явлениям. В местах пересечения профильными линиями рек и крупных предполагаемых структурных особенностей горного массива рекомендуется сгущение реперов до 20-50 м и использование обычных реперов забивного типа. На данных участках земной поверхности дополнительно определяют горизонтальные деформации земной поверхности путем измерения расстояний между реперами стальными компарированными рулетками с применением жестких отвесов (конструкции ВНИМИ). 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. Допускается использование светодальномеров и электронных тахеометров, дающих среднеквадратическую ошибку (СКО) измерения длины до 5 мм.

12.2.3 Априорная оценка точности геодезических наблюдений

По рабочим реперам профильной линии рекомендуется осуществлять нивелирование по методике II класса. Нивелирование между опорными реперами следует выполнять также по методике II класса. Программа и методика нивелирования II класса, выполняемого оптическими нивелирами, должна соответствовать программе и методике описанной в Инструкции по нивелированию I,II,III классов [8,10].

1. Перед началом очередной серии наблюдений определяются высотные отметки опорных реперов путем выполнения ходов подходного нивелирования от пунктов триангуляции. Допускается контроль высотных отметок опорных реперов посредством GPS-технологий от пунктов триангуляции, придерживаясь при этом методики спутниковых наблюдений. Разность ежегодно получаемых высотных отметок опорных реперов от пунктов триангуляции, полученных из спутниковых наблюдений не должна превышать 10 мм. Высотные отметки всех опорных пунктов должны быть неизменны на протяжении всех циклов наблюдений. Если отметки опорных реперов, полученные из второй серии наблюдений сопоставимы (в пределах погрешности их определения) с отметками реперов, полученными из первой серии, разрешается производство наблюдений по рабочим реперам наблюдательной станции.

2. Периодичность наблюдений должна быть различной. В стадии пробной и опытно-промышленной эксплуатации месторождения, необходимо обеспечить проведение наблюдений один раз в год. По итогам этих исследований в течение трех-четырех последующих лет, при переходе в стадию промышленной эксплуатации в соответствии с «Технологической схемой разработки Марковского НГКМ», частоту наблюдений возможно принять два раза в год. В последующем рекомендуется дополнительно рас-

смотреть вопрос о проведении наблюдений с частотой раз в год или раз в два года, в зависимости от интенсивности развития деформационных процессов [3,4]. В случае возникновения сейсмических явлений или при интенсивном развитии процессов оседания (максимальное оседание - более 130 мм в год) необходимо выполнять наблюдения два раза в год.

3. При обнаружении мест концентрированных деформаций связанных с наличием тектонических нарушений, при наличии в данных местах инженерных сооружений (нефтепроводы, водоводы, кусты скважин, ДНС,

КНС, зон промышленной и гражданской застройки и т.д) рекомендуется увеличить количество выполняемых циклов наблюдений в таких местах до двух ежегодно.

4. При возникновении в районе месторождения техногенного сейсмического явления рекомендуется, по возможности, в кратчайшие сроки выполнить дополнительный цикл наблюдений.

5. Согласно требованиям Инструкции по нивелированию 1,11,III,IV классов, все высотные сети локальных и площадных геодинамических полигонов должны быть привязаны к высотной основе России для получения высот в единой Балтийской системе. Оба конца нивелирной сети для контроля точности нивелировки следует замкнуть на пункты государственной высотной сети. Допускается передача высотных отметок опорных реперов посредством GPS-технологий от пунктов высотной сети, придерживаясь при этом методики спутниковых наблюдений, изложенной в разделе 2.7.

6. Перед производством работ инструмент и рейки необходимо тщательно поверять. Поверки оптического нивелира выполнить, согласно программе, изложенной в сборнике Инструкций по производству поверок геодезических приборов [18]. Соответствующие акты поверок приводить в отчете на проведение работ. При выполнении оптического нивелирования использовать только инварные рейки.

7. При выполнении нивелирования допускается использовать цифровые нивелиры, если инструменты сертифицированы для использования в нашей стране. Средние квадратические погрешности нивелирования, выполненного цифровым нивелиром должны соответствовать требованиям Инструкции по нивелированию I,II,III классов.

Программа и методика цифрового нивелирования должна соответствовать программе и методике для высокоточного нивелирования, изложенной в техническом руководстве пользователя.

Поверки цифрового нивелира выполнить перед выполнением работ согласно сервисным программам проверки и настройки прибора, изложенным в техническом руководстве пользователя.

Полевые журналы оптического нивелирования хранить в течение 5 лет. Сырые данные (файлы) цифрового нивелирования помещать на оптические носители и хранить до завершения отработки месторождения.

8. При камеральной обработке результатов наблюдений оптического нивелирования проверяется заполнение и состояния полевых журналов, контроль правильности выполнения полевых работ. Полевые журналы проверяются в две руки, в журналах осуществляется постраничный контроль.

Разность пяток реек на станции, контроль разницы превышений из прямого и обратного хода осуществляется непосредственно при полевых измерениях. Допуск разности превышений в секциях в миллиметрах вычисляется по формуле:

$$Д = \pm 5V\ L, \text{ мм},$$

где L-периметр секции при количестве штативов менее 15.

$$Д = +6V\ L, \text{ мм},$$

где L-периметр секции при количестве штативов более 15.

Среднее превышение в секции вычисляется как среднее арифметическое превышений из прямого и обратного ходов нивелирования

Уравнивание нивелирной сети рекомендуется выполнить как строгое уравнивание методом проф. В.В.Попова.

Абсолютные отметки каждого цикла наблюдений следует определять от опорных реперов по уравненным превышениям.

Суммарные оседания следует определять как разницу абсолютных отметок первого и текущего циклов наблюдений.

9. После окончания каждой серии наблюдений осуществляется обработка полевых измерений. Результаты наблюдений оформляются в соответствии с требованиями пункта 254 «Инструкции по производству маркшейдерских работ» РД 07-603-03. По результатам вычислений по каждой профильной линии на вертикальном разрезе строятся графики оседаний и, в случае необходимости, скоростей оседаний реперов, вертикальных (наклон и кривизна) деформаций. После очередной серии наблюдений графики пополняются. Графики горизонтальных сдвижений и деформаций строятся только для тех участков, где выполняются измерения длин линий между интервалами.

12.3--Разработка системы спутниковых наблюдений на пунктах (геодинамического) полигона

Изучение сдвижений и деформаций, происходящих в массиве требует проведения в мониторинговом режиме высокоточных геодезических измерений смещений реперов специально оборудованных наблюдательных станций - геодинамических полигонов. Жесткие требования к проведению подобного рода геодезических работ - обширные территории, охватываемые измерениями, высокий уровень точности определения величин сдвижений и деформаций, короткие периоды между сериями инструментальных измерений, все это предопределяет необходимость использования при проведении исследований современного высокоточного и производительного геодезического оборудования.

В настоящее время имеются две спутниковые системы определения координат: российская ГЛОНАСС (ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система) и американская NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging, Global Positioning System, т. е. «навигационная спутниковая система, обеспечивающая измерение времени и местоположения», «глобальная система позиционирования». Слово «позиционирование» означает «определение координат»).

Использование современной спутниковой технологии дает возможность для разработки метода выбора расположения пунктов геодинамического полигона в тех местах, которые наиболее интенсивно подвержены влиянию деформационных процессов, а не сточки зрения обеспечения прямой видимости между смежными пунктами.

При выполнении большинства геодезических измерений традиционными методами требуется не только прямая видимость, но и оптическая видимость между пунктами, следствием чего является необходимость выбора хороших условий видимости и соответствующего времени суток, что снижает производительность полевых работ. Спутниковые методы определения являются, по существу всепогодными, в результате чего измерения можно производить при любой погоде, в любое время суток и в любое время года, что очень важно, учитывая физико-географическую характеристику месторождения.

Системы ГЛОНАСС и GPS позволяют определять координаты точек на земной поверхности с высокой точностью:

$m = 5$ мм $+ D \cdot 10^{-6}$,

где D – расстояние между опорной (с известными координатами) и определяемой точками, км; m – средняя квадратическая ошибка определения приращений координат.

Основным режимом сбора данных для всех GPS съемок является наблюдение базовых линий (векторов). В простейшем случае один из приемников помещается на точку с известными координатами, а другой помещается на точку, пространственное положение которой необходимо определить. В течение определенного периода времени, зависящего от конкретного вида съемки, производится наблюдение базовой линии, после чего приемник перемещается на следующую точку.

В отличие от применяемых в традиционной геодезии линий по земной поверхности и проекции линии на поверхность эллипсоида (геодезическая линия), вектор, также называемый базовой линией (BaseLine), есть результат обработки GPS данных, представляющий собой линию между базовой и определяемой станциями относительно центра Земли в математическом эллипсоиде WGS-84. Несколько векторов в совокупности представляют собой геодезическую GPS сеть, натянутую на поверхность математического эллипсоида. При помощи соответствующих программ обработки данных, сеть строго уравнивается, причем в некоторых программах

обработки предусмотрена возможность совместного уравнивания GPS измерений и маркшейдерско-геодезических измерений, выполненных с использованием традиционных технологий, координаты определяемых пунктов трансформируются на эллипсоид Красовского в принятой картографической проекции.

Существуют несколько технологий, используемых для наблюдения векторов в геодезической GPS сети. Эти методы сбора данных со спутников различны по точности определения координат пунктов, времени наблюдений и производительности. Однако существует несколько условий, соблюдение которых необходимо для успешного выполнения любого вида GPS съемки:

1. Для выполнения геодезических GPS наблюдений векторов необходимо обеспечить одновременную работу как минимум двух GPS приемников, с последующим объединением накопленных ими данных.

2. Одновременный прием спутникового радиосигнала как минимум от четырех спутников, что бывает иногда затруднительно обеспечить в застроенных и залесенных районах.

3. Отсутствие в районе выполнение GPS измерений мощных работающих теле- и радиотрансляционных устройств, особенно с перископической схемой усиления радиосигнала, которые могут заглушать или искажать принимаемый со спутников радиосигнал.

Основные технологии GPS съемок приведены ниже, в таблице 15, в порядке возрастания точности определения координат.

Термин "статический" означает выполнение наблюдений с помощью неподвижного приемника, а "кинематический" - с помощью движущегося приемника. Временная потеря сигнала не так страшна для статического метода, как для кинематического.

Статическое абсолютное определение положения полезно, если нужна невысокая точность (от 5 м до 10 м), за сравнительно короткий интервал времени наблюдений. Кинематическое абсолютное определение положения используют для определения траектории транспортного средства в пространстве и времени с точностью от 10 м до 100 м).

Таблица 15 - Основные технологии GPS съемок

Название технологии, время измерения	Точность, м	Область применения
Навигационный режим, непрерывное слежение	10-15	Поиск точки по заранее известным координатам, поиск потерянных объектов по известным координатам, рекогносцировка местности.
Кинематика «real-time», 20-30 секунд на точку	0,1-0,3	Локальные топографические съемки и разбивочные работы с небольшими препятствиями прохождения спутникового радиосигнала. Координаты вычисляются прямо в поле. Необходимо наличие радиомодема.
Кинематика «continuous», непрерывное слежение	0, 05-0, 2	Локальные топографические съемки линейных и площадных объектов в условиях очень хорошего приема спутникового радиосигнала.
Кинематика «stop-and-go», 20-30 секунд на точку	0, 01-0, 03	Локальные топографические съемки с небольшими препятствиями прохождения спутникового радиосигнала, создание съемочного обоснования.
Быстрая статика, 20-30 минут на точку	$(1\text{-}3)\cdot 10^{-3}$	Высокоточные маркшейдерско-геодезические работы, создание опорного обоснования, наблюдения за деформациями земной поверхности, с длинами векторов до 10 км.
Статика, 40-60 минут на точку и более	$(1\text{-}3)\cdot 10^{-3}$	Высокоточные маркшейдерско-геодезические работы, создание опорного обоснования, наблюдения за деформациями земной поверхности, с длинами векторов до 2000 км.

Статическое относительное определение положения по наблюдениям фазы несущей в настоящее время является наиболее используемым геодезистами методом, и по-другому данный метод называется "статической съемкой". Принцип основан на определении вектора между двумя неподвижными приемниками. Различают "однобазовое" и "многобазовое" определения, причем последний термин применяют, если число пунктов превышает два. При статической съемке достижима относительная точность от 10^{-6} до 10^{-7}, что эквивалентно миллиметровой точности для баз длиной до нескольких километров.

Кинематическое относительное определение положения выполняется по одновременным наблюдениям на одном неподвижном и одном движущемся приемниках. Метод применяется там же, где и кинематическое абсолютное определение положения, но достигается более высокая точность. Точность в дифференциальном (по кодовым дальностям) определении находится на метровом уровне, а в относительном (по фазам несущей) методе достижима сантиметровая точность.

"Полукинематический" метод, или метод "остановки и движения" (Stop and Go), является комбинацией статического и кинематического относительных определений положения. В этом методе движение приемника чередуется с остановками в заданных пунктах. Наблюдения ведутся постоянно, но во время остановок накапливаются эпохи измерений и, соответственно, повышается точность определений. Метод часто называют просто "кинематической съемкой".

"Псевдокинематический" или "прерывистый статический" метод определения положения предполагает, что на интересующих пунктах наблюдения выполняют еще один раз (примерно через час после первого посещения пункта). Это делается для того, чтобы облегчить разрешение неоднозначности и получить более высокую точность. В основном эти цели достигаются вследствие изменения конфигурации сети спутников. При этом не требуется поддержания непрерывности сигнала между посещениями станции, и приемник во время движения можно даже отключать.

"Быстростатические" методы используют комбинации псевдодальностей и фаз несущей с целью выполнить быструю инициализацию (то есть разрешить неоднозначность) в статическом режиме. В этом случае требуются измерения как кода, так и фазы несущей, на обеих частотах. Наблюдения в течение 5 - 10 минут могут дать относительную точность 10^{-6}.

"Безостановочные (On-The-Fly)" методы позволяют выполнить инициализацию в кинематическом режиме, а не в статическом. Этот метод с использованием кодовых данных позволяет определять положения движущихся объектов с дециметровой и даже с сантиметровой точностью, если неоднозначности разрешены.

Выбор метода GPS съемки зависит, главным образом, от требуемой точности определения положений. При использовании одного приемника имеет смысл лишь определение координат одного пункта - "абсолютное определение положения" пункта. При этом не следует забывать, что неограниченный доступ возможен лишь к коду C/A, и что точность может быть искусственно ухудшена включением режима выборочного доступа (SA - Selective Availability). Более точный P-код в случае режима антиимитации (AS - Anti-Spoofing) или засекречивания P-кода доступен лишь пользователям, имеющим на это разрешение.

При использовании двух или большего числа приемников, один из пунктов служит корректирующей станцией, и на втором пункте достижимы более высокие точности. В дифференциальном режиме наблюдаются кодовые псевдодальности одновременно до четырех (обычно) или более спутников. Корректирующая станция вычисляет действительные поправки к наблюденным кодовым псевдодальностям. Эти поправки затем передаются различными средствами связи на неизвестные пункты,

приводя к уточнению независимо вычисленных положений. Поскольку Р-кодовые приемники обеспечивают точность кодовых дальностей на метровом уровне, с помощью дифференциального метода достижима субметровая точность определения положения. Следовательно, можно строить сети ниже третьего класса. Преимуществом метода кодовой псевдодальности является его нечувствительность к скачкам фазы и, до некоторой степени, к препятствиям около пункта. Значит, в лесных районах деревья оказывают на кодовые наблюдения меньше влияния, чем на измерения фазы несущей.

В настоящее время геодезические точности достижимы лишь при использовании измерений фаз несущей, выполненных в режиме относительного определения положений. Обработка вектора базы требует, чтобы фазы наблюдались одновременно на обоих концах базы. Следовательно, относительное определение положения было раньше возможно лишь в последующей обработке наблюдений.

Метод статической съемки является наиболее используемым, поскольку единственным основным требованием является относительное отсутствие препятствий для обзора неба на пунктах. Обычно для статической съемки нужно 60-120 минут наблюдений. Однако этот метод включает в себя использующий более короткие интервалы наблюдений (например, 10 минут) метод "широкой полосы (wide- line) или метод быстростатической съемки, основанный на быстром разрешении неоднозначности. Для длинных баз (> 50 км) обнаружение скачков фаз и разрешение неоднозначностей усложняется. В таких случаях может быть полезным использование дополнительных приемников в окрестностях обоих пунктов базы. Неоднозначности определяются для коротких баз и затем используются для определения неоднозначностей на длинных базах. Эта процедура называется "добавочным расширением (boot- strapping) сети. Обычно статическая съемка используется при государственных, областных и местных контрольных съемках, при фотоконтрольных съемках, при исследовании деформаций и границ плит.

Метод кинематической съемки является наиболее производительным в том смысле, что за наименьшее время можно определить положения наибольшего числа пунктов. Тогда как в статическом методе GPS требуется, чтобы спутники перемещались по небу, в кинематическом методе этого не требуется. Поэтому для кинематического метода является полезным предлагаемое совместное с GPS использование геостационарных спутников. Кинематическая съемка требует проведения тщательной рекогносцировки на местности, поскольку не только пункты остановок и неподвижные пункты, но и трасса между пунктами, по которой движется приемник, должны быть свободны от препятствий. Кинематический метод требует непрерывного сигнала от четырех или более спутников в течение всей съемки. На практике это означает, что движущийся приемник

не может проезжать под деревом или близко к столбу. Метод наиболее подходит широким открытым местностям с малым количеством препятствий, а также и для пригородов, где не слишком много больших деревьев нависает над дорогой. С помощью этого метода можно определять положение приемника, размещенного на наземном транспорте, движущемся по данному району по пересекающимся линиям. Трехмерные координаты этого приемника можно определить с высокой точностью (несколько сантиметров), так что возможно подготовить точную топографическую карту этого района.

Псевдокинематическая съемка наиболее близка к статическому методу. Такая съемка требует меньшего времени нахождения приемника в пункте, но нужно дважды побывать на обоих пунктах базы. Обычная схема наблюдений такова: пребывание на обоих пунктах в течение пяти минут, переезд к другим пунктам, и, через один час после первого посещения первой пары пунктов, возврат к ней для повторного наблюдения в течение пяти минут. Преимуществом этого 10-минутного (в сумме) интервала наблюдений, в отличие от 60-минутного, является наличие некоторого промежутка времени, потерянного на переезд к пунктам для повторного наблюдения. Псевдокинематический метод оптимален для ситуаций, когда пункты находятся вдоль дороги, по которой наблюдатели могут быстро двигаться в промежутках между наблюдениями на пунктах. Главным преимуществом метода является то, что за заданный интервал времени можно побывать на большем числе пунктов, чем при использовании обычного статического метода. В сравнении с кинематическим методом, допускается потеря сигнала, а число спутников не играет такой существенной роли. Слабой стороной метода является необходимость возвращения на пункты. Это ограничивает метод лишь локальными его применениями. Поэтому главным конкурентом метода является быстростатический метод определения положений, в котором нет необходимости вновь посещать пункты.

На практике лучше использовать комбинации этих трех методов. Например, статический и псевдокинематический методы можно использовать для установления широкой структуры сети контрольных пунктов и для установки пунктов на другой стороне препятствий, таких, как мосты. Кинематическую съемку можно применить для определения координат большой части пунктов, используя статические пункты в качестве контрольных и для проверки качества наблюдений. Для таких смешанных пунктов необходима тщательная рекогносцировка.

Для того чтобы иметь опорную сеть для последующих съемок и дать возможность преобразования GPS результатов к национальной системе координат, используют два типа контрольных GPS сетей: пассивные контрольные сети и активные контрольные сети. Пассивная сеть привязана к существующим триангуляционным монументам и высотным реперам. Недостатком такой сети является требование выполнения

наблюдений на многих пунктах и поддержка этих пунктов. Однако эта система подходит, когда имеются густые национальные триангуляционные сети и когда контрольная сеть служит другим целям, как, например, геодинамическим исследованиям.

Целями активной контрольной сети являются вычисление и распространение в (почти) реальном времени дифференциальных поправок для пользователей, имеющих лишь один приемник, а также вычисление точных эфемерид в процессе постобработки (в офисе). Сбор и распространение данных выполняется с помощью высокоскоростных наземных, а также спутниковых систем связи.

12.2.4 Организация и планирование полевых работ

Для успешного применения комплексов спутниковой геодезии при изучении процесса деформирования породного массива большое значение имеет организация и планирование полевых работ. Исследование деформаций породного массива в мониторинговом режиме, подразумевает многократное, от цикла к циклу, выполнение точных геодезических измерений на одних и тех же пунктах сети, по одной программе работ с дальнейшим анализом изменений геометрических взаимосвязей между реперами. Из этого вытекает важная особенность геодинамического полигона: возможность детального изучения условий проведения наблюдений на каждом пункте сети и использование их при планировании времени и периода проведения спутниковых измерений, специальная подготовка отдельных пунктов сети с целью устранения причин затрудненного или некачественного приема спутникового радиосигнала.

Точность спутниковых определений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision), представляющим собой отношение средней квадратической погрешности определения местоположения к средней квадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP имеет несколько видов, основные из которых приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Виды фактора понижения точности (DOP)

Вид DOP	Обозначение	Определяемые параметры
Геометрический	GDOP	координаты, высота, время
Позиционный	PDOP	координаты, высота
Горизонтальный	HDOP	координаты
Вертикальный	VDOP	высота

Фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP.

Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет 20°. Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной.

Для определения периода времени, благоприятного для выполнения спутниковых наблюдений, на стадии проектирования работ выполняется прогнозирование спутникового созвездия.

Исходными данными для прогнозирования спутникового созвездия являются координаты объекта работ и эфемеридная информация о спутниках. В случае если в районе расположения пунктов геодезической основы, съёмочного обоснования или топографических съёмок имеются предметы или сооружения, препятствующие прохождению радиосигналов от спутников, то в качестве исходной информации при прогнозировании необходимо использовать также значения высот и азимутов границ нахождения препятствий.

В качестве исходных координат объекта работ используют географические координаты, взятые с точностью до 1°.

Эфемеридную информацию в виде файла, называемого в эксплуатационной документации альманахом, получают либо из специально для этого выполняемых спутниковых определений, либо используют эфемеридную информацию, образовавшуюся в процессе каких-либо ранее выполненных спутниковых определений. В любом случае спутниковые определения для получения альманаха должны быть выполнены в дату, отстоящую не более чем на 30 суток от даты, на которую выполняют прогнозирование. Если для получения альманаха специально проводят спутниковые определения, то их выполняют одним приёмником в течение 5 минут.

Для объекта работ или его части, где препятствия прохождению радиосигналов, передаваемых спутниками, отсутствуют, прогнозирование выполняют сразу для всех пунктов и снимаемых участков объекта.

В случае если на объекте работ препятствия имеются, прогнозирование должно быть выполнено с учётом этого обстоятельства. Оно должно быть осуществлено в отдельности для каждого пункта, если выполняют подготовку к производству работ по развитию съёмочного обоснования, или в отдельности для каждого участка съёмки, в пределах которого условия прохождения радиосигналов можно принять одинаковыми, если производят подготовку к выполнению съёмки. При этом используют высоту и азимут объектов, препятствующих прохождению радиосигналов от спутников, определённые в ходе рекогносцировки.

Прогнозирование спутникового созвездия выполняют на ЭВМ с помощью программного пакета, входящего в комплект спутниковой аппаратуры, как описано в прилагаемой эксплуатационной документации.

При прогнозировании для каждого пункта геодезической основы или съёмочного обоснования, или участка съёмки в функции времени суток получают график числа доступных для наблюдения спутников и график значений PDOP (GDOP), на каждую дату предстоящих работ. Данная информация выводится на дисплей ЭВМ или может быть напечатана как в графической форме, так и в форме таблиц. Кроме того, может быть составлена диаграмма видимых положений спутников на небесной сфере в некоторый задаваемый интервал времени.

По полученным графикам и таблицам находят периоды, оптимальные для наблюдения спутников на пунктах геодезической основы или съёмочного обоснования или участках съёмки, которые используются для планирования сеансов наблюдений.

Как показывает практика, благоприятными для производства измерений являются промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от 7-8 и более спутников при коэффициенте PDOP меньшем 4. При таких условиях наблюдений, возможно, проводить измерения на миллиметровом уровне точности.

Перед началом наблюдений должна быть произведена привязка (определение координат x, y, z) всех опорных реперов профильных линий геодинамического полигона к ближайшим пунктам триангуляции.

При выполнении спутниковых измерений, как правило, используются трехсуточные сеансы наблюдений с применением двухчастотных приемников. Результаты измерений заносят в таблицу 17.

Таблица 17 – Изменения плановых и высотных координат опорных пунктов

№№ п/п	Номер опорного пункта	Дата наблюдений	Условные плановые и высотные координаты, м		
			X	У	Z
1		…	…	…	…
2	…	…	…	…	…
3		…	…	…	…

Существуют общие указания по выполнению спутниковых определений:

1. В продолжение приёма необходимо непрерывно наблюдать как базовой, так и подвижной станциями не менее 4 спутников одновременно; при применении динамических методов, и особенно кинематического метода, рекомендуется наблюдать не менее чем 5 спутников. Состав спутников в продолжение приёма может меняться.

2. При применении любого из методов спутниковых определений приём, выполняемый базовой станцией, всегда следует производить в следующей последовательности:

- провести развёртывание аппаратуры, установить приёмник на пункте и определить высоту антенны;

- подготовить приёмник к работе, как указано в эксплуатационной документации;

- установить режим регистрации данных наблюдения спутников;

- пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство: значение номера пункта, значение высоты антенны и вспомогательную информацию: время начала и конца приёма, потерь связи и др.;

- провести приём наблюдений спутников в течение времени, указанного в рабочей программе полевых работ для применяемого метода спутниковых определений;

- выключить режим регистрации данных и выполнить свёртывание аппаратуры;

- в заключение работ на объекте следует выполнить вычислительную обработку данных наблюдений спутников.

3. При выборе значения интервала регистрации необходимо руководствоваться эксплуатационной документацией используемого типа приёмника с учётом применяемого метода спутниковых определений. Значение интервала регистрации должно быть одинаковым для всех приёмников, используемых в сеансе.

4. Высоту антенны необходимо определять на каждом пункте и пикете. При этом следует руководствоваться эксплуатационной документацией комплекта приёмника. Во избежание ошибок, рекомендуется производить измерения в метрической мере и в дюймах.

При работе со спутниковой аппаратурой необходимо соблюдать следующие правила:

- следить за индицируемым на дисплее значением свободного объёма запоминающего устройства приёмника и вовремя принимать меры по передаче накопившейся информации в ЭВМ;

- во избежание утраты данных спутниковых определений, по окончании каждого рабочего дня копировать полученные данные на дискету (PC-карту);

- всегда отражать в полевом журнале (или его электронном аналоге) ход выполнения работ: время начала и конца приёма, инициализации, потери связи и т.п.;

- не допускать образования толстого снежного покрова на поверхности антенны приёмника и её обледенения;

- беречь антенну от попадания разряда молнии;

- по окончании рабочего дня упаковывать комплект спутниковой аппаратуры в транспортировочные ящики во избежание механических повреждений или воздействия метеофакторов.

Состав комплекта аппаратуры и оборудования, необходимого для выполнения полевых работ включает: приёмник в составе блоков, содер-

жащих функциональные элементы и принадлежностей, необходимых для приведения его в рабочее состояние (кабелей и др.); укладочную тару для хранения и перемещения приёмника (футляр, рюкзак и т.п.); устройства для установки приёмника на точке (штатив, веха, трегер, адаптеры и т.п.).

Вспомогательное оборудование: трегеры, стойки быстрого развёртывания; сменные аккумуляторные батареи; осветительные приборы (для работы в тёмное время суток); рулетка; описание местоположения точек; сторожки, колья, гвозди, топор; полевой журнал, карандаш, авторучка; эксплуатационная документация.

По условиям организации работ могут быть необходимы также устройства хранения, передачи и обработки информации - PC-карты, дискеты, полевой компьютер (ноутбук), модем и принадлежности к ним, - а в необжитой местности, кроме того, - зарядное устройство и агрегат для подзарядки аккумуляторов.

Для успешного выполнения работ по наблюдениям за деформациями земной поверхности на Тагульском газонефтяном месторождении необходимо развитие обоснования для последующих наблюдений, причем пункты обоснования должны находиться вне зоны возможных деформаций земной коры. С этой целью и были запроектированы опорные репера.

Для достижения миллиметрового уровня точности развитие обоснования необходимо запроектировать методом построения сети, соответственно программа полевых работ на объекте должна быть составлена так, чтобы все линии сети были определены независимо друг от друга. При этом необходимо запроектировать определение линий от каждого вновь определяемого пункта обоснования не менее чем до трех пунктов, а для увеличения количества избыточных измерений, которые необходимы для качественного уравнивания сети, следует увеличивать количество исходных пунктов до четырех.

Таким образом, создается калиброванный район работ в зоне действия каркаса из исходных пунктов и базовой станцией на опорном репере. В нашем случае создается несколько калиброванных районов работ и дальнейшее проектирование наблюдений за положением рабочих реперов должно строго исходить из соображения «каркасности» с опорой на базовую станцию. Причем от цикла к циклу это условие должно неукоснительно соблюдаться. Все эти требования необходимы для минимизации погрешностей при определении положения рабочих реперов в каждом цикле наблюдений.

12.3.5 Обеспечение безусловного соблюдения требований промышленной безопасности и охраны недр на геодинамической основе

При разработке нефтегазоконденсатных месторождений вступают в силу следующие Федеральные законы, нормативные правовые акты и нормативно-технические документы:

1. Закон РФ «О недрах» в редакции 03.03.95 г. № 27 ФЗ….

2. Закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов от 21.07.97 № 116-ФЗ

3. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Правила охраны недр. (ПБ 07-601-03). Серия 07. Выпуск 11/ М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 64 с.

4. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр. РД 07-408-01. Введено в действие постановлением Госгортехнадзора России от 20.06.01 № 20.

5. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Серия 07. Выпуск 15/ М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – 120 с.

Горная промышленность относится к опасным производственным объектам.

Общая безопасность в районе работ обеспечивается Заказчиком.

Охрана труда обеспечивается согласно требованиям инструкции по технике безопасности при топографо-геодезических работах. Руководитель полевых работ до начала изысканий проверяет прохождение работником инструктажа по технике безопасности. Ответственным за соблюдение ТБ при производстве работ является руководитель полевой бригады. Все полевые и камеральные работы выполняются в соответствии со СНиП 11-02-96; СП 11-104-97; так же в соответствии с принятыми на предприятии инструкциями по ТБ и охране труда.

До начала работ на территории промышленных объектов необходимо получить в органах, ведающих данной территорией, разрешение на право производства работ и согласовать требования по безопасности, предъявляемые местными организациями к проведению планируемых работ по созданию геодинамического полигона.

Все работы должны выполняться с соблюдением действующего законодательства об охране окружающей среды (охрана недр, лесов, водоемов и т.п.). Неблагоприятные последствия воздействия на окружающую среду при производстве геодезических работ должны ликвидироваться организациями, производящими эти работы.

Запрещается проведение полевых топографо-геодезических работ в необжитой местности в одиночку или малыми группами менее трех человек.

При выполнении производственного задания группой работников в составе двух и более человек один из них должен быть назначен старшим, ответственным за безопасное ведение работ, распоряжения которого для всех членов группы являются обязательными.

Запрещается допускать к работе лиц в нетрезвом состоянии.

При проведении полевых работ по созданию геодинамического полигона и наблюдений запрещается принимать на работу лиц моложе 18 лет.

Рабочие и инженерно-технические работники должны проходить обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в порядке, установленном приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации. Запрещается принимать на работу или допускать к работе лиц, которым по состоянию здоровья противопоказаны определенные виды работ и профессии.

Все рабочие и служащие могут быть допущены к самостоятельной работе только после прохождения инструктажа по технике безопасности, пожаробезопасности, стажировки на рабочем месте и проверки полученных знаний комиссией.

По характеру и времени проведения инструктажи подразделяют на:

- вводный;
- первичный на рабочем месте;
- повторный;
- внеплановый;
- целевой.

Вводный инструктаж по безопасности труда проводят со всеми вновь принимаемыми на работу независимо от их образования, стажа работы по данной профессии или должности.

О проведении вводного инструктажа делают запись в журнале регистрации вводного инструктажа с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводят с каждым работником индивидуально с практическим показом безопасных приемов и методов труда.

Все рабочие после первичного инструктажа на рабочем месте должны пройти стажировку под руководством лиц, назначенных приказом.

Рабочие допускаются к самостоятельной работе после стажировки, проверки теоретических знаний и приобретенных навыков безопасных способов работы.

Повторный инструктаж проходят все рабочие независимо от квалификации, образования, стажа, характера выполняемой работы не реже одного раза в полугодие.

Внеплановый инструктаж проводят:

- при введении в действие новых или переработанных стандартов, правил, инструкций по охране труда, а также изменений к ним;

- при изменении технологического процесса, замене или модернизации оборудования, приспособлений и инструмента, исходного сырья, материалов и других факторов, влияющих на безопасность труда;

- при нарушении работающими и учащимися требований безопасности труда, которые могут привести или привели к травме, аварии, взрыву или пожару, отравлению;

- по требованию органов надзора;

- при перерывах в работе - для работ, к которым предъявляют дополнительные (повышенные) требования безопасности труда более чем на 30 календарных дней, а для остальных работ – 60 дней.

Объем и содержание инструктажа определяют в каждом конкретном случае в зависимости от причин и обстоятельств, вызвавших необходимость его проведения.

Целевой инструктаж проводят при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями по специальности.

Первичный инструктаж на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой проводит непосредственный руководитель работ.

Инструктажи на рабочем месте завершаются проверкой знаний устным опросом или с помощью технических средств обучения, а также проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы. Знания проверяет работник, проводивший инструктаж.

Лица, показавшие неудовлетворительные знания, к самостоятельной работе или практическим занятиям не допускаются и обязаны вновь пройти инструктаж.

О проведении первичного инструктажа на рабочем месте, повторного, внепланового, стажировки и допуске к работе работник, проводивший инструктаж, делает запись в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

При регистрации внепланового инструктажа указывают причину его проведения.

Целевой инструктаж с работниками, проводящими работы по наряду-допуску, разрешению и т.п., фиксируется в наряде-допуске или другой документации, разрешающей производство работ.

Спецодежда, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты, выдаваемые работникам, а также средства коллективной защиты и предметы лагерного снаряжения и оборудования, должны соответствовать характеру и условиям выполняемой работы, отвечать требованиям действующих стандартов и обеспечивать безопасность труда.

Выдаваемые в полевые бригады оборудование, инструменты и механизмы должны быть в исправном состоянии и иметь соответствующий сертификат или паспорт, подтверждающие их техническое состояние и со-

ответствие выполняемому виду работ. Выдача транспортных средств, а также буровых установок и самоходных механизмов производится по акту готовности к эксплуатации в полевых условиях.

В полевом подразделении каждый работник должен постоянно заботиться о сохранении и укреплении своего здоровья и строго соблюдать требования санитарии и личной гигиены и тем самым способствовать успешному выполнению производственного задания. В этом отношении руководитель подразделения должен служить примером для остальных членов коллектива и требовать от них четкого выполнения установленных правил.

Все работники, командируемые на полевые работы, должны быть обучены правилам оказания первой помощи при несчастных случаях (ожогах, кровотечении, переломах и т.п.). В полевой бригаде один из работников должен иметь знания по оказанию первой медицинской помощи в пределах требований санитарного инструктора.

При работах в полярных районах, при длительных переходах по снежному покрову следует надевать очки с темными стеклами.

Свободное время от работы работники полевых подразделений проводят по своему усмотрению, но каждый обязан помнить, что он не должен нарушать установленного порядка, а в жилых помещениях обязан считаться с интересами живущих с ним товарищей.

13 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асаченков Л.М. Маркшейдерские работы при строительстве и реконструкции шахт: учеб. пособие/ Л.М. Асаченков. – М.: Недра, 1987. – 199 с.
2. Геодезические работы в строительстве/ В.Н. Ганьшин [и др.], под ред. В.Н. Ганьшина. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1984. – 447 с.
3. Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства/ Ф.В. Андреева [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 270 с.: ил.
4. Инженерная геодезия: учебник для студентов вузов/Е.Б.Клюшин [и др.]; под ред. Д.Ш.Михелева. – 6-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 480 с.
5. Левчук Г.П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ: учебник для вузов/ Г.П. Левчук, В.Е. Новак, В.Г. Конусов. – М.: Недра, 1981. – 438 с.
6. Маркшейдерские работы на карьерах и приисках: справочник/ В.Н. Попов [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 424 с.
7. Маркшейдерское дело: учебник для вузов/ Д.Н. Оглоблин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 704 с.
8. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации/ГКИНП (ГНТА) – 01 – 006 – 03 – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 14 с.
9. Поклад Г.Г. Геодезия: учебник для вузов/ Г.Г. Поклад. – М.: Недра, 1988. – 304.
10. Справочник по геодезическим работам в строительно-монтажном производстве/ С.П. Войтенко [и др.], под ред. Ю.В. Полищук. – М.: Недра, 1990. – 336 с.
11. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий/ Я.А. Сундаков. – М.: Недра, 1972. – 362 с.
12. Богданов. Закладка геодезических центров в районах многолетней мерзлоты. - М.: Недра, 1990. – 159 с.
13. Ганьшин В.Н., Стороженко А.Ф., Ильин А.Г. и др. «Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов». М.: Недра, 1981. – 215 с.
14. Генике, Г.Г. Побединский. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М.: 1999. – 271 с.

15. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Утверждена постановлением Госгортехнадзора России № 73 06.06.2003г. Москва, 2003 г.
16. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03, – М.: ЦНИИГАиК, 2004 г.
17. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1988. – 112 с.
18. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99. – М.: ЦНИИГАиК, 1999 – 32 с.
19. Инструкция по созданию наблюдательных станций и производству инструментальных наблюдений за процессами сдвижения земной поверхности при разработке нефтяных месторождений в регионе Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС). - Пермь, изд.ПермГТУ. - 2003. - 34с.
20. Лазарев Г.Е., Самошкин Е.М. Основы высшей геодезии. М.: Недра, 1980. – 424с.
21. Методические указания по созданию, контролю и реконструкции маркшейдерско-геодезических сетей на нефтяных и газовых месторождениях с использованием спутниковой аппаратуры. – Санкт-Петербург, 1998.
22. Положение о порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых». Утвержденно постановлением Федерального горного и промышленного надзора России № 64 от 30 августа 1999 г.
23. «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей», – М.: «Картгеоцентр» – Геодезиздат, 1993 – 104 с.
24. «Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети», Издание официальное, – М.: ЦНИИГАиК, 2001 – 30 с.
25. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. С.-Петербург: Изд. ВНИМИ, 1998 –291 с.
26. Проект формирования геодинамического полигона Марковского ГМК ОАО «Устькутнефтегаз» Т. 2 / ИрГТУ, ООО «Байкалгеосервис», рук. Ю.А. Калашников. – 2008. – 33 с.
27. Расчет оседаний земной поверхности и проект геодинамического полигона Марковского нефтегазоконденсатного месторождения в Иркутской области: отчет по НИР Т. 1 / ИрГТУ, ООО «Байкалгеосервис», рук. Ю.А. Калашников; исполнит.: Ю.А. Калашников, С.В. Гладышев, С.Г. Ашихин, С.Н. Попов, Е.С. Варнина. – 2008. – 52 с.

28. Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса. М.: 1997 – 123с.

29. Сидоров В.А., Хитров В.М., Кузьмин Ю.О. Концепция геодинамической безопасности освоения углеводородного потенциала недр России. – М.: изд.МГГРИ. –1998г.

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

Шмонин А. Б.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДВОДНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург – 2019

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).

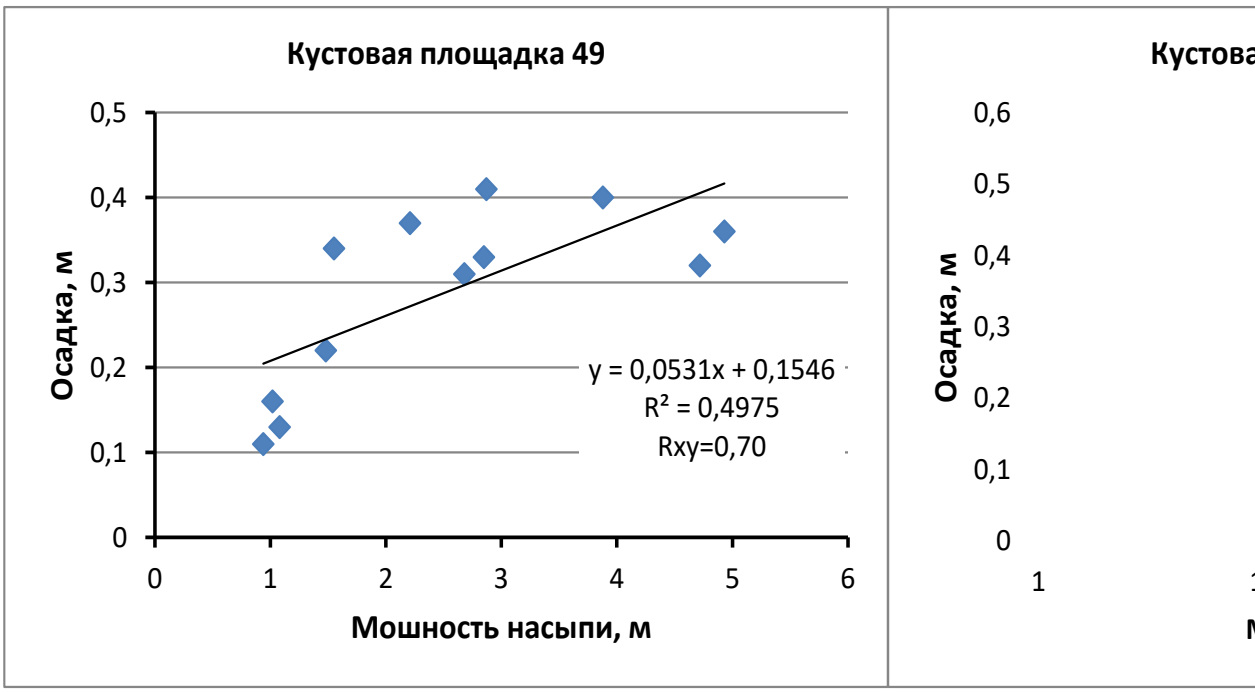
Исходные данные:

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.



$$h_{\text{просадок}} = 0.053m + 0.154 \text{ (м)},$$

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.Б. Шмонин

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДВОДНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

Оглавление

1. Задачи маркшейдерского обеспечения подводной разработки месторождений 5
2. Геодезическое обоснование на промышленной площадке 6
2.1. Назначение и классификация геодезических сетей 6
2.2. Разбивочные сети, их построение методом строительных сеток 12
2.3. Проектирование строительной сетки 14
2.4. Вынос в натуру строительной сетки 16
2.5. Общие сведения и понятия о разбивках 20
2.6. Геодезическо-маркшейдерская подготовка к разбивке сооружений 31
3. Понятие о вертикальной планировке, земляные работы на промышленной (строительной) площадке 35
4. Геодезическо-маркшейдерское обеспечение при возведении инженерных сооружений 40
4.1. Работы нулевого цикла 40
4.2. Маркшейдерско-геодезические работы при устройстве котлованов под фундаменты 42
4.3. Геодезические выноски и измерения при строительстве надземной части сооружений 46
5. Исполнительные съемки в промышленном строительстве, маркшейдерско-геодезическая документация 47
6. Маркшейдерско-геодезические работы при строительстве буровых скважин 54
6.1. Основные положения 54
6.2. Перенесение в натуру проектного положения устьев скважин 55
6.3. Работы при сооружении буровой установки 58
6.4. Работы при строительстве кустов скважин 59
6.5. Наклонно-направленное бурение 61
6.6. Профили наклонно направленных скважин. 61
6.7. Контроль за положением оси ствола скважины в пространстве 63
7. Математические методы и алгоритмы построения траектории ствола наклонно направленной скважины 66
7.1. Тангенциальный метод 67
7.2. Метод усреднения углов 68
7.3. Балансный тангенциальный метод 68
7.4. Метод расчета по радиусу кривизны 68
7.5. Метод постоянной кривизны 70
7.6. Метод кольцевых дуг 70
8. Инженерно-геодезические изыскания 71

8.1. Нормативные ссылки 71
8.2. Планово-высотное обоснование 75
8.3. Требования к производству и обеспечению точности топографических съемок при инженерных изысканиях для строительства 83
8.4. Тахеометрическая съемка 88
8.5. Горизонтальная и высотная (вертикальная) съемка застроенных территорий 88
9. Съемка подземных и надземных сооружений 91
10. Съемка водных переходов 95
11. Линейные изыскания 99
11.1. Рекогносцировочное обследование района (участка) трассы и сооружений 100
11.2. Камеральное и полевое трассирование линейных сооружений 101
12. Оценка уровня возможных геодинамических последствий разработки нефтегазоконденсатного месторождения 117
12.1. Определение оптимального состава и типа реперов применительно к физико-географическим условиям района производства работ 120
12.1.1. Общие требования к центрам 120
12.1.2. Закладка наблюдательных реперов 122
12.2. Разработка оптимального регламента системы геодинамических наблюдений на полигоне 127
12.2.1. Конфигурация сети, густота наблюдательных пунктов 127
12.2.2. Методика и точность измерений 131
12.3. Составление схемы нивелирной сети и априорной оценки точности геодезических наблюдений 132
12.3.1. Схема нивелирной сети 132
12.3.2. Априорная оценка точности геодезических наблюдений 134
12.4. Разработка системы спутниковых наблюдений на пунктах (геодинамического) полигона 136
12.4.1. Организация и планирование полевых работ 143
12.5. Обеспечение безусловного соблюдения требований промышленной безопасности и охраны недр на геодинамической основе 148
13. Библиографический список 152

1. ЗАДАЧИ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Отметим, что геодезия является одной из древнейших, а также базовых наук для специальности «Маркшейдерское дело». В процессе своего развития она разделилась на ряд самостоятельных научно-технических дисциплин в соответствии с обслуживающими сферами деятельности, например:

1. Высшую геодезию, изучающую фигуру и размеры Земли и планет, методы измерений для высокоточного определения точек на земной поверхности.

2. Космическую геодезию, занимающуюся построением космической геодезической сети и решением геодезических задач с помощью искусственных спутников Земли на основе использования спутниковых навигационных систем.

3. Геодезию или топографию, рассматривающую способы изучения земной поверхности и производство измерений на ней, математическую и графическую обработку этих измерений с целью получения карт и планов небольших участков Земли.

4. Картографию, разрабатывающую методы создания карт и их использования.

5. Фототопографию, создающую планы и карты по фотоснимкам и аэрофотоснимками местности.

6. Морскую геодезию, занимающуюся разработкой методов ведения геодезических работ для обеспечения разведки и разработки природных ресурсов на дне морей и океанов.

7. Инженерную (прикладную) геодезию, изучающую методы геодезических работ, выполняемых при различных изысканиях, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, горнорудных предприятий, гражданского строительства, транспортных магистралей и т. п.

Геодезические измерения используются почти во всех отраслях народного хозяйства: при изысканиях и строительстве жилых и промышленных объектов, железных и автомобильных дорог, каналов, ЛЭП, трубопроводов, аэродромов, речных и морских портов и др.

В процессе строительства промышленных предприятий круг задач, решаемых по геодезическому обслуживанию на строительной площадке, зависит от определенного этапа его производства.

При проектно-изыскательских работах на участке строительства разбивают опорную геодезическую сеть, выполняют крупномасштабную съемку и получают топографический план, являющийся основой для проектирования промышленных предприятий и составления генерального

плана. На нем указывают плановое и высотное положение объектов строительства и привязку основных строительных осей.

При проектировании составляют геодезическую часть строительного паспорта, разрабатывают разбивочные чертежи, составляют проект вертикальной планировки и геодезической подготовки исходных данных для перенесения проекта на строительный участок.

При перенесении проекта в натуру разбивают на местности границу отвода участка, проектные линии застройки, выносят и закрепляют главные оси сооружений и основные проектные горизонты.

При текущем обслуживании строительства устанавливают в проектное положение строительные конструкции и оборудование, выверяют их по высоте и вертикали, выполняют текущие съемки и исполнительные чертежи.

2. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКЕ

2.1 Назначение и классификация геодезических сетей

Введение в действие основополагающего документа «Основные положения о государственной геодезической сети РФ» (с 25.06.03 г.) обусловливает необходимость в создании геодезического обоснования на качественно новом, более высоком уровне точности, основанной на применении методов космической геодезии и использовании глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Данный документ является продолжением работы над установлением единых государственных систем координат на территории России и разработан в рамках организационно-технических мероприятий для перехода к системе координат 1995 г.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) представляет собой совокупность геодезических пунктов, расположенных равномерно по всей территории РФ и закрепленных на местности специальными центрами. ГГС также включает в себя пункты с постоянно действующими наземными станциями спутникового автономного определения координат и в целом предназначена для решения следующих основных задач, имеющих хозяйственное, научное и оборонное значение:

- установление и распространение единой государственной системы геодезических координат на всей территории страны и поддержание ее на уровне современных и перспективных требований;
- геодезическое обеспечение картографирования территории России и акваторий окружающих ее морей;
- геодезическое обеспечение изучения земельных ресурсов и землепользования, кадастра, строительства, разведки и освоения природных ресурсов;

- обеспечение исходными геодезическими данными средств наземной, морской и аэрокосмической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенной сред;
- изучение поверхности и гравитационного поля Земли, их изменений во времени;
- изучение геодинамических явлений;
- метрологическое обеспечение высокоточных технических средств определения местоположения и ориентирования.

Государственная геодезическая сеть структурно формируется по принципу перехода от общего к частному и включает в себя геодезические построения различных классов точности в единой системе координат 1995 г. (СК-95):

- Фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС).
- Высокоточную геодезическую сеть (ВГС).
- Спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС-1).
- Геодезические сети специального назначения.

Наряду с ГГС созданы государственные нивелирная и гравиметрическая сети.

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть в структуре координатного обеспечения России занимает высший уровень и служит исходной основой для дальнейшего повышения точности пунктов ГГС. ФАГС состоит из постоянно действующих и периодически определяемых пунктов Роскартографии, формирующих единую сеть на территории РФ. Расстояния между смежными пунктами ФАГС составляют 650–1 000 км, а их центры фундаментально закрепляются с обеспечением долговременной стабильности местонахождения в плане и по высоте.

Пространственное положение пунктов сети определяется методами космической геодезии в геоцентрической системе координат относительно центра масс Земли со средней квадратической ошибкой взаимного расположения не более 2 см в плане и 3 см по высоте. Определение нормальной высоты пунктов производится нивелированием не ниже II класса точности. Периодичность определений пространственного положения пунктов ФАГС устанавливается в пределах 5–8 лет.

Высокоточная геодезическая сеть занимает второй уровень в современной структуре ГГС и опирается на пункты ФАГС. Ее основная функция состоит в дальнейшем распространении на всей территории России геоцентрической системы координат и уточнении параметров взаимного ориентирования геоцентрической и геодезической систем.

ВГС, наряду с ФАГС, служит основой для развития геодезических построений последующих классов и используется для создания высокоточных карт высот квазигеоида. Сеть представляет собой однородное по

точности пространственное геодезическое построение из системы пунктов, удаленных друг от друга на расстояния 150–300 км.

Координаты пунктов ВГС определяются относительными методами космической геодезии со среднеквадратическими ошибками взаимного положения в плане, не превышающими 3 мм + $5 \cdot 10^{-8}$ D (где D – расстояние между пунктами) и 5 мм + $7 \cdot 10^{-8}$ D по высоте.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (астрономо-геодезическая сеть и геодезические сети сгущения) занимает третий уровень в структуре государственной геодезической сети и функционально предназначена для обеспечения оптимальных условий реализации точности и оперативных возможностей спутниковой аппаратуры при переводе геодезического обоснования территории РФ на спутниковые методы определения координат.

СГС-1 представляет собой пространственное геодезическое построение из системы легкодоступных пунктов с плотностью, достаточной для эффективного использования всех возможностей спутниковых определений (координат) потребителями со средними расстояниями между смежными пунктами 25– 35 км.

Сеть СГС-1 создается относительными методами космической геодезии, обеспечивающими определение взаимного положения смежных пунктов со среднеквадратическими ошибками в плане 3 мм + $1 \cdot 10^{-7}$ D и 5 мм + $2 \cdot 10^{-7}$ D по геодезической высоте, а также может строиться отдельными фрагментами. В каждый создаваемый фрагмент должны включаться все пункты ВГС и ФАГС, перекрывающие на треть расстояния между смежными пунктами ВГС на данной территории. Для связи СГС-1 с астрономо-геодезической сетью (АГС) и нивелирной сетью часть пунктов СГС-1 должна быть совмещена или связана с существующими пунктами АГС и реперами нивелирной сети не ниже точности III класса.

Геодезические сети специального назначения создаются в тех случаях, когда дальнейшее сгущение пунктов ГГС экономически не целесообразно или требуется особо высокая точность построения геодезической сети. Эти сети определяются в единых государственных (или местных) системах координат в установленном порядке, учет и хранение исходных данных осуществляется органами государственного геодезического надзора (госгеонадзора).

Система координат 1995 г. установлена так, что ее оси параллельны осям геоцентрической системы координат, а положение начала координат пункта ГГС Пулково совпадает с системой координат 1942 г.

За отсчетную поверхность в СК-95 принят эллипсоид Красовского с параметрами:

- большая полуось равна 6378 245 м;
- сжатие составляет 1:298,3.
- Положение пунктов ГГС задается следующими координатами:

- пространственными прямоугольными координатами *X, Y, Z;*
- геодезическими (эллипсоидальными) координатами *B, L, H*;
- плоскими прямоугольными координатами *x* и *y*, вычисляемыми в проекции Гаусса-Крюгера.

Существующие сети триангуляции и полигонометрии 1–4 классов вписываются в указанную систему построений, и настоящий нормативно-технический акт (НТА) допускает применение «Основных положений о построении государственной геодезической сети СССР» в тех случаях, когда используются методы триангуляции и полигонометрии.

Поэтому уместным будет рассмотреть структуру и методы построения геодезической сети традиционными технологиями.

В соответствии с действующей до 2003 г. классификацией геодезические сети РФ подразделяются на государственные сети, сети сгущения, сети съемочного обоснования.

Государственная геодезическая сеть (ГГС), созданная в 1961–1966 гг., состоит из плановых сетей триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3, 4 классов и нивелирных сетей I, II, III, IV классов, различающихся между собой точностью измерений углов и расстояний, длиной сторон сети, порядком последовательного развития, погрешностью определения превышений.

Развитие государственной геодезической сети ведется по принципу перехода от общего к частному. Точность плановой государственной сети рассчитана на обеспечение координат съемочных работ в крупных масштабах.

Техническая характеристика сетей триангуляции и полигонометрии 1–4 классов приведена в табл. 1, нивелирования I–IV классов – в табл. 2.

Таблица 1. Техническая характеристика сетей триангуляции и полигонометрии

Показатель	Класс			
	1	2	3	4
Триангуляция				
Средняя длина стороны треугольника, км	20–25	7–20	5–8	2–5
Относительная погрешность базиса (выходной стороны) (m_b/b)	1/400 000	1/300 000	1/200 000	1/200 000
Относительная погрешность слабой стороны *	1/150 000	1/130 000	1/120 000	1/ 70 000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с	0,7	1,0	1,5	2,0
Допустимая невязка треугольника, угл. с	3	4	6	8

Наименьшее значение угла треугольника, град.	40	20	20	20
Полигонометрия				
Периметр полигона, км	700−800	150–180	–	–
Длина диагонали звена (хода), не более, км	200	60	30	15, 13, 11**
Длина стороны хода (в звене), км	8–30	5–18	3–10	0,25
Число сторон в ходе (звене)	12	–	–	20
Число сторон между узловыми или исходными и узловыми пунктами, не более	–	6	6	–
Длина диагоналей ходов между узловыми пунктами и между узловыми пунктами и пунктами сети высших классов, не более, км	–	–	–	7
Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с	0,4	1,0	1,5	2,0
Средняя квадратическая погрешность измерения стороны, см:				
до 8 км	–	4	–	–
до 5 км	–	–	5	–
до 500 м	–	–	–	2
до 500–1000 м	–	–	–	3
свыше 1000 м	–	–	–	1/40 000
Относительная погрешность хода	–			1/25 000

Государственные сети геодезического обоснования дополняются сетями сгущения (ГГСС), представленными триангуляцией, полигонометрией 1 и 2 разрядов и техническим нивелированием. Они создаются в соответствии с руководством по топографической съемке в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Геодезические сети сгущения иногда называют опорными инженерно-геодезическими сетями. Необходимость в их построении возникает при изысканиях строительных площадок и проектирования на них различных сооружений, составлении генеральных планов городов и поселков, разработке технических проектов и рабочих чертежей промышленных, горнодобывающих предприятий и других объектов. Как правило, инженерно-геодезические сети проектируются с учетом возможности их последующего сгущения и развития для обеспечения основных разбивочных работ и топографической съемке в масштабе 1:500.

Требования к точности, плотности, стабильности плановых инженерно-геодезических сетей обуславливаются разнообразием технических задач, которые решаются при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Съемочные геодезические сети развиваются на основе государственных сетей сгущения и состоят из планового, высотного и планово-высотного обоснования, а также дополнительных точек. В зависимости от сложности снимаемой территории, расположения зданий и инженерных сооружений, съемочные пункты создаются методами полигонометрических ходов, цепочек треугольников, теодолитных ходов.

Полигонометрическая сеть может быть развита в виде системы прямоугольников с расположением сторон параллельно линиям застройки, что дает возможность получить необходимое количество створных точек и створов.

Таблица 2. Техническая характеристика сетей нивелирования

Показатель	Класс			
	I	II	III	IV
Периметр полигона, км	3 000–4 000	500–600	150–200	50
Средняя квадратическая погрешность на 1 км хода, мм:				
случайная	1	2	4	10
систематическая	0,2	0,4	0,8	2
Длина визирного луча, м	50	65–75	75–100	100–150
Неравенство расстояний, м:				
на станции	0,5	1	2	5
в ходе	1	2	5	10
Высота визирного луча над поверхностью Земли, м	0,8	0,5	0,3	0,2
Допустимые расхождения в превышениях, мм:				
ход до 15 станций на 1 км	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
ход свыше 15 станций на 1 км	$4\sqrt{L}$	$6\sqrt{L}$	$2{,}6\sqrt{n}$ ***	$5\sqrt{n}$ ***
Допустимые расхождения в превышениях на станции, мм:				
по прецизионным рейкам	0,5	0,7	1,5	–
по шашечным	–	–	3	5
Допустимые невязки превышений в полигонах, мм:				
ход до 15 станций на 1 км	$1{,}5\sqrt{L}$	$2{,}5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
ход свыше 15 станций на 1 км	$2\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$	–	–
Увеличение трубы нивелира, крат	45	40–44	30–35	25–30
Цена деления цилиндриче-	12	12	15	25

ского уровня, с Допустимые погрешности метрового интервала рейки, мм ***	0,15	0,30	0,50	1,0

Примечания:
* Погрешность слабой стороны – *ms/ S* (табл. 1);
** При числе сторон хода 10, 15, 20 соответственно (см. табл. 1); *L* – длина хода, км;
*** *n* – число станций в ходе (табл. 2).

В этом случае следует учитывать допустимую длину теодолитных ходов, используемых для получения дополнительных точек путем прокладки их между пунктами полигонометрии, а также число пунктов на площади съемки.

2.2 Разбивочные сети, их построение методом строительных сеток

Для проектирования и строительства инженерных сооружений, тоннелей, промышленных комплексов и других создают разбивочные сети, которые относятся к разряду специальных. Геодезические разбивочные сети служат основой для выноса проектов зданий и сооружений на местность, контролем соблюдения их геометрических параметров, смещения и деформаций элементов несущих конструкций. Они создаются на строительной (промышленной) площадке в виде сети, заложенных в грунт и закрепленных на местности пунктов и обеспечивают последующие построения в процессе строительства и эксплуатации объектов исходными данными.

Разбивочные сети проектируют методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии, строительной сетки, красных линий застройки на основе *проекта производства геодезических работ* (ППГР) и увязывают с пунктами государственной геодезической сети или геодезических сетей сгущения. Составляется проект разбивочной основы в соответствии с генеральным планом строительства объекта, согласующийся со стадиями проектирования и очередями его сооружения. Точность построения разбивочной сети устанавливается при разработке ППГР.

Наиболее удобным видом геодезической основы для производства разбивочных работ на территории крупных строительных и промышленных сооружений является строительная сетка. Она должна обеспечить решение двух инженерно-геодезических задач: осуществление топографической съемки крупного масштаба 1:500, быстрый и удобный перенос проектных данных в натуру для ведения строительства и монтажных работ.

Строительная сетка представляет собой систему квадратов или прямоугольников на площади строительства и состоит из основных и дополнительных фигур со сторонами основания 100–400 м в зависимости от назначения площадок строительства (рис. 1).

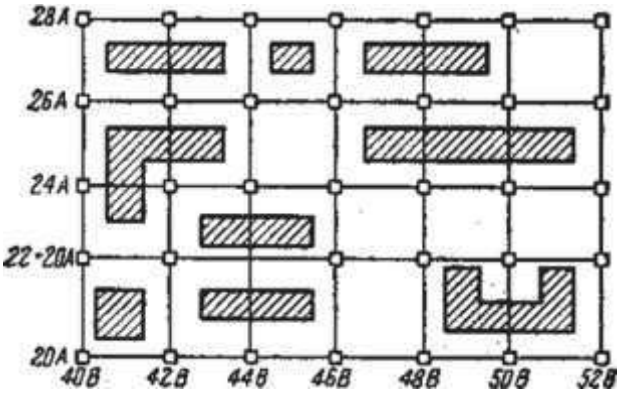


Рисунок 1 - Строительная сетка

Дополнительные фигуры строят в процессе геодезических разбивочных работ с длинами сторон до 20 м.

Как правило, оси объектов, сооружаемых на промышленных (строительных) площадках, параллельны, а сами сооружения прямоугольны. Поэтому стороны сетки ориентируют в частной системе координат, параллельно осям сооружений или проездов. В связи с этим, при разбивках и съемках от пунктов строительных сеток используют прямые углы и повторяющиеся линейные измерения, что значительно упрощает геодезические действия.

Точность планового положения и высот пунктов сетки определяет условия производства крупномасштабной съемки на территории строительства. В этом случае ошибки координат пунктов сетки относительно ее начала не должны превышать ±0,050 м, а ошибки их взаимного положения ±0,020 м.

Технические же условия по обеспечению строительно-монтажных работ требуют построения геодезических сеток допусками полигонометрии 1 разряда, а в ряде случаев – полигонометрии 4 класса.

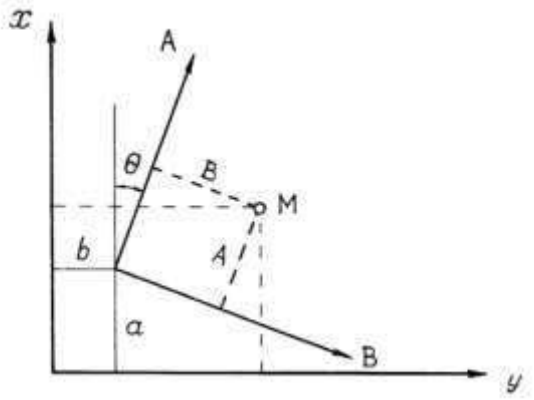


Рисунок 2 - Строительную сетку предварительно проектируют.

На больших площадках, имеющих ломаное очертание, создают несколько строительных сеток в частных системах координат. Ориентирование системы координат осей строительной сетки относительно общегосударственной системы координат может быть произвольным. Переход от

государственной системы к частной системе сетки (рис. 2.2) производят по формулам:

$$A = (x - a)\cos\theta + (y - b)\sin\theta$$
$$B = (y - b)\cos\theta - (x - a)\sin\theta$$

Переход от системы строительной сетки к общегосударственной, осуществляют в следующем порядке:

$$x = a + A\cos\theta - B\sin\theta$$
$$y = b + A\sin\theta + B\cos\theta$$

где x, y – координаты точки М в государственной системе; А, В – координаты точки М в системе строительной сетки; a, b – координаты начала строительной сетки в государственной системе; θ – угол поворота сетки относительно государственной системы.

2.1 Проектирование строительной сетки

Строительную сетку проектируют на топографическом плане промышленной (строительной) площадки или на генеральном плане с учетом расположения всего комплекса зданий и сооружений, рис. 2. Её планируют, как отдельную специальную сеть, положение пунктов которой и направление сторон не зависит от государственной сети и главной плановой основы строительного производства.

Основные требования к строительным сеткам при их проектировании сводятся к следующим положениям:

1. Линии основания сетки намечают и создают строго параллельно главным осям возводимых зданий и сооружений, а фигуры сетки размещают таким образом, чтобы основные проектируемые здания и сооружения оказались внутри и как можно ближе к ее сторонам.
2. Стороны сетки располагают с учетом удобства производства линейных
3. и угловых измерений и не загромождают рядовыми посадками.
4. Линии и пункты сетки проектируют с учетом обеспечения их сохранности и взаимной видимости, вдали от проезжей части, сетей трубопроводов и др.
5. Размеры сторон прямоугольников, квадратов и других фигур принимают с учетом размеров зданий, сооружений из соображений обеспечения технологии строительства.
6. Учитывают характер и порядок использования пунктов строительной сетки для производства разбивочных работ.

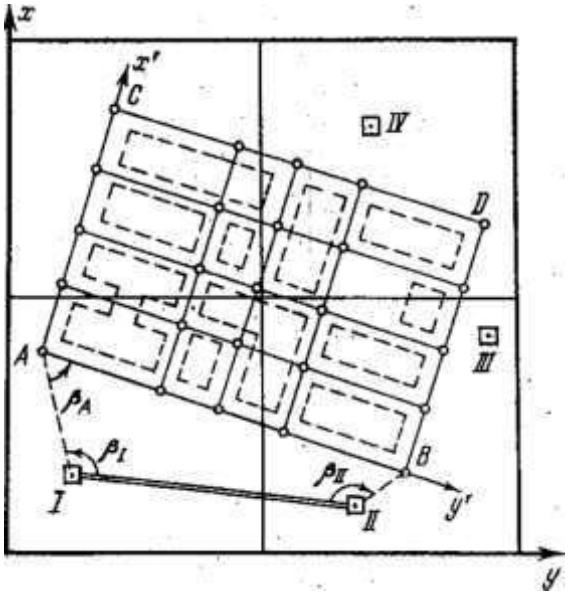


Рисунок 3 - Проектное положение строительной сетки

6. Требования к точности разбивочных работ определяют в зависимости от назначения сооружений, их размеров, технологической связи между собой и других условий:

- ошибки в положении соседних пунктов строительной сетки не должны превышать относительной величины 1:10 000 (1 см на 100 м);
- прямые углы сетки должны быть построены с точностью ±20″;
- ошибки в положении пунктов в наиболее слабом месте сетки относительно опорной геодезической основы не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана 1:500 (т.е. 10 см).

Разбивочные сети создаются в натуре также методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии. Разрешается использовать метод угловых, линейных и комбинированных засечек. При этом выбор разряда точности разбивочных работ должен согласовываться с размерами сторон прямоугольников, квадратов и других фигур или расстояниями между линиями строительной сетки, принимаемых по табл. 3.

При проектировании строительной сетки, следуют предусмотреть способ постоянного возобновления первоначально разбитых точек, фиксирующих пересечение осей, недоступных для непосредственного закрепления. В этом случае необходимо предусмотреть проверку неподвижности пунктов сетки путем систематического их контроля от знаков опорной геодезической основы.

Проектирование разбивочного обоснования завершается вычислением координат вершин сети в условной системе, принятой для данной строительной площадки.

Таблица 3 - Характеристики строительных сеток

Характеристика сетки	Класс сетки / разряд / размеры сторон, м		
	4	1р	2р
Прямоугольная	400 х 200 400 х 100	400 х 100 200 х 100	200 х 100 100 х 50
Квадратная	200 х 200 150 х 150 100 х 100	150 х 150 100 х 100	150 х 150 100 х 100 50 х 50
Расстояния между параллельными линиями	200 150 100	150 100	150 100 50

В системе координат строительной сетки положение ее вершин определяют простым суммированием: к соответствующей координате начального пункта (юго-восточного угла сетки) последовательно прибавляют значения проектных сторон. При этом координаты пунктов разбивочной сети должны иметь положительные значения кратные сотням или десяткам метров. Ось абсцисс можно направить вдоль главной оси основного сооружения строительной площадки, а ось ординат — перпендикулярно к ней.

Для установления аналитической зависимости между частной системой координат (x, y) строительной сетки и системой координат (X, $У$) генплана выбирают два пункта A и B и графически снимают их координаты в системе генплана X'_A, $У'_A$ и X'_B, $У'_B$. Из решения обратной геодезической задачи определяют табличный угол r_{AB} (румб), дирекционный угол α_{AB}, длину S'_{AB} стороны AB:

$$tgr_{AB} = \frac{У'_B - У'_A}{X'_B - X'_A} \; ; \; S'_{AB} = \frac{У'_B - У'_A}{Sinr_{AB}} = \frac{X'_B - X'_A}{Cosr_{AB}} ; \quad (2.3)$$

Затем вычисленную длину S'_{AB} сравнивают с проектной, найденный дирекционный угол α_{AB} с величиной этого угла, определенного графически с плана транспортиром. Если полученные расхождения лежат в пределах графической точности плана ($\Delta S \leq 0{,}3 \div 0{,}5$ мм; $\Delta\alpha \leq 30' \div 60'$), то вычисляют местоположение пунктов A и B в системе координат генплана:

$$X_A = 1/2\,(x'_A + x'_B) - 1/2\,S_{AB}\,Cos\alpha_{AB} ;$$
$$У_A = 1/2\,(y'_A + y'_B) - 1/2\,S_{AB}\,Sin\alpha_{AB} ; \quad (2.4)$$
$$X_B = 1/2\,(x'_A + x'_B) + 1/2\,S_{AB}\,Cos\alpha_{AB} ;$$
$$У_B = 1/2\,(y'_A + y'_B) + 1/2\,S_{AB}\,Sin\alpha_{AB} ,$$

где x'_A, x'_B, y'_A, y'_B — координаты положения пунктов A и B в частной системе координат.

2.2 Вынос в натуру строительной сетки

После составления проекта геодезической строительной прямоугольной сети ее выносят на местность – «разбивают». Разбивку начинают с определения исходного направления, для выноса которого используют

пункты планового геодезического обоснования, расположенные на строительной площадке. Для этого, на основе решения обратных задач по координатам вершин строительной сетки и исходных пунктов вычисляют необходимые элементы разбивки (2.3). Дальнейшее построение сетки прямоугольников (квадратов) осуществляют, как правило, двумя способами: осевым и редуцирования.

Осевой способ основывается на вынесенных и закрепленных на местности исходных направлениях, от которых строят в натуре две строго перпендикулярные оси *EN* и *MD* (рис. 4). Затем вдоль полученных осевых линий от центра откладывают отрезки, равные проектным сторонам сетки. Эти измерения производят шкаловой лентой (с применением динамометра) с постоянным натяжением и учитывают поправки за компарирование, наклон местности и температуру. Возможно применение для детальной разбивки строительной сетки современных тахеометров типа Nicon, 3Ta5P и т.д., что позволяет гораздо продуктивнее использовать существующие методы выноски.

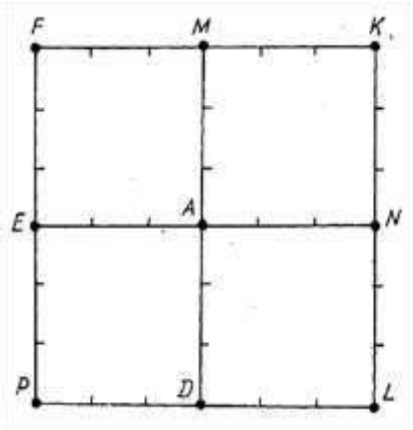


Рисунок 4 - Осевой способ разбивки строительной сетки: *EN* и *MD* – строго перпендикулярные линии

В конечных точках (*F, K, L, P*) строят прямые углы и продолжают разметку фигур сетки по периметру. В этом случае неизбежно накопление линейных ошибок: длины сторон могут несколько отличаться от проектных и не все углы будут равны 90°. Величины полученных ошибок уменьшают путем перемещения пунктов разбивочной сети в прямоугольниках.

Таким образом, на площадке получают четыре построенных полигона, в вершинах которых закладывают постоянные знаки. По их периметрам прокладывают полигонометрические ходы 1 разряда, уравнивают и определяют координаты всех пунктов.

Внутренние точки сгущения сетки получают с помощью создания ходов полигонометрии 2 разряда по предварительно размеченным прямоугольникам.

Осевой способ обычно применяют в том случае, когда строительная площадка сравнительно невелика, или там, где не требуется большая точ-

ность и ошибками взаимного положения пунктов в 3–5 см можно пренебречь.

Метод последовательного приближения или редуцирования рекомендуется применять при вынесении строительных сеток на большие промышленные (строительные) площадки. Способ редуцирования обеспечивает более высокую точность получения элементов разбивочной основы.

После составления проекта геодезической прямоугольной сетки поступают следующим образом:

1) выполняют предварительную разбивку основных фигур разбивочной сети, закрепляют их временными знаками;
2) определяют координаты центров вершин предварительно разбитой сетки;
3) вычисляют элементы редукции (отклонения предварительно разбитых точек от их проектного положения);
4) редуцируют точки на местности (т.е. вводят в их положение поправки и закрепляют полученные новые центры пунктов постоянными знаками);
5) осуществляют контрольные измерения;
6) разбивают и закрепляют промежуточные пункты.

В зависимости от размера и точности строительной сетки могут быть использованы различные методы выполнения вышеперечисленных этапов работ.

Последовательно рассмотрим каждый из обозначенных пунктов метода.

Предварительная разбивка основных фигур сетки зависит от площади застройки, ее вида. Например, если строительная площадка составляет площадь более 1 км^2 (допустим, 1600 х 1800 м) и имеет прямоугольную форму, то целесообразно вынести на местность 6 пунктов. Если же площадь застройки по форме близка к квадрату (например, 1200 х 1200 м), то достаточно ограничиться 4 пунктами.

Для небольших участков застройки, геодезических сетей невысокой точности на местность выносят не фигуры, а базис-линию *АС* строительной сетки, проходящую по возможности в середине разбивочной основы и по местности, доступной для линейных измерений (рис. 5). Для надежной ориентировки сети длина базиса должна быть более 600–800 м, а для небольших сеток не менее половины их протяженности.

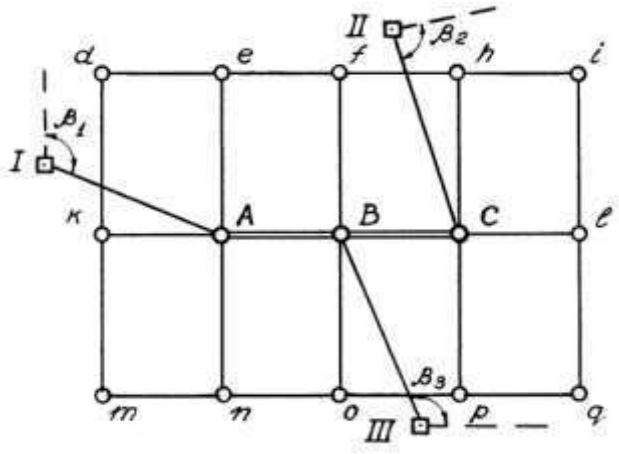


Рисунок 5 - Схема привязки вершин сетки к главной геодезической основе:*I*, *II*, *III* – пункты полигонометрии

Все точки намеченных фигур и не менее трех точек базиса привязывают к ближайшим пунктам главной геодезической основы строительной площадки. Используя данные привязки, вершины фигур *A*, *B*, *C* выносят на местность и закрепляют временными знаками. Методом створных промеров и вывешивания для способа створного базиса (см. рис. 5) предварительно разбивают основные квадраты (400 х 400 м) или прямоугольники (400 х 200 м), а также закрепляют их вершины временными знаками, например, столбами с забитыми в качестве центров гвоздями.

Определение координат центров вершин предварительно разбитой сетки (в зависимости от заданной точности и характера местности) выполняют методами: триангуляции, трилатерации, полигонометрии, засечек А.Н. Дурнева, четырехугольников без диагоналей и др.

Метод полигонометрии в настоящее время является наиболее распространенным. Измерения углов и расстояний, а также обработка результатов измерений выполняются с соблюдением требований инструкции для соответствующего разряда геодезической плановой сети (или по программе, разработанной для каждого случая специально). Координаты вершин полигонов вычисляют в системе строительной сетки, что приводит к существенному упрощению геодезических измерений. По необходимости, пересчет координат от одной системы к другой осуществляют по формулам (2.1), (2.2), (2.4).

Вычисление элементов редукции осуществляется алгебраическим сложением значений проектных координат и фактически полученных. Так, если координаты пункта равны 50 350,023 м и 4 200,009 м, то центр вершины сетки нужно сместить на величину $\delta_x = -0{,}023$ м по оси абсцисс и на величину $\delta_y = -0{,}009$ м по оси ординат.

Редуцировать (смещать) центры пунктов основных фигур сетки возможно различными вариантами, например, если редукционные поправки δ_x и δ_y сравнительно невелики (до 10 см), то можно применять способ фик-

сации центра временного знака при помощи надежно установленного центрира (отвеса) и последующего переноса его на верхнюю поверхность постоянного знака, поставленного вместо временного. В этом случае непосредственно на самой пластине намечают направления координатных осей, по которым откладывают поправки δ_x и δ_y и находят центр исправленных координат вершин сетки (рис. 2.6).

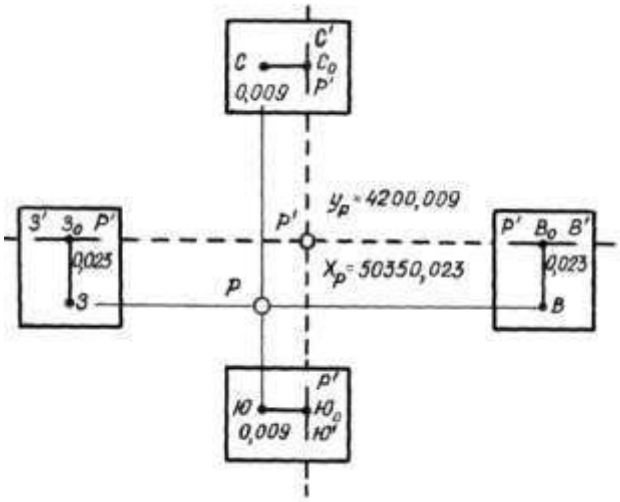


Рисунок 6 - Схема редуцирования пункта в проектное положение

Иногда взамен временных знаков сразу закладывают знаки с приваренными к верхним концам пластинам, толщиной не менее 7 мм и размером 20 х 20 см. На пластинах и знаках вначале намечают временные центры, затем их редуцируют и набивают постоянные. Недостатком этого способа (одностадийной разбивки) является условие повышенной точности предварительной разбивки, обеспечивающей величину элементов редуцирования не более 10 см.

После редуцирования и установления постоянных знаков повторно производят контрольное определение их координат. Затем разбивают и закрепляют промежуточные пункты внутри основных фигур строительной сетки. Обычно это выполняется створными разбивками и линейными промерами с одного пункта сети на другой.

2.3 Общие сведения и понятия о разбивках

Геодезическо-маркшейдерские работы, выполняемые на местности для определения планового и высотного положения характерных точек строящегося сооружения согласно проекту, называются разбивкой сооружения или перенесением проекта в натуру. При этом используют генеральный план строительства, разбивочные и рабочие чертежи фундаментов сооружений, установок и агрегатов, подъездных путей и др.

Геодезические разбивочные работы являются составной частью строительно-монтажного производства и делятся на плановую и высотную разбивки сооружений, которые осуществляются в три этапа.

На первом этапе выполняют основные разбивочные работы. Они заключаются в определении на местности положения главных или основных разбивочных осей и строительного нуля от пунктов плановой и высотной геодезической основы. Оси закрепляют специальными знаками.

На втором этапе производят детальную разбивку сооружения, отмечающую положение частей инженерного сооружения, его геометрические параметры и элементы.

На третьем этапе обеспечивают разбивку и закрепление монтажных осей и установку в проектное положение технологического оборудования. Этап требует соблюдения высокой точности геодезическо-маркшейдерских работ.

Приступая к разбивке объекта:

- определяют необходимую и достаточную точность выноски отдельных его элементов;
- намечают методику измерений, необходимые инструменты, исходящие точки и общий план работы;
- знакомятся с условиями предстоящей разбивки на местности, проверяют наличие препятствий выполнению работ и загромождению площадки;
- составляют детальную схему разбивки в полевом журнале с указанием необходимых данных из рабочих чертежей.

В процессе вынесения проекта в натуру производят разнообразные геодезические измерения, свойственные исключительно разбивочным работам. По своему содержанию они противоположны съемочным работам и имеют свои специфические особенности. Вынос объекта на местность осуществляет в определенном порядке.

Способы геодезических разбивочных работ, построение их элементов

Выбор способа ведения разбивочных работ зависит от места расположения инженерного сооружения, его размеров, назначения и точности выноски в натуру.

Существуют следующие основные способы разбивки: полярный, створной засечки, угловой и линейной засечек, прямоугольных координат, полигонометрии и др. Все они по своей сущности основаны на использовании таких элементов разбивочных определений, как построение на местности горизонтального проектного угла, линии проектной длины, линии проектного уклона, точки с проектной отметкой. Поэтому сначала рассмотрим, как осуществляют построение элементов геодезических разбивочных работ.

Построение горизонтального проектного угла может быть выполнено двумя способами в зависимости от точности имеющегося прибора.

Первый способ применяется в том случае, когда требуемая точность откладывания угла меньше точности отсчета по горизонтальному кругу

теодолита. Он заключается в последовательном откладывании от известного направления *AB* в пункте *A* заданного угла при «круге право» (КП) и «круге лево» (КЛ), (рис. 2.7, *а*). Из двух полученных при выноске точек берут среднюю (*C*) и принимают построенный угол *ABC* за проектный (требуемый). Для контроля отложенный угол измеряют и сверяют с заданным значением.

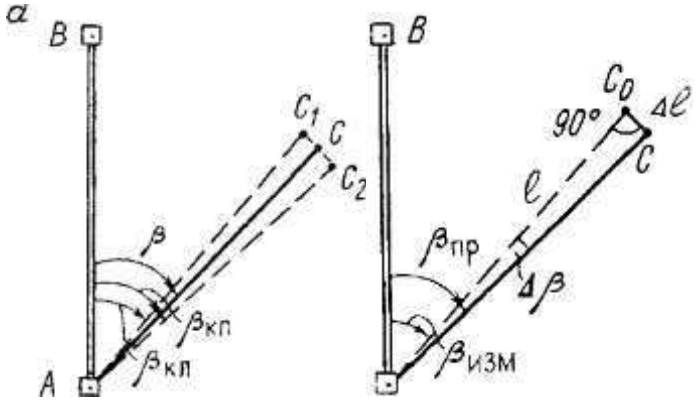


Рисунок 7 - Схема построения горизонтального угла:

а – способ непосредственной выноски; *б* – способ построения угла с применением редукции

Второй способ построения угла используется при необходимости его выноски с более высокой точностью, чем точность применяемого прибора. В этом случае откладывают заданный угол одним приемом и отмечают на местности точку C_0. Затем измеряют этот угол с необходимой точностью и определяют разность $\Delta\beta = \beta_{пр} — \beta_{изм}$ между полученным ($\beta_{изм}$) и проектным ($\beta_{пр}$) углами (рис. 7, *б*), которую и необходимо ввести для уточнения построенного угла. Угловую поправку $\Delta\beta$ заменяют линейной величиной $\Delta\ell = CC_0$:

$$\Delta\ell = \ell\frac{\Delta\beta''}{\rho''},$$

где $\Delta\beta$ определяется в секундах; ρ – радиан в секундах (206 265").

Отложив на местности от точки C_0 величину $\Delta\ell$ перпендикулярно к линии AC_0, получают искомый угол *ABC*. Для контроля построенный угол измеряют.

Построение линии проектной длины зависит от ее размера.

Пример первый. Линия выносится на местность, представленную ровной поверхностью, причем ее длина не превышает пределов измерения мерного прибора (рулетки). В этом случае поступают следующим образом:

1) устанавливают в начальной точке теодолит, отмечают заданное направление вехой, на ней фиксируют высоту инструмента *i* и измеряют угол наклона δ;

2) вычисляют наклонное расстояние *L*, которое необходимо отложить на местности

$$L = \frac{\ell_0}{\cos\delta},$$

где ℓ_o – проектная горизонтальная длина линии с учетом поправок за температуру и компарирование мерного прибора;

3) откладывают вычисленную длину L в натуре и закрепляют ее.

Пример второй. Проектная длина линии велика (больше предела измерения прибора), условия местности неблагоприятны, а требуемая точность выноски высокая.

При построении проектной длины линии с помощью мерных лент или рулеток задача определения её положения сводится к отложению в натуре отрезка, горизонтальное проложение которого должно быть равно заданной длине ℓ_o (рис. 8).

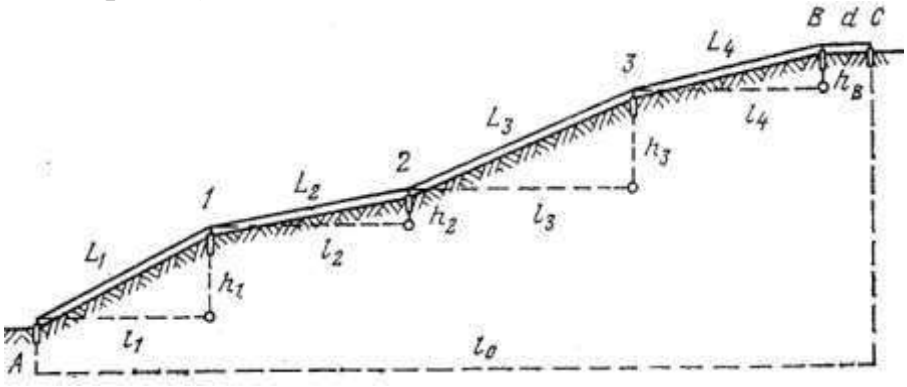


Рисунок 8- линии проектной длины

Разбивочные работы осуществляются следующим образом:

а) по заданному направлению AB откладывают наклонное расстояние $L_0 = \ell/\cos\delta$ и закрепляют его в точке B. Угол наклона δ берется приближенно;

б) отрезок AB делят (разбивают) на отдельные участки, не превышающие длины мерного прибора и фиксируют их, например, кольями;

в) точно измеряют наклонные расстояния L_1, L_2 … L_n, вводят в них поправки за наклон, температуру, компарирование и провес;

г) определяют сумму измеренных длин и вычисляют домер d от точки B

$$d = \ell_0 - \sum \ell_i .$$

д) отложив домер в натуре, получают точку C и закрепляют ее.

Таким образом получают искомую длину AB на местности в виде исправленной линии AC. Для контроля это расстояние измеряют и сравнивают с проектным.

В настоящее время наиболее удобными и эффективными приборами для построения линий на местности являются электронные тахеометры, снабженные встроенными в них светодальномерами. Светодальномер имеет различные режимы измерения расстояний, в том числе получение горизонтального проложения, позволяющего оперативно получать домер d от

предварительно вынесенной, до искомой величины. Например, отечественным электронным тахеометром 3Та5(Р) можно измерять расстояния (D) от двух до 2 000 м со среднеквадратической погрешностью, получаемой из выражения $5 + 3 \cdot 10^{-6} D$ (мм).

Построение точки с проектной отметкой выполняют, как правило, с помощью нивелира и рейки от ближайших реперов, используя горизонт прибора. С этой целью устанавливают нивелир примерно посередине между репером *Rp* с известной отметкой H_{Rp} и местом вынесения точки, например, *B*. По рейке, находящейся на репере, берут отсчет *a* и вычисляют горизонт инструмента

$ГИ = H_{Rp} + a$

Для того, чтобы установить на точке *B* проектную отметку $H_{пр}$, находят величину отсчета *b* (рис. 9).

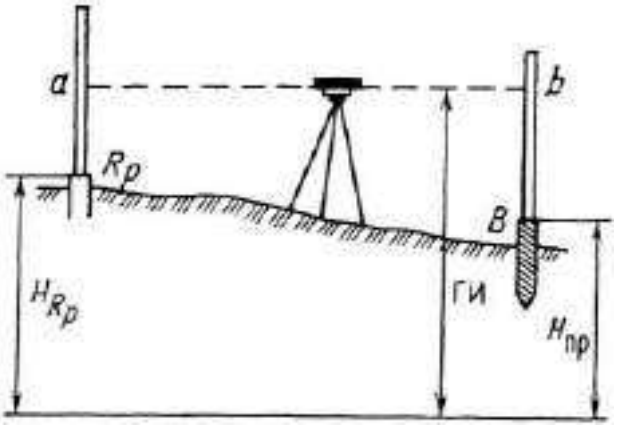


Рисунок 9 - Схема построения точки с проектной отметкой

Отметку горизонта инструмента можно получить, используя формулу (2.5) и равенство

$$H_{Rp} + a = H_{пр} + b = ГИ ,$$

откуда

$$b = ГИ - H_{пр}$$

Затем вычисляют по формуле (2.6) отсчет *b*, рейку в точке *B* передвигают по высоте, добиваясь, чтобы отсчет по средней нити окуляра трубы прибора равнялся искомому – *b*. Пятка рейки, установленной по отсчету, будет соответствовать проектной отметке. Ее фиксируют в натуре с помощью забиваемого колышка, ввинчивая специальный болт, проводя черту на колонне и т.п. Для контроля правильности выноски проектной отметки, ее определяют с помощью повторного нивелирования с заданной точностью.

Среднюю квадратическую погрешность m_T выноски в натуру проектной отметки точки в пределах одной станции геометрическим нивелированием, определяем из выражения

$$m_T = \sqrt{m_o^{\,2} + m_a^{\,2} + m_b^{\,2} + m_Ф^{\,2}} ,$$

где m_0 – погрешность исходных точек высотной основы;

m_a – погрешность отсчета a по рейке;

m_b – погрешность отсчета b по рейке;

$m_Ф$ – погрешность фиксации проектной точки в натуре.

Построение линии и плоскости с проектным уклоном. Разбивка наклонных линий и плоскостей заданного уклона в основном сводится к выносу на местность проектных отметок главных точек проекта вертикальной планировки, при рытье траншей коммуникаций, устройстве земляного полотна автомобильных и железных дорог. Решение этой задачи может быть выполнено с помощью нивелира, теодолита и визирок. Главные точки проектной линии переносят на местность методом геометрического нивелирования путем решения отдельных задач выноса в натуру их заданных отметок.

Итак, вынос линии AB с проектным уклоном от исходной точки A (рис. 10, *а*) начинают с построения проектной H_B отметки точки B. Расстояние между точками разделяют на 100, 50 м и менее, в зависимости от специфики производства строительных работ и характера рельефа. Вынос промежуточных точек линии осуществляют путем наклона нивелира подъемными винтами до отсчета по рейке в точке B, равного высоте i прибора в точке A. После этого ставят рейку в створе линии AB через равные отрезки и забивают колья, например, в точках C и D так, чтобы отсчет на них по рейке равнялся горизонту инструмента.

При разбивке на местности линий со значительными уклонами используют теодолит (рис. 10, *б*).

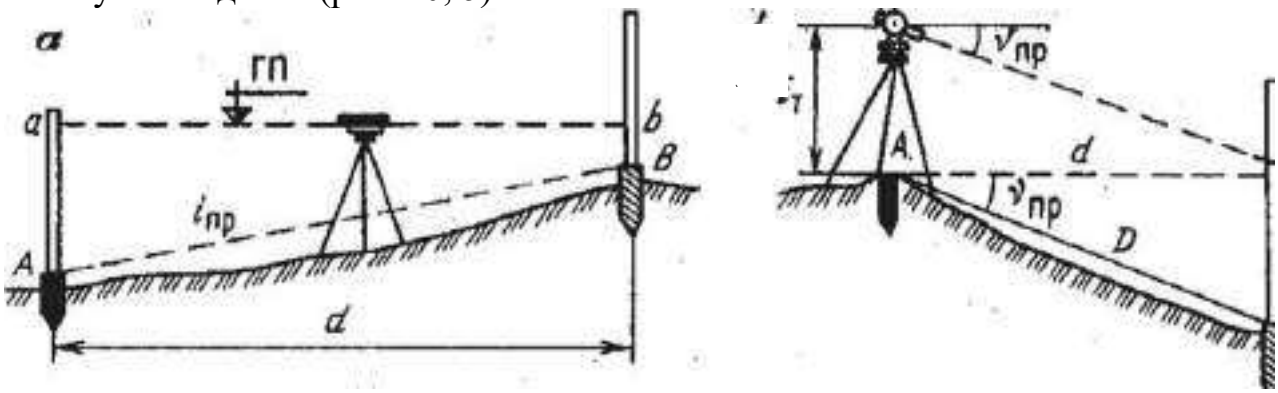


Рисунок 10 - Построение линии (плоскости) с проектным уклоном:

а – с помощью нивелира; *б* – с помощью теодолита

Прибор устанавливают в точке A, откладывают по вертикальному кругу угол, равный проектному уклону, выраженному в градусной мере с учетом места нуля (МО). Проектное положение промежуточных точек C и D определяют с помощью визирки, установленной на высоту i визирного луча зрительной трубы теодолита.

С меньшей точностью задача построения линии заданного уклона может быть выполнена визуально с помощью трех визирок одинаковой длины. Две опорные визирки устанавливают в точках *A* и *B*, а третью (ходовую) – в промежуточных *C* и *D* точках. Высоты на них задаются визирным лучом глаза по опорным визиркам (рис. 11).

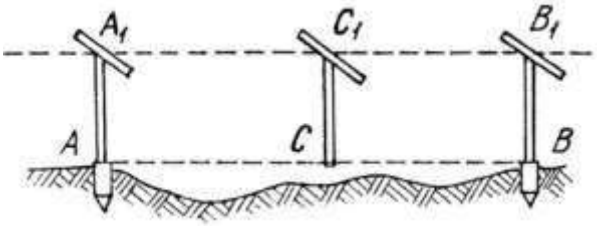


Рисунок 11 - Схема выноса заданного уклона с помощью визирок

Таким образом, в высотном отношении построение линии с заданным уклоном осуществляется в результате выноски проектных отметок начальной и конечной точек, которые определяют необходимый уклон

$$i = \frac{(H_A - H_B)}{S},$$

где $(H_A – H_B)$ – превышение между начальной и конечной точками; S – горизонтальное проложение. Точность выноски в натуру проектного уклона линии зависит от погрешности определения отметок точек и длины линии.

Построение проектной плоскости, заданной, например, точками *A*, *B*, *C*, *D* (рис. 12), производят аналогичным образом. Вначале устанавливают эти точки на проектные отметки, затем, действуя последовательно подъемными винтами нивелира, добиваются, чтобы отсчеты на всех четырех углах были равны высоте инструмента *i*. Поставленная на этот же отсчет нивелирная рейка в любой точке площади фигуры *A*, *B*, *C*, *D* своей пятой будет лежать в проектной плоскости заданного уклона, которую по необходимости закрепляют.

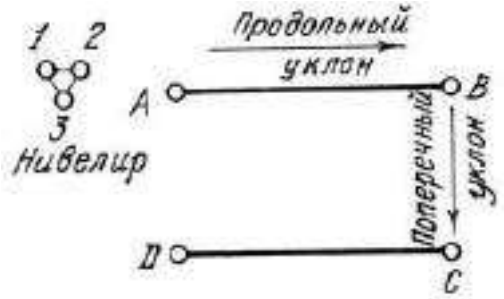


Рисунок 12 - Схема построения плоскости с проектным уклоном

Способы геодезических разбивочных работ основаны на рассмотренных выше элементах разбивок и построены на двух методах:

1. Непосредственной разбивки, состоящей из собственно построения разбивочных величин с заданной точностью, которая применяется, как правило, на работах меньшей точности.
2. Редуцирования, основанного на предварительной разбивке точки, близкой к заданной, с последующим ее смещением в проектное положение. Данный метод применяется на работах, требующих высокой точности разбивки.

Как указывалось ранее, для определения точки на местности наиболее распространенными являются способы прямоугольных и полярных координат, угловых и линейных засечек, а также створов.

Перенесение в натуру точек по их заданным координатам

Способ прямоугольных координат применяется в условиях слабопересеченной открытой местности при разбивке зданий и сооружений от пунктов строительной сетки. Для определения положения точек с минимальной погрешностью исходная линия *AB* должна быть ближе к выносимым элементам здания (сооружения), рис. 13.

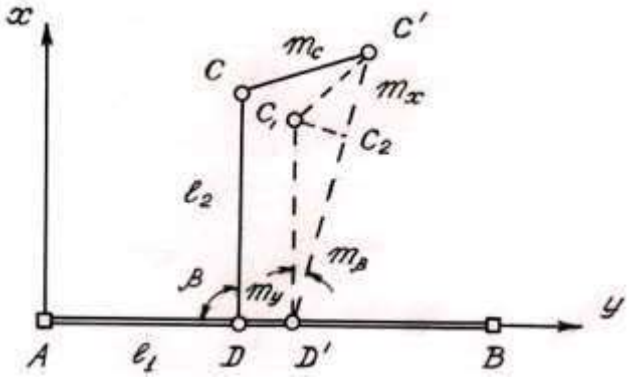


Рисунок 13 - Способ построения точки с помощью прямоугольных координат

Вначале вычисляют приращения координат Δx и Δy от центра ближайшего пункта сетки до искомой точки *C*. В створе линии *AB* откладывают отрезок $\ell_1 = \Delta y$ по оси *У*. Затем из полученной точки *D* с помощью теодолита восстанавливают перпендикуляр длиной $\ell_2 = \Delta x$ и закрепляют найденную точку С.

Вследствие влияния ошибок измерения длин и построения угла на местности, вместо точек *D* и *C* будут получены точки *D*' и *C*'. В этом случае среднеквадратическая погрешность m_C выноса точки *C* способом прямоугольных координат будет складываться из ошибок построения способами линейной створной засечки ($m_{C\ell}$) и полярных координат ($m_П$):

$$m_C = \sqrt{m_{C\ell}^2 + m_П^2} \ .$$

Способ полярных координат заключается в построении проектной точки на местности по заданному углу и расстоянию от ближайшего пункта разбивочного сети (рис. 14). Для этого необходимо решением обратной геодезической задачи по известным координатам двух точек *A* и *C* опреде-

лить полярные координаты искомой точки β и d. Вначале находят дирекционный угол α_{AC} по формуле (2.3):

$$tg\alpha_{AC} = \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A},$$

затем определяют угол направления на точку C

$$\beta = \alpha_{AC} - \alpha_{AB}$$

и горизонтальное расстояние

$$d = \frac{Y_C - Y_A}{\sin\alpha_{AC}} = \frac{X_C - X_A}{\cos\alpha_{AC}} \ .$$

На местности устанавливают на точке A теодолит и откладывают известными способами вычисленный угол β и полярное расстояние d_C. Аналогичным способом находят угол здания D. Для контроля измеряют углы при точках C и D (γ_C, γ_D) в натуре, а также расстояние CD, которое сравнивают с проектным значением.

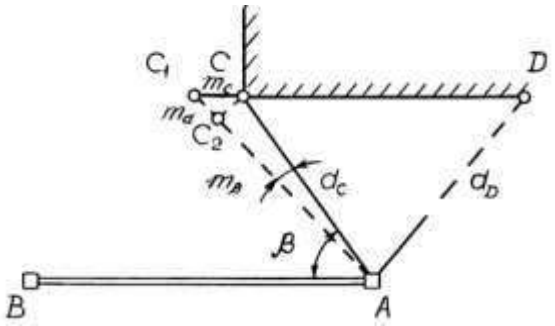


Рисунок 14 - Способ полярных координат и погрешность выноски точки C

Погрешность определения положения точки C без учета погрешностей исходных данных, определяется по формуле

$$m_C = \sqrt{m_\beta^2 \frac{d^2}{\rho^2} + m_d^2} \ ,$$

где m_β – погрешность перенесения угла β в натуру; d – расстояние от исходного пункта до определяемой точки C; m_d – погрешность перенесения расстояния на местности.

Применяют полярный способ на открытой местности, удобной для измерения расстояний.

Способ угловой засечки применяется при разбивке сооружения на пересеченной местности, когда непосредственное измерение расстояний от разбивочного обоснования до определяемой точки затруднено.

Положение точки C в натуре определяют с помощью построения двух углов β_A и β_B от направления между пунктами A и B (рис. 15).

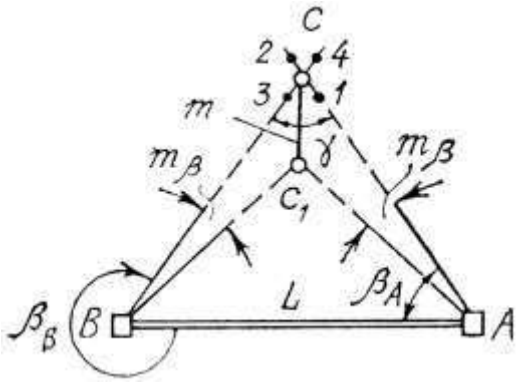


Рисунок 15 - Схема определения точки по способу угловой засечки

Для вынесения точки *C* на местность поступают следующим образом:

1) решением обратной геодезической задачи вычисляют дирекционные углы α_{AB}, α_{AC}, α_{BC}. По разности соответствующих дирекционных углов получают искомые углы β_A и β_B;
2) на местности эти углы откладывают от исходного направления *AB* с помощью теодолитов, установленных в точках *A* и *B*, которые фиксируют четырьмя кольями 1, 2, 3, 4. На пересечении натянутых проволок находят искомую точку *C*. Для контроля правильности ее вынесения, на местности измеряют угол γ при точке *C*.

Точность перенесения точки в натуру угловой засечкой зависит от погрешности построения углов β_A и β_B, а также от формы треугольников

$$m_C = d\frac{m''_\beta}{\rho''}\sqrt{\frac{\sin^2\beta_A + \sin^2\beta_B}{\sin^4\gamma}},$$

где *d* – длина стороны *AB*; γ – угол при точке *C*.

Способ линейной засечки применяют на ровной открытой поверхности и вблизи пунктов геодезической основы на расстояниях, не превышающих длины мерного прибора.

Искомая точка *C* на местности (рис. 16) определяется путем прочерчивания дуг проектных расстояний d_1 и d_2, отложенных от опорных пунктов *A*, *B*.

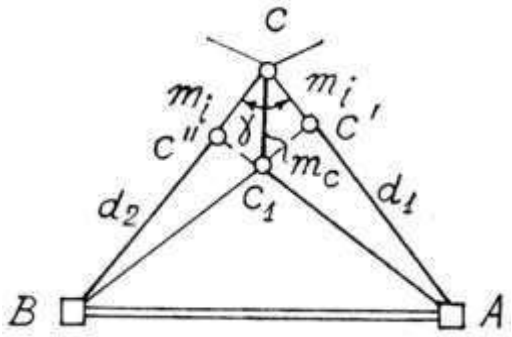


Рисунок 16 - Способ линейной засечки

Расстояния d_1 и d_2 вычисляют из решения обратной геодезической задачи по известной формуле (2.3).

Средняя погрешность m_C определения положения точки С относительно исходных точек *A* и *B* определяется по формуле

$$m_C = \frac{m_i\sqrt{2}}{\sin\gamma} \ ,$$

где $m_i = m_A = m_B$ – средние погрешности измерения расстояний d_1 и d_2; γ – угол при точке *C*.

Способ створной (линейной) засечки широко применяется при разбивке промышленных зданий и инженерных сооружений где, как правило, створы между пунктами разбивочного обоснования параллельны строительным осям и пересекаются под прямыми углами. В общем случае положение точки на местности определяется путем пересечения двух створных линий, закрепленных на двух противоположных сторонах сооружения. В зависимости от вида строительства существует много различных схем построения створной засечки (рис. 17).

Точность построения точки способом створной засечки *m* зависит от точности построения створов *1-1'* и *2-2'* (m_{C1}, m_{C2}), влияния ошибок исходных данных (m_u), а также от точности фиксирования (m_ϕ)

$$m^2 = m_{C1,2}^2 + m_u^2 + m_\phi^2 \ .$$

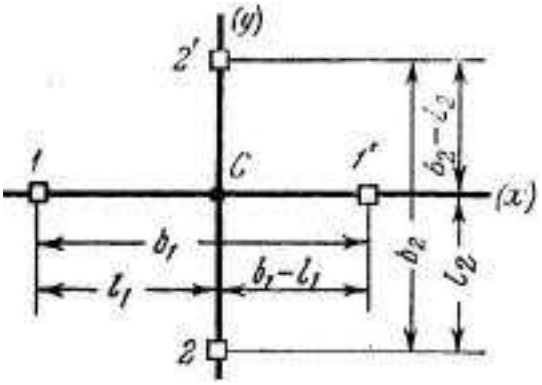


Рисунок 17 - Схема построения точки *C* способом створной засечки

Перенесение в натуру осей сооружений заключается в вынесении, восстановлении и закреплении на местности ряда точек, проекции которых совпадают с проектным положением осей ствола шахты, трасс подъездных путей, ЛЭП, трубопроводов и т.п., используя способы геодезических построений элементов и точек проекта.

Для примера рассмотрим три случая построения проектных осей инженерных сооружений, заданных координатами точек, дирекционным углом, полигонометрическим ходом.

1. Проектная ось шахтного ствола задана точкой *C*, имеющей координаты X_C и Y_C, а также дирекционным углом $\alpha_{пр}$ (рис. 18).

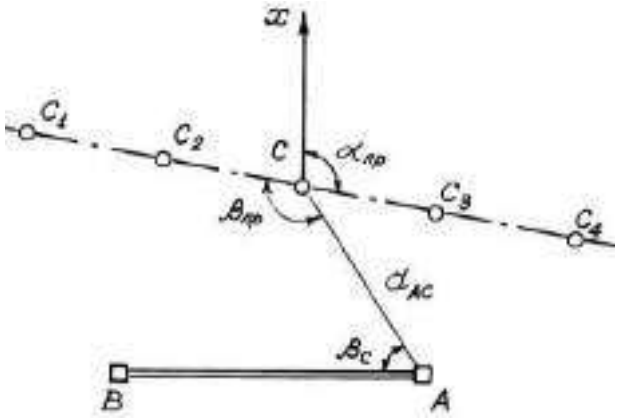


Рисунок 18 - Схема выноса центра и оси ствола

В этом случае, используя опорные пункты *A* и *B* разбивочного обоснования, применяют полярный способ построения точки (см. рис. 18). Решением обратной геодезической задачи определяют полярные координаты точки C – β_C и d_{AC}. Затем выносят искомую точку в натуру и закрепляют ее. По разности дирекционных углов линии AC (α_{AC}) и проектной оси ($\alpha_{пр}$) находят разбивочный угол $\beta_{ПР}$

$$\beta_{ПР} = \alpha_{пр} - \alpha_{AC} .$$

Установив теодолит в точке *C*, откладывают вычисленный угол $\beta_{ПР}$ в натуре (см. построение горизонтального проектного угла) и закрепляют вынесенную ось точками C_1, C_2, … C_i. Для контроля измерения повторяют от пункта *B*.

2. Ось инженерного сооружения задана конечными пунктами P_1 и P_2.

Используя способ полярных координат, определяют угловые и линейные элементы от пунктов опорной сети *A* и *B* для вынесения точек P_1 и P_2 (β_{P1}, β_{P2}, d_{P1}, d_{P2}). Затем с помощью теодолита провешивают выставленную ось между точками P_1 и P_2 и закрепляют, допустим, кольями.

3. Ось задана геометрическими элементами (горизонтальными углами и длинами) полигонного хода, которые последовательно переносятся в натуру от исходных пунктов (например, трассы подъездных путей, тоннелей, коммуникаций и т.п.).

2.4 Геодезическо-маркшейдерская подготовка к разбивке сооружений

Для того чтобы перенести проект инженерного сооружения на местность, необходимо иметь вполне определенные данные для разбивки:

1) плановые координаты точек;
2) проектные и фактические отметки;
3) расстояния до выносимых элементов;
4) уклоны подъездных дорог и площадок;
5) величины угловых и линейных построений.

Геодезические расчеты и набор вышеуказанных составляющих для перенесения проекта в натуру называется геодезической подготовкой исходных данных к разбивке.

Разбивочные величины представляют в удобном для пользования виде: разбивочном чертеже. На нем выписывают все сведения, необходимые для выноски: длины линий, откладываемые в натуре; углы от исходных до проектных направлений; данные для разбивки на местности главных осей сооружений.

Геодезическая подготовка исходных значений может выполняться графическим, аналитическим и графоаналитическим способами.

Графический способ состоит в непосредственном определении по генеральному плану координат точек, расстояний и углов между направлениями с помощью циркуля-измерителя, масштабной линейки и топографического транспортира. Этот способ применяется в случаях, когда не требуется высокой точности вычисления исходных данных для разбивок. Тем не менее, на точность их определения влияют:

- графическая точность построения генерального плана;
- приборные погрешности;
- деформация бумаги.

Деформация бумаги будет оказывать наиболее значительное влияние вдоль осей координат X и Y и характеризуется отношением теоретической длины стороны координатной сетки ℓ_T к измеренной $\ell_И$

$$K = \frac{\ell_T}{\ell_И} ,$$

где K – коэффициент деформации.

Для получения с плана координат точки A необходимо измерить приращения ΔX и ΔY от нижнего левого угла координатной сетки и умножить их на соответствующие коэффициенты деформации K_x и K_y, а затем сложить со значениями этих координат (рис. 19).

Для контроля правильности получения координат точки A, их можно определить от правого верхнего угла сетки аналогичным образом

$$X_A = X'_C - \Delta X' K_x ; \; Y_A = Y'_C - \Delta Y' K_y .$$

При измерении на плане линии ℓ_{AB}, деформация бумаги учитывается следующим образом

$$\ell_{AB} = \ell'_{AB}(K_x \cos^2\alpha + K_y \sin^2\alpha) ,$$

где ℓ'_{AB} – измеренное значение длины; α – измеренное значение дирекционного угла.

В этом случае получим следующие выражения определения координат

$$X_A = X_C + \Delta X K_x ;$$
$$Y_A = Y_C + \Delta Y K_y .$$

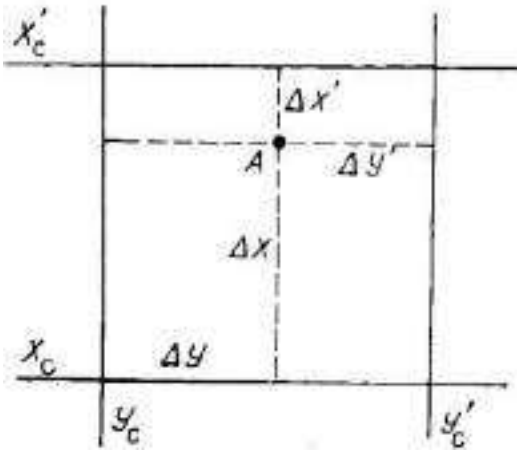


Рисунок 19 - Схема введения поправок за деформацию бумаги

Аналитический способ расчета исходных показателей состоит в математических вычислениях всех данных, необходимых для разбивки проекта. Расчет элементов разбивочных работ ведут от пунктов геодезической сети или твердых контурных точек.

Имея фактические координаты существующих пунктов разбивочной основы и проектные координаты (например, осевых точек сооружений) вычисляют расстояния и направления, связывающие осевые точки между собой и с пунктами опорной сети. Основными определениями, вытекающими из этих целей, являются нахождение расстояний ℓ и углов β при помощи решения обратной геодезической задачи по формуле (2.3).

$$tgr_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\ ;\ \ell = \frac{Y_B - Y_A}{\sin\alpha_{BA}} = \frac{X_B - X_A}{\cos\alpha_{BA}}\ .$$

Разбивочный угол β находят как разность дирекционных углов определяемой и исходной линий

$$\beta = \alpha_{опр} - \alpha_{исх}\,.$$

Способ обеспечивает высокую точность получения разбивочных элементов для выноски их на местность, но является наиболее трудоемким.

Графоаналитический способ подготовки данных разбивки является более оперативным, по сравнению с аналитическим. Он обеспечивает достаточную точность вынесения в натуру строительных элементов и широко используется в строительной практике. В данном способе часть исходных величин берут графически с генеральных или топографических планов, например, размеры существующих зданий, координаты их углов, расстояния, а остальные элементы получают аналитически. Координаты пунктов опорной сети выбирают из ведомостей (каталогов), а дирекционные углы направлений и длины линий вычисляют по формулам обратной геодезической задачи, используя графические определения. Для снижения погрешности за счет деформации бумаги, координаты проектных точек определяют следующим образом.

1. Через точку *A* (рис. 20) проводят линии, параллельные сторонам координатной сетки. Измеряют по плану с помощью циркуля отрезки $\Delta X'$ и $\Delta X''$, $\Delta Y'$ и $\Delta Y''$.

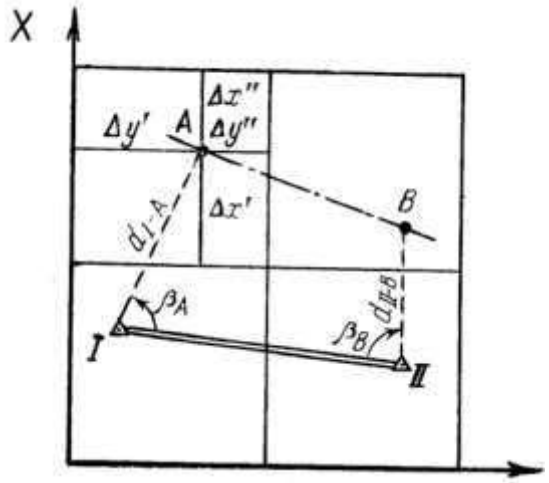


Рисунок 20 - Схема определения координат графоаналитическим способом

2. Вычисляют координаты точки *A*

$$X_A = X'_A + \frac{S}{\Delta X' + \Delta X''}\Delta X';\ Y_A = Y'_A + \frac{S}{\Delta Y' + \Delta Y''}\Delta Y' ,$$

где *S* – теоретическая длина стороны квадрата координатной сетки;

X'_A, Y'_A – координаты точки *A* от юго-западного угла квадрата.

Аналогичным образом определяют координаты точки *B*.

По найденным координатам точек *A* и *B* осей сооружений находят расстояния от точек (*I* и *II*) опорной сети до искомых (*A* и *B*), дирекционные углы $\alpha_{I\text{-}A}$ и $\alpha_{II\text{-}A}$ и разбивочные углы β_A и β_B при опорных пунктах по формулам (2.3)

$$tg\alpha_{I-A} = \frac{Y_A - Y_1}{X_A - X_1} = \frac{\Delta Y_{A-1}}{\Delta X_{A-1}};\ d_{1-A} = \frac{\Delta Y_{A-1}}{\sin\alpha_{A-1}} = \frac{\Delta X_{A-1}}{\cos\alpha_{A-1}},$$

$$\beta_A = \alpha_{I-II} - \alpha_{I-A}\ ;\ \beta_B = \alpha_{II-I} - \alpha_{II-B}\ .$$

Графоаналитический способ подготовки исходных данных позволяет избавиться от невязок за счет погрешностей графического проектирования строительства и элементов геодезического построения. Типовыми задачами, решаемыми при подготовке проекта выноски, являются: прямая и обратная геодезические задачи; нахождение координат точки пересечения двух прямых, прямой и кривой; определение координат центра кривой, створных точек и др. Все эти задачи решаются по формулам аналитической геометрии и сводятся к вычислению в обычной ведомости координат или из решения треугольников.

Пример:

Определить координаты X_0, Y_0 точки пересечения линий AA_1 и BB_1, заданных координатами X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_{A1}, Y_{A1}, X_{B1}, Y_{B1} (рис. 21).

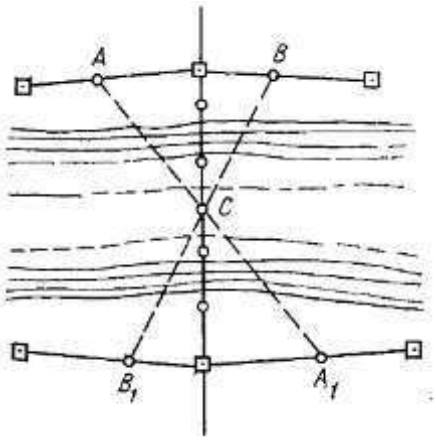


Рисунок 21 - Схема к примеру определения координат точки *C* при пересечении двух прямых

Из решения обратной геодезической задачи (2.3) определяем дирекционные углы α_{AA1}, α_{BB1}, α_{AB1} и длину d_{AB1}. По разности дирекционных углов находим горизонтальные углы в треугольнике AB_1C, по теореме синусов определяем расстояния от точки *C* до одной из точек прямых.

Решая прямую геодезическую задачу, находим координаты точки *C*.

3 ПОНЯТИЕ О ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКЕ, ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ НА ПРОМЫШЛЕННОЙ (СТРОИТЕЛЬНОЙ) ПЛОЩАДКЕ

Вертикальной планировкой называется преобразование естественного рельефа на территории строительной площадки в поверхность, удовлетворяющую техническим требованиям данного сооружения. Проект вертикальной планировки является составной частью генерального плана строительства и в его разработке важное место занимают геодезические расчеты. Основой для составления проекта служат топографические планы в масштабе 1:1000–1:500.

В зависимости от условий эксплуатации возводимых сооружений различают вертикальную планировку под горизонтальную или наклонную площадку. Основными документами проектов вертикальной планировки являются:

- план организации рельефа;
- картограмма земляных работ.

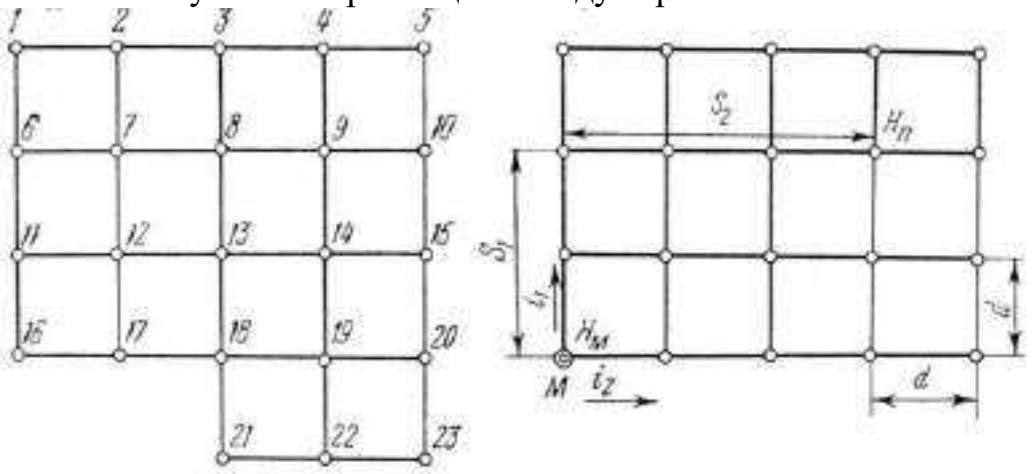
Отметки проектируемой застройки приводят в соответствие с существующей застройкой. Все геодезические расчеты сводятся к определению рабочих отметок создаваемого рельефа – выемки или насыпи.

Для выноса проекта сооружения в натуру производят его геодезическую подготовку (составляют проект геодезической подготовки), включающую:

- аналитический расчет проекта выноски;

- составление разбивочных чертежей с данными привязки главных осей сооружений к пунктам геодезической основы;
- разработку проекта производства геодезических работ (ППГР).

Вертикальная планировка под горизонтальную поверхность обычно предусматривает соблюдение нулевого баланса земляных работ, что означает равенство геометрических объемов выемки и насыпи грунта. В этом случае используют фактические отметки вершин квадратов, полученных при площадном нивелировании (рис. 22, *а*) или из топографической съемки масштаба 1:500 путем интерполяции между горизонталями.



а) *б)*

Рисунок 22 - Вертикальная планировка строительной площадки под:

а – горизонтальную поверхность; *б* – наклонную плоскость

Съемку поверхности (нивелирование площадей) для составления проекта вертикальной планировки чаще всего выполняют методом нивелирования по квадратам или прямоугольникам. Для этого на местности разбивают сетку геометрических фигур со сторонами 10, 20, 50 м и более в зависимости от размеров участка при помощи теодолита и мерной ленты. В это же время ведут съемку подробностей площадки строительства и вычерчивают абрис.

Разбивку квадратов выполняют при помощи теодолита и ленты. На больших площадях для построения сетки возможно использование электронных тахеометров. Каждую вершину квадрата обозначают колышком и сторожком с надписью номера соответствующей вершины.

После разметки участка планировки выбирают схему замкнутого (с целью контроля) нивелирного хода и приступают к нивелированию вершин квадратов.

На местности последовательно устанавливают нивелир в точках *I*, *II*, *III* и вначале берут отсчеты по черной и красной сторонам рейки в связующих точках *1в*, *3б*, и *3г*, рис. 23. После проверки правильности взятых отсчетов, заднюю рейку поочередно устанавливают на соответствующие вершины квадратов согласно схеме нивелирования (рис. 23) и производят

отсчеты только по черным делениям рейки. Все измерения записывают в журнал нивелирования (табл. 4).

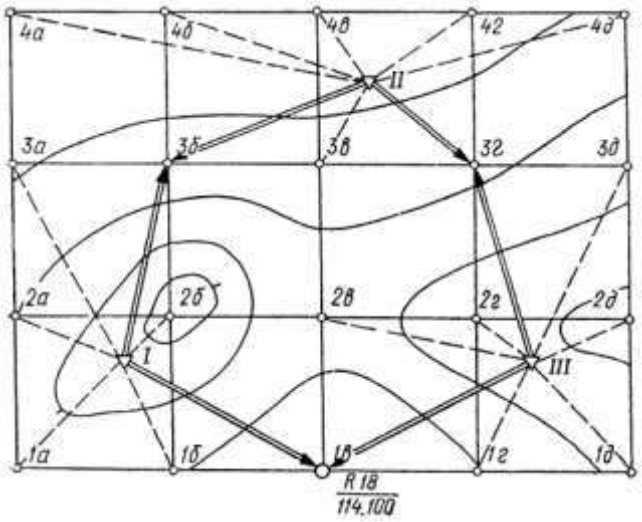


Рисунок 23 - Схема нивелирования по квадратам

При обработке результатов измерений сначала вычисляют превышения и отметки связующих точек хода. Например, отметка *Нзб* точки *3б* будет равна

$Нзб = H_{реп18} + а - в = 114{,}100 + 1{,}228 - 0{,}823 = 114{,}505$ м (не уравненная). Затем через горизонт инструмента (ГИ) вычисляют отметки вершин квадратов

$H_{1б} = ГИ_1 - C_{1б} = 115{,}328 - 0{,}576 = 114{,}752$,

где $C_{1б}$ – отсчет по рейке, установленной на промежуточной точке 1б, табл. 4.

После вычисления отметок всех точек прямоугольной сетки приступают к вычерчиванию плана участка строительной площадки с горизонталями, который используют для составления проекта вертикальной планировки (рис. 24).

Таблица 4 - Журнал технического нивелирования поверхности по квадратам

Станция	Вершина	Отчеты по рейкам, мм			Превышения, мм			Горизонт прибора, м	Абсолютные отметки,м
		задние	передние	промежуточные	вычисленные	средние	исправленные		
I	*1б(R_{18})*	1228 5915						115,328	114,100
	1б			576					114,752
	1а			427	+ 405				114,901
						— 2			
	2а			525		+ 405	+ 403		114,803
	2б			748	+ 405				114,580
	3а			1527					113,801

	3б		823 5510						
II	*3б*	405 5092						114,908	114,503
	4а			2407					112,501
	4б			2006	+ 205				112,902
						− 2			
	4в			2005					
						+ 204	+ 202		112,903
	4г			1607	+ 203				113,301
	4д			402					114,104
	3в			657					114,251
	3г		200 4889						
III	*3г*	2390 7077						117,095	114,705
	3д			1515					115,580
	2г			1075					116,020
	2д			200	− 605				116,895
						− 2			
	1д			1345		− 603	− 605		115,750
	1г			2093	− 601				114,902
	2в			1795					115,300
	1б(R_{18})		2995 7678						114,100

Примечание. f_h = + 6 мм; $f_{h доп}$ = ± 17 мм.

Нулевой баланс земляных работ обеспечивается заданием проектной отметки по следующей формуле

$$H_{ПР} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n}, \qquad (2.7)$$

где $\sum H_1$ – сумма фактических отметок, входящих в один квадрат (1, 5, 16, 23); $\sum H_2$ – сумма отметок вершин, общих для двух квадратов (2, 3, 4, 10, …); $\sum H_3$– сумма отметок вершин, общих для трех квадратов (18); $\sum H_4$– сумма отметок вершин, общих для четырех квадратов (7, 8, 9, …); n – число квадратов.

По разности между проектной отметкой горизонтальной плоскости и фактической (черной) отметки вершины квадрата получают рабочую высоту выемки или насыпи

$$h_n^{РАБ} = H_{ПР} - H_n .$$

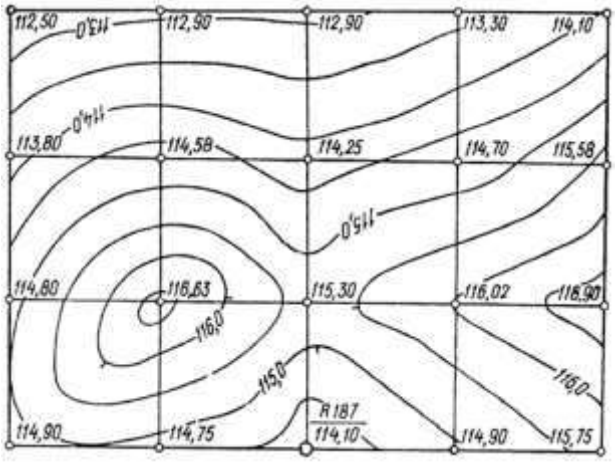


Рисунок 24 - План участка строительной площадки в горизонталях

Рабочие отметки (высоты) подписывают на картограмме земляных работ: со знаком «плюс» – насыпь, «минус» – выемка (рис. 25), а также на сторожках, забитых в вершинах квадратов на местности.

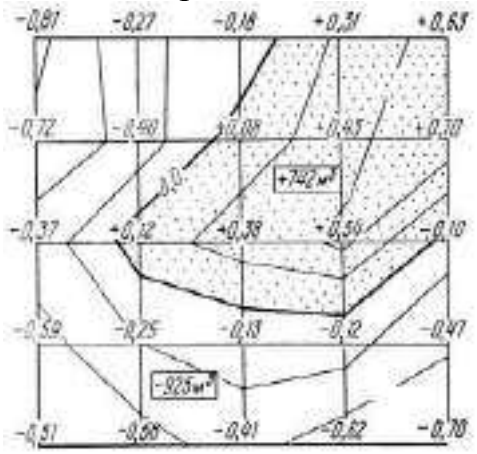


Рисунок 25 - Картограмма земляных работ

Вертикальная планировка под наклонную плоскость производится по заданному проектом уклону $i_{пр}$. Исходными данными являются фактические отметки вершин квадратов, проектная отметка опорной точки M (рис. 22, *б*), а также проектные уклоны по взаимно перпендикулярным сторонам квадратов i_1 и i_2. Проектная отметка точки n определяется из выражения

$$H_n = H_M + i_1 S_1 + i_2 S_2 \ ,$$

где S_1 и S_2 – расстояния по сторонам квадратов от опорной точки M до искомой n.

В частности, проектные превышения по сторонам первого квадрата находятся

$$h_1 = i_1 d \ ; \ h_2 = i_2 d;$$

где d – длина стороны квадрата.

Зная проектные превышения и отметку опорной точки M, находят проектные отметки вершин квадратов, откуда по значениям фактических отметок вычисляют рабочие.

Окончательным графическим документом вертикальной планировки является картограмма земляных работ, (рис. 25). На ней указывают фактические, проектные и рабочие отметки вершин квадратов, а также положение линии нулевых работ и значения объемов выемки или насыпи грунта.

Объемы земляных работ подсчитывают отдельно по каждому квадрату по рабочим отметкам его вершин, раздельно по выемке и насыпке грунта. В зависимости от требуемой точности, характера рельефа местности и конфигурации земляных работ подсчет объемов производят способами объемной палетки П.К. Соболевского, среднего арифметического, параллельных сечений, правильных геометрических фигур.

По окончании расчетов сводят баланс земляных работ, где указывают избыток или недостаток грунта вертикальной планировки строительной площадки. Для упрощения подсчета насыпных работ, как правило, объем засыпки производят без учета коэффициента разрыхления.

4 ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

4.1 Работы нулевого цикла

Геодезическое обеспечение в гражданском и промышленном строительстве подразделяется на работы, связанные с обслуживанием нулевого цикла и на работы, выполняемые выше нулевой отметки.

В состав нулевого цикла входят:

- рытье котлованов и траншей (с зачисткой дна и откосов);
- монтаж фундамента, стен, подвалов;
- устройство приямков, лифтовых шахт;
- присоединение дворовых коммуникаций;
- монтаж оборудования в подвальном помещении (котлов, насосов, вентиляционных устройств и др.).

Заканчивается подземный цикл возведением объектов до нулевой отметки: чистого пола первого этажа.

Перед началом работ нулевого цикла производят разбивку осей зданий и сооружений. Различают три вида осей (рис. 26):

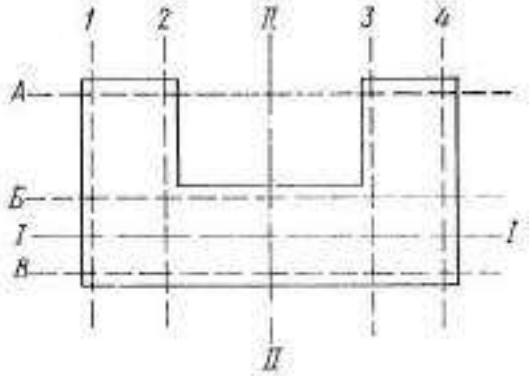


Рисунок 26 - Главные и основные оси здания

Главные оси – две взаимно перпендикулярные линии, относительно которых здание (сооружение) располагаются симметрично. Их обозначают на генеральном плане римскими цифрами.

Основные оси проходят по контуру здания (сооружения). Продольные оси обозначают буквами, а перпендикулярные к ним линии – арабскими цифрами.

Вспомогательные или разбивочные оси служат для детальной разбивки частей и элементов сооружений. Располагаются они по отношению к основным осям как под углом, так и параллельно к ним в зависимости от конструкции сооружения.

При разбивке главных и основных осей, именуемой основными геодезическими разбивочными работами, их закрепление производят четырьмя осевыми пунктами (знаками), по два с каждой стороны здания (рис. 27).

Знаки должны располагаться на одинаковом расстоянии от сооружения, составляющим, по возможности, полторы его высоты с целью передачи осей со створных пунктов на строящиеся этажи. В дополнение оси можно закреплять краской на стенах существующих зданий.

Кроме плановой разбивки на местности для каждого возводимого сооружения создается высотное обоснование в виде двух рабочих реперов. Место их установки выбирается с учетом удобства пользования и сохранности на весь период строительства. Отметка чистого пола первого этажа принимается за нуль, поэтому все отметки ниже пола будут отрицательными. Перенос отметки строительного нуля на рабочие реперы осуществляется геометрическим нивелированием.

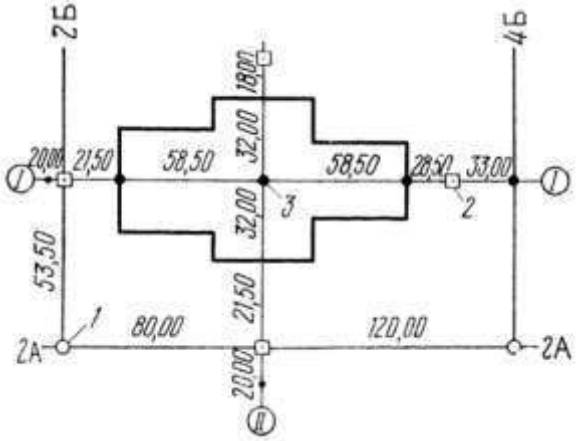
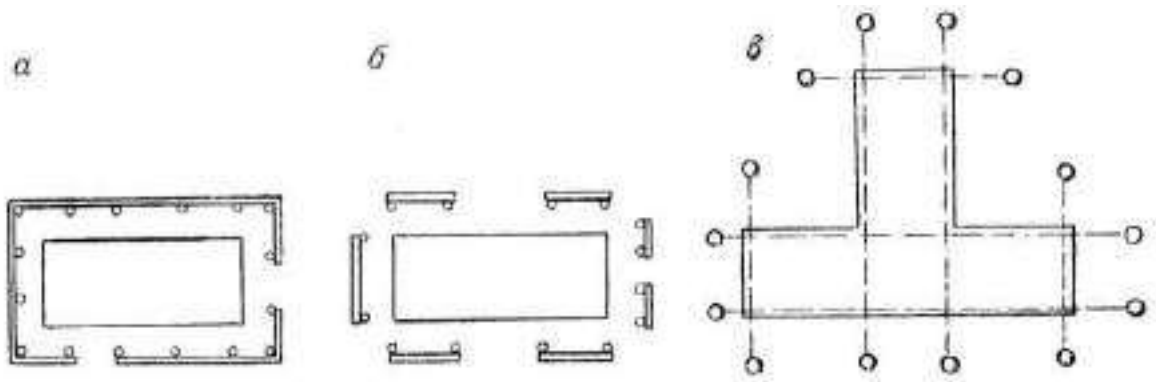


Рисунок 27 - Схема расположения и привязки главных осей: *I-I, II-II*

По завершении разбивки и закреплении главных и основных осей, установки рабочих реперов составляют акт приемки-передачи разбивочных работ с приложением схемы закрепления осей по установленной форме.

Детальные разбивочные работы нулевого цикла осуществляют с помощью обноски: специального ограждения, установленного по внешнему контуру строящегося здания (рис. 28).



а) *б)* *в)*

Рисунок 28 - Варианты обноски: *а* – сплошная; *б* – разреженная; *в* – створная

Сплошная обноска представляет из себя вкопанные по периметру вокруг здания столбы на расстоянии 2–4 м с прибитыми к ним на высоту 0,5–1,2 м обрезными досками. Для въезда/выезда транспорта в зону строительства в отдельных местах ограждения делают разрывы.

Разреженная обноска устраивается только в местах расположения основных осей здания аналогично сплошной.

Створная обноска состоит из отдельных пар вкопанных столбов, установленных в створах всех осей здания. Срезы столбов выполняют на одной высоте.

Относительная погрешность линейных измерений при разбивке осей с помощью обноски достигает 1/10 000–1/25 000. Для соблюдения высокой точности разбивочных работ к устройству обноски выдвигаются следующие требования:

- створность столбов устанавливают по теодолиту;
- высоту обноски выносят нивелиром;
- разбивку обноски выполняют от створных знаков главных или основных осей;
- точки закрепления главных и основных осей переносят на обноску с помощью теодолита;
- положение вспомогательных (разбивочных) осей определяют на обноске линейными промерами.

4.2 Маркшейдерско-геодезические работы при устройстве котлованов под фундаменты

Разбивочные работы. Способы геодезических разбивочных работ зависят от конструкции и глубины заложения фундамента. Например, разбивка контуров неглубоких котлованов и траншей под ленточные фундаменты производится от основных осей с обноски. В этом случае вдоль меток оси натягивают стальную проволоку (струну) и с помощью отвесов ось переносят на земную поверхность, фиксируя ее колышками. Затем вправо

и влево от оси откладывают необходимые расстояния, в сумме составляющие ширину фундамента, и закрепляют кольями. Шнур, натянутый по кольям, обозначает границу траншеи.

При разработке глубоких котлованов разбивку их контуров выполняют понизу и верхней бровки от главных или основных осей. При этом до выполнения земляных работ обноску обычно не устраивают. Границу верхней бровки рассчитывают по каждому углу котлована с учетом величины «*a*» (расстояния нижней бровки котлована от фундамента) по формуле

$$\Delta d_i = (H_i - H_0)m,$$

где H_i – отметка земли на каждом углу; H_0 – отметка дна котлована; m – крутизна откоса, рис. 29.

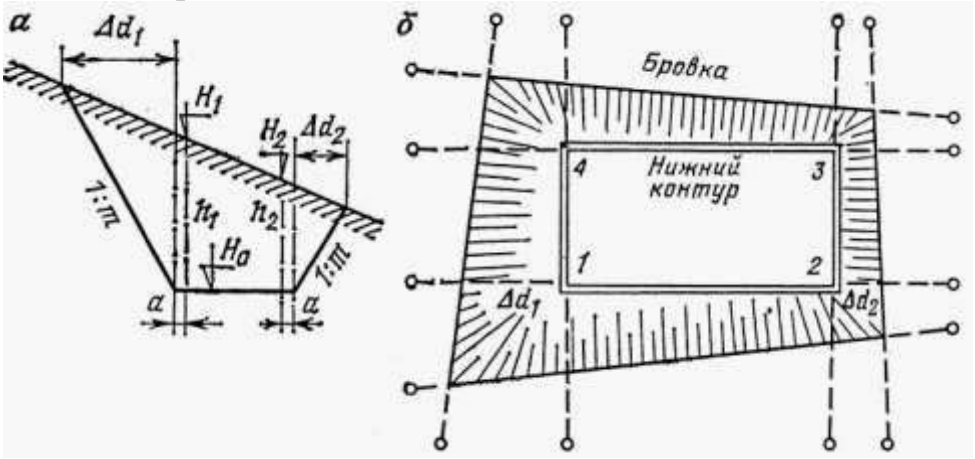


Рисунок 29 - Схема разбивки котлована под фундаменты: *а* – разрез по 1–2; *б* – план разбивки котлована по нижней и верхней бровкам

Средние квадратические погрешности разбивки границ котлована не должны превышать 3 см.

В процессе разработки котлованов выполняют систематический контроль за их углубкой с помощью горизонтальных визирок и геометрического нивелирования для неглубоких выемок. Контроль глубины разработок со значительными размерами ведут тригонометрическим нивелированием (рис. 30), при котором глубина выемки определяется по формуле

$$h = 0{,}5(Kn + c)\sin 2\nu,$$

где K – коэффициент нитяного дальномера; n – число сантиметровых делений рейки между нитями; c – постоянная дальномера; ν – вертикальный угол.

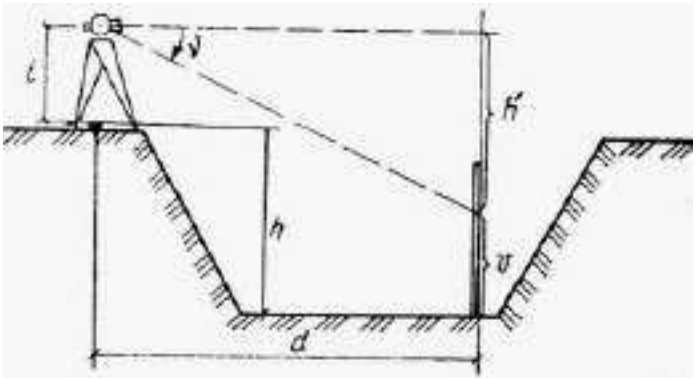


Рисунок 30 - Схема контроля глубины выемки котлована

Среднюю квадратическую погрешность определения глубины котлована вычисляют из выражения

$$m_h^2 = (1/2\sin 2v)^2 m_d^2 + (d\cos 2v)^2 m_v^2 / \rho^2,$$

где m_d и m_v – погрешности измерения расстояния и вертикального угла соответственно.

После окончательной разработки и зачистки дна котлована определяют объем земляных работ, выполняют исполнительную съемку, на которой показывают фактические и проектные размеры, отметки дна, смещения.

Перенос осей осуществляют в зависимости от глубины выемки и вида фундаментов с помощью: створной засечки теодолитом (рис. 31); отвесов, закрепленных на монтажных струнах; обноски, возведенной на дне котлована.

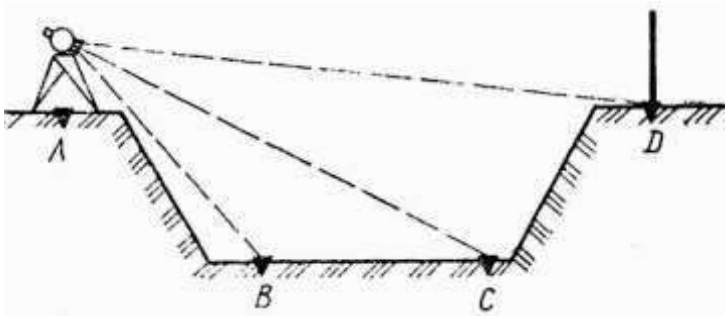


Рисунок 31 - Схема переноса осей на дно котлована

Отметку на дно выработки передают способом геометрического нивелирования с использованием вывешенной вертикально рулетки. Перед этим на дне закладывают два временных репера (марки). Отметку репера, на который осуществляется передача координаты H_{p2}, вычисляют по формуле, вытекающей из рис. 32:

$$H_{p2} = H_{p1} + a - в - (c - d).$$

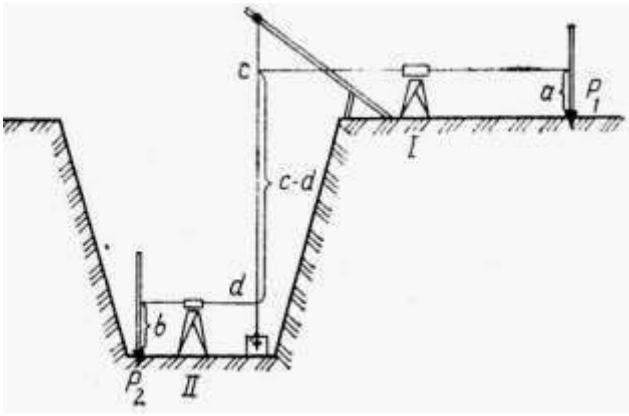


Рисунок 32 - Схема переноса отметки на дно котлована

При этом используют как абсолютную систему высот, так и условную.

Геодезические работы, осуществляемые при возведении фундаментов, зависят от их конструкции, методов и средств монтажа, технологии производства строительно-монтажных работ. Известны ленточные и сплошные (плитные) фундаменты, свайные, монолитные и сборные.

Сборные ленточные фундаменты укладывают на выровненную поверхность, горизонтальность которой контролируют нивелиром. Перед укладкой блоков на их грани наносят установочные риски, служащие для совмещения с осями, вынесенными на дно котлована.

Монтаж фундамента начинают с установки угловых блоков с помощью двух теодолитов, расположенных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а также используя оси, заданные струной из стальной проволоки. Установочные риски совмещают с остриями отвесов, опущенных со струны. Через 15–20 м от угловых блоков вдоль осей размещают маячные блоки, служащие для ориентирования при возведении остальной части фундамента.

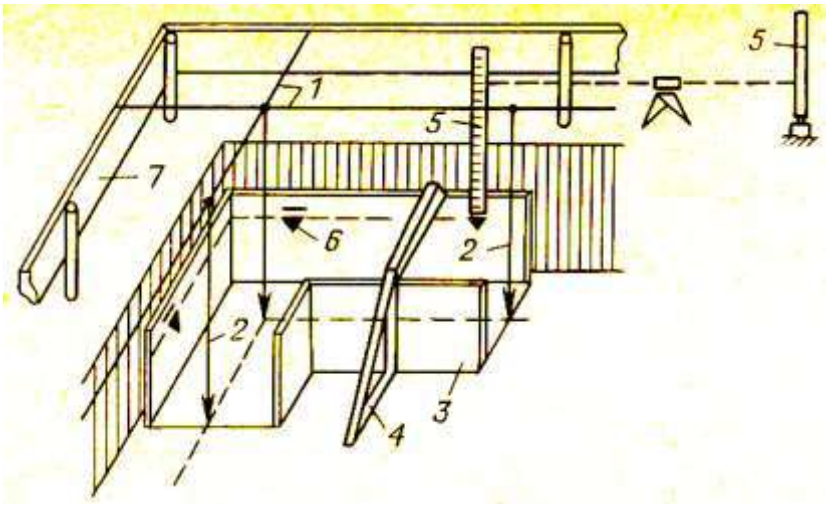


Рисунок 33 - Схема установки опалубки под монолитные фундаменты: 1 – проволочные струны; 2 – отвесы; 3 – щиты опалубки; 4 – крепежные элементы; 5 – мерная рейка; 6 – отметка бетонирования; 7 – обноска

После окончательной выверки в плане и по высоте угловых и маячных блоков между ними натягивают шнур-причалку на расстоянии 15–20 мм от их граней. Промежуточное фундаментное основание устанавливают, ориентируясь на угловые и маячные блоки по шнуру.

Монолитные железобетонные фундаменты (рис. 33).

Монолитные фундаменты возводят по свайному основанию и непосредственно по дну котлована с помощью опалубки. Разбивка под опалубку начинается с проверки высотной и плановой подготовки дна котлована.

4.3 Геодезические выноски и измерения при строительстве надземной части сооружений

Перекрытие первого этажа сооружения является нулевым или исходным монтажным горизонтом. С целью возможности возведения надземной части здания (сооружения) на нулевом перекрытии создаются плановая и высотная геодезические сети. Способы и точность их развития зависит от методов строительного производства, количества этажей здания и конструктивных решений.

При возведении невысоких зданий их основные оси передают от створных знаков и закрепляют на верхнем срезе цоколя (рис. 34). Затем выполняют контрольные промеры и в дальнейшем переносят оси на вышележащие монтажные горизонты от закрепленных на цоколе рисок.

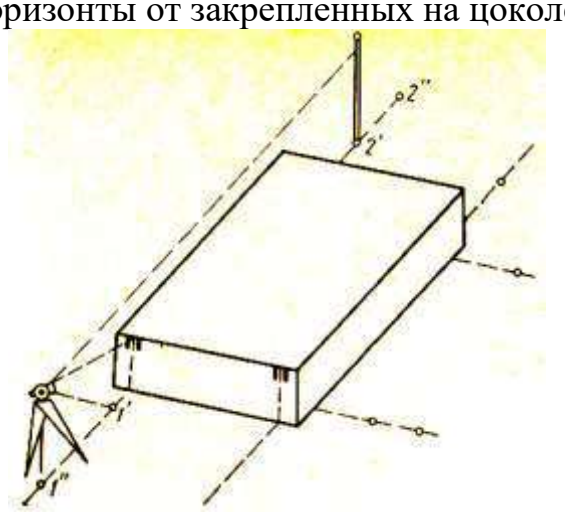


Рисунок 34 - Схема построения осей на основном монтажном горизонте

При повышенных требованиях к точности строительства сооружения (например, высоких зданий), на нулевом монтажном горизонте создается внутренняя разбивочная основа в виде правильных геометрических фигур. Вначале выносят главные или основные оси *А*, *Б*, *1*, *8*, а затем намечают положение пунктов разбивочной сети на расстояниях *а*, *в*, *с* и *d* от вынесенных осей (рис. 35).

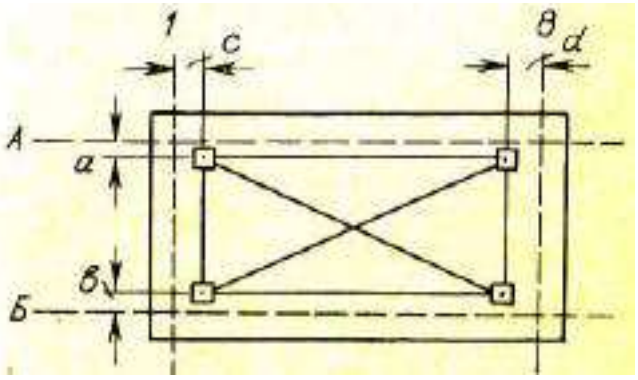


Рисунок 35 - Разбивочная сеть на нулевом перекрытии

Положение центров выбирают исходя из удобства установки прибора, а также обеспечения видимости между соседними знаками в процессе возведения конструкций на этаже. Желательно предусмотреть устройство технологического отверстия в плитах перекрытия.

5 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ В ПРОМЫШЛЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Под исполнительной съемкой понимают комплекс угловых, линейных и высотных геодезических измерений, целью которых является определение фактического положения строительных элементов относительно друг друга в пространстве, а также соответствие их проектным показателям.

Общий состав работ по ведению исполнительных съемок в строительстве включает:

- создание или пополнение съемочного обоснования;
- планово-высотную детальную съемку элементов строительства, их узлов и отдельных конструкций (в том числе поэтажную съемку);
- планово-высотную съемку наземных и подземных коммуникаций;
- контурную съемку завершенного строительства;
- составление маркшейдерско-геодезической документации.

Рассмотрим более подробно обозначенный состав работ.

Создание съемочного обоснования (или его пополнение) производится в случае утраты части пунктов в процессе строительства и осуществляется известными методами: полигонометрических ходов, строительной сетки, цепочки треугольников и др.

Планово-высотную детальную съемку элементов строительства и различных коммуникаций производят с пунктов съемочного обоснования, разбивочной сети, а также разбивочных осей, красных линий, знаков геометрического нивелирования. Ее ведут теми же методами и приборами, что и детальную разбивку осей сооружений. Точность результатов исполнительной съемки должна быть не ниже точности проведения разбивочных

работ, а саму съемку осуществляют преимущественно способом прямоугольных координат, створов, линейных и угловых засечек, геометрического нивелирования. Исполнительные съемки выполняются на протяжении всего строительства, начиная от разбивки осей и заканчивая приемкой его государственной комиссией, при этом заключаются в проведении комплекса геодезических работ для определения планового и высотного положения окончательно установленных конструкций.

В зависимости от этапа строительства исполнительные съемки подразделяют на текущие и окончательные.

Текущие исполнительные съемки ведутся по мере возведения сооружения и завершают каждый вид строительно-монтажных работ с составлением основного технического документа. Его результаты позволяют судить о качестве выполненных работ, подсчитать их объемы, если это необходимо, сделать изменения в проекте. Исполнительной съемке подлежат те элементы и части зданий и сооружений, от правильного положения которых зависит прочность и устойчивость всего сооружения, а также точность установки последующих конструкций. Виды конструкций и этапы строительства, подлежащих исполнительной съемке, порядок и очередность геодезических измерений, их точность и применяемые приборы определяет проект производства геодезических работ.

Текущая исполнительная съемка фиксируется на схемах, на которых указывают все проектные и фактические размеры, а также отметки конструкций и элементов сооружений, расстояния между осями, величины и направления отклонений от проектных положений. Особое внимание обращают на исполнительную съемку частей и конструкции сооружений, становящихся впоследствии недоступными для измерений или подлежащих засыпке грунтом: днища котлованов, оголовки свай, закладные детали монолитных фундаментов, анкерные болты под оборудование, подземные коммуникации и др.

Высотное положение конструкций определяется методом геометрического или гидростатического нивелирования от реперов высотного обоснования или в условной системе высот.

Вертикальность конструкций высотой до 5 м выверяется рейкой-отвесом или рейкой-уровнем. При большей высоте применяют способы вертикального или наклонного проектирования. Результаты исполнительной съемки необходимо контролировать путем промеров между точками и контурами, определяемыми независимыми путями при съемке, а также сравнением их с проектными размерами.

Для съемки фундаментов в плане на их верхние и боковые грани переносят оси, от которых выполняют все замеры. Высотная съемка выполняется от временных реперов, установленных на дне котлована в непосредственной близости от возводимого сооружения на поверхности. Отметки определяются по верху фундамента в местах пересечения осей и через 3–5

м между осями, а также дна и верха фундаментов стаканного типа. При возведении наземной части зданий и сооружений на каждом монтажном горизонте выполняется исполнительная съемка планового положения колонн, панелей, блоков, а также их вертикальности, высотного положения опорных площадок и перекрытий, закладных деталей, оконных проемов и других элементов возводимого сооружения.

Повышенное внимание следует уделять исполнительной съемке при строительстве подземных коммуникаций, которая должна выполняться вслед за строительно-монтажными работами. При этом определяется плановое положение оси коммуникации, соблюдение проектных уклонов, выполняется подсчет объемов земляных работ. Исполнительные съемки при строительстве наземных коммуникаций заключаются в определении планового положения осей земляного полотна, выемок и насыпей, кривых, опор и их фундаментов.

Окончательные исполнительные съемки выполняются после завершения строительства объекта. Они производятся раздельно от пунктов плановой и высотной съемочной (разбивочной) геодезической основы в масштабах 1:500, 1:1 000. Если пункты съемочного обоснования частично утрачены, их восстанавливают и для удобства располагают параллельно линиям застройки.

Контурная съемка (исполнительная съемка контуров) выполняется после завершения всего строительства и благоустройства его территории с целью составления исполнительного генерального плана.

При съемке контурных точек, их координаты вычисляют по результатам геодезических измерений. Точками определения являются углы зданий и сооружений, пересечения осей сетей воздушных, наземных и подземных коммуникаций, центры колодцев, проезды, вершины углов поворота трасс и др.

Кроме съемки и определения координат основных точек, в натуре измеряют габариты и элементы зданий и сооружений, которые невозможно отобразить непосредственно на плане. Поэтому на заготовленных заранее абрисах показывают проемы, входы в здание, вводы и выходы коммуникаций, характеристики сооружений (назначение, этажность, строительные материалы и др.). На обмерных чертежах выписывают координаты основных углов, заносят размеры отдельных и общих частей и сторон здания, выступающих элементов его фасада.

Вертикальная съемка строительства ведется от марок и реперов геодезического обоснования геометрическим или тригонометрическим способами. Помимо съемки рельефа определяются отметки всех вышеперечисленных точек плановой съемки, а также бровок и днищ земляных выемок, кюветов, насыпей и др.

Исполнительная съемка подземных коммуникаций выполняется от пунктов планово-высотного обоснования или четких контуров каменных

строений общепринятыми методами в масштабах от 1:5 000 до 1:200 по мере возведения и монтажа сетей. По результатам съемки вычисляют плановое положение углов поворота трасс и точек их осей через 50 м, центры люков колодцев, начала, середину и конец кривых, расположение входов в здания. В обязательном порядке определяют отметки люков всех колодцев, лотков канализационных, водосточных и дренажных коммуникаций, верха труб и пола каналов теплотрассы и энергетических прокладок.

Съемка подземных коммуникаций сопровождается отображением ситуации земной поверхности полосой 20 м в обе стороны от оси трассы. Плановое положение колодцев коммуникаций контролируется промерами расстояний между центрами люков.

Каждая строительно-монтажная организация обязана иметь полный комплект маркшейдерско-геодезической документации.

Маркшейдерско-геодезическая документация в строительстве подразделяется на проектную, обязательную маркшейдерско-геодезическую и исполнительную.

Проектная техническая документация является основой для организации производства маркшейдерско-геодезических работ. Особое место в ней занимает генеральный план, который содержит проектные решения на вертикальную планировку, строительство инженерных сетей, коммуникаций и т.д., служит базовым документом для вынесения проекта в натуру. В его состав входят графические материалы в виде ситуационного плана размещения объектов в масштабе 1:5 000–1:25 000 (в зависимости от сложности строительства), генерального плана с нанесением существующих, подлежащих сносу и проектируемых зданий, сооружений, дорог для всех видов транспорта, пусковых комплексов, благоустройства и озеленения территории. Здесь же приводятся типы покрытия внутриплощадочных дорог, картограмма земляных работ, инженерные коммуникации, схемы грузопотоков и др.

В общей проектной документации существуют дополнительные планы, схемы и решения (технологическая и строительная части, организация строительства, рабочие чертежи), которые используются по их прямому назначению.

Обязательная маркшейдерско-геодезическая документация подразделяется на первичную, вычислительную и графическую.

Первичная документация представлена журналами измерения базисов, полигонометрических и теодолитных ходов, нивелирования, топографических съемок. Сюда же входят журналы выноса в натуру проектных геометрических элементов строительства, маркшейдерско-геодезического контроля и других необходимых измерений; различные акты о производстве выполненных разбивок осей и т.п.

Журналы измерений, разбивок и съемок имеют стандартные размеры (148 х 210 мм) и регистрационные номера. На последней странице указы-

вают общее количество пронумерованных страниц за подписью главного геодезиста или маркшейдера. Записи в журналах ведут карандашом, их достоверность проверяют в камеральных условиях, о чем делают соответствующие пояснения.

Вычислительная документация содержит журналы вычислений длин базисов, уравнивания и вычисления окончательных координат триангуляции, решения треугольников, обработки длин сторон полигонометрии и вычисления координат, уравнивания нивелирных ходов и вычисления высотных отметок, координат пунктов плановой разбивочной и съемочной основы. Журналы имеют стандартные размеры 297 х 210 мм, им присваивают порядковые номера, указывают общее число пронумерованных страниц (их число не должно превышать 100) за подписью главного маркшейдера или геодезиста. Записи вычислений ведут четко и разборчиво, ошибочные результаты перечеркивают и делают пояснения за подписью лиц, производивших эти вычисления. В журналах вычислений делают ссылки на номера страниц и журналов полевых измерений, из которых выписаны исходные данные. По результатам определений составляют каталоги координат и высот по видам и разрядам всех пунктов геодезических сетей, а также других необходимых параметров строительства. В дополнение к журналам ведут различные ведомости (например, приведенных направлений для пунктов триангуляции, углов поворота главных осей инженерных коммуникаций и др.).

Графическая документация представляет собой обязательные основные и специальные планы, профили, разрезы, проекции, составленные по результатам маркшейдерско-геодезических съемок и измерений. Они являются важнейшими техническими и юридическими документами строительства, а также служат основой для составления всех остальных видов графических материалов. В виду этого маркшейдерско-геодезическая графическая документация должна быть выполнена с необходимой точностью, полнотой и достоверностью.

Примерный перечень основной и специальной графической маркшейдерско-геодезической документации приведен в табл. 5.

Конкретный состав графических материалов определяется в зависимости от вида отрасли или строительства, а также специфики возведения объектов, объемов работ, конструктивных решений и регламентируется специальными инструкциями. Уточненный комплект этой документации устанавливается маркшейдерско-геодезической службой генеральной подрядной организации, согласовывается с заказчиком и утверждается техническим руководством.

Чертежи, составляемые непосредственно по результатам геодезической или маркшейдерской съемки, являются оригиналами и выполняются на планшетах или листах бумаги высшего качества и стандартных разме-

ров. Допускается применение прозрачных материалов из листов винипроза или пленок лавсана, хостофена и др.

Планшеты изготавливают самостоятельно на жесткой, полужесткой или мягкой основе в зависимости от оснащенности предприятия современными технологиями и оборудованием, или заказывают специализированным организациям.

Таблица 5 - Примерный перечень основной и специальной графической маркшейдерско-геодезической документации приведен

Вид документа	Масштаб
Состав основной маркшейдерско-геодезической графической документации	
Обзорная карта района строительства	1:10 000–1:25 000
Сводные планы строительно-монтажных площадок	1:5 000–1:10 000
Сводный план внешних линейных сооружений	1:5 000–1:10 000
План промышленного предприятия, комплекса, объекта	1:500–1:200
План строительства отдельных подсобных предприятий	1:1 000–1:2 000
Планы строительных карьеров	1:500–1:2 000
Состав специальной маркшейдерско-геодезической графической документации	
План геодезической плановой и высотной основы	1:5 000–1:25 000
План наземных зданий и сооружений	в масштабе основного плана
План подземных инженерных коммуникаций и сооружений	1:500–1:2 000
План надземных линий и сооружений	1:500–1:2 000
Планы разбивки и закрепления главных, основных и вспомогательных осей зданий и сооружений	в масштабе рабочих планов
Картограмма геодезической и топографической изученности	1:10 000–1:50 000
Исполнительные планы, профили, проекции и разрезы законченного строительства	в масштабе рабочих чертежей
Схема расположения планшетов	—

Динамика строительного производства характеризуется постоянным изменением ситуации на промышленной (строительной) площадке. В силу этих изменений ведут *оперативный* (или рабочий) маркшейдерско-

геодезический план территории строительства, представляющий комплекс исполнительных графических материалов. Основное назначение этого документа состоит в своевременном и достаточно точном отражении всех изменений в строительстве, происходящих на промышленной площадке.

На крупных строительных предприятиях для ведения оперативных планов создается специальная группа специалистов, на небольших объектах – ими занимается маркшейдерско-геодезическая служба.

В комплект материалов оперативного маркшейдерско-геодезического плана входит следующая документация:

- основная графическая (сводные и основные планы, профили, разрезы);
- детальная (по объектам);
- вспомогательная (обосновывающая и пояснительная).

Кроме того, в составе оперативного плана имеются сведения по назначению объекта, геометрических размеров объекта в натуре, координат угловых и основных точек, даты сдачи в эксплуатацию и т.п.

Исполнительная маркшейдерско-геодезическая документация подразделяется на текущую, выполнение которой осуществляется в процессе возведения зданий и сооружений, и приемо-сдаточную, т.е. документацию законченного строительства. В совокупности исполнительные материалы должны давать полное представление о фактическом состоянии строительства и его частей.

Текущая документация используется для внутреннего контроля за правильностью ведения строительства объектов и является основанием для выдачи разрешений на производство дальнейших работ. Она включает в себя исполнительные акты и схемы разбивки осей, котлованов, свайных полей, устройство опалубки, детальную разбивку на нулевом (монтажном) горизонте, схемы нивелирования бетонной подготовки под полы.

При возведении надземной части зданий и сооружений исполнительная документация состоит из схем создания разбивочной сети на монтажном горизонте, планово-высотных отображений установки стенных панелей, расположения оконных и дверных проемов, плит, перегородок и др.

Приемо-сдаточная документация готовится на основе текущей после завершения определенного этапа строительства и включает следующие основные материалы:

1) планово-высотные схемы по всем видам инженерных коммуникаций (схемы и акты на разбивку и приемку трассы и ее сооружений, исполнительный план и профиль, размеры колодцев и камер, каталог координат и высот, полную характеристику коммуникаций);
2) планово-высотные схемы и акты приемки разбивочных и выполненных работ по земляным сооружениям (готовому котловану, земляному полотну дорог, траншеям и др.);

3) планово-высотные схемы и акты на устройство фундаментов (свайные поля, сборные и монолитные ленточные фундаменты, стаканы под установку колонн и др.);
4) исполнительные чертежи планово-высотной съемки колонн, подкрановых балок и путей, ферм и балок перекрытий;
5) схемы плановой, вертикальной и высотной поэтажных съемок;
6) исполнительные съемки кирпичных, блочных и панельных зданий, их полов, плит перекрытий;
7) исполнительные планово-высотные схемы на законченные этапы возведения различных зданий и сооружений в зависимости от их назначения (лифтовых шахт, плотин, каналов, тоннелей метро и др.).

Приемо-сдаточная документация подписывается главным маркшейдером или геодезистом и предъявляется при сдаче объекта в эксплуатацию.

Отчетная документация исполнительной съемки представляется исполнительным генеральным планом и дополнительными (исполнительными) чертежами. Исполнительный генеральный план включает в себя план всей территории законченного строительства масштаба 1:500. На нем показывают координатную сетку, пункты геодезического обоснования, центры строительной сетки, гидрографию, рельеф, все здания и сооружения, нанесенные после приемки их государственной комиссией.

Исполнительные чертежи дополняют генеральный план съемкой сложных участков масштаба 1:200, планом подземных коммуникаций масштабов 1:1 000–1: 2 000 с приложением каталога координат и высот колодцев, их эскизов, абрисов, обмерных чертежей отдельных частей, деталей зданий и сооружений.

6 МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ БУРОВЫХ СКВАЖИН

6.1 Основные положения

Организации, составляющие проекты разведки, строительства скважин, технологические схемы, должны представить заказчику ведомость проектных координат забоев скважин. В случае наклонной скважины в ведомости дополнительно приводят координаты забоев по кровле каждого продуктивного горизонта.

Местоположение устьев скважин выбирают и уточняют в натуре с обязательным использованием имеющейся горно-технической документации: маркшейдерских, топографических, землеустроительных планов и карт, геологических и структурных карт.

Перенесение в натуру устьев скважин, разбивку и закрепление направлений смещения забоев для наклонных скважин производят маркшейдерско-геодезические службы предприятия-заказчика на основе проектных значений координат устья, забоя и дирекционного угла горизонтальной проекции смещения забоя. Если условия местности не позволяют

закрепить направление смещения забоя, то разбивают ориентирное направление.

При проектировании местоположения устьев скважин и направлений их стволов следует учитывать требования пожарной безопасности, существующие подземные коммуникации и другие объекты обустройства, а также пространственное положение стволов и забоев ранее пробуренных и бурящихся скважин.

6.2 Перенесение в натуру проектного положения устьев скважин

Перенесение проектного положения устьев скважин в натуру производят на основании письменного распоряжения (задания), подписанного главным геологом предприятия – заказчика.

Работы по перенесению в натуру проектного положения устьев скважин включают:

- подбор топографо-геодезических, картографических и аэрофотосъемочных материалов;
- подготовку геодезических исходных данных для выноса проекта в натуру;
- перенесение в натуру и закрепление на местности проектных положений устьев скважин;
- предварительное определение высот вынесенных в натуру устьев скважин;
- передачу по акту местоположения устьев скважин представителю организации, производящей бурение.

Предельные погрешности перенесения в натуру проектного положения устьев скважин относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения не должны превышать значений, указанных в табл. 6.

Таблица 6 - Предельные погрешности перенесения в натуру проектного положения устьев скважин относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения

Группа скважин	Предельные погрешности, м	
	перенесения в натуру планового положение устьев скважин	предварительного определения абсолютных высот устьев скважин
Одиночные опорные и параметрические скважины (1 группа)	150	15
Структурные и поисковые скважины, закладываемые по профилям и на площадях	50	10
Разведочные скважины (2 группа)	25	5
Все категории скважин на раз-	10	5

рабатываемых месторождениях (3 группа)		

В случае отступления от требований при разбуривании месторождений сеткой обособленных скважин (без кустования) предложения об изменении проектных координат устьев должны вноситься комиссиями, состоящими из представителей нефтедобывающих и буровых предприятий, а также работников маркшейдерской службы. Комиссия принимает решение после рассмотрения на местности вынесенных в натуру устьев скважин, исходя из условий орогидрографии и застроенности территории месторождения.

Решение об изменении проектного положения устьев скважин должно быть оформлено актом выбора площадок для бурения, утверждаемым руководителями добывающих и буровых предприятий.

При невозможности достижения проектного местоположения забоя скважин при первоначальном, а также измененном положении устья решение о возможности и целесообразности бурения скважины должен принимать главный геолог объединения по согласованию с авторами ПТД разработки месторождения.

Изменение проектного положения устьев параметрических, поисковых и разведочных скважин, как исключение, допускается, если оно не влечет изменения геологических задач, решаемых данной скважиной. При этом обязательно требуется письменное разрешение главного геолога предприятия.

Документация по перенесению в натуру проектного положения устьев скважин включает:

- решение на перенесение проектного положения устья скважин в натуру, а при смещении его проектного положения и документ, разрешающий это смещение;
- маркшейдерский план площадки, отведенной для бурения скважины, или абрис вынесенного и закрепленного устья скважины;
- документ сдачи перенесенных в натуру мест заложения устьев скважин;
- журналы полевых измерений, ведомости вычислений, каталоги координат и высот устьев скважин.

Плановую и высотную привязки устьев скважин производят после монтажа буровой установки.

Координаты и высоты вычисляются и вносятся в каталоги координат и высот устьев скважин. По вычисленным координатам устья скважины наносятся на маркшейдерско-геодезические планы.

Таблица 7 - Предельные значения погрешностей определения планового и высотного положений устьев скважин относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения 1 и 2 разрядов:

Группа скважин	Предельные погрешности определения положения устьев скважин, м	
	в плане	по высоте
Одиночные опорные и параметрические скважины (1 группа)	100	5,0
Структурные и поисковые скважины, закладываемые по профилям и на площадях	25	1,0
Разведочные скважины (2 группа)	10	0,5
Все группы скважин на эксплуатационных площадях	4	0,3

Для решения задачи перенесения проектного местоположения устьев скважин в натуру допускается использовать топографические карты, обеспечивающие требуемую в табл. 6 точность. При этом в зависимости от группы скважин (см. табл. 6)масштаб топографических карт должен быть не мельче:

Группа скважин

1) 1:100 000
2) 1:50 000
3) 1:25 000
4) 1:10 000–1:5000

Допускается использовать следующие методы перенесения устьев скважин в натуру: совмещение устьев скважины с четко выраженным контуром, промер вдоль контура, метод створов, линейная засечка и др. При построении линейной засечки на местности по расстояниям, взятым с карты (не менее чем от трех контуров), сторона треугольника погрешности не должна превышать значения предельной стороны погрешности для соответствующей группы скважин.

В случае отсутствия топографических карт требуемого масштаба или при отсутствии четких контуров вынесение проектного положения устьев скважин осуществляют проложением теодолитных ходов, построением триангуляции, геодезическими засечками и спутниковой геодезической аппаратурой.

Если для перенесения проекта в натуру необходимо развитие геодезических сетей, то их проектируют с таким расчетом, чтобы погрешность окончательного определения планового положения устьев скважин не превышала значений, регламентируемых т. 2.

Места заложения скважин закрепляют металлическими трубами или деревянными столбами длиной 1,5-2 м, закладываемыми на глубину не менее 0,7 м. На верхней части трубы (столба) несмываемой краской надписывают номер скважины, название площади (месторождения), организа-

ции, производящей бурение, и дату перенесения проектного положения устья скважины в натуру.

Если сохранность знака вызывает сомнение, то в надежных местах закладывают створ из двух знаков и измеряют расстояние от каждого их них до вынесенного положения устья.

На перенесенное в натуру местоположение устья скважины составляют абрис, на котором, кроме расстояний от створных знаков, приводят не менее трех промеров от существующих контуров. Абрис подписывается составителем и лицом, принявшим местоположение устья.

Предварительные высоты перенесенных в натуру местоположений устьев скважин определяют по топографическим картам, а при их отсутствии – барометрическим или тригонометрическим нивелированием.

В необходимых случаях (зачастую это так) до начала строительства буровой на участке, отведенном для этой цели, производят маркшейдерскую съемку в соответствии с техническими условиями.

Съемку выполняют согласно требованиям Инструкции [].

6.3 Работы при сооружении буровой установки

Маркшейдерские работы при сооружении буровой установки включают:

- разбивки главных осей буровой установки и осей оснований оборудования горнопроходческого комплекса;
- плановую и высотную выверки фундаментов, опорных конструкций и оборудования;
- проверку вертикальности шахтного направления;
- проверку соосности буровой вышки, ротора и шахтного направления; определение высоты буровой установки.

Вынесение в натуру главных осей буровой установки обязательно в случаях, когда срок строительства последней составляет более одного года.

Исходной точкой для разбивки главных осей является центр устья ствола скважины. Вынесение этих осей производят с помощью теодолита, устанавливаемого над центром устья скважины. Начальное направление ориентируют в сторону приемных мостков.

Вынесение в натуру разбивочных осей оснований оборудования выполняют относительно главных осей буровой установки полярным способом, способами прямоугольных координат и линейной засечки или их комбинацией.

Две разбивочные взаимно перпендикулярные оси закрепляют на местности знаками, устанавливаемыми по два с каждой стороны от центра: главные оси – постоянными знаками, обеспечивающими их долговременную сохранность; вспомогательные оси – временными знаками (металлические штыри, деревянные колышки). Постоянные знаки следует устанав-

ливать за пределами зоны земляных работ. Расстояния от них до вышки должны обеспечивать нормативные условия для последующих наблюдений за деформацией вышки. Знаки должны сохраняться на весь период работы буровой; ответственность за их сохранность несет буровой мастер.

По результатам разбивочных работ составляют исполнительную схему закрепления осей с привязкой осевых знаков не менее чем к трем четко выраженным объектам местности.

Выверку планового положения конструкций и оборудования рекомендуется выполнять створными методами. При этом створ задают леской, проволокой, лазерным или оптическим лучом.

Выверку конструкций и оборудования по высоте следует производить геометрическим нивелированием.

Проверка соотношения геометрических элементов буровой установки является обязательной для скважин, срок строительства которых более трех месяцев.

Контроль за остальными буровыми производят при необходимости.

Проверку соблюдения соосности ведущей трубы, ротора и шахтного направления выполняют: теодолитами с пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях; приборами вертикального проектирования; отвесами.

Точность монтажа вышки и оборудования должна соответствовать требованиям, изложенным в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации, прилагаемых заводами-изготовителями.

Высота буровой вышки используется при высотной привязке строящейся скважины методом геодезического нивелирования, а также при определении относительной деформации вышки при последующих наблюдениях.

Высоту вышки определяют непосредственным измерением или, когда высоты вышек достигают 50 м и более и непосредственное измерение затруднено, аналитическим способом.

Результаты контрольных измерений заносят в буровой журнал.

6.4 Работы при строительстве кустов скважин

Кустовое бурение, сооружение группы наклонных скважин с общего основания ограниченной площади, на котором размещаются буровая установка и устьевое оборудование. При К. б. продуктивные горизонты вскрываются наклонно-направленными скважинами в заданных точках. К. б. иногда оказывается наиболее экономически целесообразным инженерным решением — при разработке нефтяных и газовых месторождений, расположенных в акватории морей, сильно заболоченной местности или в местности со сложным рельефом поверхности. На практике количество скважин одного куста не превышает 20, хотя известно, что в Калифорнийском заливе 68 скважин пробурены с насыпного острова размером 60×60 м.

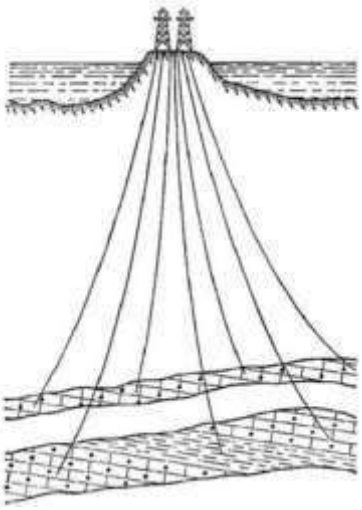


Рисунок 36

Местоположение куста скважин определяют главный геолог и главный маркшейдер НГДУ, в присутствии представителя технологической службы УБР, на основании ПТД на разработку месторождения. В ПТН указано расположение забоев скважин с учетом условий бурения и разработки, правил техники безопасности, глубин продуктивных пластов, сохранения наиболее ценных сельскохозяйственных и лесных угодий, а также норм отвода земельных участков под объекты добычи нефти и газа, допустимых расстояний от существующих на поверхности объектов, соответствующих санитарным и противопожарным нормам.

Перенесение и закрепление куста скважин в натуре производит маркшейдерская служба НГДУ по письменному распоряжению главного геолога.

Для определения координат и высот устьев скважин в кусте и выдачи ориентирных направлений до начала бурения вблизи или на территории куста закладывают не менее чем два опорных пункта и определяют их координаты и высоты. Пункты закладывают с учетом их долговременной сохранности.

Направление оси ствола скважины и длину проекции смещения забоя определяют по фактическим координатам устья и проектным координатам забоя скважины.

Перенесение в натуру осей куста устьев скважин производят отделы инженерных изысканий территориальных НИПИ или отделы маркшейдерских работ НГДУ.

Закрепленные на местности оси куста передают по акту представителю управления буровых работ; второй экземпляр акта хранится в нефтегазодобывающем управлении.

По окончании строительства площадки куста представителю УБР передают местоположение устьев всех скважин. При этом необходимо учесть размеры участка куста по проекту.

При привязки первой скважины в кусте одновременно определяют дирекционный угол направления мостков (ориентирное направление) и уточняют дирекционный угол движения станка. Ориентирное направление и направление движения станков определяют со средней квадратической погрешностью 5′.

После окончания бурения всех скважин в кусте, по известному дирекционному углу направления движения станка и измеренным расстояниям между устьями скважин вычисляют окончательные координаты устьев скважин, также координаты определяются от ранее заложенных пунктов. Координаты записывают в каталог.

Маркшейдерская служба УБР в процессе бурения ведет дежурный план расположения устьев и забоев скважин в кусте, передает исполнительный план куста маркшейдерской службе НГДУ.

Маркшейдерская служба НГДУ проверяет исполнительный план куста и с учетом данных промыслово-геофизических исследований скважин ведет каталог координат точек маркирующих горизонтов.

6.5 Наклонно-направленное бурение

Наклонно-направленное бурение, способ проведения скважины с отклонением от вертикали по заранее заданной кривой. Н.-н. б. впервые осуществлено в СССР на Грозненских нефтепромыслах (1934). Н.-н. б. оказывается целесообразным при: сложном рельефе местности (например, при расположении залежи под дном крупного водоёма или под капитальными сооружениями); геологических условиях залегания полезных ископаемых, не позволяющих вскрыть их вертикальными скважинами; *кустовом бурении* или *многозабойном бурении*; тушении горящих нефтяных и газовых фонтанов. При геологоразведочных работах Н.-н. б. осуществляется шпиндельными буровыми станками, причём скважина забуривается наклонно непосредственно с земной поверхности; при вскрытии нефтяных и газовых пластов Н.-н. б. производится турбобурами или роторным способом (скважина с поверхности забуривается вертикально с последующим отклонением на заданной глубине в запроектированном направлении).

Отклонение скважины от вертикали при Н.-н. б. (изменение зенитного угла и азимута бурения) осуществляется отклоняющими устройствами, например турбинными отклонителями. Бурение прямолинейно-наклонных участков производится с помощью бурильных устройств, включающих центрирующие и калибрующие элементы. Наибольшее отклонение от вертикали при Н.-н. б. (3836 *м*) получено в США в заливе Кука: на о. Сахалин отклонение составило 2453 *м* (1972).

6.6 Профили наклонно направленных скважин.

Проектирование профиля наклонно направленных скважин и их реализация на практике в указанном регионе определяются рядом инструкций, регламентирующих проектирование, строительство и эксплуатацию кустовых наклонно направленных скважин.

При отклонении забоя скважины от вертикали до 300 м применяется тангенсальный трехинтервальный профиль, состоящий из вертикального участка, участка начального искривлении и тангенсального участка.

При отклонении забоя скважины свыше 300 м используют S-образный четырхинтервальный профиль, включающий вертикальный участок начального искривления, тангенсальный участок и участок уменьшения зенитного угла.

Для проектирования наклонно направленных скважин специального назначения применяется j-образный вид профиля, включающий вертикальный участок; участок начального искривления, тангенсальный участок и участок малоинтенсивного увеличения зенитного угла до проектной глубины.

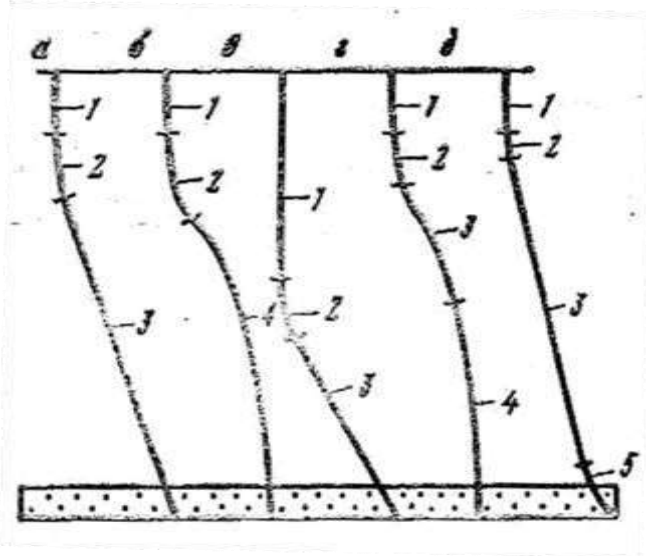


Рисунок 37 - Проектные профили наклонно направленных скважин:

а - тангенциальный; *б* –S - образный; *в* - тангенциальный с большим вертикальным участком; *г* - S-образный с тангенциальным участком; *д* – J-образный;

1,2,3 - участки соответственно вертикальный, начального искривления и тангенциальный; *4,5* - участки соответственно уменьшения и малоинтенсивного увеличения зенитного угла

Если обратится к зарубежному опыту проводки наклонно направленных скважин, то можно отметить, что большинство скважин, проводка которых осуществляется ведущими буровыми фирмами в США и Англии, проектируются по S-образному четырехинтервальному профилю. Всё

большее применение находит тангенсальный профиль, чаще всего используемый в целях достижения значительных отклонений от вертикали.

Данные профили проектируются в одной плоскости, т.е. являются плоскими. При проводке скважин в сложных горно-геологических условиях, когда геологические факторы оказывают значительное воздействие на траекторию скважины, используются профили пространственного типа, предусматривающие участки с естественно изменяющимся зенитным углом и азимутом.

Таким образом, все профили, используемые для проектирования наклонно направленных скважин, можно разделить на плоские и пространственные. В свою очередь плоские профили по форме выполнения завершающего интервала профиля разделяются на три типа: S-образный, тангенсальный и J-образный.

6.7. Инклинометрия

Инклинометрия, метод определения основных параметров (угла и азимута), характеризующих искривление буровых скважин, путём контроля *инклинометрами* с целью построения фактических координат бурящихся скважин. По данным замеров угла и азимута искривления скважины, а также глубины ствола в точке замера строится план (инклинограмма) — проекция оси скважины на горизонтальную плоскость и профиль — вертикальная проекция на плоскость магнитного меридиана, широтную или любую др. Таковой обычно принимается плоскость, в которой составляется геологический разрез по месторождению, проходящий через исследуемую скважину. Наличие фактических координат бурящихся скважин позволяет точно установить точки пересечения скважиной различных участков геологического разреза, т. е. установить правильность бурения в заданном направлении.

6.8 Контроль за положением оси ствола скважины в пространстве

Фактическая траектория оси ствола скважины всегда будет отличаться от проектной. Допустимые отклонения устанавливают с учетом требований разработки месторождений, бурения скважин и их эксплуатации.

Проект (технологическая схема) разработки месторождения предусматривает для каждой скважины определенную точку вскрытия продуктивного горизонта. При этом допускается некоторое отклонение этой точки от проектного положения, учитывающее геологическое строение разбуриваемой площади (месторождения), физику пласта, технологические факторы бурения, погрешности проводки скважины и определения ее пространственного положения.

Для оптимальных условий бурения и эксплуатации скважин необходимо учитывать угол общего искривления оси ствола скважин, интенсивности искривления ствола (отношение общего искривления в градусах к длине интервала скважины, выраженной в десятках метров). Угол искривления φ_i определяют из выражения:

$$\varphi_i = \arcsin\left(\sin\frac{\theta_i-\theta_{i-1}}{2}+\sin^2\frac{\alpha_i-\alpha_{i-1}}{2}\times\sin\theta_{i-1}\times\sin\theta_i\right)^{\frac{1}{2}},$$

а погрешность угла φ_i íàõîäÿò ïî ôîðìóëå:

$$m_{\varphi_i}=\frac{\sqrt{2}}{\sin\varphi_i}\left(m_\theta^2\times\sin^2(\theta_i+\theta_{i+1})\times\sin^4\frac{\alpha_i-\alpha_{i-1}}{2}+m_\theta\times\sin^2(\theta_i-\theta_{i-1})\times\right.$$

$$\left.\times cos^4\frac{\alpha_i-\alpha_{i-1}}{2}+m_\alpha^2\times\sin^2(\alpha_i-\alpha_{i-1})\times\sin^2\theta_{i-1}\times\sin^2\theta_i\right)^{\frac{1}{2}},$$

где m_θ - средняя квадратическая погрешность определения угла отклонения оси ствола скважины от вертикали: θ_i, θ_{i-1} и α_i, α_{i-1} – соответственно углы отклонения оси ствола скважины от вертикали и азимуты вертикальной плоскости в начале и в конце интервала измерений; m_α - средняя квадратическая погрешность определения азимута.

Допустимые величины отклонений точек вскрытия пласта скважиной от их проектного местоположения по каждому продуктивному горизонту определяют исходя из параметров, приведенных в табл. 8.

Таблица 8 - Допустимые величины отклонений точек вскрытия пласта скважиной от их проектного местоположения по каждому продуктивному горизонту

Глубина добывающих скважин H, м	Платформенные области			Складчатые области		
	Расстояние S между скважинами, м	Допустимые отклонения		Расстояние S между скважинами, м	Допустимые отклонения	
		в % от S	в метрах		в % от S	в метрах
До 2000	200	10	20	135	15	20
2000-2500	250	12	30	150	20	30
2500-3000	267	15	40	160	25	40
более 3000	250	20	50	167	30	50
Примечание. Допустимые значения горизонтальной проекции отклонения забоя скважины от устья для разведочных скважин складчатых областей составляют 1 и 5% для опорных и поисковых скважин платформенных и складчатых областей, соответственно. При S и H больше указанных в настоящей таблице горизонтальная проекция отклонения конечного забоя от устья скважины не должна превышать 50 м.						

Для расстояний между местоположениями точек вскрытия менее указанных в табл. 7 допуски установлены исходя из предельных значений погрешностей применяемых в настоящее время технических средств и методики инклинометрических измерений.

При определении расстояний между проектными и фактическими точками вскрытия пласта вводят поправку за наклон, если фактические углы наклона и расстояния больше указанных в табл. 9.

Таблица 9 - поправку за наклон, если фактические углы наклона и расстояния больше указанных в табл.

Минимальный угол наклона пласта, град	Масштаб карты разреза	Минимальное расстояние между точками вскрытия пласта, м
10	1:10 000	135
15	1:25 000	135
15	1:50 000	300

Оценивать положение характерной точки оси ствола скважины можно также на плоскости и в пространстве через эллипс и эллипсоид погрешностей, соответственно.

Для сравнения фактического положения характерной точки оси ствола скважины с проектным ее положением необходимо иметь дежурный план проводки скважины в масштабе 1:500-1:2000, на котором изображена проектная и строится фактическая трассы оси ствола скважины.

Вокруг проектного положения характерной точки радиусом R, равным значению допуска, в соответствующем масштабе строят окружность.

Точку фактического местоположения накрывают эллипсом погрешностей. При этом может быть один из пяти приведенных на рис. 38 случаев:

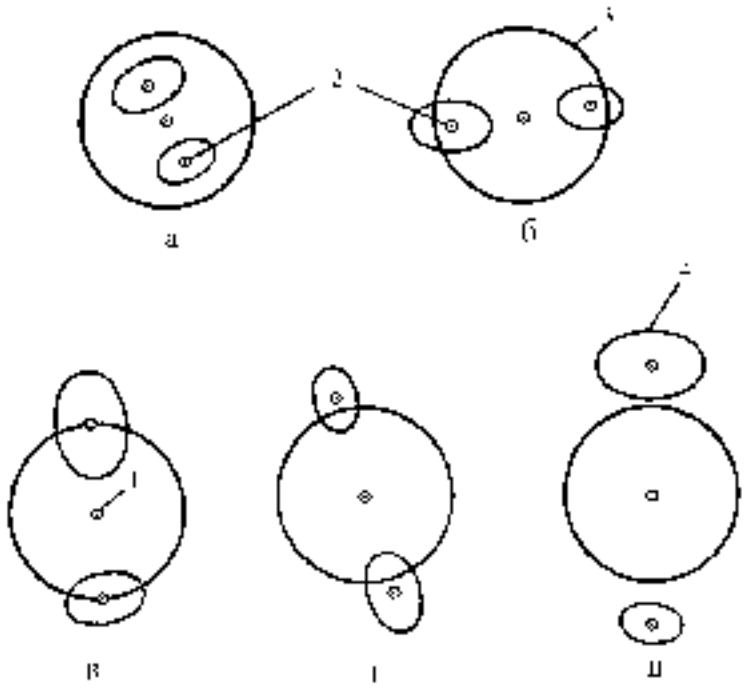


Рисунок 38 - Возможные случаи попадания характерной точки оси ствола скважины в заданную зону допуска:

1 – проектное местоположение характерной точки; 2 – возможное фактическое местоположение характерной точки; 3 – граница зоны допустимого отклонения возможного фактического местоположения характерной точки; 4 – эллипс погрешностей, накрывающий фактическое местоположение характерной точки в плане с доверительной вероятностью 0,95

- эллипс погрешностей находится в пределах границы допуска (рис. 38, *а*);
- характерная точка находится внутри границы допуска, а эллипс погрешностей частично выходит за пределы допуска (рис. 38, *б*);
- характерная точка находится на линии, обозначающей границы допуска, а 50% площади эллипса погрешностей выходят за пределы допуска (рис. 38, *в*);
- характерная точка находится за пределами допуска, но какая-то часть эллипса погрешностей (менее 50%) накрывает допуск (рис. 38, *г*);
- эллипс погрешностей находится за пределами границы допуска (рис. 38, *д*).

В первом случае можно констатировать, что характерная точка попала в зону, предусмотренную проектом работ, и работу по проводке скважины оценивают на “отлично”.

При ситуации два работу по проводке скважины оценивают на “хорошо”.

При ситуации три работу по проводке скважины оценивают на “удовлетворительно”.

При ситуациях четыре и пять скважину в эксплуатацию не принимают. Положение оси ствола скважины в пространстве необходимо исправить.

Оформление результатов измерений, вычисление окончательных координат и определение погрешностей измерений, а также выдачу материалов заказчику должны производить в соответствии с требованиями Инструкции по инклинометрии.

При кустовом бурении запрещается начинать строительство очередной скважины, если на предыдущую отсутствуют данные по пространственному положению ее ствола.

7 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ СТВОЛА НАКЛОННО НАПРАВЛЕННОЙ СКВАЖИНЫ

В процессе инклинометрических работ в отдельных характерных точках ствола скважины измеряется глубина по бурильной колонне l, зенитный угол Θ и азимут α (рис. 39).

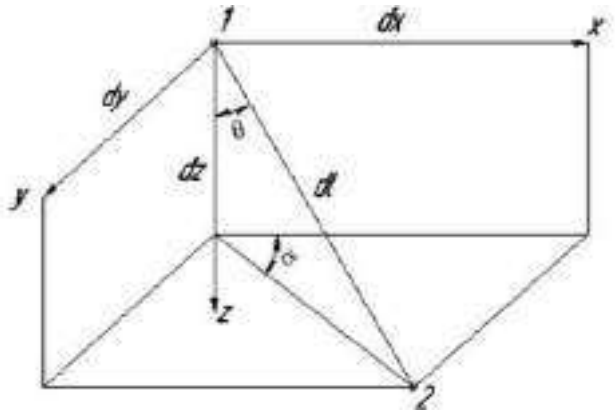


Рисунок 39

Задача построения траектории ствола скважины состоит в том, чтобы по известному массиву инклинометрических данных определить координаты соответствующих точек в прямоугольной системе координат xyz, связанной с устьем скважины, т.е. определить глубину Z и горизонт, смещая в направлении север – юг, ось X – север, Y – восток.

При расчетах принимаем, что ошибки измерения имеют нормальное распределение с нулевыми средними и известными СКП соответственно.

Элементарные приращения координат будут следующими:

$$d_x = d_l \cdot sin\theta sin\alpha;$$
$$d_y = d_l \cdot sin\theta cos\alpha;$$
$$d_z = d_l \cdot cos\theta.$$

Приращение координат Дх, Ду, Дz на исследуемом интервале Дl, определяются путем интегрирования элементарных приращений по длине интервала.

$$\Delta x = \int_0^{\Delta l} sin\theta(l) sin\alpha(l) \cdot dl \ ;$$
$$\Delta y = \int_0^{\Delta l} cos\theta(l) \cdot dl \ .$$

В простейших методах для определения приращений координат используют результаты измерения зенитного угла и азимута в двух соседних точках (двухточечные методы). В более точных и сложных методах используют результаты измерения по большему числу точек.

7.1 Тангенциальный метод

В качестве исходных данных используются значения зенитного угла и азимута, измеренные в нижней точке интервала. Делается допущение, что оба эти угла сохраняют свои значения на всей протяженности исследуемого интервала, который представляет собой прямую.

$$\Delta x = \Delta l \cdot sin\theta_2 cos\alpha_2 \ ;$$
$$\Delta y = \Delta l \cdot sin\theta_2 sin\alpha_2 \ ;$$
$$\Delta z = \Delta l \cdot cos\theta_2 \ .$$

Является самым простым методом, но наиболее ошибочным.

7.2 Метод усреднения углов

Исследуемый участок ствола скважины между двумя точками замера представляется отрезком прямой. Однако зенитный угол и азимут на протяжении участка интерполяции принимается равным средним арифметическим соответствующих углов, замеренных на конце интервала.

$$\Delta x = \Delta l \cdot \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{2} \cos(\alpha_1 + \alpha_2);$$

$$\Delta y = \Delta l \cdot \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{2} \sin(\alpha_1 + \alpha_2);$$

$$\Delta z = \Delta l \cdot \frac{\cos(\theta_1 + \theta_2)}{2}.$$

“1” – означает параметр замеренный у верхнего конца скважины.

7.3 Балансный тангенциальный метод

Исследуемый интервал разбивается на два интервала одинаковой длины: верхний и нижний, каждый участок интерполируется отрезком прямой, причем зенитный угол и азимут прямой, интерполирующей верхний участок, принимаются равными соответствующим углам в верхней точке замера, а зенитный угол и азимут прямой, интерполирующей нижний участок, принимаются равным соответствующим углам в нижней точке замера, таким образом, отрезки прямой

Приращения координат находят как сумму приращений координат для верхнего и нижнего участка.

$$\Delta x = \frac{\Delta l}{2(\sin\theta_1 \cos\alpha_1 + \sin\theta_2 \cos\alpha_2)};$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l}{2(\sin\theta_1 \sin\alpha_1 + \sin\theta_2 \sin\alpha_2)};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l}{2}(\cos\theta_1 + \cos\theta_2).$$

7.4 Метод расчета по радиусу кривизны

Участок ствола скважины между двумя точками замера апроксимируется пространственной кривой. Принимается, что проекции исследуемого участка ствола между точками замера на вертикальную и горизонтальную плоскость представляют собой дуги окружностей. В каждой из плоскостей эти дуги проходят таким образом, что касательные к ним в точках, являющиеся проекциями точек замера, направлены по отношению к исходной координатной сетке под углами, равными соответственно зенитным углам и азимутом в этих точках.

Участок прямой между двумя точками замера характеризуется радиусом кривизны проекции треугольника на вертикальную плоскость (дуга

окружности) и радиусом кривизны проекции на горизонтальную плоскость.

Выражения для приращения координат можно получить на основании следующих соотношений:

$$R_{\text{в}} = \Delta l(\theta_2 - \theta_1);$$

$$\Delta z = R_{\text{в}}\left(\sin[\theta_2 - \sin\theta_1) == \frac{\Delta l(\sin\theta_2 - \sin\theta_1)}{\theta_2 - \theta_1}\right]$$

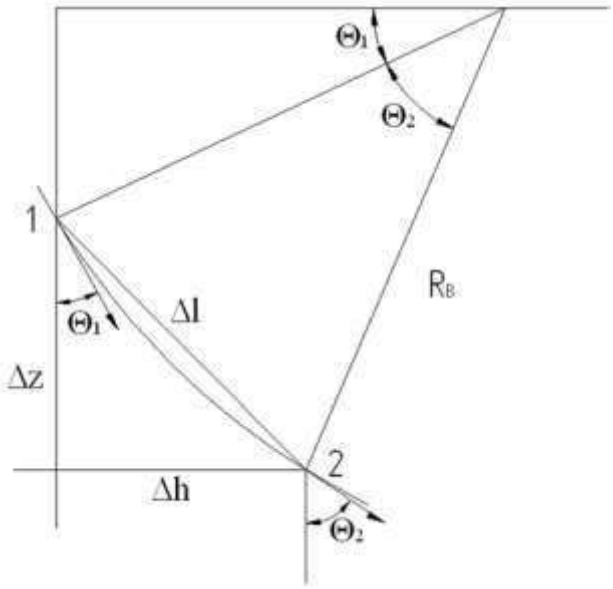


Рисунок 40

В этой методике принимается , что длина дуги окружности $\Delta S \approx \Delta l_{\Delta h}$, т.е это справедливо при небольшой величине азимута,

$$Rr = \frac{\Delta h}{\alpha_2 - \alpha_1};$$

$$\Delta x = Rr * \text{EMBED Equation.3} = \frac{\Delta h * (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$\Delta h = Rr * \text{EMBED Equation.3} = \frac{\Delta h * (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)}{(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)}{2 * (\Theta_2 - \Theta_1) * \sin\frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)}{2 * (\Theta_1 - \Theta_2) * \sin\frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l * (\sin\Theta_2 - \sin\Theta_1)}{\Theta_2 - \Theta_1}.$$

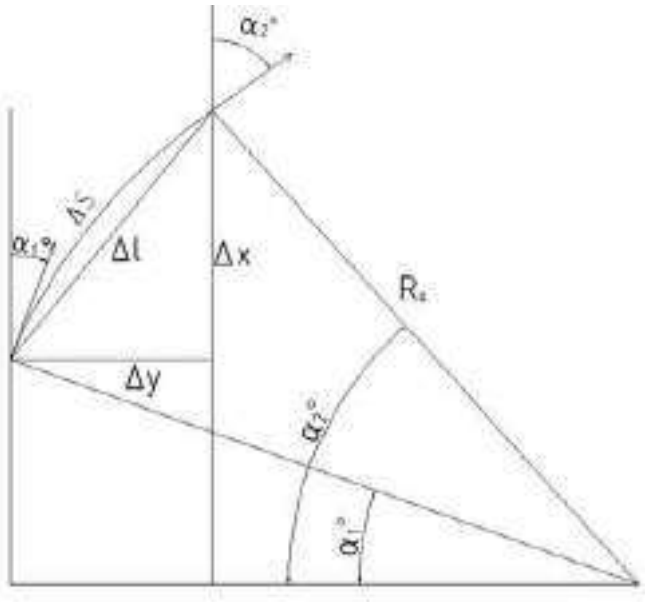


Рисунок 41

7.5 Метод постоянной кривизны

$$\Delta S = \frac{\Delta h * (\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta x = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)}{2 * (\Theta_2 - \Theta_1) * \sin \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l * (\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2) * (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)}{2 * (\Theta_1 - \Theta_2) * \sin \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{2}};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l * (\sin\Theta_2 - \sin\Theta_1)}{\Theta_2 - \Theta_1}.$$

7.6 Метод кольцевых дуг

В методе расчета кольцевых дуг исследуемый участок представляется в виде дуги. Метод КД обеспечивает более плавню стыковку дуг в точках замера, исключаются сколообразные изменения направления вектора в точке замера.

Длина дуги такая же как и измеренные по створу скважины расстояния.

Обозначим единичные касательные вектора в точках замера как $\bar{V}_1$ и $\bar{V}_2$.

$cos_1\gamma_x = sin\theta_1 * sin\alpha_1$

$$cos_1\gamma_x = sin\theta_1 * sin\alpha_1 \qquad cos_2\gamma_x = sin\theta_2 * sin\alpha_2$$
$$cos_1\gamma_y = sin\theta_1 * cos\alpha_1 \qquad cos_2\gamma_y = sin\theta_2 * cos\alpha_2$$
$$cos_1\gamma_z = cos\theta_1 \qquad cos_2\gamma_z = cos\theta_2$$

D – это между касательными векторами $\overline{V_1}$ и $\overline{V_2}$.

$$cosD = cos_1\gamma_x * cos_2\gamma_x + cos_1\gamma_y * cos_2\gamma_y + * cos_1\gamma_z cos_2\gamma_z$$

$$\overline{U} = \frac{\overline{V_1} + \overline{V_2}}{(\overline{V_1} + \overline{V_2})}$$

где с- длина хорды искомой дуги

$$c = 2 * \Delta l * {\sin\left(\frac{D}{2}\right)}/{D}$$

$$(\overline{V_1} + \overline{V_2}) = 2 * \frac{\cos D}{2}$$

$$\overline{\Delta p} = \overline{Cu} = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} * \frac{(\overline{V_1} + \overline{V_2})}{2}$$

Вместо $\overline{V_1}$ и $\overline{V_2}$ подставляем сумму их направляющих косинусов по соответствующим координатным осям.

$$\Delta x = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{2} * (sin\theta_1 sin\alpha_1 + sin\theta_2 sin\alpha_2)$$

$$\Delta y = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{2} * (sin\theta_1 cos\alpha_1 + sin\theta_2 cos\alpha_2)$$

$$\Delta z = \Delta l * \frac{tg * \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{2} * (cos\theta_1 + cos\theta_2)$$

$$cosD = \cos(\theta_2 - \theta_1) - sin\theta_1 sin\theta_2 [1 - \cos(\alpha_2 - \alpha_1)]$$

8 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

8.1 Нормативные ссылки

СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения».

СНиП 11-01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве».

СНиП 14-01-96 «Основные положения создания и ведения государственного градостроительного кадастра Российской Федерации».

СНиП 22-01-85 «Геофизика опасных природных воздействий».

СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах».

ГОСТ 24846-81 «Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений».

ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету». Изменение № 1.

ГОСТ 22268-76 «Геодезия. Термины и определения».

ГОСТ 22651 «Картография. Термины и определения».

ГОСТ 21.101-93 «Основные требования к рабочей документации».

ГОСТ 21.508-93 «Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов».

ГОСТ 21.510-83* «СПДС. Пути железнодорожные. Рабочие чертежи».

ГОСТ 21.511-83* «СПДС. Автомобильные дороги. Земляное полотно и дорожная одежда».

СП 11-101-95 «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений».

«Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения градостроительной документации» (Госстрой России. - М.: ГП ЦПП, 1994).

ГКИНП-17-002-93. «Инструкция о порядке осуществления государственного геодезического надзора в Российской Федерации» (Роскартография. - М, 1993).

ГКИНП-07-016-91 «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей СССР» (ЦНИИГАиК. - М.: Недра, 1991).

«Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» (ГУГК СССР. - Недра, 1989).

«Условные знаки для топографических планов масштаба 1:500. Правила начертания» (Мосгоргеотрест. - М, 1978).

«Классификатор топографической информации (Информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000)» ГУГК СССР. - М.: Наука, 1986.

ПР 50.2.002-94 «ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм».

ПТБ-88. «Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах».

* Проектная подготовка строительства включает в себя: определение цели инвестирования, разработку ходатайства (декларации) о намерениях инвестирования и обоснования инвестиций в строительство, разработку градостроительной, проектной и рабочей документации строительства новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений.

8.2 Инженерные изыскания

Инженерные изыскания - комплекс технических и экономических исследований района строительства с целью получения исходных данных, необходимых для разработки наиболее целесообразных технико-экономических решений при проектировании, строительстве и реконструкции зданий и сооружений. И. и. предшествуют всем видам строительства: промышленного, жилищного, гражданского, гидротехнического, транспортного, дорожного и др. Характер И. и. изменяется в зависимости от вида строительства и степени изученности обследуемого района.

До технических изысканий проводятся, как правило, экономические исследования в целях выбора района (пункта) размещения объекта и экономического обоснования намечаемого строительства. Правильность выбора места строительства существенно облегчается, если на территории предварительно проведена *районная планировка*, требования которой должны учитываться при И. и.

Программа И. и. должна предусматривать интересы сохранения окружающей среды — продуктивности, чистоты и привлекательности природы — и обеспечивать предотвращение или сведение к минимуму того ущерба, который может быть ей нанесён как самими И. и., так и последующим строительством.

Комплекс технических изысканий включает изучение топографических, геологических, гидрологических и метеорологических условий района строительства, обследование месторождений местных строительных материалов, сбор исходных данных для составления проекта организации строительства и смет, а также проведение необходимых согласований. Особый характер имеют И. и. автодорожные, железнодорожные, для про-

кладки нефте- и газопроводов, линий связи и электропередачи (так называемые линейные изыскания).

И. и. проводятся, как правило, в один этап, включающий получение исходных данных для разработки технического проекта и рабочих чертежей. Для сложных в инженерном отношении объектов И. и. проводятся в два этапа на основе технических заданий, в которых определяются основной состав, детальность и порядок проведения И. и. Изыскательские работы обычно выполняются проектным институтом, осуществляющим проектирование объекта, с привлечением специализированных организаций.

В проведении изыскательских работ различают три периода: подготовительный, полевой и камеральный. В подготовительный период собираются и изучаются необходимые данные по объекту и уточняется задание, выдаваемое изыскательской партии. В период полевых работ проводятся геодезические, топографические, буровые и др. работы. Камеральная обработка состоит в систематизации полевых материалов, составлении топографических планов, геологических разрезов, гидрологических, климатических и др. характеристик района и строительной площадки. Ускорение, повышение качества и снижение стоимости И. и. достигаются при проведении их по единой методологии путём концентрации И. и. в крупных специализированных организациях, имеющих в своём составе постоянно действующие экспедиции и партии.

Инженерно-геодезические изыскания для строительства должны обеспечивать получение топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности (в том числе дна водотоков, водоемов и акваторий), существующих зданиях и сооружениях (наземных, подземных и надземных) и других элементах планировки (в цифровой, графической, фотографической и иных формах), необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий территории строительства и обоснования проектирования, а также создания и ведения государственных кадастров, обеспечения управления территорией.

Инженерно-геодезические изыскания выполняются как самостоятельный вид инженерных изысканий и в комплексе с другими видами инженерных изысканий (изыскательских работ и исследований), в том числе инженерно-геологическими, инженерно-гидрометеорологическими и инженерно-экологическими изысканиями, а также изысканиями грунтовых строительных материалов и источников водоснабжения на базе подземных вод.

Инженерно-геодезические изыскания следует выполнять, как правило, в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

Подготовительные работы

В подготовительном этапе должно быть выполнено:

- получение технического задания и подготовка договорной (контрактной) документации;

- сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет на район (участок, площадку) изысканий, а также топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов и данных, находящихся в государственных и ведомственных фондах в архиве изыскательской организации;
- подготовка программы (предписания) инженерно-геодезических изысканий в соответствии с требованиями технического задания заказчика и пп. 4.14. и 5.6 СНиП 11-02-96, с учетом опасных природных и техногенных условий территории;
- осуществление в установленном порядке регистрации (получение разрешений) производства инженерно-геодезических изысканий.

Полевые работы

В полевом этапе должны быть произведены рекогносцировочные обследования территории, и комплекс полевых работ в составе инженерно-геодезических изысканий, а также необходимый объем вычислительных и других работ по предварительной обработке полученных материалов и данных для обеспечения контроля их качества, полноты и точности.

Камеральные работы

В камеральном этапе должны быть выполнены:

- окончательная обработка полевых материалов и данных с оценкой точности полученных результатов, с необходимой для проектирования и строительства информацией об объектах, элементах ситуации и рельефа местности, о подземных и надземных сооружениях с указанием их технических характеристик, а также об опасных природных и техноприродных процессах;
- составление и передача заказчику технического отчета (пояснительной записки) с необходимыми приложениями по результатам выполненных инженерно-геодезических изысканий; передача в установленном порядке отчетных мате-, риалов выполненных инженерно-геодезических изысканий в государственные фонды (п. 4.25 СНиП 11-02-96).

8.3 Планово-высотное обоснование

При производстве инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений геодезической основой служат точки (пункты) планово-высотной съемочной геодезической сети, создаваемой в виде магистральных ходов, прокладываемых вдоль трассы.

Магистральные ходы при изысканиях линейных сооружений должны быть привязаны в плане и по высоте к пунктам государственной или опорной геодезической сети не реже чем через 30 км (при изысканиях магистральных каналов 8 км).

При удалении пунктов государственной или опорной геодезической сети от трассы на расстояние более 5 км допускается вместо плановой привязки определять истинные азимуты сторон магистрального хода не реже чем через 15 км. Методы определения истинных азимутов и требования к точности измерений должны устанавливаться в программе изысканий.

При изысканиях линейных сооружений на территориях городов и других поселений, а также промышленных (агропромышленных) и горнодобывающих предприятий плановая и высотная привязка съемочной геодезической сети к пунктам государственной или опорной геодезической сети обязательна.

Методические указания, на которые мы будем опираться, разработаны во ВНИМИ на основе обобщения результатов исследования спутниковых систем за рубежом и на горных предприятиях Российской Федерации.[1]

Теодолитные ходы

Теодолитные ходы между пунктами опорной геодезической сети прокладываются в виде отдельных ходов с узловыми точками.

Допускается проложение висячих теодолитных ходов. На незастроенных территориях длина хода не должна быть более 500 м при съемке в масштабе 1:5000, 300 м - при съемке в масштабе 1:2000 и 150 м - при съемке в масштабе 1:1000 и 1:500. Длины висячих ходов на застроенных территориях должны приниматься соответственно с коэффициентом 0,7.

При развитии съемочной геодезической сети полярным способом с применением электронных тахеометров длины полярных направлений допускается увеличивать до 1000 м. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов не должна превышать 15".

Отдельный теодолитный ход должен опираться на два исходных пункта и два исходных дирекционных угла.

Развитие планово-высотной съемочной сети с использованием электронных тахеометров с регистрацией и накоплением результатов измерений (горизонтальных проложений, дирекционных углов, координат и высот пунктов и точек) допускается выполнять одновременно с производством топографической съемки.

При создании (развитии) съемочной геодезической сети предельные длины теодолитных ходов и их предельные абсолютные невязки следует принимать в соответствии с табл. 10.

Таблица 10 - Предельные длины теодолитных ходов и их предельные абсолютные невязки

Масштаб топографической съемки	Предельная длина теодолитного хода, км		Предельная абсолютная невязка теодолитного хода, м	
	между исходными геодезиче-	между исходными пунктами и узловыми	Застроенная территория, открытая	Незастроенная территория, закрытая дре-

	скими пунктами	точками (или между узловыми точками)	местность на незастроенной территории	весиной и кустарниковой растительностью
1:5000	6,0	4,2	2,0	3,0
1:2000	3,0	2,1	1,0	1,5
1:1000	1,8	1,3	0,6	0,9
1:500	0,9	0,6	0,3	0,4

Примечания

1. При использовании для измерения сторон теодолитного хода светодальномеров и электронных тахеометров предельная длина хода может быть увеличена в 1,3 раза, при этом предельные длины сторон хода не устанавливаются, а количество сторон в ходе не должно превышать:
- при съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000 в открытой местности - 50 и в закрытой - 100;
- при съемке в масштабе 1:1000 - 40 и 80 соответственно характеристике местности, а при съемке в масштабе 1:500 - 20.
2. Предельные длины теодолитных ходов и их предельные абсолютные невязки для съемки в масштабе 1:200 устанавливаются в программе изысканий. Предельные длины теодолитных ходов на существующих железнодорожных станциях определяются схемой станций (длиной парков).

Допустимые невязки измерений в геодезических ходах при изысканиях для строительства линейных сооружений должны приниматься согласно табл. 11.

Таблица 11 - Допустимые невязки измерений в геодезических ходах при изысканиях линейных сооружений

№№ п/п	Геодезические ходы при изысканиях для строительства линейных сооружений	Допустимые невязки измерений		
		угловых, мин	линейных	высотных, мм
1	Ходы съемочной геодезической сети (магистральные ходы, ходы привязки к пунктам государственной или опорной геодезической сети, ходы планово-высотной привязки аэрофотоснимков) при изысканиях:			
	новых железных дорог	$0{,}3\sqrt{n}$	11/4000	$30\sqrt{L}$
	новых автомобильных дорог	$1\sqrt{n}$	1/2000 (1/1000*)	$50\sqrt{L}$
	Трубопроводов с условным диаметром:			
	до 1000 мм	$1{,}5\sqrt{n}$	1/1000	$50\sqrt{L}$
	свыше 1000 м	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
	Линий электропередачи, связи, канатно-	$1{,}5\sqrt{n}$	1/1000	$50\sqrt{L}$

	подвесных дорог			
	Магистральных каналов и коллекторов, линейных сооружений на застроенных территориях	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
2	Полевое трассирование (вынос трассы в натуру) новых железных и автомобильных дорог, трубопроводов, магистральных каналов и коллекторов	$1\sqrt{n}$	1/2000 (1/1000*)	$50\sqrt{L}$
3	Ходы съемочной геодезической сети при изысканиях для реконструкции и расширения существующих дорог:			
	базисные и съемочные ходы на железнодорожных станциях, магистральные ходы на перегонах в населенных пунктах;	$0{,}3\sqrt{n}$	1/4000	$30\sqrt{L}$
	съемочные ходы на железнодорожных станциях, базисные ходы на разъездах, магистральные ходы на перегонах и автомобильных дорогах вне населенных пунктов	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
4	Линейные измерения при разбивке пикетажа (двойной промер мерной лентой)	-	1/2000	-

Обозначения: n - число углов в ходе; L - длина хода, км; (*) - в трудных условиях пересеченной и горной местности.

Примечания

1. При изысканиях для строительства трубопроводов, линий электропередачи и канатно-подвесных дорог в пересеченной и горной местности может выполняться тригонометрическое нивелирование.
2. Допустимые невязки измерений при изысканиях для строительства высокоскоростных железных дорог устанавливаются в соответствии с требованиями производственно-отраслевых (ведомственных) нормативных документов.

Поправка за приведение длин линий к горизонту должна учитываться при величине угла наклона рельефа местности более 1,5°.

В длины линий, измеренные стальными лентами и рулетками, следует вводить поправку за температуру, если разность температуры воздуха при компарировании и измерении линий превышает 8 °С.

Поправки за компарирование вводятся, когда длина мерного прибора отличается от номинальной более чем на 1/10000.

Измерение углов в теодолитных ходах должно производиться теодолитами (типа 3Т5КП, Т15МКП и 4Т30П или им равноточными) одним приемом с перестановкой лимба между полуприемами (для теодолитов с двусторонней системой отсчета на величину, близкую к 90°, а для теодолитов с односторонней системой отсчета - в пределах 5°).

Расхождения значений угла между полуприемами не должны превышать 45″.

Угловые невязки в теодолитных ходах и полигонах не должны превышать величины $f_\beta = 1'\sqrt{n}$, где n - число углов в ходе (полигоне).

Определение положения (координат) точек постоянного съемочного обоснования (углов капитальных зданий и сооружений, центров люков смотровых колодцев, опор линий электропередачи и др.) следует выполнять полярным способом с пунктов опорной геодезической сети и точек теодолитных ходов первого порядка. При этом расхождения (в минутах) между результатами измерений примыкающего угла в полуприемах не должны превышать величины Δ=50/L, где L - расстояние в метрах до определенной точки, которое не должно превышать длины мерного прибора (но не более 50 м). Предельные длины полярных направлений, измеряемые светодальномерами или электронными тахеометрами, не должны превышать 1000 м.

Съемочные сети можно развивать методом триангуляции (трилатерации) взамен теодолитных ходов, а также прямыми и обратными геодезическими засечками.

Между исходными сторонами (базисами) или пунктами опорных (государственных) геодезических сетей допускается построение цепочки треугольников триангуляции в количестве, не более:

- 20 - для съемки в масштабе 1:5000;
- 17- для съемки в масштабе 1:2000;
- 15 - для съемки в масштабе 1:1000;
- 10 - для съемки в масштабе 1:500.

Не допускается развитие геодезических сетей и цепочек треугольников, опирающихся на одну исходную сторону.

Длина цепи треугольников триангуляции не должна превышать допустимой длины теодолитного хода для соответствующего масштаба съемки, согласно табл. 9.

Базисы (выходные стороны) триангуляции следует измерять с относительной средней квадратической погрешностью не более 1/5000.

Углы в треугольниках должны быть не менее 20°, а длины сторон не менее 150 м.

Измерение углов следует производить в соответствии с п. 5.34. (СП 11-104-97)

Невязки в треугольниках не должны превышать 1,5'.

В измеренные на пунктах углы должны вводиться поправки за центрировку и редукцию, если величины линейных элементов приведения превышают 1/10000 длин линий (сторон).

Прямые засечки следует выполнять не менее чем с трех пунктов опорной геодезической сети так, чтобы углы между смежными направлениями на определяемой точке были не менее 30° и не более 150°.

Обратные засечки должны выполняться не менее чем по четырем пунктам опорной геодезической сети при условии, чтобы определяемая точка не находилась вблизи окружности, проходящей через три исходных пункта.

Комбинированные засечки должны строиться сочетанием прямых и обратных засечек с использованием не менее трех исходных пунктов.

При создании съемочной геодезической сети могут быть использованы: метод определения двух точек по двум исходным пунктам (Задача Ганзена) и линейные засечки с трех и более исходных пунктов.

Техническое нивелирование

Техническим нивелированием должны определяться высоты точек съемочной сети, а также пунктов триангуляции (трилатерации) и полигонометрии, высоты которых не определены нивелированием III-IV классов.

Ходы технического нивелирования должны прокладываться, как правило, между реперами (марками) нивелирования II-IV классов в виде отдельных ходов или систем ходов (полигонов).

Допускаются замкнутые ходы технического нивелирования, опирающиеся на один исходный репер (ходы, прокладываемые в прямом и обратном направлениях).

При построении высотной съемочной сети, в случае отсутствия на участке инженерных изысканий реперов и марок государственной нивелирной сети, ходы технического нивелирования должны закрепляться нивелирными знаками из расчета не менее двух на участок работ и не реже чем через 3 км один от другого.

Допустимые длины ходов технического нивелирования в зависимости от высоты сечения рельефа топографической съемки должны приниматься по табл. 12.

Таблица 12 - Допустимые длины ходов технического нивелирования в зависимости от высоты сечения рельефа топографической съемки

Ходы технического нивелирования	Предельная длина хода, км, при высоте сечения рельефа, м		
	0,25	0,5	1 и более
Между двумя исходными реперами (марками)	2	8	16
Между исходным пунктом и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1	4	8

Техническое нивелирование следует выполнять нивелирами (типа 3Н-5Л, 2Н-10КЛ или им равноточными), а также теодолитами с компенсаторами (типа Т15МКП и др.) или уровнем при трубе, с отсчетом по средней нити по двум сторонам рейки.

Расхождения между значениями превышений, полученными на станции по двум сторонам реек, не должен быть более 5 мм.

Расстояние от инструмента до мест установки реек должны быть по возможности равными и не превышать 150 м.

Невязка хода технического нивелирования или полигона не должна превышать величины $50\sqrt{L}$, мм, где L - длина хода, км.

При числе станций на 1 км хода более 25 невязка хода нивелирования или полигона не должна превышать величины $10\sqrt{n}$, мм, где n - число станций в ходе.

Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование следует применять для определения высот точек съемочной геодезической сети при топографических съемках с высотой сечения рельефа через 2 и 5 м, а на всхолмленной и пересеченной местности - через 1 м.

В качестве исходных для тригонометрического нивелирования должны использоваться пункты, высоты которых определены методом геометрического нивелирования. В горных районах допускается использовать в качестве исходных пункты государственной или опорной геодезической сети, высоты которых определены тригонометрическим нивелированием.

Длина ходов тригонометрического нивелирования не должна превышать при топографических съемках с высотой сечения рельефа через 1, 2 и 5 м соответственно 2, 6 и 12 км.

Тригонометрическое нивелирование точек съемочной сети должно производиться в прямом или обратном направлениях с измерением вертикальных углов теодолитом по средней нити одним приемом при двух положениях вертикального круга.

Допускается приложение висячих ходов тригонометрического нивелирования длиной, не более указанной в п. 5.27, с измерением вертикальных углов в одном направлении по трем нитям при двух положениях вертикального круга. Колебание «места нуля» на станции не должно превышать 1. Высоты инструмента и визирных целей следует измерять с точностью до 1 см.

Расхождение между прямым и обратным превышениями для одной и той же линии при тригонометрическом нивелировании не должно быть более 0,04S, м, где S - длина линии, выраженная в сотнях метров.

Допустимые невязки в ходах и замкнутых полигонах тригонометрического нивелирования не должны превышать величины

$\frac{0,04S}{\sqrt{n}}$, см,

где S - длина хода в метрах, а n - число линий в ходе или полигоне.

При изысканиях для строительства линейных сооружений на незастроенных территориях начальная и конечная точки трасс (если они не фиксированы на местности), вершины углов поворота, а также створные точки прямолинейных участков в пределах взаимной видимости (но не ре-

же чем через 1 км) должны закрепляться временными знаками (деревянными и железобетонными столбами, металлическими уголками и др.).

На застроенных территориях закрепление трасс, как правило, не производится, а их точки должны привязываться не менее чем тремя линейными промерами к постоянным предметам местности (углы зданий, сооружений и др.).

При изысканиях для строительства линейных сооружений нивелирные знаки должны устанавливаться:

по трассам автомобильных и железных дорог, магистральных каналов не реже чем через 2 км;

по трассам трубопроводов не реже чем через 5 км (в том числе на переходах через большие водотоки и на организуемых водомерных постах).

На мостовых переходах через большие реки следует устанавливать постоянные реперы на обоих берегах реки.

Геодезические пункты, закрепленные постоянными знаками (грунтовыми и стенными реперами, марками и др.), и долговременно закрепленные точки съемочных сетей подлежат учету и сдаче для наблюдения за их сохранностью заказчику и органам архитектуры и градостроительства в установленном порядке.

Обработка результатов полевых измерений при создании (развитии) съемочной геодезической сети производится на ПЭВМ или на основе использования других средств вычислительной техники. Уравнивание съемочной сети производится упрощенными способами при условии отсутствия ходов более 2-го порядка.

Висячие ходы разрешается вычислять с пунктов опорных (государственных) геодезических сетей и точек съемочных сетей после их уравнивания. При этом в съемочных сетях значения углов следует вычислять до 0.1’, а координат - до 0,01 м. Значения высот точек в ходах технического нивелирования должны вычисляться до 0,001 м и в ходах тригонометрического нивелирования - до 0,01 м.

В результате выполнения инженерно-геодезических изысканий по созданию геодезической основы должны быть представлены:

- ведомости обследования исходных геодезических пунктов (марок, реперов и др.);
- схемы планово-высотных геодезических сетей с указанием привязок к исходным пунктам;
- материалы вычислений, уравнивания и оценки точности, ведомости (каталоги) координат и высот геодезических пунктов, нивелирных знаков и точек, закрепленных постоянными знаками;
- данные о метрологической аттестации средств измерений (исследований, поверок и эталонирования приборов, компарирования реек и мерных приборов и т.д.);

- акты о сдаче геодезических пунктов и точек геодезических сетей, закрепленных постоянными знаками, на наблюдение за их сохранностью;
- акты полевого (камерального) контроля.

По опорной геодезической сети дополнительно представляются:

- карточки установленных постоянных геодезических знаков и центров;
- журналы измерения направлений (углов), сводки измеренных направлений и листы графического определения элементов приведения;
- абрисы геодезических пунктов, привязанных к постоянным предметам местности;
- абрисы нивелирных знаков (марок, стенных и грунтовых реперов);
- журналы измерения базисов и длин линий, материалы по определению их высот;
- журналы нивелирования;
- ведомости превышений.

По планово-высотной съемочной геодезической сети дополнительно представляются:

- абрисы точек, закрепленных постоянными знаками, и точек постоянного съемочного обоснования;
- журналы измерения углов и линий, технического и тригонометрического нивелирования.

Примечание

Результаты выполненных геодезических измерений могут быть представлены в виде данных, полученных с регистрирующих устройств, спутниковой геодезической аппаратуры или других носителей информации.

8.1 Требования к производству и обеспечению точности топографических съемок при инженерных изысканиях для строительства

Топографическая съемка местности при инженерно-геодезических изысканиях для строительства выполняется методами: горизонтальным, высотным (вертикальным), мензульным, тахеометрическим, нивелированием поверхности, наземным фототопографическим, стереотопографическим, комбинированным аэрофототопографическим, с использованием спутниковой геодезической аппаратуры (приемников GPS и др.), а также сочетанием различных методов.

Наименование	Горизонтальная и высотная (вертикальная) съемка	Мензульная съемка	Тахеометрическая съемка
Предельные расстояния, м, от прибора до четких контуров местности при измерении:			

Электронным тахеометром при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	1000
1:2000	750	-	750
1:1000	400	-	400
1:500	250	-	250
Рулеткой (лентой) при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	250	-	250
1:1000	180	-	180
1:500	120	-	120
Нитяным дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	150	150
1:2000	100	100	100
1:1000	80	80	80
1:500	60	60	60
Оптическим дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	180	-	180
1:1000	120	-	120
1:500	80	-	80
Предельные расстояния, м, от прибора до нечетких контуров местности при измерении:			
Электронным тахеометром при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	1000
1:2000	1000	-	1000
1:1000	600	-	600
1:500	375	-	375
Рулеткой (лентой) при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	370	-	370
1:1000	270	-	270
1:500	180	-	180
Нитяным дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	220-	220-
1:2000	150	150	150
1:1000	120	120	120
1:500	90	90	90
Оптическим дальномером при съемке в масштабах			
1:5000	-	-	-
1:2000	270	-	270
1:1000	180	-	180
1:500	120	-	120
Предельные расстояния, м, от прибора до рейки при съемке рельефа и измерении длин линий нитяным дальномером:			
в масштабе 1:5000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	-	250	250
1,0	-	300	300
2,0	-	350	350
5,0	-	350	350
в масштабе 1:2000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	200	200	200

1,0	250	250	250
2,0	250	250	250
в масштабе 1:1000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	150	150	150
1,0	200	200	200
в масштабе 1:500 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	100	100	100
1,0	150	150	150
Предельные расстояние между пикетами, м, съемке:			
в масштабе 1:5000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	-	70	60
1,0	-	100	80
2,0	-	120	100
5,0	-	150	120
в масштабе 1:2000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	40	50	40
1,0	50	60	50
2,0	60	70	60
в масштабе 1:1000 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	20	30	20
1,0	30	40	30
в масштабе 1:500 при высоте сечения рельефа, м			
0,5	15	20	15
1,0	20	30	20
Предельные длины съемочных ходов (тахеометрических и мензульных), м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	1000	1200
1:2000	-	500	600
1:1000	-	250	300
1:500	-	200	200
Предельные число линий в съемочных ходах (тахеометрических и мензульных), м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	5	6
1:2000	-	5	5
1:1000	-	3	3
1:500	-	2	2
Предельные длины сторон в съемочных ходах (тахеометрических и мензульных), м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	250	300
1:2000	-	200	200
1:1000	-	100	150
1:500	-	100	100
Предельная длина направления засечки, м, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	600	-
1:2000	50	300	-
1:1000	50	150	-
1:500	50	-	-
Погрешность центрирования, см, при съемке в масштабах:			
1:5000	-	25	1

1:2000	-	10	1
1:1000	-	5	1
1:500	-	5	1
Длины перпендикуляров, м, (без эккера /с эккером при съемке в масштабах:			
1:2000	8/60	-	-
1:1000	6/40	-	-
1:500	4/20	-	-
Предельные невязки съемочных (тахеометрических и мензульных) ходов:			
по высоте, см	-	$\frac{0{,}04S}{\sqrt{n}}$	$\frac{0{,}04S}{\sqrt{n}}$
в плане,м	-	-	$\frac{S}{400\sqrt{n}}$

Обозначения: S - длина хода в м, *n* - число линий в ходе

Примечания

1. Съемка в масштабе 1:500 основных углов капитальных зданий (сооружений) с измерением расстояний нитяным дальномером не допускается

2. Допускается проложение висячих ходов с двумя переходными точками от аналитически определенных пунктов (точек) при съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000 и с одной переходной точкой при съемке в масштабах 1:1000 и 1:500.

Инженерно-топографические планы при изысканиях для разработки градостроительной и проектной документации для строительства крупных промышленных предприятий, железных и автомобильных дорог, магистральных каналов и магистральных трубопроводов следует составлять, как правило, аэрофототопографическим методом по материалам аэрофотосъемки.

Наземную топографическую съемку следует производить в случаях, когда применение аэрофотосъемки экономически нецелесообразно, ее выполнение не представляется возможным или аэрофототопографический метод не обеспечивает требуемой точности составления планов.

При изысканиях для строительства железных и автомобильных дорог, магистральных каналов и магистральных трубопроводов наземная топографическая съемка выполняется, как правило, на площадках и в местах переходов и пересечений этих линейных сооружений.

Инженерно-топографические планы могут быть представлены в графическом или цифровом видах (цифровой инженерно-топографический план).

В соответствии с техническим заданием заказчика результаты топографических съемок могут быть представлены в виде топографо-геодезических материалов для составления градостроительного кадастра (СНиП 14-01-96) и других кадастров, банков инженерно-геодезических данных, а также в виде геоинформационных систем (ГИС) поселений и предприятий соответствующего уровня.

Инженерно-топографические планы создаются на копиях (репродукциях) с фотопланов, изготовленных на жесткой основе; на малодеформируемых пластиках; на чертежной бумаге, наклеенной на жесткую основу.

Планы-оригиналы одноразового пользования небольших (до 1 км^2) изолированных участков и узких полос на незастроенной территории допускается составлять на чертежной бумаге.

Цифровые инженерно-топографические планы создаются на основе автоматизированных методов (передача информации с электронных накопителей геодезических приборов) или путем оцифровки графического изображения планов и последующей векторизации растровых файлов, полученных после сканирования планов.

Точность цифрового инженерно-топографического плана должна быть не ниже точности инженерно-топографического плана в графическом виде соответствующего масштаба. Информация цифрового инженерно-топографического плана должна соответствовать действующим условным знакам для топографических планов (п. 5.8 СНиП 11-02-96).

При создании цифровых инженерно-топографических планов и карт, банков инженерно-геодезических данных, геоинформационных систем (ГИС) поселений и предприятий, а также при других процессах автоматизированной обработки результатов инженерно-геодезических изысканий должны использоваться утвержденные в установленном порядке классификаторы единой системы классификации и кодирования топографической и картографической информации - «Классификатор топографической информации. (Информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000)» и др.

Номенклатура листов инженерно-топографических планов должна устанавливаться в программе изысканий. На территории существующих населенных пунктов и действующих предприятий принятая разграфка и номенклатура листов планов должны быть сохранены, если они не противоречат единой разграфке планов населенного пункта (поселения).

При создании инженерно-топографических планов участков местности площадью до 20 км^2, как правило, применяется квадратная разграфка с рамками размерами 40×40 см для листов планов в масштабе 1:5000 и 50×50 см для листов планов в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500.

В результате выполнения топографической съемки должны быть представлены:

- оригиналы инженерно-топографических и кадастровых планов с формулярами;
- журналы обследования надземных сооружений и колодцев, шурфов подземных сооружений;
- абрисы съемки подземных сооружений и др. материалы (п. 5.188);
- акты полевого приемочного контроля.
- Дополнительно по видам наземных съемок должны представляться:

- по горизонтальной и высотной съемке - абрисы и журналы съемки;
- по мензульной съемке - схема участков съемки с разграфкой листов плана;
- журналы мензульной съемки;
- кальки высот и контуров (электрографические копии, выкопировки по рамкам южной и восточной) планов в масштабах 1:5000 - 1:2000;
- по тахеометрической съемке - кальки стереообработки, контуров и высот;
- журналы обработки стереопар;
- сводки по рамкам;
- ведомости оценки качества негативов.

8.4 Тахеометрическая съемка

Тахеометрическая съемка применяется для съемки небольших и узких полос местности.

При выполнении тахеометрической съемки для сокращения продолжительности полевых и камеральных работ следует использовать электронные тахеометры с регистрацией и накоплением результатов измерений.

Тахеометрическая съемка выполняется с пунктов (точек) съемочного обоснования. Сгущение съемочного обоснования допускается выполнять проложением тахеометрических ходов, графическими прямыми и комбинированными засечками с числом направлений не менее трех.

По окончании работы на станции следует контролировать ориентирование лимба теодолита. Отклонение от первоначального ориентирования не должно быть более 1,5'.

На каждой станции должен составляться абрис, в котором следует показывать пикеты, ситуацию, а также структурные линии рельефа местности (тальвеги, водоразделы и др.), направление скатов.

Планы тахеометрической съемки должны приниматься в полевых условиях с оформлением актов контроля и приемки работ.

8.5 Горизонтальная и высотная (вертикальная) съемка застроенных территорий

Горизонтальная съемка застроенных территорий в масштабах 1:2000 - 1: 500 выполняется самостоятельности или в сочетании с высотной съемкой.

Горизонтальная съемка выполняется способами: полярным, створов, графоаналитическим, засечек, перпендикуляров (абсцисс и ординат), стереотопографическим.

При всех способах горизонтальной съемки должны составляться абрисы, производиться обмеры контуров зданий (сооружений) и измеряться контрольные связки между ними.

Съемка застроенной территории должна производиться с пунктов (точек) опорной и съемочной геодезических сетей (приложение Г).

Производить съемку с точек мензульных ходов не разрешается.

Створные точки, определяемые от пунктов и точек геодезической основы, должны определяться с точностью не менее 1:2000.

При использовании способа засечек допускаются углы в пределах от 30° до 150°.

Измерение горизонтальных углов при съемке следует выполнять теодолитом при одном положении вертикального круга со средней погрешностью не более 1' и с контролем ориентирования лимба на станции, расхождение от первоначального ориентирования допускается не более 1,5'.

Накладка контуров капитальных зданий (сооружений) с помощью транспортира допускается при величине полярных расстояний до 6 см в масштабе плана. При полярных расстояниях, превышающих указанную величину, накладка таких контуров на план должна производиться по координатам.

При графоаналитическом способе съемки углы кварталов и капитальные здания (сооружения), опоры, колодцы, центры стрелочных переводов должны наноситься на план по координатам, определенным с пунктов планового съемочного обоснования, и данным обмеров контуров зданий (сооружений). Съемку прочих элементов ситуации допускается производить методом мензульной или тахеометрической съемки.

Высоты люков колодцев подземных сооружений и верха труб на дорогах, урезов воды в водоемах (водотоках), полов в капитальных зданиях (по дополнительному заданию) должны определяться геометрическим нивелированием по двум сторонам рейки или тригонометрическим нивелированием при двух положениях вертикального круга. Расхождение между превышениями не должны быть более 2 см. Высоты других пикетов следует определять по одной стороне рейки (при одном положении вертикального круга в случае тригонометрического нивелирования), при расстояниях до пикетов более 250 м следует вводить поправки за кривизну земной поверхности и рефракцию.

На улицах (проездах) поперечные профили должны измеряться через 40, 60, 100 м (в зависимости от масштаба планов), а также в местах перегиба рельефа и по осям пересекающихся улиц (проездов).

При нивелировании поперечных профилей должны быть определены высоты у фасадной линии, бровки тротуара (бордюрного камня), оси улицы (проезда), бровки и дна кюветов, а также других характерных точек рельефа.

Расстояние между нивелирными точками на поперечных профилях не должны превышать 40 м на планах и в масштабе 1:2000 и 20 м - 1:1000 и 1:500.

В результате выполнения аэрофотосъемки дополнительно (п. 5.74) следует представлять:

- оригиналы инженерно-топографических и кадастровых планов с формулярами;
- журналы обследования надземных сооружений и колодцев, шурфов подземных сооружений;
- абрисы съемки подземных сооружений и др. материалы;
- акты полевого приемочного контроля.

Дополнительно по видам наземных съемок должны представляться:

- по горизонтальной и высотной съемке - абрисы и журналы съемки;
- по мензульной съемке - схема участков съемки с разграфкой листов плана;
- журналы мензульной съемки;
- кальки высот и контуров (электрографические копии, выкопировки по рамкам южной и восточной) планов в масштабах 1:5000 - 1:2000;
- по тахеометрической съемке - кальки стереообработки, контуров и высот;
- журналы обработки стереопар;
- сводки по рамкам;
- ведомости оценки качества негативов.

Результаты выполненной топографической съемки, контроля и приемки работ должны включаться в состав технического отчета в соответствии с требованиями п. 5.13 СНиП 11-02-96.

Обновление топографических планов (корректура)

При обновлении инженерно-топографических (цифровых инженерно-топографических) и кадастровых планов должна выполняться топографическая съемка вновь появившихся контуров, элементов ситуации, зданий и сооружений (подземных, наземных и надземных) и рельефа местности в местах их изменений.

На участках местности, где общие изменения ситуации и рельефа составляют более 35 %, топографическая съемка должна производиться заново.

Инженерно-топографические планы, составленные по материалам съемки при высоте снежного покрова более 20 см, подлежат обновлению.

Обновление инженерно-топографических (цифровых инженерно-топографических) планов и банков инженерно-геодезических данных должно осуществляться на основе использования:

- государственных фондов Роскартографии, государственных территориальных фондов материалов инженерных изысканий органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации или местного самоуправления, государственного ведомственного фонда материалов

комплексных инженерных изысканий Госстроя России, а также фондов материалов других министерств и ведомств;

- материалов и данных геоинформационных систем (ГИС) поселений и предприятий;
- материалов и данных государственных кадастров;
- топографо-геодезических материалов предприятий и организаций - оригиналы и копии планов, их формуляры, каталоги координат и высот закрепленных на местности пунктов (постоянных точек) геодезической основы, исполнительные чертежи и планы законченных строительных объектов, профили;
- материалов контрольных геодезических съемок законченных строительством объектов и коммуникаций.

При обновлении планов съемочным плановым обоснованием должны служить пункты существующей опорной геодезической сети, точки постоянного съемочного обоснования, четкие контуры и предметы-ориентиры, а высотным обоснованием - нивелирные знаки и твердые контуры (колодцы, цоколи зданий и т.п.), имеющие высотные отметки.

Съемка вновь появившихся объектов (контуров) и изменений рельефа, а также оформление полевых и камеральных материалов должны производиться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к наземной топографической съемке.

9 СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ И НАДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На инженерно-топографические планы должны наноситься все существующие подземные и надземные сооружения (коммуникации).

В случае отсутствия планов подземных и надземных сооружений (коммуникаций), исполнительных чертежей, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок и других материалов или их недостаточной полноте или точности должна выполняться съемка и обследование подземных и надземных сооружений методами, применяемыми при горизонтальной и высотной съемке застроенных территорий.

Примечание

Подземные, надземные линейные сооружения, предназначенные для транспортировки жидкостей и газов, передачи энергии и информации, относятся к инженерным коммуникациям.

Съемка подземных и надземных сооружений должна производиться с учетом требований пп. 5.7-5.10, 5.12 СНиП 11-02-96.

Составление эскизов опор, определение напряжения и числа проводников в линиях электропередачи и связи, марки проводов и кабелей, ведомственной принадлежности коммуникаций, габаритов и номеров опор, расположения прокладок на опорах, высоты опор и эстакад, видов прокла-

док на них, высот проводов и кабелей между опорами выполняются по дополнительному заданию заказчика.

Работы по съемке и обследованию существующих подземных сооружений включают:

- сбор и анализ имеющихся материалов о подземных сооружениях (исполнительных чертежей, инженерно-топографических и кадастровых планов, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок и др.)
- рекогносцировочное обследование (отыскание на местности сооружений, определение назначения и участков для поиска прокладок с помощью трубокабелеискателей);
- обследование и (или) детальное обследование подземных сооружений в колодцах (шурфах);
- поиск и съемка подземных сооружений, не имеющих выходов на поверхность земли;
- плановая и высотная (нивелирование) съемки выходов подземных сооружений на поверхность земли;
- составление плана и при необходимости схемы сетей подземных сооружений с их техническими характеристиками;
- согласование полноты плана подземных сооружений и технических характеристик сетей, нанесенных на план, с эксплуатирующими организациями.

До начала полевых работ по съемке существующих подземных сооружений должны быть собраны:

- исполнительные чертежи;
- инженерно-топографические планы;
- материалы исполнительной и контрольной геодезических съемок, а также материалы (планы) градостроительного кадастра;
- проектные, инвентаризационные и другие материалы и данные о наличии, технических характеристиках и планово-высотном положении подземных сооружений.

На основе анализа собранных материалов должна быть установлена возможность их использования в намечаемых работах, а также определены предварительные объемы съемки подземных сооружений.

Рекогносцировочное обследование местности должно проводиться для отыскания на ней по внешним признакам местоположения и назначения подземных сооружений, а также определения участков трубопроводов и кабелей для поиска с помощью трубокабелеискателей.

Координирование выходов, углов поворота и других точек подземных сооружений на застроенной территории должно производиться по дополнительному заданию заказчика.

Расположение углов поворота и других скрытых точек подземных сооружений, а также глубина их заложения должны определяться с помощью трубокабелеискателей, а в случае невозможности их использования применяется шурфование.

При обследовании подземных и надземных сооружений должны быть определены следующие их элементы и технические характеристики:

- по водопроводу
- материал и наружный диаметр труб;
- назначение (хозяйственно-питьевой, производственный);
- по канализации
- характеристика сети (напорная, самотечная);
- назначение (бытовая, производственная, дождевая);
- материал и диаметр труб (внутренний для самотечных и наружный для напорных сетей);
- по теплосети
- тип прокладки (канальная или бесканальная);
- тип канала (проходной, полупроходной, непроходной);
- материал и внутренние размеры канала;
- количество и наружный диаметр труб;
- по газопроводу
- наружный диаметр и материал труб;
- давление газа (низкое, среднее, высокое);
- по кабельным сетям
- напряжение электрических кабелей (высоковольтные 6 кВ и выше, низковольтные);
- направление (номера трансформаторных подстанций) для высоковольтных кабелей;
- условия прокладки (в канализации, в коллекторах, бронированный кабель);
- принадлежность кабелей связи;
- количество отверстий в телефонной канализации;
- материал и размеры распределительных пунктов, трансформаторных подстанций, телефонных шкафов и коробок;
- по подземному дренажу
- материал и наружный диаметр труб;
- поперечное сечение галерейных дрен, глухих коллекторов (по дополнительному заданию заказчика).

При обследовании в колодцах (шурфах) должно быть определено назначение инженерных коммуникаций, диаметр и материал труб, материал и тип каналов, число кабелей (также труб при кабельной канализации),

направление стока в самотечных трубопроводах, направления на смежные колодцы (камеры) и вводы в здания (сооружения) с составлением схемы.

Габариты колодцев (камер) надлежит отражать в масштабе плана, если площадь колодцев (камер) составляет в натуре не менее 4 $м^2$ при съемке в масштабе 1:500 и 9 $м^2$ - в масштабе 1:1000.

Плановое положение прокладок, размещенных в колодцах (камерах) указанных размеров, определяется относительно проекции центра люка.

При съемках в масштабах 1:2000 и 1:5000 обмер габаритов колодцев (камер), а также привязка размещенных в них коммуникаций не выполняются.

Детальное обследование колодцев (камер), выполняемое по дополнительным требованиям заказчика, кроме работ, указанных в п. 5.181, должно включать:

- обмеры габаритов и определение материалов колодцев (камер) и каналов;
- обмеры конструктивных элементов трубопроводов и их фасонных частей;
- определение взаимного местоположения вводов, выпусков и присоединений прокладок, составление эскизов по основным сечениям этих сооружений.

Нивелирование подземных сооружений включает определение высот обечаек (верха чугунного кольца люка колодца), земли или мощения у колодца, а также высот, расположенных в колодце труб, кабелей, каналов (промерами от обечайки с отсчетом до 1 см).

В колодцах (камерах) подлежат нивелированию:

- в самотечных сетях - дно лотка;
- в перепадных колодцах, дополнительно - низ входящей трубы;
- в колодцах-отстойниках - дно колодца, низ входящей и выходящей труб;
- в напорных трубопроводах - верх труб;
- в каналах коллекторах - верх низ каналов (коллекторов);
- в кабельных сетях - место пересечения кабеля со стенками колодца, верх и низ пакета (блока) при кабельной канализации.

Съемка точек подземных коммуникаций, отыскиваемых с помощью трубокабелеискателей, на прямолинейных участках должна производиться, как правило, через 20, 30, 50 и 100 м соответственно для масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

Глубина заложения безколодезных прокладок должна определяться на углах поворота, в точках резкого излома рельефа, но не реже чем через 10 см в масштабе съемки.

Определение глубины заложения прокладок с помощью трубокабелеискателей должно выполняться дважды. Расхождения между результатами измерений не должны превышать 15 %.

В зависимости от насыщенности подземными и надземными сооружениями инженерно-топографические планы разрешается составлять совмещенными с изображением на одном листе плана ситуации, рельефа и подземных (надземных) сооружений, планы отдельных подземных надземных сооружений, групп их и др. Необходимость составления совмещенных или раздельных планов подземных (надземных) сооружений должна устанавливаться в техническом задании заказчика.

В результате выполнения съемки подземных и надземных сооружений дополнительно (п. 5.74) должны быть представлены:

- журналы детального обследования наземных и подземных сооружений;
- журналы технического нивелирования;
- эскизы опор и колодцев (камер) при их детальном обследовании;
- планы надземных и подземных сооружений, согласованные с эксплуатирующими организациями;
- каталоги координат выходов, углов поворота и других точек подземных сооружений.

10 СЪЕМКА ВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Русловые съемки (подробные и облегченные), включающие съемку подводного рельефа и береговой полосы, выполняются с соблюдением требований, предъявляемых к топографическим съемкам суши и промерам глубин. При русловой съемке подлежат отображению на планах русловые образования (острова, побочни, косы и осередки), протоки, ручьи, участки размываемого берега и промоины.

Русловые облегченные съемки выполняются с точностью смежного более мелкого масштаба.

Съемки русел рек при подробных и облегченных русловых съемках выполняются, как правило, в масштабах 1:10000-1:2000.

Ширина береговой полосы русловых съемок устанавливается в техническом задании заказчика исходя из цели съемки и ее назначения в зависимости от конкретных условий местности. Ширина береговой полосы должна, как правило, составлять по каждому берегу (считая от меженной бровки) для масштабов: 1:2000-100 м, 1:5000-150 м и 10000-200 м.

Промеры глубин характеризуются подробностью и способами: проложения галсов, определения мест на галсах, измерения глубин.

Промеры глубин следует производить по галсам, пересекающим водоем (водоток), как правило, нормально к общему направлению изобат и расположенным на определенном расстоянии друг от друга.

Для контроля выполняются промеры по продольным галсам, пересекающим основные галсы под углом в пределах 30°-150°.

По подробности промеры глубин подразделяют на специальные, подробные и облегченные.

Каждый из этих видов промеров характеризуется частотой галсов и измеренных глубин на них, а также масштабом оформления плана. Расстояние между галсами и промерными точками и масштаб оформления плана следует принимать в соответствии с табл. 13.

Таблица 13 - Расстояние между галсами и промерными точками и масштаб оформления плана

Подробность промеров глубин	Масштаб плана	Расстояние, м			
		между галсами при рельефе дна		между промерными точками при рельефе дна	
		сложном	спокойном	сложном	спокойном
Специальные	1:500	5	10	2	2
	1:1000	10	20	5	10
Подробные	1:2000	20	40	10	20
	1:5000	50	100	20	30
	1:10000	100	200	30	40
Облегченные	1:2000	40	60	10	20
	1:5000	100	150	20	30
	1:10000	200	300	30	40

Подводный рельеф на планах изображается изобатами или горизонталями.

Планы составляются в изобатах в тех случаях, когда они предназначаются для проектирования мероприятий, непосредственно связанных с эксплуатацией акваторий, и на них должны быть показаны глубины.

Для проектирования объектов строительства, сопряженных с берегом, рельеф дна на планах акваторий изображается, как правило, горизонталями.

Высота сечения рельефа дна при изображении его горизонталями (изобатами) в зависимости от подробности промера, масштаба плана и сложности рельефа принимается равной 0,5 или 1 м.

Галсы при промерах глубин прокладывают: по береговым створам, фотогалсам и навигационным приборам, маятниковым методом.

В том случае, когда проектируемые береговые створы служат в качестве одной из линий положения, разбивка их на местности должна производиться от точек съемочной сети или промером магистрали, которая прокладывается параллельно линии берега с относительной погрешностью не

ниже 1:1000. Если створы предназначены только для ориентировки на галсе, разбивку их на местности можно выполнять упрощенным способом.

При проложении фотогалсов их привязка осуществляется к контурным точкам, опознаваемым в натуре и на фотоснимках.

По способам определения планового положения промежуточных точек промеры глубин подразделяются на следующие виды:

- без инструментальных засечек;
- с инструментальными засечками;
- по непосредственно разбитым в натуре промерным точкам;
- с применением радиогеодезических и спутниковых геодезических систем.

При промерах глубин без инструментальных засечек измеренные глубины разносятся на плане исходя из условия, что движение катера при промере было равномерным. Этот вид промеров применяется на небольших реках и закрытых водоемах, при наличии фотоплана или топографического плана, и длине галсов, не превышающей 4 см в масштабе плана, но не более 200 м на местности.

Промеры глубин с инструментальными засечками выполняются с применением следующих основных способах координирования:

- по створу и прямым засечками с берега одним инструментом;
- прямыми засечками с берега двумя инструментами;
- по створу и обратными засечками одним секстантом;
- обратными засечками двумя секстантами.

К промерам глубин способом непосредственной разбивки в натуре промерных точек относятся промеры по размеченному тросу и промеры со льда.

Промеры глубин с применением радиогеодезических систем и спутниковых систем осуществляются на базе автоматизированных гидрографических комплексов, позволяющих выполнить весь состав инженерно-гидрографических работ, включая составление рабочего планшета.

Средняя погрешность определения планового положения промерных точек а масштабе плана относительно ближайших точек съемочной геодезической сети при промерах глубин на реках, внутренних водоемах и других акваториях не должна превышать допусков, установленных п. 5.9 СНиП 11-02-96.

Дополнительные требования к промерам глубин и способам определения положения промерных точек при инженерно-гидрографических работах следует устанавливать в программе изысканий.

Промеры глубин выполняются эхолотами, наметкой или ручным лотом, механическим лотом.

Отсчеты при измерениях глубин должны производиться с точностью не менее 0,1 м при глубинах до 10 м; 0,2 м при глубинах от 10 до 20 м и 0,5 м при глубинах свыше 20 м.

В комплекс работ по высотному обоснованию промеров глубин входят:

- установка и нивелирование реперов;
- устройство водомерных постов и наблюдения за уровнем воды;
- мгновенная или однодневная связка уровней воды;
- нивелирование по рабочим уровням воды.

На участках рек и зон выклинивания водохранилищ, для которых планы составляются в изобатах, выполняются: нивелирование по рабочим уровням воды и однодневная или многодневная связка уровней воды.

На участках рек, для которых планы составляются в горизонталях, а также на озерах и водохранилищах выполняется нивелирование по рабочим уровням воды.

Нивелирование по рабочим уровням воды, от которых измеряются глубины, выполняется одиночными ходами IV класса, опирающимися на реперы высотной опорной геодезической сети. Определение уровней воды в отдельных точках выполняется двойными висячими ходами (шлейфами) нивелирования IV класса или технического нивелирования. Привязка уровней воды производится у каждого галса или через несколько галсов (но реже, чем через 1 км) при условии, что падение уровней поверхности между привязанными галсами было равномерным и не превышало 10 см.

При производстве однодневной связки высотные отметки урезов воды определяются во всех точках излома водной поверхности, положение которых зафиксировано постоянными и временными реперами (ТОС).

При выполнении промеров глубин в прибрежной зоне морей погрешность передачи теоретического нуля глубин (ТНГ) от постоянного уровенного поста на временный не должна превышать 5 см.

Обнаружение подводных препятствий, представляющих опасность для судоходства, производится гидрографическим тралением. Гидрографическое траление допускается выполнять жестким тралом, высокочастотным каналом эхолота, гидролокатором бокового обзора (ГБО).

Обследование подводных препятствий производится:

- сгущением галсов до частоты, обеспечивающей детальное определение контура мели или банки и выявление минимальных глубин на них;
- проложением специальных галсов, перпендикулярны основным.

Работы по трассированию судовых ходов и съемке створных площадок включают:

- вынос и закрепление на местности оси трассы, створа и границ судового хода и створных площадок;

- разбивку и нивелирование пикетажа по оси судового хода и створа с последующим составлением продольного профиля;
- съемку полосы трассы и створных площадок.

В результате выполнения инженерно-гидрографических работ должны быть представлены:

- материалы по созданию опорной и съемочной геодезических сетей;
- журналы прибрежной топографической и русловой съемок;
- журналы промеров глубин или эхограммы;
- материалы по плановому определению промерных точек на галсах;
- материалы нивелирования водной поверхности (однодневных и мгновенных связок);
- продольные профили водной поверхности;
- инженерно-топографические планы (русел рек, акваторий и прибрежной части) а горизонталях или изобатах;
- материалы гидрографического траления и обследования подводных препятствий;
- материалы инженерно-гидрографических работ по судоходным трассам и створным площадкам.

11 ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

При изысканиях новых трасс линейных сооружений, как правило, выполняются:

- анализ и доработка материалов, выполненных на предшествующих стадиях проектирования;
- рекогносцировочное обследование района (участка) трассы и сооружений;
- полевое трассирование (вынос трассы в натуру);
- планово-высотная привязка трассы к пунктам государственной (опорной) геодезической сети;
- топографическая съемка полосы местности вдоль трассы (съемка текущих изменений при наличии планов) в масштабах 1:1000-1:500;
- съемка переходов, пересечений инженерных коммуникаций, выявление и нанесение на инженерно-топографические планы и другие топографические материалы участков проявления карста;
- составление инженерно-топографических планов;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

По трассам магистральных трубопроводов (прокладываемых в несложных условиях), электрических кабелей 6-20 кВ, кабелей связи, ЛЭП выполняется съемка ситуации.

Под карьеры грунтовых строительных материалов выполняется топографическая съемка площадок их разработки.

При изысканиях для расширения (реконструкции) существующих линейных сооружений следует выполнять:

- съемку плана сооружений и координирование их основных элементов;
- съемку поперечных и продольных профилей (при необходимости для уточнения положения трассы);
- составление топографических планов;
- полевое трассирование трасс сооружений;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

11.1 Рекогносцировочное обследование района (участка) трассы и сооружений

Рекогносцировочное обследование выполняется в зависимости от состава материалов, которыми располагает изыскатель к моменту начала работ. Обычно это материалы, подготовленные на этапе составления акта выбора трассы, камерального трассирования по картам или результаты камеральной укладки трассы на полосе маршрутной съемки, составленной на основе проложения магистрального хода.

Перед началом работ вместе с представителем эксплуатационной службы заказчика пройти (проехать) по маршруту намечаемой трассы. При рекогносцировке определяется оптимальный вариант прохождения трассы относительно инженерных сооружений, дорог, естественных преград, коридоров коммуникаций и т.д. в соответствии с требованиями настоящих строительных норм и правил Российской Федерации, а также нормативно-технических документов Федеральной службы геодезии и картографии России.

По возможности необходимо провести подобную рекогносцировочную работу с представителями всех служб и владельцев существующих инженерных сооружений, выявленных на стадии ТЭО, а также при согласовании акта выбора прохождения трассы. Во время рекогносцировки необходимо максимально полно получить информацию о наличии, месторасположении, характеристиках инженерных сооружений, находящихся в введении той или иной службы.

Во время выезда с представителем заказчика уточняется на местности начало, конец трассы - точка отмыкания и примыкания, врезки и т.д.

На территориях нефтяных и газовых месторождений НГДУ нужно более плотно работать с маркшейдерской службой НГДУ, инженерным составом Производственного отдела НГДУ, мастерами ДНС, операторами, обходчиками. Так как они наиболее полно владеют информацией о наличии и месторасположении подземных коммуникаций.

В состав работ при полевом трассировании входят:

- - проложение теодолитных (тахеометрических) ходов по оси трассы, разбивка и ведение пикетажа с разбивкой горизонтальных кривых;

- - нивелирование трассы и установка реперов;
- - съемка поперечников на пикетных и всех плюсовых (переломных) точках, съемка поперечных профилей по осям водопропускных труб;
- - закрепление трассы (углов поворота и створных точек, мостовых переходов и др.).

На территории населенных пунктов и промышленных предприятий вместо полевого трассирования должна выполняться крупномасштабная топографическая съемка полосы местности по выбранной трассе с последующей камеральной укладкой трассы по материалам съемки в существующих системах координат и высот.

Ширина полосы съемки вдоль трассы линейного сооружения должна составлять до 100 м на незастроенных территориях, а для застроенных территорий должна ограничиваться шириной проезда (улицы). Для существующих железных дорог ширина полосы съемки ограничивается, как правило, полосой отвода железной дороги. На участках пересечений и сближений трасс с существующими коммуникациями и другими сооружениями ширину полосы съемки следует принимать с учетом обеспечения требований проектирования по их переустройству и переносу.

11.1Камеральное и полевое трассирование линейных сооружений

В данной главе под линейными сооружениями подразумеваются железные и автомобильные дороги, главное требование к которым заключается в обеспечении безопасности и равномерности движения с заданными уклонами, радиусами поворота и скоростями следования. В связи с этим строительными нормами и правилами (СНиП) строго регламентируются максимальные (руководящие) уклоны и минимальные радиусы кривых всех видов постоянных дорог.

Существуют и другие виды линейных сооружений (например, линии электропередач, теплотрассы, канализации), к которым предъявляются свои специфические требования. Однако многие вопросы, касающиеся инженерных изысканий, геодезических разбивок и съемок имеют общий характер.

Трассировочные работы (трассирование) являются одним из видов инженерно-геодезических изысканий и служат для выбора наиболее оптимального положения на местности трассы и отвечающие всем требованиям технических условий на ее проектирование. Независимо от характера линейного сооружения и параметров трассирования все трассы должны вписываться в ландшафт местности и не нарушать природного рельефа. По возможности трассу располагают на землях, имеющих наименьшую ценность для сельского хозяйства.

Трассой называют главную ось проектируемого линейного сооружения значительной протяженности. Ось наносится на топографическую карту, задается координатами основных точек и обозначается на местности.

Основными элементами трассы являются план и продольный профиль (вертикальный разрез по проектируемой линии).

План трассы представляет собой сложную линию, состоящую из прямолинейных участков различного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянных и переменных радиусов. Есть трассы, на которых закругления не проектируют, например, линии электропередач, канализаций. В этом случае трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

Продольный профиль трассы состоит из линий переменного уклона, сопрягаемыми обычно вертикальными круговыми кривыми. Для наглядности вертикальный масштаб разреза выполняют в 10 раз крупнее горизонтального. Чтобы наиболее полно охарактеризовать местность, на которой проектируется прокладка линейного сооружения, перпендикулярно трассе составляют поперечные профили.

По топографическим условиям расположения трассы различают долинные, водораздельные, косогорные, поперечно-водораздельные категории.

Долинная трасса проходит по надпойменной террасе долины, имеет обычно спокойный план и профиль, но пересекает большое число водотоков. В силу этого требует возведения дорогостоящих переходов.

Водораздельная трасса пересекает наиболее высокие отметки рельефа. В холмистой местности трассу приходится крайне усложнять, что уменьшает ее преимущество перед другими категориями. Однако в равнинных и среднепересеченных местностях она выгодно отличается по трудоемкости возведения в виду создания небольшого числа искусственных сооружений.

Косогорная трасса располагается на склонах возвышенностей. При ее проектировании со слабым уклоном создается извилистая в плане линия с большим количеством переходов. Эксплуатацию сооружения затрудняют возможные обвалы, осыпи и селевые потоки.

Поперечно-водораздельная трасса пересекает долины и водоразделы и в плане близка к прямой. В продольном же профиле часто встречаются предельные уклоны, что вынуждает строить сложные переходы.

На практике сочетают различные категории трасс путем технико-экономического сравнения возможных вариантов. Таким образом, основная задача трассирования линии на местности заключается в выборе оптимального варианта трассы, расположенной в благоприятных условиях и требующей на строительство и эксплуатацию минимальных затрат.

Трассирование в зависимости от стадии изысканий может быть камеральным или полевым.

Камеральное трассирование выполняют на стадии технического проекта с целью выбора основного направления и вариантов трассы. Для этого на топографической карте масштаба 1:500 000–1:100 000 (для трассы зна-

чительного протяжения) намечают начальный, конечный и промежуточный пункты. Получают так называемую воздушную линию, к которой стремятся приблизить проектируемую. Затем на картах масштаба 1:50 000 или 1:25 000 фиксируют и уточняют точки положения трассы, определяющие ее ось, при обходе или пересечении различного рода препятствий.

В зависимости от условий местности трассирование по топографической карте выполняют способом попыток или построением линии допустимого уклона.

Способ попыток применяют в условиях равнинной местности, положение трассы определяется, прежде всего, ситуацией, т.е. контурными препятствиями. В виду того, что средний уклон равнинного рельефа меньше допустимого в высотном отношении трассу намечают «вольным ходом», т.е. определяют проектную линию по характерным точкам местности вдоль намеченного направления. При этом в плане стремятся создать прямую трассу по заданному направлению. Тем не менее, в процессе трассирования обязательному обходу подлежат крупные населенные пункты, промышленные предприятия, аэродромы, заповедники и др., заставляющие отклонять трассу в ту или иную сторону. Происходит ее удлинение на каждом участке отклонения, которое может быть вычислено по формуле

$$\Delta L = \frac{AC - AB}{AB},$$

где φ – угол отклонения трассы; $AC = \frac{AB}{\cos\varphi}$,

тогда

$$\Delta L = \frac{1 - \cos\varphi}{\cos\varphi} .$$

Для получения наиболее короткой трассы в равнинных районах придерживаются следующих правил:

1. Трассу прокладывают по прямой линии от одного контурного препятствия к другому. Необходимость в отклонениях от прямолинейного направления и назначение углов поворота должна быть обоснована.
2. Вершину углов поворота выбирают против середины препятствия с таким расчетом, чтобы трасса огибала это препятствие.
3. Углы поворота трассы выдерживают в пределах не более 25–30º, чтобы ее удлинение было минимальным.

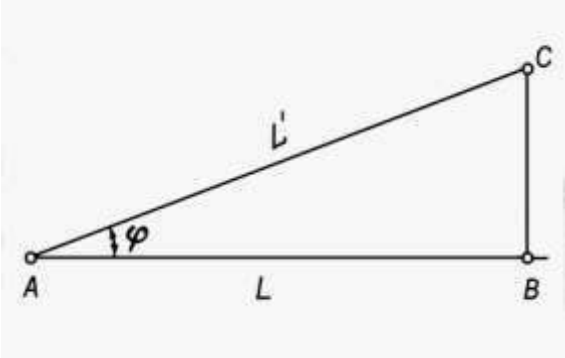


Рисунок 42 - Схема к расчету удлинения трассы

Способ линии предельно допустимого уклона применяется в горных условиях и местности со сложным рельефом. В этом случае по карте выбранного масштаба 1 : М и по высоте сечения рельефа h определяют величину заложения ℓ для уклона $i_{пр}$

$$\ell = \frac{h}{i_{пр}} \frac{1}{M}.$$

Например, для карты масштаба 1:25 000, при h = 5 м, $i_{пр}$ = 0,020

$$\ell = \frac{5000}{0{,}020} \frac{1}{25000} = 10\,мм.$$

По найденному значению ℓ на карте, выделяют участки вольного и напряженного ходов. На участке вольного хода (уклон местности $i_м$ меньше предельного $i_{пр}$) трассу намечают по кратчайшему направлению. На участках напряженного хода ($i_м$ больше $i_{пр}$) трассу намечают по предельно допустимому уклону. Например, из начальной точки *А* раствором циркуля, равным заложению ℓ, засекают соседнюю горизонталь (рис. 43). Из полученной точки *Б* этим же раствором циркуля вновь засекают уже следующую горизонталь, получая точку *В* и т.д. При пересечении оврагов и рек (на этой стадии трассирования) сразу переходят на другую сторону, не принимая во внимание переходы. На участках, где расстояние между горизонталями больше заложения ℓ, точки выбирают в необходимом направлении свободно (см. рис. 43, участок *ГД*).

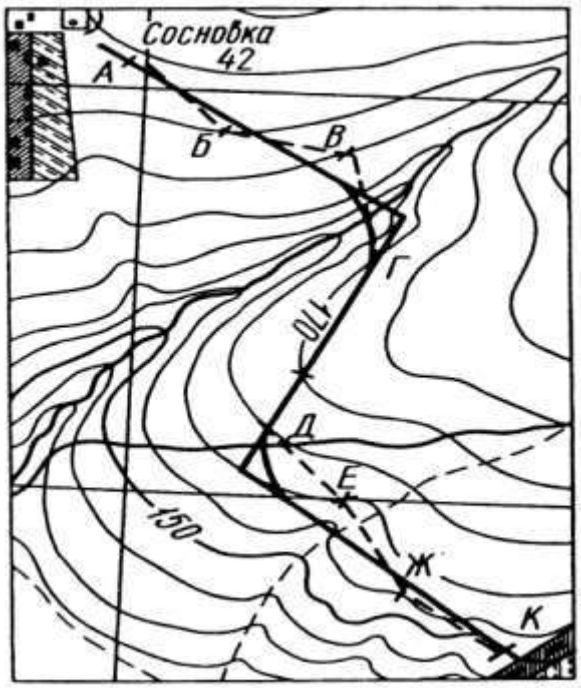


Рисунок 43 - Трассирование по заданному уклону

В результате на карте получают ломаную линию равных уклонов *А*, *Б*, *В*, *Г*, *Д*, *Е*, *Ж*, *К* – линию нулевых работ, так как трассирование велось без учета насыпей и выемок. Линию нулевых работ заменяют участками более длинных прямых (спрямляют), вписывают кривые, разбивают пикеты, намечают характерные точки рельефа (плюсовые точки). Спрямление трассы ведет к появлению земляных работ.

Для построения профиля спрямленной трассы (черного профиля) отметки пикетов и плюсовых точек определяют интерполированием по горизонталям. Затем, руководствуясь техническими нормативами, проектируют профиль дороги и получают «красный профиль».

Полевое трассирование осуществляют на стадии рабочего проектирования, основой которого служат материалы камеральных изысканий, с целью определения наиболее оптимального положения трассы на местности. Основной состав этих изысканий включает:

- вынесение проекта трассы в натуру, ее уточнение и закрепление;
- определение фактических углов поворота линейного сооружения;
- линейные измерения и разбивку пикетажа;
- разбивку круговых кривых;
- установку грунтовых реперов и нивелирование трассы;
- топографическую съемку прилегающих к трассе полос местности;
- привязку трассы к пунктам геодезической основы;
- обработку полевых материалов, составление и ведение необходимой документации.

Вынесение проекта трассы в натуру осуществляется, прежде всего, по подготовленным в камеральных условиях данным привязки углов вершин поворота к пунктам геодезической сети. Трассировочные работы на местности начинают с рекогносцировки, включающей выявление вблизи трассы существующих пунктов геодезической основы по мере продвижения изысканий. От найденных центров геодезической сети выносят в натуру положение исходных точек трассы известными способами. На этих точках устанавливают вехи, обследуют намеченные направления, смещают углы поворотов, если это необходимо, составляют продольный профиль. После проверки пригодности фактического профиля к строительным работам продолжают трассирование следующего участка.

Окончательно выбранное положение вершин углов поворота трассы закрепляют на местности деревянными или железобетонными столбами. Для обозначения трассы между углами поворота, через каждые 100–800 м устанавливают створные вехи по теодолиту.

Определение фактических углов поворота трассы выполняют путем проложения теодолитных ходов между закрепленными вершинами, с измерением правых углов, рис. 44. При повороте линии вправо, углы поворота определяют по формуле

$$\varphi_n = 180° - \beta_1,$$

при повороте трассы влево

$$\varphi_л = \beta_2 - 180°.$$

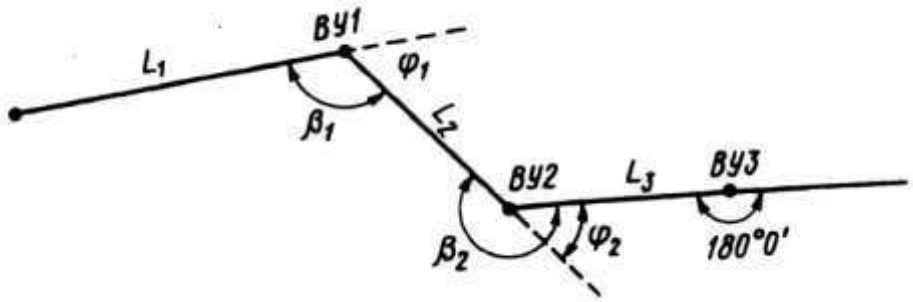


Рисунок 44 - Схема к определению углов поворота трассы

Линейные измерения и разбивку пикетажа производят в процессе проложения теодолитных ходов при определении расстояний между вершинами углов поворота и створными точками. По результатам этих измерений, наряду с плановой привязкой трассы к геодезическим пунктам, вычисляют координаты углов поворота. Определение расстояний осуществляют мерными лентами, оптическими, световыми и другими дальномерами с введением необходимых поправок в соответствии с инструкциями к приборам. Предельная ошибка измерений должна находится в пределах от 1:1 000 до 1:2 000 в зависимости от условий местности.

Разбивку пикетажа обычно выполняют мерными лентами или 50-метровыми рулетками через каждые 100 м. Кроме собственно пикетов, на местности отмечают дополнительные плюсовые точки. Ими могут быть места перегиба рельефа, пересечения трассы с водотоками, другими сооружениями. В процессе разбивки пикетов вводят поправку за наклон местности. Как правило, во избежание дополнительного измерения углов наклона, мерную ленту располагают горизонтально и проектируют конец отсчета на землю с помощью отвеса.

Разбивку круговых кривых производят через равные отрезки такой длины, при которой можно принимать полученную дугу за прямую линию. В качестве основной кривой, сопрягающей два прямых участка оси трассы дорог и каналов, применяют окружность определенного (допустимого по техническим условиям эксплуатации линейного сооружения) радиуса. К тому же расчет и разбивка круговой кривой на местности отличается наибольшей простотой.

Основными параметрами для расчета выноски части окружности в натуру служат угол поворота φ и радиус кривой R (рис. 45). Для определения на местности главных точек кривой необходимо знать ее основные элементы: T – тангенс (касательную), $Б$ – биссектрису, $К$ – длину кривой, $Д$ – домер. Вычисляют эти величины по формулам

$$T = Rtg\frac{\varphi}{2};\ K = \frac{R_{\phi}}{57{,}2958};\ Б = R(\sec\frac{\varphi}{2} - 1)\ ;\ Д = 2T - K\ .$$

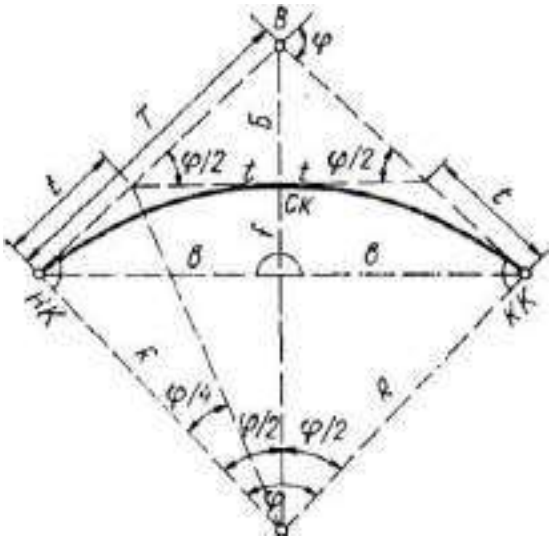


Рисунок 45 - Основные элементы круговой кривой

При разбивке кривой также пользуются готовыми таблицами, где вышеуказанные элементы даны для разных значений угла φ и радиуса R.

Тем не менее, главные точки круговой кривой не дают достаточного обозначения фрагмента окружности на местности. Так, при радиусе больше 500 м кривую разбивают через 20 м, при радиусе от 100 до 500 м – через 10 м. Для осуществления этой задачи используют несколько способов:

прямоугольных координат, линейно-угловой засечки, продолженных хорд, вписанного многоугольника и др. Наиболее распространенными являются первые три способа.

Способ прямоугольных координат применяется в открытой равнинной местности, является наиболее простым и точным. Каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной точки к другой ошибка измерений не накапливается. В этом способе за ось абсцисс принимают касательную к окружности (линию тангенса), за начало координат – начало кривой (НК) в точке касания с линией тангенса или конец кривой (КК).

Работу начинают с вычисления центрального угла φ, задавшись величиной дуги *к* (например, 5, 10, 20 м), исходя из размера радиуса кривой

$$\varphi = \frac{360}{2\pi R}к = \frac{180}{\pi R}к\,.$$

Далее находят прямоугольные координаты точек *1*, *2*, …, *i*

$$X_i = R\sin i\varphi\,;\; Y_i = R(1-\cos i\varphi)\,,$$

где *i* – текущий номер точки кривой.

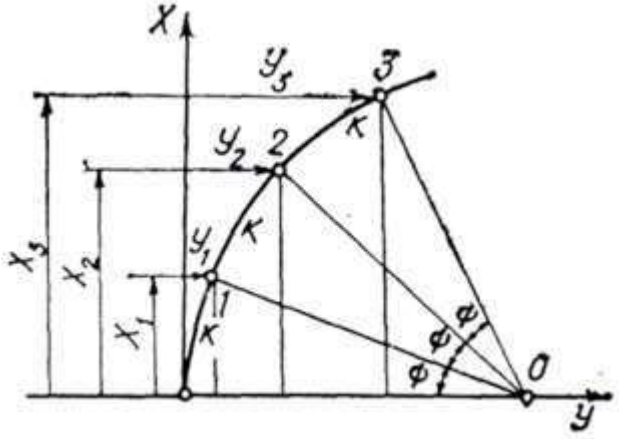


Рисунок 46 - Разбивка кривой способом прямоугольных координат

Разбивку точек *1*, *2*, *3*, … *i* кривой на местности производят с помощью рулетки от начала кривой (*НК*) по касательной (рис. 46). Вначале откладывают на ней величины $X_1, X_2, \ldots X_i$, затем по направлению перпендикуляров к разбитым отрезкам выносят составляющие $Y_1, Y_2, \ldots Y_i$.

Построение осуществляют от начала кривой (НК) до середины. После этого разбивают фрагмент окружности от конца кривой (КК) также до середины (СК). Сомкнутые половинки кривой в точке СК являются контролем точности разбивки.

Способ линейно-угловой засечки (полярный) используется для выноски круговых кривых земляных сооружений на косогорах, насыпях и в полузакрытой равнинной местности (рис. 47).

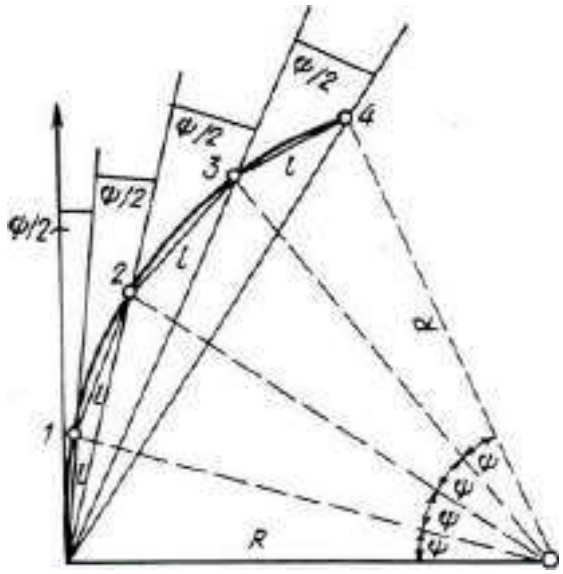


Рисунок 47 - Разбивка кривой способом линейно-угловой засечки

Способ заключается в последовательном построении угла $\varphi/2$ в начале координат от линии тангенса и отложении отрезков хорды ℓ. Исходя из выбранной длины хорды, угол φ определяют по формуле

$$\sin\frac{\varphi}{2}=\frac{\ell}{2R}.$$

Положение точек кривой на местности выносят с помощью теодолита. Его ориентируют по линии тангенса, например, в точке *НК*, затем отмеряют угол $\varphi/2$. Отложив вдоль построенного направления хорду ℓ, закрепляют точку *1*. Затем из той же точки *НК* строят последовательно углы φ, $3\varphi/2$ и т.д. Из точки *1* протягивают рулетку до пересечения отрезка ℓ со вторым визирным лучом (φ) и закрепляют точку *2*. Таким образом, выносят точки *3*, *4*, …, *i*.

Недостаток способа – снижение точности разбивки кривой по мере увеличения числа выносимых точек (происходит накопление ошибок).

Способ продолженных хорд заключается в определении искомых точек кривой на местности путем их засечек двумя постоянными величинами ℓ и *a* от исходной точки *1*(рис. 48). Ее положение обычно определяют при помощи прямоугольных координат X_1 и Y_1 по формуле (2.9).

Закрепив точку *1* (на продолжении створа *A1*), откладывают длину хорды ℓ и временно закрепляют промежуточную точку *2*'. Линейной засечкой с помощью отрезков *a* и ℓ из точек *2*' и *1* получают следующее положение кривой – *2*. Остальные точки дуги сектора окружности отстраивают аналогично. Смещение *a* получают из выражения

$$d=\frac{\ell^2}{R}.$$

Данный способ применяют в стесненных условиях местности и невысокой точности разбивки.

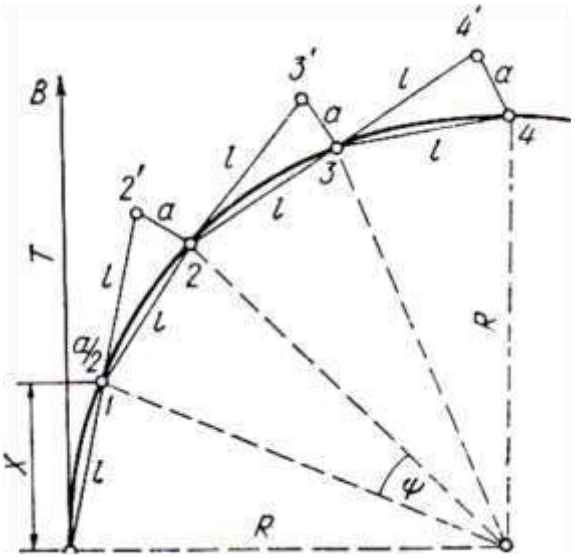


Рисунок 48 - Разбивка круговой кривой способом продолженных хорд

Кроме плановой разбивки трассы, ее выносят и в высотном отношении. Контроль вертикального положения элементов разбивки осуществляют с помощью грунтовых реперов.

Установку грунтовых реперов производят при закреплении трассы через каждые 20–30 км и в местах пересечений существующих магистралей, переходов через реки и т.п. В дополнение к основным через 2–3 км устанавливают постоянные (по необходимости) и временные реперы в виде деревянных столбов, каких-либо устойчивых предметов местности. Местоположение реперов выбирают вне зоны земляных работ строительства сооружения с составлением абриса привязки к пикетам трассы и местности.

Нивелирование трассы осуществляют, как правило, по двум направлениям (в два нивелира). Одним прибором нивелируют все пикеты, плюсовые точки, постоянные и временные реперы. Вторым – нивелируют реперы, связующие точки и поперечные профили. При этих работах применяют технические нивелиры различных типов. Расстояние от нивелира до рейки обычно принимают равным 100–150 м. Невязки хода между исходными пунктами (или замкнутого полигона) не должны превышать, мм:

$$f_{пр} = 50\sqrt{L} \ ,$$

где L – длина хода или полигона, км.

Расхождение между суммой превышений из первого и второго нивелирования не должно быть более величины, мм:

$$\Delta h = 70\sqrt{L} \ .$$

Топографическую съемку отдельных участков и площадок в крупном масштабе (1:500–1:2 000) производят в процессе ведения полевого трасси-

рования. Съемке подлежат переходы через водотоки, горные ущелья и перевалы, различные площадки под станции и т.п. В сильно пересеченной и сравнительно открытой местности используют тахеометрическую и мензульную съемки. В зависимости от ситуации и рельефа, а также технической возможности изыскательской партии применяют различные виды аэрофотосъемки, наземной фотограмметрической съемки, лазерное сканирование.

Привязку трассы к пунктам геодезической основы выполняют как для контроля полевых работ и повышения их точности, так и для вычисления координат вершин углов поворота и абсолютных отметок набранных точек. Точность геодезических измерений по привязке должна быть не ниже точности работ при построении трассы. Места привязки трассы (начало, конец и середину) к пунктам триангуляции или полигонометрии указывают в проекте привязки трассы к пунктам геодезической основы.

Обработку полевых материалов, составление и ведение необходимой документации выполняют путем проверки полевых журналов, уравнивания нивелирных и теодолитных ходов, вычисления плановых координат и высот точек, вычерчивания различных планов и профилей трассы.

На тщательную камеральную обработку полевых материалов и безошибочное составление графических документов обращают особое внимание. Так, при проверке журналов измерения углов смотрят на правильность вычисления углов поворота трассы. Линейные измерения сравнивают промерами длин между углами поворота и с данными разбивки пикетажа. В пикетажных журналах проверяют вычисление элементов дуг окружностей, значений пикетов начала и конца кривых и т.д. Полевые журналы и вычисления независимо обрабатывают «в две руки». Подготовленные планы и профили также тщательно проверяют, корректируют, сверяют в натуре и устраняют выявленные недостатки и ошибки.

Основными документами полевого трассирования являются:

2) пояснительная записка (с обоснованием выноса проекта в натуру и согласованием трассы);
3) план, продольный и поперечные профили;
4) крупномасштабные планы переходов, пересечений, станций, площадок и других участков;
5) схематические планы отвода земель;
6) ведомости пересекаемых трассой искусственных сооружений;
7) ведомости закреплений прямых и кривых трассы, уравнивания ходов, вычисления координат;
8) каталоги координат углов поворота, высот реперов, схемы геодезических сетей, их центров и знаков.

Трассирование линейных сооружений проводится параллельно с выполнением работ по отысканию подземных коммуникаций.

Обычно сначала производят отыскивание на местности подземных коммуникаций, а потом, принимая к сведению весь комплекс полученной информации (подземные сети, воздушные сети, другие существующие инженерные сооруже-ния, рельеф местности, естественные водотоки, лога, данные «Акта выбора», пожелания эксплуатационных служб выявленных в процессе рекогносцировочных работ, и т.д.), укладывают трассу на местности с учетом норм и правил существующих нормативных документов (СНиП, СП, ВСН, ГОСТ).

Все случаи отклонения оси трассы от «Акта выбора» обязательно согласовываются с эксплуатирующей службой. Так же необходимо поставить руководство своего предприятия в известность об изменении местоположения изыскиваемой трассы на конкретном участке.

Особое внимание необходимо уделить определению подземных сетей в местах отмыкания и примыкания трасс, в местах переходов через коридоры подземных коммуникаций.

Если наблюдается очень большая насыщенность подземных сетей и других инженерных сооружений (промышленные площадки), а также сложность рельефа, то в таком случае лучше вначале сделать съемку данного участка местности в М 1:500 -Г.2000. На основе полученного материала выполнить камеральное трассирование данного участка трассы, с последующим выносом её натуру и закреплением.

Отыскание подземных сетей проводить трубокабелеискателем. Во время поиска обязательно обращать внимание не только на явные признаки, указывающие на наличие той или иной коммуникации, (выходы труб, колодцы, задвижки, аншлаги, и т.д.), но и по местным признакам (понижение грунта, наличие ранее проводимых и ликвидированных земляных работ, расположение вблизи от проектируемой трассы каких либо инженерных сооружений). Делать аналитические выводы о наличии коммуникаций только после сопоставления и проверки всех имеющихся сведений.

По уложенной на местности оси трассы прокладывается теодолитный (тахеометрический) ход. Допустимые невязки в ходах при изысканиях линейных сооружений даны в табл. 14.

Таблица 14 - Допустимые невязки в ходах при изысканиях линейных сооружений

№ № п/п	Геодезические ходы при изысканиях для строительства линейных сооружений	Допустимые невязки измерений		
		Угловых, мин	Линейных	Высотных, м
1	Ходы съемочной геодезической сети (магистральные ходы, ходы привязки к пунктам государственной или опорной геодезической сети, ходы планово-высотной привязки аэрофотоснимков) при изысканиях			
	новых железных дорог	$0,3\sqrt{n}$	1/4000	$30\sqrt{L}$
	новых автомобильных дорог	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$

			(1/1000)	
	Трубопроводов с условным диаметром до 1000 мм свыше 1000 м	$1{,}5\sqrt{n}$ $1\sqrt{n}$	1/1000 1/2000	$50\sqrt{L}$ $50\sqrt{L}$
	Линий электропередачи, связи, канатно-подвесных дорог	$1{,}5\sqrt{n}$	1/1000	$50\sqrt{L}$
	Магистральных каналов и коллекторов, линейных сооружений на застроенных территориях	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
2	Полевое трассирование (вынос трассы в натуру) новых железных и автомобильных дорог, трубопроводов, магистральных каналов и коллекторов	$1\sqrt{n}$	1/2000 (1/1000)	$50\sqrt{L}$
3	Ходы съемочной геодезической сети при изысканиях для реконструкции и расширения существующих дорог			
	базисные и съемочные ходы на железнодорожных станциях, магистральные ходы на перегонах в населенных пунктах,	$0{,}3\sqrt{n}$	1/4000	$30\sqrt{L}$
	Съемочные ходы на железнодорожных станциях, базисные ходы на разъездах, магистральные ходы на перегонах и автомобильных дорогах вне населенных пунктов	$1\sqrt{n}$	1/2000	$50\sqrt{L}$
4	Линейные измерения при разбивке пикетажа (двойной промер мерной лентой)	-	1/2000	-

Нивелирование трассы и установка реперов

По всем пикетам и плюсовым точкам трассы прокладывается ход технического нивелирования.

При пересечении трассами водотоков нивелируются урезы воды и уровень горизонта высоких вод (ГВВ). ГВВ определяется по местным признакам или опросу жителей близлежащих деревень.

При пересечении с железными дорогами нивелируются головки рельсов.

Ходы технического нивелирования должны прокладываться, как правило, между реперами (марками) нивелирования II-IV классов в виде отдельных ходов или систем ходов (полигонов).

Допускаются замкнутые ходы технического нивелирования, опирающиеся на один исходный репер (ходы, прокладываемые в прямом и обратном направлениях).

В начале, конце трассы на переходах через водотоки, железные и автомобильные дороги, коридоры коммуникаций устанавливаются временные репера.

При изысканиях для строительства линейных сооружений нивелирные знаки должны устанавливаться:

- по трассам автомобильных и железных дорог, магистральных каналов не реже чем через 2 км;
- по трассам трубопроводов не реже чем через 5 км (в том числе на переходах через большие водотоки и на организуемых водомерных постах).

Репера устанавливаются в местах обеспечивающих их сохранность на период строительства и эксплуатации. В качестве временного репера можно использовать окружающее сооружения: опоры, скважины, мосты, фундаменты и т.д.

Закрепление трассы

При изысканиях для строительства линейных сооружений на незастроенных территориях начальная и конечная точки трасс (если они не фиксированы на местности), вершины углов поворота, а также створные точки прямолинейных участков в пределах взаимной видимости (но не реже чем через 1 км) должны закрепляться временными знаками (деревянными столбами, металлическими трубами и уголками с табличкой и др.).

На застроенных территориях закрепление трасс, как правило, не производится, а их точки должны привязываться не менее чем тремя линейными промерами к постоянным предметам местности (углы зданий, сооружений и др.).

Знаки маркируются масляной краской. На знаке подписывается название трассы, наименование или номер закрепительного знака, пикетное значение или расстояние до оси трассы (для вынесенных знаков), год установки и название организации.

На все закрепленные точки и репера составляются кроки.

Геодезические знаки (реперы), закрепляющие ось трассы линейных сооружений, подлежат использованию в качестве разбивочной основы при последующем строительстве и должны быть переданы по акту заказчику или указанной им организации.

Съемка пересечений линий электропередач и связи

При пересечении линий электропередач и связи должны быть определены:

- пикетажное значение и угол пересечения ЛЭП (ЛС) с трассой;
- отметки земли и расстояние до нижнего провода в месте пересечения;
- расстояние от трассы или оси пути до центров двух ближайших опор ЛЭП (ЛС) справа и слева от пересечения (подписывается на опорах);
- отметки земли и нижнего провода на опорах справа и слева от пересечения; материал и форма опор, система подвески, количество проводов и изоляторов.

При съемке составляют абрис пересечения, в котором должны быть указаны: температура воздуха в момент измерений, марка проводов и кабелей, пункты, соединяемые ЛЭП (ЛС), ведомственная принадлежность и адрес владельца (по специальному заданию). Кроме того, составляют эскизы всех опор, с указанием номера, формы и материала опор, числа, длины и сторонности траверс на опорах, количества проводов и изоляторов.

Для ВЛ с горизонтальным расположением проводов, пересекаемых под углом менее 60°, необходимо определять высоту каждого провода и троса в месте пересечения.

Пикетажные значения, угол пересечения ЛЭП (ЛС) с трассой и расстояния до ближайших опор можно определять по топографическому плану.

Верх подвески проводов и низ провиса следует определять тригонометрическим нивелированием при измерении вертикального угла при двух положениях вертикального круга, вычисляя место ноля прибора на станции. Отклонение места ноля прибора от значения, определенного ранее, должно быть не более ±Г. Расстояние от прибора до проекции проводов на землю при измерении нитяным дальномером или рулеткой должно быть не менее удвоенной высоты провода над землей.

Съемку пересечений и определение высот подвеса проводов ВЛ напряжением до 20 кВ и ЛС выполняют с одной станции, а ВЛ напряжением 350 кВ и выше - с двух независимых станций.

Высоты проводов над их проекциями на землю вычисляются по формуле:

$$Hпр=Hст+i+D*tg\ v$$

Где: Нпр - высота определяемой точки; Нст - высота точки стояния инструмента; D - расстояние от инструмента до определяемой точки (горизонтальное проложение); ν - угол наклона на определяемый провод; i - высота инструмента над точкой стояния инструмента.

Вычисление по формулам выполняется непосредственно после проведения измерений. Расхождение в вычислении отметок между двумя значениями измерений с двух стоянок инструмента не должны превышать ±20 см.

При измерении расстояний до проекции проводов рейку нужно устанавливать точно под проекцией проводов и троса, но не около опор или оси пересекаемого сооружения.

Напряжение ЛЭП в поле можно определить по типу опор и количеству изоляторов:

- ЛЭП 6-10 кВ - опоры бетонные или деревянные на бетонном пасынке высотой до 10 м, количество изоляторов 1 или по 2 в местах переходов через дороги и коммуникации, количество проводов 3;
- ЛЭП 35 кВ - опоры, в основном, бетонные, круглые, высотой 10-15 м, угловые опоры, в целом, металлические фермовые, количество изоляторов на проводе 3-5, количество проводов 3 или 6;
- ЛЭП 110 кВ - опоры бетонные круглые или металлические фермовые высотой 15-20 м, количество изоляторов 6-10, количество проводов 3 или 6, по верху опор обычно идет трос заземления.

Иногда на опорах подписано напряжение и номер фидера. Напряжение ЛЭП уточняется при согласованиях в эксплуатирующих организациях.

Полевые документы

Все записи при производстве полевых топографо-геодезических работ следует вести в угломерных, нивелировочных, тахеометрических, аб-

рисных журналах и пикетажных книжках установленной формы карандашом (шариковой ручкой) (ВСН 208-89). Зарисовки снимаемых объектов в абрисных и тахеометрических журналах должны быть четкими и иметь в необходимых случаях краткие характеристики снимаемых объектов.

При съемке ситуации способом полярных координат и угловой засечки все записи угловых и линейных измерений следует вести в абрисном журнале.

При съемке ситуации способом ординат промеры по съемочному ходу (абсциссы) записывают вблизи него перпендикулярно ходу, поперечные промеры (ординаты) - около изображений снимаемых объектов, параллельно съемочному ходу. При насыщенной ситуации результаты промеров записывают в вычерчиваемую сбоку сетку.

Все здания в абрисном журнале должны быть пронумерованы порядковыми номерами, а сведения о них приведены в особой ведомости, помещаемой на одной из страниц того же журнала.

Все страницы полевых журналов должны быть пронумерованы.

Перед выдачей исполнителям работ журналы должны быть подписаны начальником партии (отряда). При съемке больших объектов следует составлять указатель, с помощью которого можно было бы быстро разыскать записи любого элемента работы.

При производстве топографо-геодезических работ с использованием электронных и электрооптических тахеометров или светодальномеров запись результатов измерений должна производиться на магнитный носитель (при автоматизированной регистрации результатов измерений) или в специальных журналах.

В результате выполненных полевых топографо-геодезических работ изыскательской партией должны быть представлены следующие материалы:

- полевые журналы с вычисленными элементами угловых и линейных измерений, пикетажные книжки, а также файлы электронных тахеометров (при автоматической регистрации результатов измерений);
- схемы ходов геодезической съемочной сети и привязок к пунктам государственной геодезической сети;
- топографические карты (схемы), на которых показаны трасса и границы съемок;
- ведомости вычислений и каталог координат и высот пунктов съемочной геодезической сети;
- ведомость реперов;
- инженерно-топографические планы (если их составление в поле предусмотрено программой изысканий);
- схемы пересечений ЛЭП (ЛС) и других коммуникаций;
- схема закрепления трассы;

- акт приемки материалов завершенных инженерных изысканий;
- акты сдачи трасс и материалы согласований.

12 ОЦЕНКА УРОВНЯ ВОЗМОЖНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время физико-механические и компрессионные свойства пород-коллекторов Марковского месторождения практически не изучены. Исходя из этого, значение модуля упругости и коэффициента Пуассона в расчетах оседаний земной поверхности принимались из известных зависимостей, а параметры упрочнения – по аналогии с другими месторождениями.

В механике горных пород известен тот факт, что точечные лабораторные испытания (проводимые, как правило, по кернам) не моделируют поведение массива горных пород в целом и не отображают в достаточной мере его физико-механические свойства. Влияние слоистости, трещиноватости, факторов выветривания и других структурных особенностей приводит к тому, что прочность и модуль упругости массива может быть более чем на порядок меньше соответствующих величин в образце.

Поэтому для исследования свойств горных массивов проводят крупномасштабные натурные испытания на соответствующем оборудовании, позволяющие получить наиболее достоверные данные о прочности и деформируемости массивов. Однако, выполнение таких работ характеризуется значительной трудоемкостью и требует больших затрат. В практике применяют различные эмпирические и теоретические методы оценки (перехода) к упругим и прочностным свойствам горных массивов по данным лабораторных испытаний образцов пород.

Один из способов оценки прочностных свойств массива заключается в использовании коэффициента структурного ослабления. Среди эмпирических методов можно отметить методику К.Л. Тер-Микаэляна.

Выполненный комплекс работ по прогнозу параметров процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при добыче углеводородов на месторождении показал, что прогнозные максимальные оседания земной поверхности находятся в пределах 330-340 мм (рис. 49). Приведенные величины не представляют существенной угрозы для промышленных, гражданских сооружений и объектов обустройства нефтепромысла.

Тем не менее, исходя из предварительных расчетов и полученных возможных величин оседаний массива пород, можно примерно оценить некоторые ситуации. Одними из важных показателей, характеризующих процесс сдвижения и безопасность наземных сооружений, являются наклоны и кривизна. Если обратиться к рис. 1, отражающим показания расчетных оседаний земной поверхности при отработке Марковского месторождения, и предположить, например, что произойдет одностороннее

оседание земной поверхности над нефтяным пластом, то получим следующее значение наклонов из формулы

$$i = (\eta_i - \eta_{i-1})/L$$

где $\eta_i - \eta_{i-1}$ – значение оседаний переднего и заднего пунктов наблюдения; L – горизонтальное расстояние между пунктами.

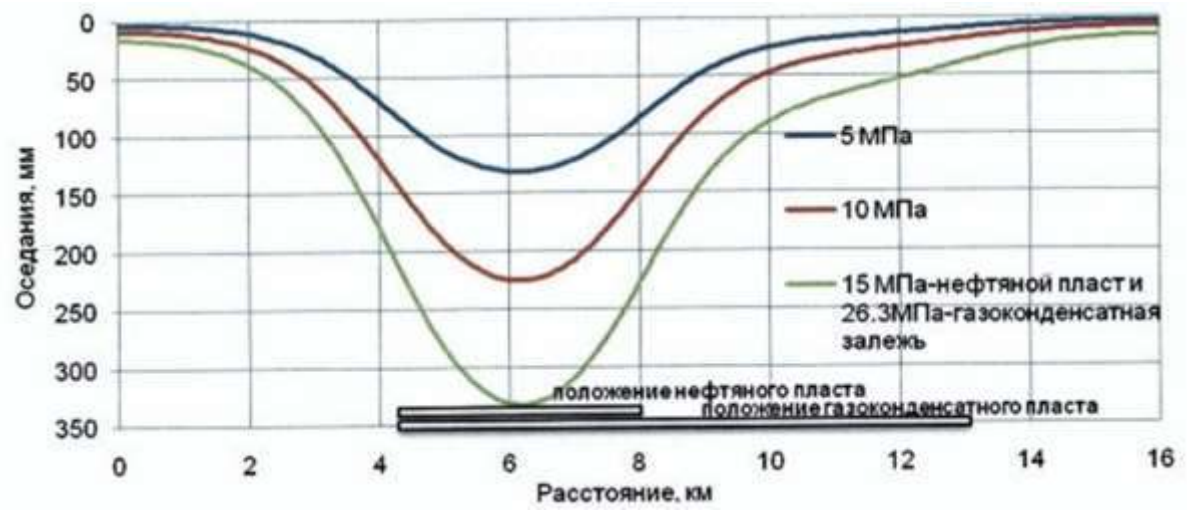


Рисунок 49 – График положения расчетных оседаний при отработке месторождения

Предположив, что η_i = о, η_{i-1} = 0,340 м, L = 2000 м и подставив эти величины в формулу (1), получим

i = 0,340 м/2000 м = 0,17 · 10^{-3} при допустимой (критической) величине наклона i = 4,0 · 10^{-3} для зоны опасного влияния и углов сдвижения [6].

Кривизна определяется по формуле

$$k = (i_n - i_{n-1})d_{ср}$$

где $d_{ср} = (d_n - d_{n-1})/2$ – полусумма горизонтальных длин последующего и предыдущего интервалов.

Подставив в формулу (2) соответствующие значения, получим

k = 0,17/2000 = 0,08 · 10^{-6} при допустимой величине k = 0,2 · 10^{-3}.

Для 100 метрового участка в таком случае i = 3,4 · 10^{-3}, k = 0,03 · 10^{-3} ,что также меньше допустимых величин.

Таким образом, даже предполагаемая и, в принципе невозможная ситуация деформации земной поверхности не может нанести вред охраняемым объектам.

Однако в районах структурных неоднородностей верхней части горного массива существует возможность локальных концентраций деформаций на земной поверхности, что может представлять опасность для объек-

тов инфраструктуры, (для чего в последующем, возможно потребуется выполнить геодинамическое районирование территории месторождения).

Тем не менее, при разработке нефтегазовых месторождений наибольшему техногенному воздействию подвержены природные ландшафты. Под влиянием хозяйственной деятельности происходит их изменение: нарушается естественный профиль почвенно-растительного покрова вплоть до его полного уничтожения, что нередко приводит к образованию начальных эрозионных форм. В результате техногенного воздействия в условиях криолитозоны на границе поверхность-порода нарушается уровень теплообмена, следствием чего является полная деградация многолетнемерзлых пород или снижение ее границ. Оттаивание мерзлых глинистых грунтов сопровождается термокарстовыми просадками на десятки сантиметров и более.

Для добычи строительного камня на площади месторождения, как правило, активно осуществляется разработка карьеров. При разработке карьеров происходит нарушение естественных горно-геологических условий, создание техногенных и природно-техногенных склонов, активизация оползневых процессов.

При разработке месторождения требуется большой объём технической воды с целью поддержания пластового давления (ППД). Источником воды могут служить как поверхностные, так и подземные воды. Последствия изменения их состояния в условиях массового водоотбора трудно оценить, особенно в случае недостаточных ресурсов. При длительной эксплуатации подземных вод, имеющих ограниченное распространение в условиях криолитозоны, возможно истощение запасов и осушение водоносных горизонтов. В условиях связи подземных вод с карбонатными породами, широко распространенными, к примеру, на Верхнечонском месторождении, возможно проявление процессов суффозии. В результате длительной закачки поверхностных вод непредсказуемы изменения гидрологического режима поверхностных водотоков.

Отсюда явствует однозначный вывод: даже при всех предварительных положительных расчетах и выкладках по воздействию извлечения нефти из недр на состояние земной поверхности, маркшейдерско-геодезический мониторинг за охраной недр и рельефом поверхности с использование геодинамического полигона на Марковском нефтегазовом месторождении необходим.

12.1-Определение оптимального состава и типа реперов применительно к физико-географическим условиям района производства работ

12.1.1 Общие требования к центрам

Геодезические сети представляют собой совокупность закрепленных точек на земной поверхности с известными координатами, высотами или значениями силы тяжести, отнесенными к центрам этих геодезических пунктов. Составные элементы центров геодезических пунктов, имеющих метки, к которым относят координаты, называют «марками» центров.

Существует два типа марок: одни закладываются в бетон, другие привариваются к трубе. На марке указываются начальные буквы организации, выполняющей работы, номер марки или репера. Для обеспечения лучшей сохранности и опознования на местности геодезические пункты имеют соответствующее внешнее оформление: наружный знак, канавы, курганы, опознавательные столбы или опознавательные знаки.

Геодезические пункты рассчитаны на использование в течение длительного времени и находятся под охраной государства.

Основными требованиями к конструкциям реперов являются незначительная их подверженность сезонным промерзаниям и пучениям грунтов, простота конструкции, удобство в работе.

Опорные и наблюдательные реперы изготавливают и закладывают с особой тщательностью, так как они обеспечивают сохранность и неподвижность закрепленных точек в плановом и высотном положениях на многие годы.

В настоящее время предложено достаточное количество различных конструкций центров геодезических пунктов, учитывающих их ценность и назначение, географические условия местности, характеристики грунтов. Реперы должны быть стойкими к пучению, механическим нагрузкам и химическому воздействию грунтового раствора. Поэтому типовые конструкции реперов выбирают с учетом климатических и физико-географических условий зон, а также в соответствии со схемами, приведенными на рис. 50 и51.

Установка пунктов геодинамического полигона должна обеспечивать их устойчивость, исключение влияния сезонных колебаний почвы и сохранность. Поскольку территория МГКМ относится к Северным районам, необходимо также учитывать наличие многолетнемерзлых пород.

В области сезонного промерзания грунтов глубину закладки центров вычисляют по формуле З = Г + 50 см (З – глубина закладки, Г – глубина промерзания грунта, см).

Закладку центров и реперов, как правило, выполняют с помощью механических средств; допускается установка котлованным способом.

При закладке центров должны соблюдаться требования «Правил по технике безопасности на топографо-геодезических работах».

Для закрепления исходных, опорных и рабочих пунктов базового назначения и GPS- сети, а также опорных пунктов профильных линий проектом рекомендована конструкция центров для местных условий в соответствии с инструкциями Роскартографии (ГУГК), а так же ведомственными методическими указаниями.

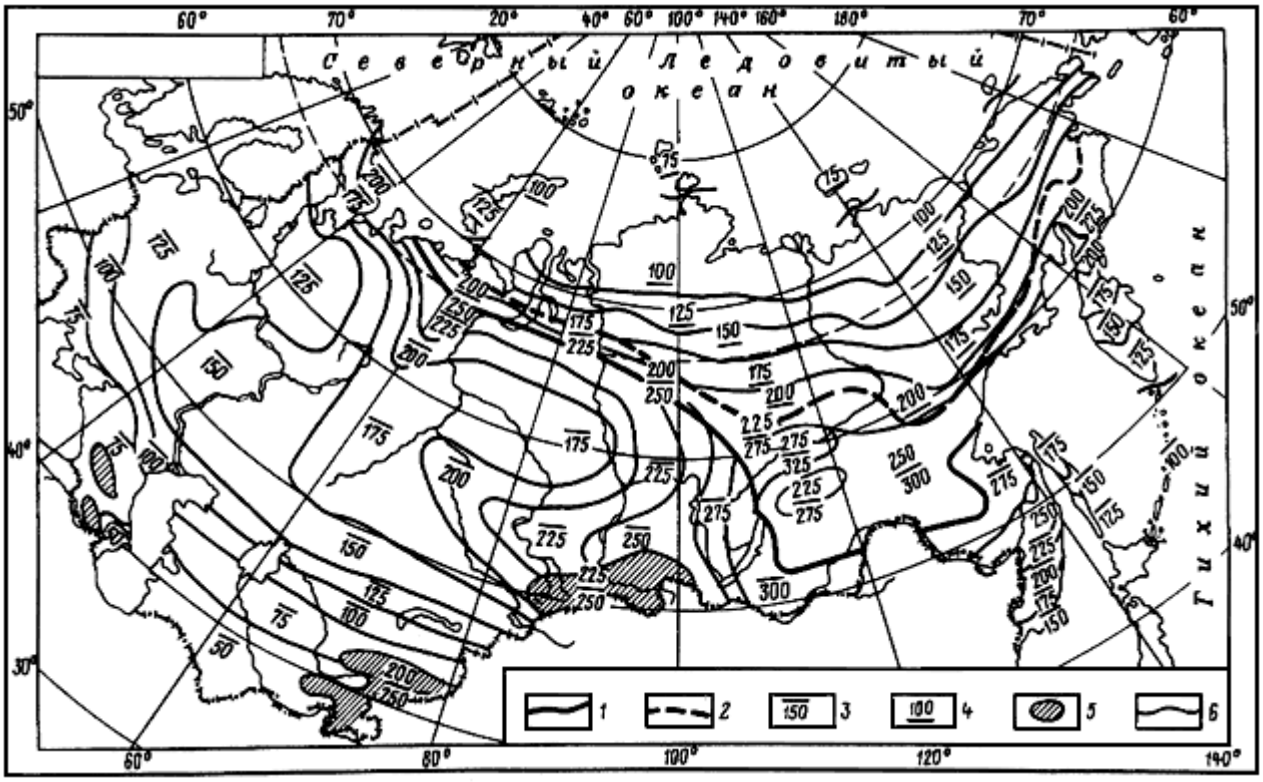


Рисунок 50 - Схема промерзания и протаивания грунтов для определения глубины закладки центров:

1 - южная граница зоны прерывистого распространения многолетней мерзлоты; 2 - северная граница зоны прерывистого распространения многолетней мерзлоты и южная граница области применения знаков, закладываемых в узкие скважины протаиванием или бурением; 3 - глубина промерзания грунтов, принимаемая при расчете глубины закладки знаков, см; 4 - глубина протаивания грунтов, принимаемая при расчете глубины закладки знаков, см; 5 - высокогорные области с преимущественно каменистыми породами и прерывистым распространением многолетнемерзлых грунтов; 6 - изолинии равных глубин промерзания (протаивания)

Основными требованиями, предъявляемым к глубинным и грунтовым реперам, является их сохранность и устойчивость. Рекомендуемый тип центра репера 2ГР с бетонным якорем отвечает этим требованиям.

Выбор типа продиктован необходимостью исключения влияния на репер сезонных колебаний почвы. Для повышения устойчивости репера рекомендуется увеличить глубину расположения якорной части:

- в местах, где скальные породы расположены близко к поверхности, достаточно внедриться в них на величину 2,0 м ниже глубины оттаивания;

- в местах распространения многолетней мерзлоты (если скальные породы располагаются глубоко) закладку якоря производить на глубину не менее 2,5 м ниже глубины оттаивания;

- в местах с сезонным промерзанием грунта глубину закладки якоря увеличить до 1,0-1,5 м ниже глубины промерзания;

- по возможности исключить закладку реперов на заболоченных участках.

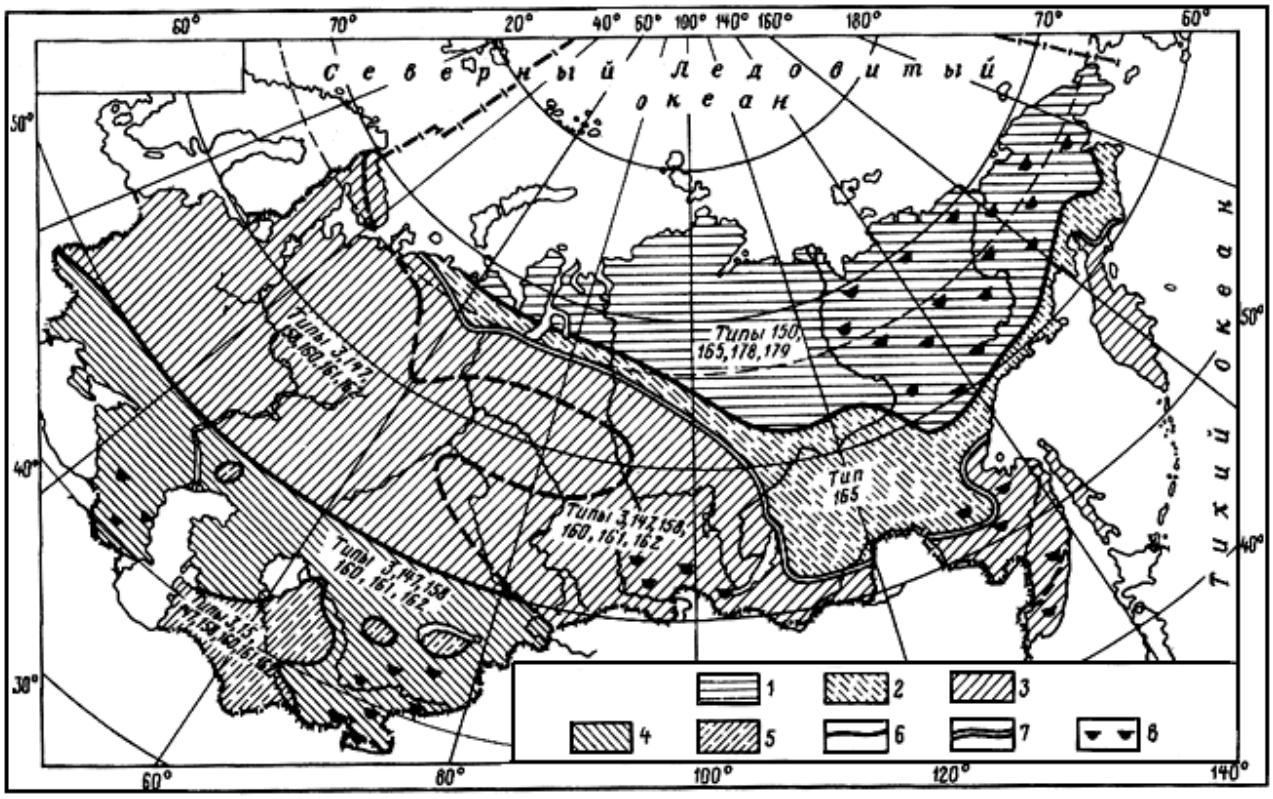


Рисунок 51 - Схема областей применения центров и реперов:

1 - средняя и северная зоны области многолетней мерзлоты; 2 - южная зона области многолетней мерзлоты; 3 - северная зона области сезонного промерзания грунтов; 4 - южная зона области сезонного промерзания грунтов; 5 - область подвижных песков; 6 - границы между зонами с применением различных типов знаков; 7 - южная граница многолетней мерзлоты; 8 - области возможного применения скальных центров и реперов. В "Схему" не включены: 1. Вековые реперы (типы 173, 174, 175). 2. Фундаментальные реперы (типы 114, 161, 164). 3. Центры и реперы, закладываемые в скальных грунтах (тип 7, 8, 9, 92, 164). 4. Образцовые базисы (тип 181, 187). 5. Стенной центр (репер) (тип 143). 6. Центр (репер) для заболоченных территорий (тип 183 и 188)

12.1.2 Закладка наблюдательных реперов

Центры опорных и рабочих реперы устанавливаются в скважины диаметром 150—400 мм. Бетонируемая часть репера должна располагаться на 500—700 мм ниже глубины промерзания грунта *hu.* Глубина промерза-

ния грунта *hu* практически всегда известна для каждой климатической зоны.

Глубина закладки реперов выбирается с учетом геологических и местных условий участка проведения работ: мощностью залегания коренных пород на склонах, равной 1,5-2,5 м; глубиной промерзания или оттаивания; мощностью осадочных пород. В связи с этим глубина закладки якоря составит 2,5-4,0 м.

Способ закладки реперов зависит как от места расположения пункта, так и от глубины закладки: в крепких породах применяется механизированная закладка, в мягких не глубоких наносах – котлованная, ручная.

Рядом с центром оборудуется сторожок. Он представляет собой столбик из асбоцементной трубы высотой 1 м, выступающий над земной поверхностью. На сторожке помещается табличка с подписью имени (номера), принадлежности конкретной сети и даты закладки. Каждый пункт обносится металлической оградкой размерами 2 м×2 м×1,5 м (рис. 2.3), выкрашенной в сигнальный цвет, что позволяет легко различить пункт на фоне остального естественного пейзажа (фона).

Обустройство всех пунктов геодинамических полигонов должно соответствовать следующим требованиям:

- центры устанавливаются в местах, пригодных для производства спутниковых наблюдений. Под этим понимается отсутствие естественных препятствий, мешающих уверенному приему сигнала от спутников (древесная и кустарниковая растительность, металлические конструкции, здания и сооружения), а так же отсутствие радиопомех;
- место закладки должно обеспечивать его сохранность при производстве работ, а так же сохранность оборудования устанавливаемого на него;
- расположение центра должно быть легкодоступным и безопасным для исполнителей, с возможностью продолжительного нахождения на пункте;
- уровень грунтовых вод в местах закладки центров должен находится не ближе 5 м от поверхности земли.

Материалами для изготовления бетонных центров и реперов служат цемент, песок, щебень (гравий), вода. Наилучшим цементом для изготовления бетонных центров считается портланд-цемен. Он обеспечивает высокую прочность бетона и быстрое твердение. Можно использовать глиноземный и ангидрито-глиноземный цемент марки 300-500.

Качество бетона зависит от чистоты заполнителей, а также от качества и количества воды, от тщательности перемешивания сухой бетонной смеси и бетонного раствора. Количество глинистых и землистых примесей в песке не должно превышать по массе 5 %, а в щебне и гравии – 20 %. Заполнять якорную часть бетоном следует не позже чем через 30 мин после

его изготовления. Для приготовления бетонной смеси на базах можно применять бетономешалки и растворосмесители, для уплотнения – вибраторы.

Для защиты труб и бетона от коррозии их покрывают битумом, эпоксидной смолой, хлорвиниловой липкой лентой и другими средствами.

Перед закладкой центров заранее заказываются и выполняются металлические и другие детали пункта, осуществляется бурение скважин под центры, доставляются все материалы, необходимые для закладки и обустройства пункта.

По окончании закладки центров и реперов представляются документы:

- акт о сдаче геодезических пунктов и наблюдательных реперов для наблюдения за сохранностью;
- журнал закладки;
- карточка закладки пунктов (Приложение 2).

Ниже приводятся некоторые конструкции центров, наиболее подходящие для закладки в условиях Марковского месторождения.

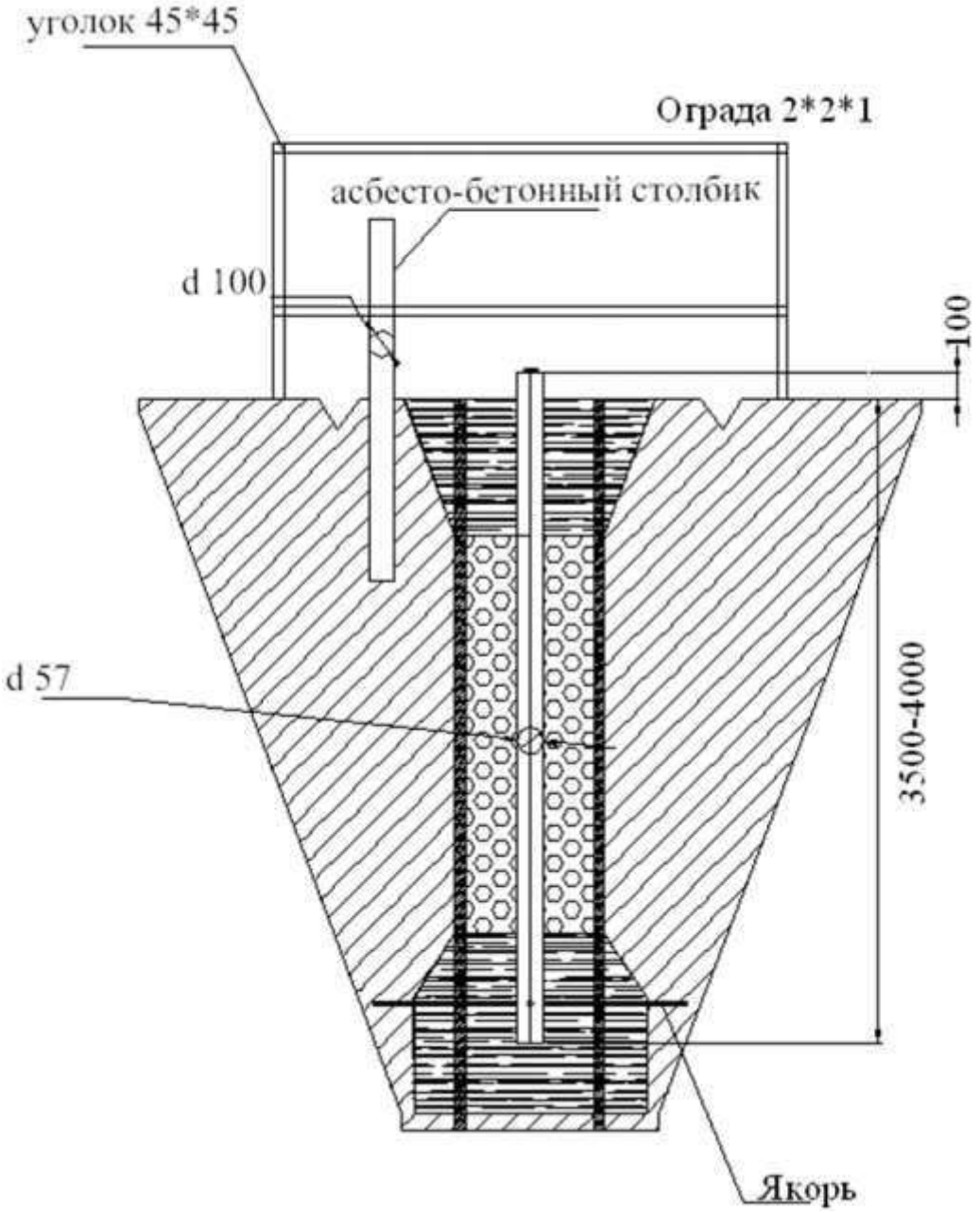


Рисунок 52 - Модель грунтового центра



Рисунок 53 - Конструкция пункта геодинамического полигона «Тип 162»

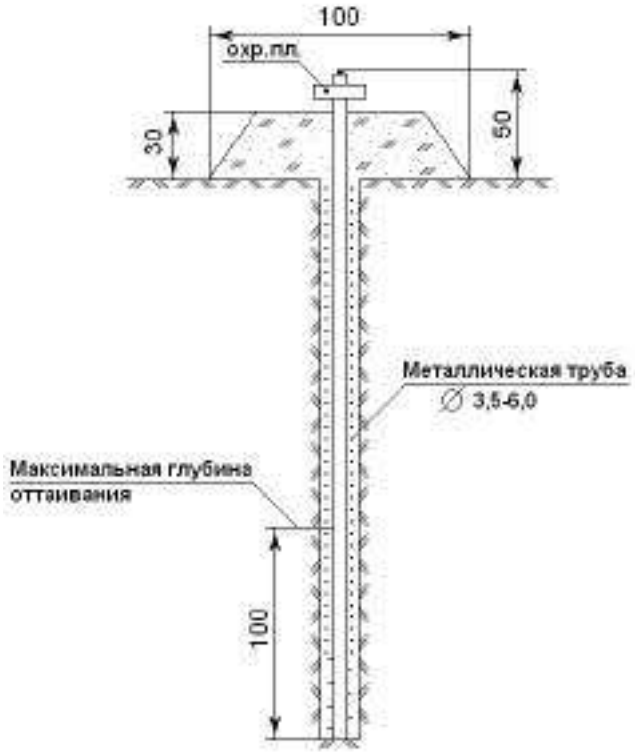


Рисунок 54 - Конструкция пункта геодинамического полигона «Тип 179»
(размеры даны в см)

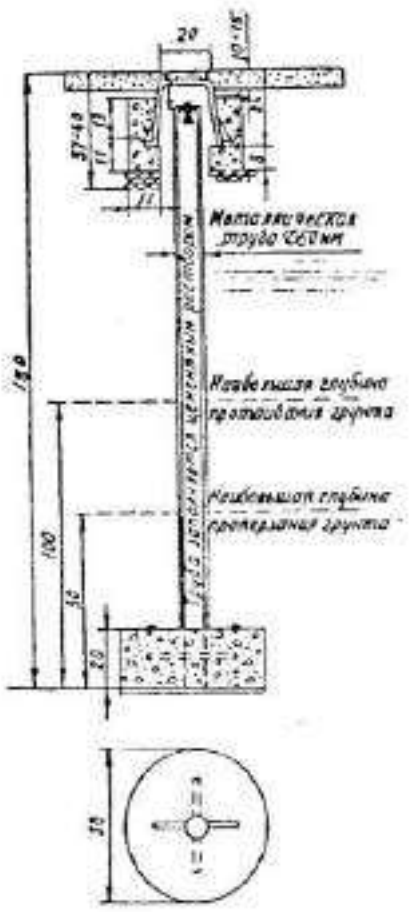


Рисунок 55 – конструкция репера тип 2ГР

Пространство между центром и стенками скважины заполняется гравием и грунтом, который затем утрамбовывается. Для защиты верха центра от различных внешних воздействий, он закрывается откидной металлической крышкой.

Разработка оптимального регламента системы геодинамических наблюдений на полигоне

12.2 Конфигурация сети, густота наблюдательных пунктов

Традиционно, для наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности на месторождениях твердых полезных ископаемых на поверхности закладывают наблюдательные станции, состоящие их профильных линий. Причем типовая наблюдательная станция состоит из одной-двух прямолинейных профильных линий, располагаемых вкрест простирания и одной профильной линии, располагаемой по простиранию пласта в главных сечениях мульды сдвижения. Длины профильных линий определяются границами разработок с учетом расстояний, получаемых при проведении линий от границ разработки под углами сдвижения до пересечения с поверхностью. На расстоянии 30-50 м от этих границ закладывают по

одному-два опорных репера с расстояниями между ними равными 30-50 м. Интервалы между рабочими реперами в зависимости от глубины разработки (обычно составляющих 300-600 м, исключение – Норильск, 2 км.) выбирают от 5 до 30 м.

Полная серия наблюдений на таких станциях включает определение высотных отметок реперов (нивелирование) и определение расстояний между реперами. В результате обработки измерений получают значения оседаний реперов, горизонтальные сдвижения, горизонтальные деформации, наклоны, кривизну и сравнивают эти величины с допустимыми величинами. Метод контроля считается надежным.

Нефтегазовое месторождение разрабатывается на глубине 2150-2585 м и имеет размеры по площади 17,4 на 10 км. При таких несоизмеримых размерах месторождения и тяжелых условиях для выполнения работ, применение данного метода практически неприемлимо. Исключение могут составлять отдельные участки.

Учитывая вышеизложенное, проектом рассматривается создание варианта трех уровневой конфигурации формирования маркшейдерско-геодезического обоснования. Геодинамический полигон месторождения представлен серией исходных, опорных и рабочих пунктов геодезических сетей различного назначения, при создании которых предусмотрены следующие принципы.

1. ***Исходные*** пункты располагаются за зоной влияния процессов сдвижения, определяемой граничным углом сдвижения (60^{o} – по результатам моделирования, с учетом поправки) и, по возможности, вдали от границ тектонических разломов и элементов линеаментной сети. Настоящим проектом предусмотрено включение в систему наблюдений пяти исходных пунктов, расположенных по периметру месторождения: Большая Рассоха, Елань, Сенная, Мысовая, Марково. Пункт «Оболкино» является временным (в тоже время центральным) и служит для осуществления геометрической связи между исходными пунктами.

2. ***Опорные*** пункты располагаются внутри треугольников, образованных центральным пунктом «Оболкино» и остальными пунктами исходной сети, составляя локальную сеть второго уровня (сеть пунктов GPS), покрывающую места расположения производственных объектов нефтепромысла.

Пункты GPS - сети, по возможности, должны быть совмещены с пунктами ГГС и реперами государственной нивелирной сети, исходя из условий сохранности и радиовидимости. Условия радиовидимости на всех пунктах сети должны быть близки к идеальным: в поле зрения антенны приемника от 15° над горизонтом и выше не должно быть посторонних предметов во время проведения сеанса наблюдений.

3. ***Рабочие*** реперы (пункты) закладываются по обе стороны тектони-

ческого нарушения и непосредственно возле контуров промплощадок и промышленных сооружений нефтепромысла, обеспечивая контроль за оседаниями охраняемых объектов (приложение 1).

4. ***Пункты маркшейдерско-геодезической сети*** располагаются вдали от трансформаторных станций, ЛЭП и других объектов, способных создавать внешние электромагнитные поля.

5. ***Наблюдательные реперы*** закладываются в благоприятных условиях с точки зрения инженерной геологии: следует избегать оползневых участков, крутых склонов, заболоченных участков, участков оврагообразования и т.п.

6. ***Все пункты-реперы*** геодинамического полигона должны по возможности располагаться так, чтобы на них была обеспечена оперативная доставка исполнителей и оборудования различным транспортом.

7. Не рекомендуется изменять имеющуюся геометрию сети в последующих циклах наблюдений (при условии сохранности пунктов).

Для определения координат опорных и рабочих реперов наблюдательных станций используют исходные пункты, в качестве которых могут служить государственные геодезические сети.

При создании GPS-сети также необходимо соблюдать следующие условия:

- рабочие, опорные и исходные пункты должны образовывать сеть связанных многоугольников в виде плоской или объемной фигуры;

- направления и количество измеряемых векторов в сети рекомендуется определять методом оптимальной триангуляции, т.е. триангуляции с минимальным количеством сторон и суммарной длиной ребер.

При этом геометрическое построение сети выполняется таким образом, чтобы при необходимости обеспечить дальнейшее сгущение пунктов в выделенных динамически напряженных зонах. Кроме того, сеть должна быть такой конфигурации, чтобы все объекты наблюдений находились "внутри" границ внешних векторов сети. Это условие необходимо для правильной трансформации результатов наблюдений из геоцентрической системы координат в прямоугольную.

Проектная схема геодинамического полигона (см. приложение 1) включает пять участков. Такое разделение обусловлено значительными размерами месторождения и поэтапным развитием работ по добыче нефти из недр. Исходя из этого, работы по сгущению наблюдательной сети (закладка опорных и рабочих пунктов) производятся также поэтапно, по мере развития инфраструктуры нефтедобывающего комплекса. Это позволит экономить материальные затраты и распределять их во времени.

Проектом также предусматривается закладка опорных и рабочих реперов на перспективных участках месторождения.

Участок № 1, предназначен для наблюдения за сдвижением земной

поверхности, вызванного извлечением из недр нефти и служит связующим звеном в геометрической системе наблюдений. Определение местоположения профильных линий, предназначенных для наблюдения за оседанием земной поверхности вследствие откачки воды, в настоящее время затруднено в связи с отсутствием проекта куста гидроскважин и схемы их расположения. Поэтому схему расположения реперов наблюдательной станции в районе гидрокуста целесообразно составить в виде дополнения к техническому проекту (программе) после изучения данных проекта подземного водозабора.

Участок № 2 сформирован для наблюдения за сдвижением земной поверхности, вызванного добычей нефти, оценки активизации тектонических разломов и состоит из 2-х опорных пунктов, совмещенных с пунктами ГГС. Закладка парных рабочих реперов в количестве 5-ти предусматривается вдоль тектонического нарушения по реперу с каждой его стороны.

Участок № 3 на данный момент времени является краевым в системе наблюдений за земной поверхностью. Является связующим звеном в измерениях и совмещен с пунктами ГГС и опорной маркшейдерской сетью через 2 опорных пункта.

Участки № 4 и № 5 являются основными по добыче нефти, поэтому проект предусматривает наибольшее сгущение сети. В его состав входит 8 опорных и 23 рабочих пунктов, 4 из которых совмещены с опорными пунктами, 21 репер образуют профильную линию для геометрического нивелирования II класса и используются в целях оценки активизации тектонических разломов, наблюдением за земной поверхностью с развитием работ по откачке нефти.

Участок № 6 – перспективный. Здесь закладываются рабочие реперы у скважин Р-11, Р-30, Р-33 с целью определения начальных наблюдений с последующим подключением к ним дополнительных рабочих реперов и слежением за поведением земной поверхности в результате откачки нефти. Далее планируется разбить участок № 5 на 2 фигуры, переориентировав систему на центральный, временный пункт ГГС «Оболкино».

Участок № 7 также перспективный. Предназначен для наблюдения за сдвижением земной поверхности в результате извлечения нефти и оценки активизации тектонических нарушений. К наблюдениям подключаются рабочие реперы, закладываемые вдоль тектонического шва и являющиеся продолжением продольной линии парных рабочих реперов участка № 2.

Дополнительные участки № 6, 7 включены для решения о необходимости проведения наблюдений, которые следует принять на завершающем этапе эксплуатации месторождения, исходя из результатов наблюдений на других участках.

На участках профильных линий, примыкающих к тектоническим разломам (по 500 м в обе стороны от точки пересечения), расстояния между реперами сокращаются до 100 м, согласно требований инструкции [4].

12.2.1 Методика и точность измерений

Все опорные пункты, служащие в некоторых случаях и в качестве рабочих реперов связаны между собой GPS-сетью.

При выполнении работ по определению координат и высот пунктов (реперов) используется комплект спутниковой аппаратуры, например, Trimble R8 GNSS ГЛОНАСС. Измерения на всех пунктах выполняются в статистическом режиме продолжительностью сеанса не менее одного часа.

До начала измерений составляется проект определения мест расположения опорных пунктов. При проектировании построена сеть в виде цепочек треугольников, позволяющая в дальнейшем произвести контроль плановых и высотных координат пунктов. В сеансе измерений отдельная станция устанавливается на определяемые пункты, которые в дальнейшем являются исходными пунктами при продолжении цепочки.

Наблюдения выполняются в периоды, когда в созвездии спутников участвует не менее 6-ти спутников (как правило, 12-14) и их расположение соответствует схеме: один спутник расположен над определяемой точкой, остальные - по всему горизонту. С целью уменьшения ионосферной и тропосферной рефракции, спутники, возвышение которых над горизонтом составляет менее 10° при измерениях не учитываются.

Для исключения явления рассеивания радиосигналов спутников, определяемые пункты (реперы) обеспечиваются открытыми площадками (50х50 м). Наблюдения на пунктах ГГС выполняются при отсутствии на них наружного знака. Координаты пунктов получают в системе координат Киренского района с их трансформацией с помощью программного продукта TrimbleBusinessCenter 2.20.

Для привязки цепочки треугольников ГДП к пунктам геодезической основы месторождения, два приёмника устанавливались на исходных пунктах геодезической сети, каждый из которых пункт триангуляции не ниже 3 класса. Два других приемника устанавливались на пунктах геодинамического полигона. Как на исходных, так и на определяемых пунктах антенны устанавливаются над центрами на штативы, а там где возможно, на реперы с принудительным центрированием. Затем измеряется наклонная высота до середины прокладки приемника до начала наблюдений и по завершению. Высота измеряется в трёх точках антенны равномерно по окружности. Запись информации осуществляется синхронно на всех пунктах, включенных в сеанс наблюдений.

Периодичность записи 10 секунд, маска – 10 градусов (предварительно выбрана и подготовлена площадку для наблюдений с тем, чтобы обеспечить условия по маске).

Между сеансами производится повторная центрировка антенн.

Вычислительная обработка выполняется программами, обрабатывающими как GPS так и ГЛОНАСС информацию дважды – независимо дву-

мя исполнителями. Для вычисления отметок пунктов геодинамического полигона подключается модель геоида EGM96.

По завершению всех измерений и создания жесткой сети в виде цепочки треугольников, в ПО TrimbleBusinessCenter сначала выполняется свободное уравнивание в системе координат WGS-84, затем производится калибровка в местную систему координат по имеющимся пунктам триангуляции.

Большое количество пунктов, имеющих координаты в двух системах, а также избыточные измерения, позволяют с достаточной точностью получить координаты определяемых пунктов.

Ежедневно, при просмотре файлов данных с приемников производится непосредственный контроль качества записанной информации, т.е. проверяются допуски дисперсии, СКО, отношения векторов. Векторы должны обсчитываться с допустимыми значениями этих параметров. Контроль полноты осуществляется методом предобработки результатов спутниковых измерений. При этом фиксируются как факты недостатка информации, так и факты ее избыточности.

Достаточно большое количество избыточных измерений позволяет выполнять оценку точности спутниковых измерений в ПО TrimbleBusinessCenter, а также обеспечивать заданную заводом изготовителем:

в плане ±5 мм + 0,5 мм/км СКО;

по высоте ±5 мм + 1 мм/км СКО.

12.3--Составление схемы нивелирной сети и априорной оценки точности геодезических наблюдений

12.2.2 Схема нивелирной сети

Предварительным проектом [15] предусмотрена закладка реперов по ломаной профильной линии (графическое приложение 1) для выполнения по ним нивелирования II класса. Линия расположена вдоль берега реки Лены и пересекает Осинский горизонт с запасами C_1. Сеть нивелирования состоит из одной линии, расположенной вкрест простирания (падения пластового давления) залежи и тектонического нарушения. Ее длина составляет 11 км, количество закладываемых рабочих реперов 21 шт., количество опорных реперов 6 шт,

Проектирование такой линии можно сравнить с трассировочными работами, которые предусматривают камеральное и полевое трассирование.

Камеральное трассирование выполняется на стадии технического проекта с целью выбора основного направления трассы. Для этого пользуются топографическими картами (в данном случае масштаба 1:25 000) и намечают начальный, конечный и промежуточные пункты. Затем осуществляют полевое трассирование с целью определения наиболее опти-

мального положения трассы на местности. В результате таких изысканий местоположение наблюдательных пунктов и реперов может отличаться от проектного в силу различного рода непредвиденных ситуаций.

1. При выборе мест закладки реперов в натуре руководствуются следующими принципами:

1) реперы располагаются в непосредственной близости от основных промышленных сооружений газопромысла, т.к. основное назначение любой наблюдательной станции - исследование процессов сдвижения в районе сооружений, контроль развивающихся деформаций в подрабатываемых объектах;

2) реперы закладываются в благоприятных условиях с позиции инженерной геологии: следует избегать оползневых участков, крутых склонов, заболоченных участков, участков карстоообразования, участков оврагообразования и т.п. Профильная линия, по возможности, не должна проходить через сложный рельеф;

3) профильные линии должны, по возможности, проходить через эффективные максимальные нефте и газонасыщенные толщины продуктивных объектов и пересекать максимально возможное число структурных особенностей месторождения, т.к. геодинамика недр, прежде всего, определяется смещением по крупным тектоническим нарушениям и линеаментным структурам. Другим условием должно быть прохождение профильных линий через зоны прогнозного максимального падения пластового давления, т.е. фактически через зону максимальных оседаний.

2. При определении длины профильной линии реперов руководствуются, прежде всего, накопленными сведениями о граничных углах сдвижения на уже исследованных участках территории месторождения. Однако учитывая отсутствие таких сведений используются результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива при отработке месторождения, которые показали значение граничного угла сдвижения с поправками 60-55°, откладываемым от нижней границы водонефтяного контакта (ВНК), где должны располагаться кусты опорных реперов. По мере накопления результатов наблюдений величина граничного угла сдвижения уточняется.

3. Куст опорных реперов должен состоять не менее чем из трех опорных реперов, заложенных в вершинах треугольника со сторонами в среднем 50 м. Рекомендуется располагать опорные репера так, чтобы была возможность измерять превышения между ними с одной станции.

4. При определении расстояний между реперами использованы следующие положения.

Расстояние между рабочими реперами должно быть примерно одинаковым и составлять в среднем 500 м, т.к. прогнозируемые незначительные величины оседаний и горизонтальных смещений, а также большая глу-

бина разработки обуславливают возникновение плавной мульды сдвижений. Реперы, располагаемые через 500 м закладываются, по возможности, на возвышенных местах, не подверженных оползневым явлениям. В местах пересечения профильными линиями рек и крупных предполагаемых структурных особенностей горного массива рекомендуется сгущение реперов до 20-50 м и использование обычных реперов забивного типа. На данных участках земной поверхности дополнительно определяют горизонтальные деформации земной поверхности путем измерения расстояний между реперами стальными компарированными рулетками с применением жестких отвесов (конструкции ВНИМИ). 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. Допускается использование светодальномеров и электронных тахеометров, дающих среднеквадратическую ошибку (СКО) измерения длины до 5 мм.

12.2.3 Априорная оценка точности геодезических наблюдений

По рабочим реперам профильной линии рекомендуется осуществлять нивелирование по методике II класса. Нивелирование между опорными реперами следует выполнять также по методике II класса. Программа и методика нивелирования II класса, выполняемого оптическими нивелирами, должна соответствовать программе и методике описанной в Инструкции по нивелированию I,II,III классов [8,10].

1. Перед началом очередной серии наблюдений определяются высотные отметки опорных реперов путем выполнения ходов подходного нивелирования от пунктов триангуляции. Допускается контроль высотных отметок опорных реперов посредством GPS-технологий от пунктов триангуляции, придерживаясь при этом методики спутниковых наблюдений. Разность ежегодно получаемых высотных отметок опорных реперов от пунктов триангуляции, полученных из спутниковых наблюдений не должна превышать 10 мм. Высотные отметки всех опорных пунктов должны быть неизменны на протяжении всех циклов наблюдений. Если отметки опорных реперов, полученные из второй серии наблюдений сопоставимы (в пределах погрешности их определения) с отметками реперов, полученными из первой серии, разрешается производство наблюдений по рабочим реперам наблюдательной станции.

2. Периодичность наблюдений должна быть различной. В стадии пробной и опытно-промышленной эксплуатации месторождения, необходимо обеспечить проведение наблюдений один раз в год. По итогам этих исследований в течение трех-четырех последующих лет, при переходе в стадию промышленной эксплуатации в соответствии с «Технологической схемой разработки Марковского НГКМ», частоту наблюдений возможно принять два раза в год. В последующем рекомендуется дополнительно рас-

смотреть вопрос о проведении наблюдений с частотой раз в год или раз в два года, в зависимости от интенсивности развития деформационных процессов [3,4]. В случае возникновения сейсмических явлений или при интенсивном развитии процессов оседания (максимальное оседание - более 130 мм в год) необходимо выполнять наблюдения два раза в год.

3. При обнаружении мест концентрированных деформаций связанных с наличием тектонических нарушений, при наличии в данных местах инженерных сооружений (нефтепроводы, водоводы, кусты скважин, ДНС,

КНС, зон промышленной и гражданской застройки и т.д) рекомендуется увеличить количество выполняемых циклов наблюдений в таких местах до двух ежегодно.

4. При возникновении в районе месторождения техногенного сейсмического явления рекомендуется, по возможности, в кратчайшие сроки выполнить дополнительный цикл наблюдений.

5. Согласно требованиям Инструкции по нивелированию 1,11,III,IV классов, все высотные сети локальных и площадных геодинамических полигонов должны быть привязаны к высотной основе России для получения высот в единой Балтийской системе. Оба конца нивелирной сети для контроля точности нивелировки следует замкнуть на пункты государственной высотной сети. Допускается передача высотных отметок опорных реперов посредством GPS-технологий от пунктов высотной сети, придерживаясь при этом методики спутниковых наблюдений, изложенной в разделе 2.7.

6. Перед производством работ инструмент и рейки необходимо тщательно поверять. Поверки оптического нивелира выполнить, согласно программе, изложенной в сборнике Инструкций по производству поверок геодезических приборов [18]. Соответствующие акты поверок приводить в отчете на проведение работ. При выполнении оптического нивелирования использовать только инварные рейки.

7. При выполнении нивелирования допускается использовать цифровые нивелиры, если инструменты сертифицированы для использования в нашей стране. Средние квадратические погрешности нивелирования, выполненного цифровым нивелиром должны соответствовать требованиям Инструкции по нивелированию I,II,III классов.

Программа и методика цифрового нивелирования должна соответствовать программе и методике для высокоточного нивелирования, изложенной в техническом руководстве пользователя.

Поверки цифрового нивелира выполнить перед выполнением работ согласно сервисным программам проверки и настройки прибора, изложенным в техническом руководстве пользователя.

Полевые журналы оптического нивелирования хранить в течение 5 лет. Сырые данные (файлы) цифрового нивелирования помещать на оптические носители и хранить до завершения отработки месторождения.

8. При камеральной обработке результатов наблюдений оптического нивелирования проверяется заполнение и состояния полевых журналов, контроль правильности выполнения полевых работ. Полевые журналы проверяются в две руки, в журналах осуществляется постраничный контроль.

Разность пяток реек на станции, контроль разницы превышений из прямого и обратного хода осуществляется непосредственно при полевых измерениях. Допуск разности превышений в секциях в миллиметрах вычисляется по формуле:

$$Д = \pm 5V\ L, \text{ мм},$$

где L-периметр секции при количестве штативов менее 15.

$$Д = +6V\ L, \text{ мм},$$

где L-периметр секции при количестве штативов более 15.

Среднее превышение в секции вычисляется как среднее арифметическое превышений из прямого и обратного ходов нивелирования

Уравнивание нивелирной сети рекомендуется выполнить как строгое уравнивание методом проф. В.В.Попова.

Абсолютные отметки каждого цикла наблюдений следует определять от опорных реперов по уравненным превышениям.

Суммарные оседания следует определять как разницу абсолютных отметок первого и текущего циклов наблюдений.

9. После окончания каждой серии наблюдений осуществляется обработка полевых измерений. Результаты наблюдений оформляются в соответствии с требованиями пункта 254 «Инструкции по производству маркшейдерских работ» РД 07-603-03. По результатам вычислений по каждой профильной линии на вертикальном разрезе строятся графики оседаний и, в случае необходимости, скоростей оседаний реперов, вертикальных (наклон и кривизна) деформаций. После очередной серии наблюдений графики пополняются. Графики горизонтальных сдвижений и деформаций строятся только для тех участков, где выполняются измерения длин линий между интервалами.

12.3--Разработка системы спутниковых наблюдений на пунктах (геодинамического) полигона

Изучение сдвижений и деформаций, происходящих в массиве требует проведения в мониторинговом режиме высокоточных геодезических измерений смещений реперов специально оборудованных наблюдательных станций - геодинамических полигонов. Жесткие требования к проведению подобного рода геодезических работ - обширные территории, охватываемые измерениями, высокий уровень точности определения величин сдвижений и деформаций, короткие периоды между сериями инструментальных измерений, все это предопределяет необходимость использования при проведении исследований современного высокоточного и производительного геодезического оборудования.

В настоящее время имеются две спутниковые системы определения координат: российская ГЛОНАСС (ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система) и американская NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging, Global Positioning System, т. е. «навигационная спутниковая система, обеспечивающая измерение времени и местоположения», «глобальная система позиционирования». Слово «позиционирование» означает «определение координат»).

Использование современной спутниковой технологии дает возможность для разработки метода выбора расположения пунктов геодинамического полигона в тех местах, которые наиболее интенсивно подвержены влиянию деформационных процессов, а не сточки зрения обеспечения прямой видимости между смежными пунктами.

При выполнении большинства геодезических измерений традиционными методами требуется не только прямая видимость, но и оптическая видимость между пунктами, следствием чего является необходимость выбора хороших условий видимости и соответствующего времени суток, что снижает производительность полевых работ. Спутниковые методы определения являются, по существу всепогодными, в результате чего измерения можно производить при любой погоде, в любое время суток и в любое время года, что очень важно, учитывая физико-географическую характеристику месторождения.

Системы ГЛОНАСС и GPS позволяют определять координаты точек на земной поверхности с высокой точностью:

$m = 5$ мм $+ D \cdot 10^{-6}$,

где D – расстояние между опорной (с известными координатами) и определяемой точками, км; m – средняя квадратическая ошибка определения приращений координат.

Основным режимом сбора данных для всех GPS съемок является наблюдение базовых линий (векторов). В простейшем случае один из приемников помещается на точку с известными координатами, а другой помещается на точку, пространственное положение которой необходимо определить. В течение определенного периода времени, зависящего от конкретного вида съемки, производится наблюдение базовой линии, после чего приемник перемещается на следующую точку.

В отличие от применяемых в традиционной геодезии линий по земной поверхности и проекции линии на поверхность эллипсоида (геодезическая линия), вектор, также называемый базовой линией (BaseLine), есть результат обработки GPS данных, представляющий собой линию между базовой и определяемой станциями относительно центра Земли в математическом эллипсоиде WGS-84. Несколько векторов в совокупности представляют собой геодезическую GPS сеть, натянутую на поверхность математического эллипсоида. При помощи соответствующих программ обработки данных, сеть строго уравнивается, причем в некоторых программах

обработки предусмотрена возможность совместного уравнивания GPS измерений и маркшейдерско-геодезических измерений, выполненных с использованием традиционных технологий, координаты определяемых пунктов трансформируются на эллипсоид Красовского в принятой картографической проекции.

Существуют несколько технологий, используемых для наблюдения векторов в геодезической GPS сети. Эти методы сбора данных со спутников различны по точности определения координат пунктов, времени наблюдений и производительности. Однако существует несколько условий, соблюдение которых необходимо для успешного выполнения любого вида GPS съемки:

1. Для выполнения геодезических GPS наблюдений векторов необходимо обеспечить одновременную работу как минимум двух GPS приемников, с последующим объединением накопленных ими данных.

2. Одновременный прием спутникового радиосигнала как минимум от четырех спутников, что бывает иногда затруднительно обеспечить в застроенных и залесенных районах.

3. Отсутствие в районе выполнение GPS измерений мощных работающих теле- и радиотрансляционных устройств, особенно с перископической схемой усиления радиосигнала, которые могут заглушать или искажать принимаемый со спутников радиосигнал.

Основные технологии GPS съемок приведены ниже, в таблице 15, в порядке возрастания точности определения координат.

Термин "статический" означает выполнение наблюдений с помощью неподвижного приемника, а "кинематический" - с помощью движущегося приемника. Временная потеря сигнала не так страшна для статического метода, как для кинематического.

Статическое абсолютное определение положения полезно, если нужна невысокая точность (от 5 м до 10 м), за сравнительно короткий интервал времени наблюдений. Кинематическое абсолютное определение положения используют для определения траектории транспортного средства в пространстве и времени с точностью от 10 м до 100 м).

Таблица 15 - Основные технологии GPS съемок

Название технологии, время измерения	Точность, м	Область применения
Навигационный режим, непрерывное слежение	10-15	Поиск точки по заранее известным координатам, поиск потерянных объектов по известным координатам, рекогносцировка местности.
Кинематика «real-time», 20-30 секунд на точку	0,1-0,3	Локальные топографические съемки и разбивочные работы с небольшими препятствиями прохождения спутникового радиосигнала. Координаты вычисляются прямо в поле. Необходимо наличие радиомодема.
Кинематика «continuous», непрерывное слежение	0, 05-0, 2	Локальные топографические съемки линейных и площадных объектов в условиях очень хорошего приема спутникового радиосигнала.
Кинематика «stop-and-go», 20-30 секунд на точку	0, 01-0, 03	Локальные топографические съемки с небольшими препятствиями прохождения спутникового радиосигнала, создание съемочного обоснования.
Быстрая статика, 20-30 минут на точку	$(1\text{-}3)\cdot 10^{-3}$	Высокоточные маркшейдерско-геодезические работы, создание опорного обоснования, наблюдения за деформациями земной поверхности, с длинами векторов до 10 км.
Статика, 40-60 минут на точку и более	$(1\text{-}3)\cdot 10^{-3}$	Высокоточные маркшейдерско-геодезические работы, создание опорного обоснования, наблюдения за деформациями земной поверхности, с длинами векторов до 2000 км.

Статическое относительное определение положения по наблюдениям фазы несущей в настоящее время является наиболее используемым геодезистами методом, и по-другому данный метод называется "статической съемкой". Принцип основан на определении вектора между двумя неподвижными приемниками. Различают "однобазовое" и "многобазовое" определения, причем последний термин применяют, если число пунктов превышает два. При статической съемке достижима относительная точность от 10^{-6} до 10^{-7}, что эквивалентно миллиметровой точности для баз длиной до нескольких километров.

Кинематическое относительное определение положения выполняется по одновременным наблюдениям на одном неподвижном и одном движущемся приемниках. Метод применяется там же, где и кинематическое абсолютное определение положения, но достигается более высокая точность. Точность в дифференциальном (по кодовым дальностям) определении находится на метровом уровне, а в относительном (по фазам несущей) методе достижима сантиметровая точность.

"Полукинематический" метод, или метод "остановки и движения" (Stop and Go), является комбинацией статического и кинематического относительных определений положения. В этом методе движение приемника чередуется с остановками в заданных пунктах. Наблюдения ведутся постоянно, но во время остановок накапливаются эпохи измерений и, соответственно, повышается точность определений. Метод часто называют просто "кинематической съемкой".

"Псевдокинематический" или "прерывистый статический" метод определения положения предполагает, что на интересующих пунктах наблюдения выполняют еще один раз (примерно через час после первого посещения пункта). Это делается для того, чтобы облегчить разрешение неоднозначности и получить более высокую точность. В основном эти цели достигаются вследствие изменения конфигурации сети спутников. При этом не требуется поддержания непрерывности сигнала между посещениями станции, и приемник во время движения можно даже отключать.

"Быстростатические" методы используют комбинации псевдодальностей и фаз несущей с целью выполнить быструю инициализацию (то есть разрешить неоднозначность) в статическом режиме. В этом случае требуются измерения как кода, так и фазы несущей, на обеих частотах. Наблюдения в течение 5 - 10 минут могут дать относительную точность 10^{-6}.

"Безостановочные (On-The-Fly)" методы позволяют выполнить инициализацию в кинематическом режиме, а не в статическом. Этот метод с использованием кодовых данных позволяет определять положения движущихся объектов с дециметровой и даже с сантиметровой точностью, если неоднозначности разрешены.

Выбор метода GPS съемки зависит, главным образом, от требуемой точности определения положений. При использовании одного приемника имеет смысл лишь определение координат одного пункта - "абсолютное определение положения" пункта. При этом не следует забывать, что неограниченный доступ возможен лишь к коду C/A, и что точность может быть искусственно ухудшена включением режима выборочного доступа (SA - Selective Availability). Более точный P-код в случае режима антиимитации (AS - Anti-Spoofing) или засекречивания P-кода доступен лишь пользователям, имеющим на это разрешение.

При использовании двух или большего числа приемников, один из пунктов служит корректирующей станцией, и на втором пункте достижимы более высокие точности. В дифференциальном режиме наблюдаются кодовые псевдодальности одновременно до четырех (обычно) или более спутников. Корректирующая станция вычисляет действительные поправки к наблюденным кодовым псевдодальностям. Эти поправки затем передаются различными средствами связи на неизвестные пункты,

приводя к уточнению независимо вычисленных положений. Поскольку Р-кодовые приемники обеспечивают точность кодовых дальностей на метровом уровне, с помощью дифференциального метода достижима субметровая точность определения положения. Следовательно, можно строить сети ниже третьего класса. Преимуществом метода кодовой псевдодальности является его нечувствительность к скачкам фазы и, до некоторой степени, к препятствиям около пункта. Значит, в лесных районах деревья оказывают на кодовые наблюдения меньше влияния, чем на измерения фазы несущей.

В настоящее время геодезические точности достижимы лишь при использовании измерений фаз несущей, выполненных в режиме относительного определения положений. Обработка вектора базы требует, чтобы фазы наблюдались одновременно на обоих концах базы. Следовательно, относительное определение положения было раньше возможно лишь в последующей обработке наблюдений.

Метод статической съемки является наиболее используемым, поскольку единственным основным требованием является относительное отсутствие препятствий для обзора неба на пунктах. Обычно для статической съемки нужно 60-120 минут наблюдений. Однако этот метод включает в себя использующий более короткие интервалы наблюдений (например, 10 минут) метод "широкой полосы (wide- line) или метод быстростатической съемки, основанный на быстром разрешении неоднозначности. Для длинных баз (> 50 км) обнаружение скачков фаз и разрешение неоднозначностей усложняется. В таких случаях может быть полезным использование дополнительных приемников в окрестностях обоих пунктов базы. Неоднозначности определяются для коротких баз и затем используются для определения неоднозначностей на длинных базах. Эта процедура называется "добавочным расширением (boot- strapping) сети. Обычно статическая съемка используется при государственных, областных и местных контрольных съемках, при фотоконтрольных съемках, при исследовании деформаций и границ плит.

Метод кинематической съемки является наиболее производительным в том смысле, что за наименьшее время можно определить положения наибольшего числа пунктов. Тогда как в статическом методе GPS требуется, чтобы спутники перемещались по небу, в кинематическом методе этого не требуется. Поэтому для кинематического метода является полезным предлагаемое совместное с GPS использование геостационарных спутников. Кинематическая съемка требует проведения тщательной рекогносцировки на местности, поскольку не только пункты остановок и неподвижные пункты, но и трасса между пунктами, по которой движется приемник, должны быть свободны от препятствий. Кинематический метод требует непрерывного сигнала от четырех или более спутников в течение всей съемки. На практике это означает, что движущийся приемник

не может проезжать под деревом или близко к столбу. Метод наиболее подходит широким открытым местностям с малым количеством препятствий, а также и для пригородов, где не слишком много больших деревьев нависает над дорогой. С помощью этого метода можно определять положение приемника, размещенного на наземном транспорте, движущемся по данному району по пересекающимся линиям. Трехмерные координаты этого приемника можно определить с высокой точностью (несколько сантиметров), так что возможно подготовить точную топографическую карту этого района.

Псевдокинематическая съемка наиболее близка к статическому методу. Такая съемка требует меньшего времени нахождения приемника в пункте, но нужно дважды побывать на обоих пунктах базы. Обычная схема наблюдений такова: пребывание на обоих пунктах в течение пяти минут, переезд к другим пунктам, и, через один час после первого посещения первой пары пунктов, возврат к ней для повторного наблюдения в течение пяти минут. Преимуществом этого 10-минутного (в сумме) интервала наблюдений, в отличие от 60-минутного, является наличие некоторого промежутка времени, потерянного на переезд к пунктам для повторного наблюдения. Псевдокинематический метод оптимален для ситуаций, когда пункты находятся вдоль дороги, по которой наблюдатели могут быстро двигаться в промежутках между наблюдениями на пунктах. Главным преимуществом метода является то, что за заданный интервал времени можно побывать на большем числе пунктов, чем при использовании обычного статического метода. В сравнении с кинематическим методом, допускается потеря сигнала, а число спутников не играет такой существенной роли. Слабой стороной метода является необходимость возвращения на пункты. Это ограничивает метод лишь локальными его применениями. Поэтому главным конкурентом метода является быстростатический метод определения положений, в котором нет необходимости вновь посещать пункты.

На практике лучше использовать комбинации этих трех методов. Например, статический и псевдокинематический методы можно использовать для установления широкой структуры сети контрольных пунктов и для установки пунктов на другой стороне препятствий, таких, как мосты. Кинематическую съемку можно применить для определения координат большой части пунктов, используя статические пункты в качестве контрольных и для проверки качества наблюдений. Для таких смешанных пунктов необходима тщательная рекогносцировка.

Для того чтобы иметь опорную сеть для последующих съемок и дать возможность преобразования GPS результатов к национальной системе координат, используют два типа контрольных GPS сетей: пассивные контрольные сети и активные контрольные сети. Пассивная сеть привязана к существующим триангуляционным монументам и высотным реперам. Недостатком такой сети является требование выполнения

наблюдений на многих пунктах и поддержка этих пунктов. Однако эта система подходит, когда имеются густые национальные триангуляционные сети и когда контрольная сеть служит другим целям, как, например, геодинамическим исследованиям.

Целями активной контрольной сети являются вычисление и распространение в (почти) реальном времени дифференциальных поправок для пользователей, имеющих лишь один приемник, а также вычисление точных эфемерид в процессе постобработки (в офисе). Сбор и распространение данных выполняется с помощью высокоскоростных наземных, а также спутниковых систем связи.

12.2.4 Организация и планирование полевых работ

Для успешного применения комплексов спутниковой геодезии при изучении процесса деформирования породного массива большое значение имеет организация и планирование полевых работ. Исследование деформаций породного массива в мониторинговом режиме, подразумевает многократное, от цикла к циклу, выполнение точных геодезических измерений на одних и тех же пунктах сети, по одной программе работ с дальнейшим анализом изменений геометрических взаимосвязей между реперами. Из этого вытекает важная особенность геодинамического полигона: возможность детального изучения условий проведения наблюдений на каждом пункте сети и использование их при планировании времени и периода проведения спутниковых измерений, специальная подготовка отдельных пунктов сети с целью устранения причин затрудненного или некачественного приема спутникового радиосигнала.

Точность спутниковых определений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision), представляющим собой отношение средней квадратической погрешности определения местоположения к средней квадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP имеет несколько видов, основные из которых приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Виды фактора понижения точности (DOP)

Вид DOP	Обозначение	Определяемые параметры
Геометрический	GDOP	координаты, высота, время
Позиционный	PDOP	координаты, высота
Горизонтальный	HDOP	координаты
Вертикальный	VDOP	высота

Фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP.

Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет 20°. Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной.

Для определения периода времени, благоприятного для выполнения спутниковых наблюдений, на стадии проектирования работ выполняется прогнозирование спутникового созвездия.

Исходными данными для прогнозирования спутникового созвездия являются координаты объекта работ и эфемеридная информация о спутниках. В случае если в районе расположения пунктов геодезической основы, съёмочного обоснования или топографических съёмок имеются предметы или сооружения, препятствующие прохождению радиосигналов от спутников, то в качестве исходной информации при прогнозировании необходимо использовать также значения высот и азимутов границ нахождения препятствий.

В качестве исходных координат объекта работ используют географические координаты, взятые с точностью до 1°.

Эфемеридную информацию в виде файла, называемого в эксплуатационной документации альманахом, получают либо из специально для этого выполняемых спутниковых определений, либо используют эфемеридную информацию, образовавшуюся в процессе каких-либо ранее выполненных спутниковых определений. В любом случае спутниковые определения для получения альманаха должны быть выполнены в дату, отстоящую не более чем на 30 суток от даты, на которую выполняют прогнозирование. Если для получения альманаха специально проводят спутниковые определения, то их выполняют одним приёмником в течение 5 минут.

Для объекта работ или его части, где препятствия прохождению радиосигналов, передаваемых спутниками, отсутствуют, прогнозирование выполняют сразу для всех пунктов и снимаемых участков объекта.

В случае если на объекте работ препятствия имеются, прогнозирование должно быть выполнено с учётом этого обстоятельства. Оно должно быть осуществлено в отдельности для каждого пункта, если выполняют подготовку к производству работ по развитию съёмочного обоснования, или в отдельности для каждого участка съёмки, в пределах которого условия прохождения радиосигналов можно принять одинаковыми, если производят подготовку к выполнению съёмки. При этом используют высоту и азимут объектов, препятствующих прохождению радиосигналов от спутников, определённые в ходе рекогносцировки.

Прогнозирование спутникового созвездия выполняют на ЭВМ с помощью программного пакета, входящего в комплект спутниковой аппаратуры, как описано в прилагаемой эксплуатационной документации.

При прогнозировании для каждого пункта геодезической основы или съёмочного обоснования, или участка съёмки в функции времени суток получают график числа доступных для наблюдения спутников и график значений PDOP (GDOP), на каждую дату предстоящих работ. Данная информация выводится на дисплей ЭВМ или может быть напечатана как в графической форме, так и в форме таблиц. Кроме того, может быть составлена диаграмма видимых положений спутников на небесной сфере в некоторый задаваемый интервал времени.

По полученным графикам и таблицам находят периоды, оптимальные для наблюдения спутников на пунктах геодезической основы или съёмочного обоснования или участках съёмки, которые используются для планирования сеансов наблюдений.

Как показывает практика, благоприятными для производства измерений являются промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от 7-8 и более спутников при коэффициенте PDOP меньшем 4. При таких условиях наблюдений, возможно, проводить измерения на миллиметровом уровне точности.

Перед началом наблюдений должна быть произведена привязка (определение координат x, y, z) всех опорных реперов профильных линий геодинамического полигона к ближайшим пунктам триангуляции.

При выполнении спутниковых измерений, как правило, используются трехсуточные сеансы наблюдений с применением двухчастотных приемников. Результаты измерений заносят в таблицу 17.

Таблица 17 – Изменения плановых и высотных координат опорных пунктов

№№ п/п	Номер опорного пункта	Дата наблюдений	Условные плановые и высотные координаты, м		
			X	У	Z
1		…	…	…	…
2	…	…	…	…	…
3		…	…	…	…

Существуют общие указания по выполнению спутниковых определений:

1. В продолжение приёма необходимо непрерывно наблюдать как базовой, так и подвижной станциями не менее 4 спутников одновременно; при применении динамических методов, и особенно кинематического метода, рекомендуется наблюдать не менее чем 5 спутников. Состав спутников в продолжение приёма может меняться.

2. При применении любого из методов спутниковых определений приём, выполняемый базовой станцией, всегда следует производить в следующей последовательности:

- провести развёртывание аппаратуры, установить приёмник на пункте и определить высоту антенны;

- подготовить приёмник к работе, как указано в эксплуатационной документации;

- установить режим регистрации данных наблюдения спутников;

- пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство: значение номера пункта, значение высоты антенны и вспомогательную информацию: время начала и конца приёма, потерь связи и др.;

- провести приём наблюдений спутников в течение времени, указанного в рабочей программе полевых работ для применяемого метода спутниковых определений;

- выключить режим регистрации данных и выполнить свёртывание аппаратуры;

- в заключение работ на объекте следует выполнить вычислительную обработку данных наблюдений спутников.

3. При выборе значения интервала регистрации необходимо руководствоваться эксплуатационной документацией используемого типа приёмника с учётом применяемого метода спутниковых определений. Значение интервала регистрации должно быть одинаковым для всех приёмников, используемых в сеансе.

4. Высоту антенны необходимо определять на каждом пункте и пикете. При этом следует руководствоваться эксплуатационной документацией комплекта приёмника. Во избежание ошибок, рекомендуется производить измерения в метрической мере и в дюймах.

При работе со спутниковой аппаратурой необходимо соблюдать следующие правила:

- следить за индицируемым на дисплее значением свободного объёма запоминающего устройства приёмника и вовремя принимать меры по передаче накопившейся информации в ЭВМ;

- во избежание утраты данных спутниковых определений, по окончании каждого рабочего дня копировать полученные данные на дискету (PC-карту);

- всегда отражать в полевом журнале (или его электронном аналоге) ход выполнения работ: время начала и конца приёма, инициализации, потери связи и т.п.;

- не допускать образования толстого снежного покрова на поверхности антенны приёмника и её обледенения;

- беречь антенну от попадания разряда молнии;

- по окончании рабочего дня упаковывать комплект спутниковой аппаратуры в транспортировочные ящики во избежание механических повреждений или воздействия метеофакторов.

Состав комплекта аппаратуры и оборудования, необходимого для выполнения полевых работ включает: приёмник в составе блоков, содер-

жащих функциональные элементы и принадлежностей, необходимых для приведения его в рабочее состояние (кабелей и др.); укладочную тару для хранения и перемещения приёмника (футляр, рюкзак и т.п.); устройства для установки приёмника на точке (штатив, веха, трегер, адаптеры и т.п.).

Вспомогательное оборудование: трегеры, стойки быстрого развёртывания; сменные аккумуляторные батареи; осветительные приборы (для работы в тёмное время суток); рулетка; описание местоположения точек; сторожки, колья, гвозди, топор; полевой журнал, карандаш, авторучка; эксплуатационная документация.

По условиям организации работ могут быть необходимы также устройства хранения, передачи и обработки информации - PC-карты, дискеты, полевой компьютер (ноутбук), модем и принадлежности к ним, - а в необжитой местности, кроме того, - зарядное устройство и агрегат для подзарядки аккумуляторов.

Для успешного выполнения работ по наблюдениям за деформациями земной поверхности на Тагульском газонефтяном месторождении необходимо развитие обоснования для последующих наблюдений, причем пункты обоснования должны находиться вне зоны возможных деформаций земной коры. С этой целью и были запроектированы опорные репера.

Для достижения миллиметрового уровня точности развитие обоснования необходимо запроектировать методом построения сети, соответственно программа полевых работ на объекте должна быть составлена так, чтобы все линии сети были определены независимо друг от друга. При этом необходимо запроектировать определение линий от каждого вновь определяемого пункта обоснования не менее чем до трех пунктов, а для увеличения количества избыточных измерений, которые необходимы для качественного уравнивания сети, следует увеличивать количество исходных пунктов до четырех.

Таким образом, создается калиброванный район работ в зоне действия каркаса из исходных пунктов и базовой станцией на опорном репере. В нашем случае создается несколько калиброванных районов работ и дальнейшее проектирование наблюдений за положением рабочих реперов должно строго исходить из соображения «каркасности» с опорой на базовую станцию. Причем от цикла к циклу это условие должно неукоснительно соблюдаться. Все эти требования необходимы для минимизации погрешностей при определении положения рабочих реперов в каждом цикле наблюдений.

12.3.5 Обеспечение безусловного соблюдения требований промышленной безопасности и охраны недр на геодинамической основе

При разработке нефтегазоконденсатных месторождений вступают в силу следующие Федеральные законы, нормативные правовые акты и нормативно-технические документы:

1. Закон РФ «О недрах» в редакции 03.03.95 г. № 27 ФЗ….

2. Закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов от 21.07.97 № 116-ФЗ

3. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Правила охраны недр. (ПБ 07-601-03). Серия 07. Выпуск 11/ М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 64 с.

4. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр. РД 07-408-01. Введено в действие постановлением Госгортехнадзора России от 20.06.01 № 20.

5. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Серия 07. Выпуск 15/ М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – 120 с.

Горная промышленность относится к опасным производственным объектам.

Общая безопасность в районе работ обеспечивается Заказчиком.

Охрана труда обеспечивается согласно требованиям инструкции по технике безопасности при топографо-геодезических работах. Руководитель полевых работ до начала изысканий проверяет прохождение работником инструктажа по технике безопасности. Ответственным за соблюдение ТБ при производстве работ является руководитель полевой бригады. Все полевые и камеральные работы выполняются в соответствии со СНиП 11-02-96; СП 11-104-97; так же в соответствии с принятыми на предприятии инструкциями по ТБ и охране труда.

До начала работ на территории промышленных объектов необходимо получить в органах, ведающих данной территорией, разрешение на право производства работ и согласовать требования по безопасности, предъявляемые местными организациями к проведению планируемых работ по созданию геодинамического полигона.

Все работы должны выполняться с соблюдением действующего законодательства об охране окружающей среды (охрана недр, лесов, водоемов и т.п.). Неблагоприятные последствия воздействия на окружающую среду при производстве геодезических работ должны ликвидироваться организациями, производящими эти работы.

Запрещается проведение полевых топографо-геодезических работ в необжитой местности в одиночку или малыми группами менее трех человек.

При выполнении производственного задания группой работников в составе двух и более человек один из них должен быть назначен старшим, ответственным за безопасное ведение работ, распоряжения которого для всех членов группы являются обязательными.

Запрещается допускать к работе лиц в нетрезвом состоянии.

При проведении полевых работ по созданию геодинамического полигона и наблюдений запрещается принимать на работу лиц моложе 18 лет.

Рабочие и инженерно-технические работники должны проходить обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в порядке, установленном приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации. Запрещается принимать на работу или допускать к работе лиц, которым по состоянию здоровья противопоказаны определенные виды работ и профессии.

Все рабочие и служащие могут быть допущены к самостоятельной работе только после прохождения инструктажа по технике безопасности, пожаробезопасности, стажировки на рабочем месте и проверки полученных знаний комиссией.

По характеру и времени проведения инструктажи подразделяют на:

- вводный;
- первичный на рабочем месте;
- повторный;
- внеплановый;
- целевой.

Вводный инструктаж по безопасности труда проводят со всеми вновь принимаемыми на работу независимо от их образования, стажа работы по данной профессии или должности.

О проведении вводного инструктажа делают запись в журнале регистрации вводного инструктажа с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводят с каждым работником индивидуально с практическим показом безопасных приемов и методов труда.

Все рабочие после первичного инструктажа на рабочем месте должны пройти стажировку под руководством лиц, назначенных приказом.

Рабочие допускаются к самостоятельной работе после стажировки, проверки теоретических знаний и приобретенных навыков безопасных способов работы.

Повторный инструктаж проходят все рабочие независимо от квалификации, образования, стажа, характера выполняемой работы не реже одного раза в полугодие.

Внеплановый инструктаж проводят:

- при введении в действие новых или переработанных стандартов, правил, инструкций по охране труда, а также изменений к ним;

- при изменении технологического процесса, замене или модернизации оборудования, приспособлений и инструмента, исходного сырья, материалов и других факторов, влияющих на безопасность труда;

- при нарушении работающими и учащимися требований безопасности труда, которые могут привести или привели к травме, аварии, взрыву или пожару, отравлению;

- по требованию органов надзора;

- при перерывах в работе - для работ, к которым предъявляют дополнительные (повышенные) требования безопасности труда более чем на 30 календарных дней, а для остальных работ – 60 дней.

Объем и содержание инструктажа определяют в каждом конкретном случае в зависимости от причин и обстоятельств, вызвавших необходимость его проведения.

Целевой инструктаж проводят при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями по специальности.

Первичный инструктаж на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой проводит непосредственный руководитель работ.

Инструктажи на рабочем месте завершаются проверкой знаний устным опросом или с помощью технических средств обучения, а также проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы. Знания проверяет работник, проводивший инструктаж.

Лица, показавшие неудовлетворительные знания, к самостоятельной работе или практическим занятиям не допускаются и обязаны вновь пройти инструктаж.

О проведении первичного инструктажа на рабочем месте, повторного, внепланового, стажировки и допуске к работе работник, проводивший инструктаж, делает запись в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

При регистрации внепланового инструктажа указывают причину его проведения.

Целевой инструктаж с работниками, проводящими работы по наряду-допуску, разрешению и т.п., фиксируется в наряде-допуске или другой документации, разрешающей производство работ.

Спецодежда, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты, выдаваемые работникам, а также средства коллективной защиты и предметы лагерного снаряжения и оборудования, должны соответствовать характеру и условиям выполняемой работы, отвечать требованиям действующих стандартов и обеспечивать безопасность труда.

Выдаваемые в полевые бригады оборудование, инструменты и механизмы должны быть в исправном состоянии и иметь соответствующий сертификат или паспорт, подтверждающие их техническое состояние и со-

ответствие выполняемому виду работ. Выдача транспортных средств, а также буровых установок и самоходных механизмов производится по акту готовности к эксплуатации в полевых условиях.

В полевом подразделении каждый работник должен постоянно заботиться о сохранении и укреплении своего здоровья и строго соблюдать требования санитарии и личной гигиены и тем самым способствовать успешному выполнению производственного задания. В этом отношении руководитель подразделения должен служить примером для остальных членов коллектива и требовать от них четкого выполнения установленных правил.

Все работники, командируемые на полевые работы, должны быть обучены правилам оказания первой помощи при несчастных случаях (ожогах, кровотечении, переломах и т.п.). В полевой бригаде один из работников должен иметь знания по оказанию первой медицинской помощи в пределах требований санитарного инструктора.

При работах в полярных районах, при длительных переходах по снежному покрову следует надевать очки с темными стеклами.

Свободное время от работы работники полевых подразделений проводят по своему усмотрению, но каждый обязан помнить, что он не должен нарушать установленного порядка, а в жилых помещениях обязан считаться с интересами живущих с ним товарищей.

13 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асаченков Л.М. Маркшейдерские работы при строительстве и реконструкции шахт: учеб. пособие/ Л.М. Асаченков. – М.: Недра, 1987. – 199 с.
2. Геодезические работы в строительстве/ В.Н. Ганьшин [и др.], под ред. В.Н. Ганьшина. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1984. – 447 с.
3. Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства/ Ф.В. Андреева [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 270 с.: ил.
4. Инженерная геодезия: учебник для студентов вузов/Е.Б.Клюшин [и др.]; под ред. Д.Ш.Михелева. – 6-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 480 с.
5. Левчук Г.П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ: учебник для вузов/ Г.П. Левчук, В.Е. Новак, В.Г. Конусов. – М.: Недра, 1981. – 438 с.
6. Маркшейдерские работы на карьерах и приисках: справочник/ В.Н. Попов [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 424 с.
7. Маркшейдерское дело: учебник для вузов/ Д.Н. Оглоблин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 704 с.
8. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации/ГКИНП (ГНТА) – 01 – 006 – 03 – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 14 с.
9. Поклад Г.Г. Геодезия: учебник для вузов/ Г.Г. Поклад. – М.: Недра, 1988. – 304.
10. Справочник по геодезическим работам в строительно-монтажном производстве/ С.П. Войтенко [и др.], под ред. Ю.В. Полищук. – М.: Недра, 1990. – 336 с.
11. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий/ Я.А. Сундаков. – М.: Недра, 1972. – 362 с.
12. Богданов. Закладка геодезических центров в районах многолетней мерзлоты. - М.: Недра, 1990. – 159 с.
13. Ганьшин В.Н., Стороженко А.Ф., Ильин А.Г. и др. «Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов». М.: Недра, 1981. – 215 с.
14. Генике, Г.Г. Побединский. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М.: 1999. – 271 с.

15. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Утверждена постановлением Госгортехнадзора России № 73 06.06.2003г. Москва, 2003 г.
16. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03, – М.: ЦНИИГАиК, 2004 г.
17. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1988. – 112 с.
18. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99. – М.: ЦНИИГАиК, 1999 – 32 с.
19. Инструкция по созданию наблюдательных станций и производству инструментальных наблюдений за процессами сдвижения земной поверхности при разработке нефтяных месторождений в регионе Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС). - Пермь, изд.ПермГТУ. - 2003. - 34с.
20. Лазарев Г.Е., Самошкин Е.М. Основы высшей геодезии. М.: Недра, 1980. – 424с.
21. Методические указания по созданию, контролю и реконструкции маркшейдерско-геодезических сетей на нефтяных и газовых месторождениях с использованием спутниковой аппаратуры. – Санкт-Петербург, 1998.
22. Положение о порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых». Утвержденно постановлением Федерального горного и промышленного надзора России № 64 от 30 августа 1999 г.
23. «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей», – М.: «Картгеоцентр» – Геодезиздат, 1993 – 104 с.
24. «Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети», Издание официальное, – М.: ЦНИИГАиК, 2001 – 30 с.
25. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. С.-Петербург: Изд. ВНИМИ, 1998 –291 с.
26. Проект формирования геодинамического полигона Марковского ГМК ОАО «Устькутнефтегаз» Т. 2 / ИрГТУ, ООО «Байкалгеосервис», рук. Ю.А. Калашников. – 2008. – 33 с.
27. Расчет оседаний земной поверхности и проект геодинамического полигона Марковского нефтегазоконденсатного месторождения в Иркутской области: отчет по НИР Т. 1 / ИрГТУ, ООО «Байкалгеосервис», рук. Ю.А. Калашников; исполнит.: Ю.А. Калашников, С.В. Гладышев, С.Г. Ашихин, С.Н. Попов, Е.С. Варнина. – 2008. – 52 с.

28. Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса. М.: 1997 – 123с.

29. Сидоров В.А., Хитров В.М., Кузьмин Ю.О. Концепция геодинамической безопасности освоения углеводородного потенциала недр России. – М.: изд.МГГРИ. –1998г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А.В. Самарин, А.А. Гурин

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебно-методическое пособие

К курсовой работе
для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

ВВЕДЕНИЕ

Для рациональной разработки месторождений полезных ископаемых необходимо объективная информация о форме и условиях залегания тел полезного ископаемого, структуре массива и различных свойствах горных пород.

Вопросы изучения различных структурных и вещественных 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 плане 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 Методика геолого-маркшейдерских информации

Исходными материалами при геометризации россыпи являются:

- топографический план участка;
- расположение геологоразведочных скважин;
- абсолютные отметки пласта россыпи, вскрытые по скважинам;
- данные опробования объемного содержания металла по скважинам.

Данные разведки приведены в таблице 1.1. В координаты устья геологоразведочных скважин, отметки пласта россыпи и значения объемного содержания металла вводятся поправки (табл. 1.2).

На первом этапе работы строится план разведки участка месторождения (рис. 1.1) и создается 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 отмечается пласты россыпи H и значение объемного содержания золота C. Методом линейного интерполирования проводятся горизонтали рельефа местности.

Таблица 1.1

Каталог разведочных данных

Номер участка	№ скважины	Координаты устья скважин			Отметка пласта россыпи H, м	Объемное содержание золота C, мг/м³
		X, км	Y, км	Z, м		
1	1	4,574	2,432	316,3	308,4	110
	2	4,560	2,499	316,3	304,4	118
	3	4,548	2,555	315,9	303,4	104
	4	4,541	2,592	316,5	307,4	91
	5	4,532	2,636	317,3	310,9	78
	6	4,523	2,677	318,0	313,3	59
2	7	4,508	2,413	318,7	309,9	104
	8	4,498	2,460	317,4	308,0	137
	9	4,486	2,514	317,4	309,3	134
	10	4,477	2,556	317,4	309,3	137
	11	4,467	2,600	318,0	309,8	104
	12	4,458	2,642	318,6	312,3	25
3	13	4,420	2,426	318,7	310,6	107
	14	4,409	2,478	318,4	310,0	114
	15	4,401	2,527	318,2	310,2	137
	16	4,392	2,565	318,2	311,0	100
	17	4,382	2,612	318,8	312,3	69
	18	4,374	2,653	319,4	315,7	38
4	19	4,342	2,424	319,8	313,0	65
	20	4,336	2,466	319,4	307,4	98
	21	4,328	2,508	319,3	310,3	113
	22	4,319	2,550	319,4	312,8	124
	23	4,310	2,615	319,7	313,3	70
	24	4,299	2,668	320,2	315,7	38
5	25	4,260	2,424	320,9	313,3	54
	26	4,254	2,488	320,5	309,7	78
	27	4,246	2,548	320,2	311,0	103
	28	4,239	2,588	320,3	313,6	47
	29	4,234	2,650	320,6	315,4	64
	30	4,227	2,671	321,0	315,8	23

Таблица 1.2

Поправки в исходные данные

№ п/п	Аларшат	И. ΔX, м	О. ΔY, м	Ф. ΔZ, м	ФП. Δ, м	П. ΔC, м/км
1	А	360	780	48	47,9	42
2	Б	460	645	23	53,2	19
3	В	190	854	23	51,8	2
4	Г	240	579	27	39,7	17
5	Д	530	806	48	40,3	31
6	Е	350	860	32	51,9	42
7	Ё	450	620	23	20,9	38
8	Ж	170	790	26	26,2	21
9	З	520	560	47	47,4	30
10	И	270	675	20	38,7	37
11	К	340	685	31	39,6	39
12	Л	160	552	46	46,2	35
13	М	510	745	28	37,1	49
14	Н	220	620	20	19,8	36
15	О	460	780	25	24,9	41
16	П	380	640	9	45,2	46
17	Р	230	770	22	39,7	23
18	С	140	340	30	39,4	35
19	Т	260	550	24	24,6	40
20	У	610	760	44	42,7	47
21	Ф	420	530	36	35,7	34
22	Х	130	820	45	42,9	46
23	Ц	220	610	19	39,3	36
24	Ч	250	750	32	33,4	34
25	Ш	10	520	42	41,8	33
26	Щ	410	690	28	27,8	45
27	Ъ	320	720	23	23,5	38
28	Ы	30	500	41	41,6	32
29	Ь	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, ΔY=+340м, ΔZ=+32м, ΔH=+31,9м, ΔC=+46м/км.

План разведки участка рассыпного месторождения золота

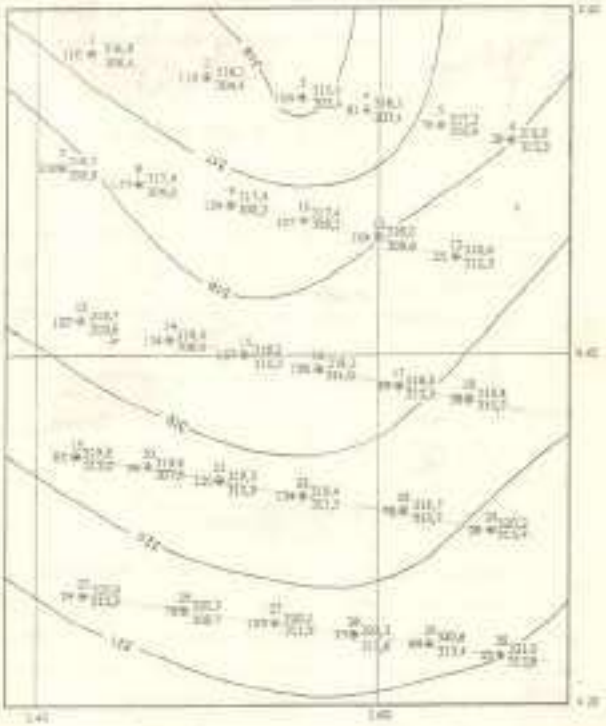


Рис. 1.1

Таблица 1.3

Показатели рисовки

Разведочная линия	№№ скважин	Контакты угля с породой			Отметка высоты рельефа H, м	Мощность пласта M, м	Объемное содержание золота C, кг/м³	Вертикальные запасы V, кг/м²
		X, км	Y, км	Z, м				

Примечания:

1. Мощность золотосодержащих пластов 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 рабочем необходимо исследовать вероятностное распределение значений мощности пластов M и объемного содержания золота C; вычислить средние значения и изменчивость показателей M, C; исследовать взаимосвязь между мощностью пласта 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 кг/м³, то при дальнейшей обработке λ_c можно принять равной 30 кг/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_d и накопленных W_n частостей:

для i-го класса (i = 1..K):

$$W_d = \frac{P_i}{N} \cdot 100\ \%, \qquad (1.2)$$

$$W_n = \frac{\sum P_i}{N} \cdot 100\ \%. \qquad (1.3)$$

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/м³)	Индексы	Частоты P_i	Накопленные классы (мг/м³)	Накопленные частоты ΣP_i	Частости	
					W_{ni} (%)	W_{ni} (%)
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	##	15	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).

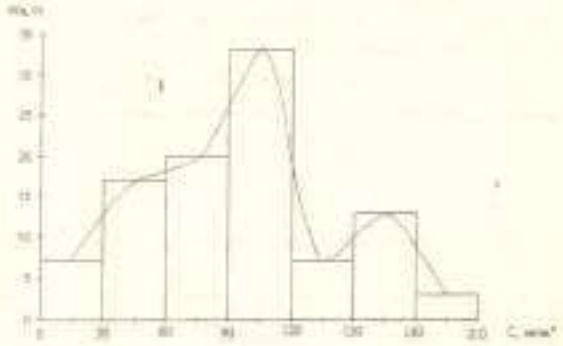
Для построения гистограммы на оси абсцисс отмечают границы интервалов (классов) и строят прямоугольники с основаниями, равными длине интервалов, и высотами, равными частостям W_i.

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_{ni}.

Графики вероятностного распределения значений объемного содержания золота

Гистограмма и полигон частостей



Кумулята

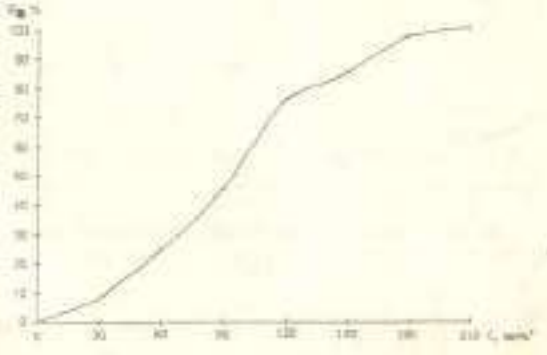


Рис.1.2

1.2.2. Статистическое оценивание значений показателей

Оценивание среднего значения изучаемых величин M, C 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/м³)	Частота P_x	Условное значение класса x	$P_x x$	$P_x x^2$
0-30	3	-3	-9	18
30-60	5	-2	-10	20
60-90	8	-1	-8	8
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	33		-8	73

Величина условного значения класса x вычисляется по формуле

$$x = \frac{X_{cp} - X_0}{\lambda}, \qquad (1.4)$$

где X_{cp} - среднее значение показателя в классовом промежутке;

X_0 - среднее значение показателя в нулевом классе;

λ - величина классового промежутка.

За нулевой принимается средний классовый промежуток.

Вычисление статистических оценок показателей M и C проводится по формулам:

Условный момент первого порядка

$$y_{x1} = \frac{\Sigma P_x x}{N}, \qquad (1.5)$$

Условный момент второго порядка

$$y_{x2} = \frac{\Sigma P_x x^2}{N}, \qquad (1.6)$$

Среднее значение показателя

$$\bar{x} = X_0 + \lambda y_{x1}, \qquad (1.7)$$

Среднее квадратическое отклонение (стандарт) значений показателя

$$\sigma_x = \lambda \sqrt{y_{x2} - y_{x1}^2}, \qquad (1.8)$$

Коэффициент вариации значений показателя

$$v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \cdot 100\ \%. \qquad (1.9)$$

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 M и объемным содержанием золота C 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 пласта, м: 2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	P_i	a_i	$P_i a_i$	$P_i a_i^2$	$\Sigma P_i a_i b_{ij}$	$\Sigma P_i b_{ij}$	M_i
0-30		*	*				2	-3	-6	18	5	12	6,0
30-60	*	*	*				5	-2	-10	20	10	23	5,8
60-90		*	*	*			6	-1	-6	6	3	42	7,0
90-120			*	*	*		10	0	0	0	0	92	9,2
120-150			*	*			5	+1	5	5	5	50	8,0
150-180				*		*	4	+2	8	16	14	61	10,1
180-210				*			1	+3	3	9	6	7	7,0
P_{bj}	2	6	9	9	3	2	30	Σ	-9	71	28	239	
b_{ij}	-2	-1	0	+1	+2	+3	Γ_{ab}						
$P_{bj}b_{ij}$	-4	-6	0	+9	+6	+6	+13						
$P_{bj}b_{ij}^2$	8	6	0	9	12	18	48						
$\Sigma P_i a_i b_{ij}$	4	11	0	1	0	12	28						
$\Sigma P_i C_{ij}$	41	108	815	475	318	236	2000						
C_j	40	38	102	108	106	118							

Примечания:

1. P_i - количество данных в i-той клетке таблицы.

2. M_{ij} , C_{ij} - средние значения показателя (соответственно мощности или содержания Y в i-том классовом промежутке).

3. $\bar{M} = \sum P_i M_{ij} / P_j$; $\bar{C} = \sum P_i C_{ij} / P_j$

Для оценки тесноты связи используется коэффициент корреляции, который рассчитывается по формуле:

$$r_{CM} = \frac{\sum P_{ij} a_i b_j - N \gamma_C \gamma_M}{N S_C S_M}, \qquad (1.10)$$

где $S_C = \sqrt{\gamma_{C2} - \gamma_C^2}$; $S_M = \sqrt{\gamma_{M2} - \gamma_M^2}$.

Уравнение зависимости объемного содержания металла C от мощности полезноископаемых песков находится по формуле

$$C = \bar{C} + \beta(M - \bar{M}) , \qquad (1.11)$$

где $\beta = \frac{\sigma_C}{\sigma_M} r_{CM}$.

По результатам расчетов строится график зависимости между показателями (рис. 1.3).

Зависимость объемного содержания золота от мощности песков

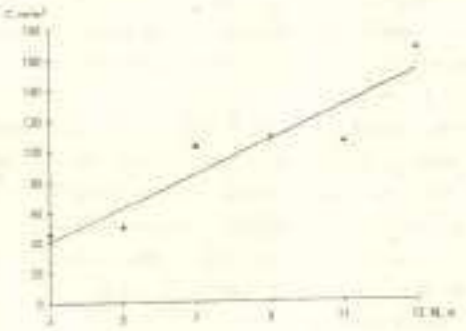


Рис. 1.3.

На графике изображается прямая линия зависимости $C = f(M)$, вычисленная по формуле (1.11), и точки абсциссами которых являются средние значения мощности песков в взятовые промежутках, а ординатами соответствующие средние значения объемного содержания золота $\bar{C}_i$ (табл. 1.6).

1.3 Построение горно-геометрических графиков

В комплект графических материалов, необходимых для рациональной разработки залежи, входят:

1. Планшеты размещения значений показателей мощности золотосодержащих песков, объемного содержания золота и вертикальных запасов по разведочным линиям.

2. План размещения значений абсолютных отметок почвы россыпи.

3. План размещения значений мощности песков.

4. План размещения значений объемного содержания золота.

5. План размещения значений вертикальных запасов.

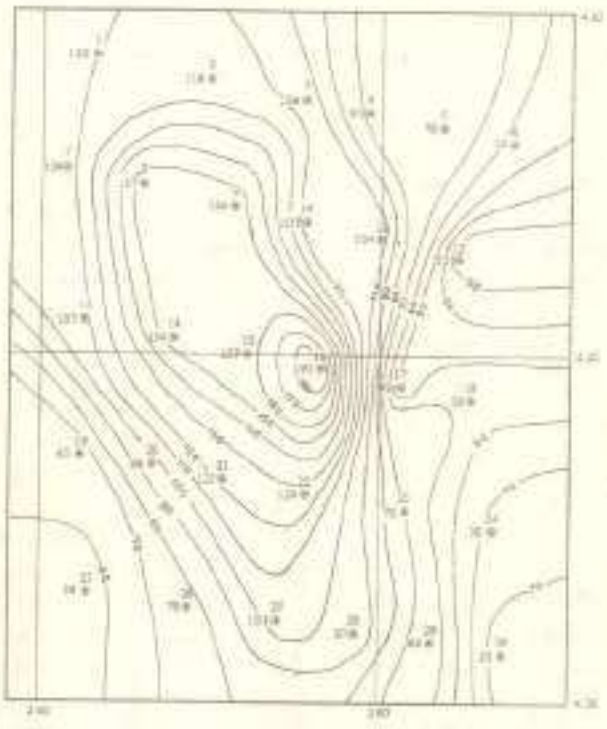
При построении планшетов размещения показателей на них вдоль оси абсцисс показывается расположение скважин по разведочной линии, а по оси ординат откладываются значения M, C и V. Для каждого показателя принимается шкала значений (рис. 1.4).

Размещение значений показателей H, M, C и V на планах изображается системой изолиний (рис. 1.5). При построении графиков необходимо нанести на план разведочную скважину, подписать значения показателя и методом линейного интерполирования провести изолинии. Сечение изолиний принимается: для плана почвы россыпи - 1м; для плана мощности песков - 1м; для плана объемного содержания золота – 10 мг / м^3; для плана вертикальных запасов - 1000 кг/м^2.



Рис. 1.4

План размещения значений объемного содержания золота



Сечение изолиний 10 мг/м³

Рис. 1.3

В заключение по работе приводятся основные сведения о размещении показателей рассыпи 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 пласта, выдержанная мощность пластов, зольность углей. 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 углей по скважинам (табл. 2.7);

В результаты геодезических работ входятся поправки (табл. 2.8).

На первом этапе работы необходимо:

- с учетом индивидуальных вопросов составить каталог разведочных скважин;
- построить план разведки участка месторождения в масштабе 1:500 (на плане показывается расположение скважин и рельеф местности);
- составить таблицы замеров мощностей пород по скважинам (с учетом выгорания);
- составить таблицу абсолютных отметок точек подсечения поверхности пласта (формулар - табл. 2.9);
- создать базу данных о показателях мощности и зольности угольного пласта №1 или №2 по варианту (формулар - табл. 2.10).

Таблица 2.1

Каталог координат разведочных скважин

№	ПП	№ скважины	Координаты устья скважин, м			№	ПП	№ скважины	Координаты устья скважин, м		
			X	Y	Z				X	Y	Z
1	11	25	800	80	248,6	41	19	46	832	432	243,2
2		26	810	145	247,3	42		47	831	486	244,2
3		27	868	212	240,6	43		48	854	560	243,3
4		28	877	295	245,7	44		49	875	620	241,7
5		29	1010	150	244,8	45		50	888	710	240,8
6		30	1046	487	243,5	46	20	51	781	76	248,9
7		31	1082	343	242,2	47		52	788	172	248,1
8		32	1122	678	240,5	48		53	722	253	247,4
9	18	33	696	77	248,4	49		54	782	342	246,2
10		34	727	178	246,8	50		55	793	450	245,5
11		35	755	89	245,7	51		56	822	558	242,7
12		36	814	182	244,6	52		57	848	620	242,7
13		37	820	44	243,7	53	21	58	84	86	246,6
14		38	892	122	242,7	54		59	902	186	246,4
15		39	871	229	240,6	55		60	729	258	247,5
16		40	921	295	240,4	56		61	756	363	246,1
17	19	41	696	77	248,5	57		62	773	458	245,8
18		42	729	183	247,7	58		63	800	575	244,1
19		44	743	262	246,8	59		64	216	628	240,3
20		45	776	334	245,7	60		65	268	708	247,1

Таблица 2.2

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 17

Пласты	Скважины							
	34	35	36	37	38	39	40	41
Наносы	10,0	12,8	11,2	12,0	10,5	9,9	4,8	5,1
Почвенный	-	-	-	20,2	24,8	21,0	14,5	-
Глина песчанистый	-	5,3	22,0	20,2	9,5	19,0	24,0	28,1
Уголь	-	3,8	3,9	6,1	4,8	7,8	4,2	3,8
Алевритовый сланец	24,0	21,2	20,0	18,1	16,2	12,6	8,5	14,0
Уголь	5,1	6,2	6,3	8,7	5,2	4,8	СМ	3,5
Глина песчанистый	-	-	-	-	-	-	7,2	-
Уголь	-	-	-	-	-	-	2,1	-
Алевритовый сланец	-	-	-	-	-	-	10,0	-
Уголь	-	-	-	-	-	-	5,1	-
Песчаник	5,5	4,1	5,2	5,9	5,1	7,0	3,6	-
Глина песчанистый	-	-	-	-	-	СМ	-	-
Уголь	-	-	-	-	-	1,9	-	-
Песчаник	-	-	-	-	-	1,1	-	-
						2,8		

Примечание: СМ - точка встречи со смежниками.

Таблица 2.3

Мощность пород по скважинам (в метрах)

Разведочная линия 18.

Породы	Скважины							
	32	33	29	30	37	38	36	40
Наносы	8,2	8,6	7,0	8,1	8,0	8,7	8,1	9,4
Песчаник	-	1,9	23,8	29,0	20,0	18,0	-	-
Сланец песчанистый	-	14,0	18,0	22,0	19,0	12,1	24,0	-
Уголь	-	4,9	7,6	7,9	5,1	4,3	3,8	2,8
Глинистый сланец	23,9	32,2	28,0	10,5	10,1	2,4	24,3	17,3
Уголь	8,1	7,6	7,9	2,2	-	-	8,2	2,1
Песчаник	-	-	-	8,0	-	-	-	-
				СМ	СМ	СМ		
Глинистый сланец	-	-	-	7,0	-	-	-	-
Уголь	-	-	-	4,2	-	-	-	-
Сланец песчанистый	-	-	-	-	1,1	34,0	-	-
Уголь	-	-	-	-	1,9	6,3	-	-
Глинистый сланец	-	-	-	-	22,1	23,0	-	-
Уголь	-	-	-	-	8,1	5,5	-	-
Песчаник	2,7	3,1	2,8	2,5	3,2	3,2	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	8,1	6,3	6,2	8,0	6,2	8,1	1,3
Песчаник	-	1,3	29,0	72,3	30,3	19,0	-	-	-
Сланец песчанистый	-	14,2	16,2	20,1	28,0	18,2	42,0	19,0	-
Уголь	-	2,4	2,8	6,8	6,9	4,1	2,7	3,3	-
Глинистый сланец	28,3	32,2	28,4	21,2	48,2	2,2	25,8	23,0	2,1
						СМ			
Сланец песчанистый	-	-	-	-	-	13,0	-	-	-
Уголь	1,8	5,2	8,3	5,9	2,3	2,3	3,8	1,2	2,2
Глинистый сланец	-	-	-	-	-	24,7	-	-	-
Уголь	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-
Песчаник	2,1	3,3	4,2	10,4	2,7	1,9	1,9	2,2	2,8
				СМ					
Глинистый сланец	-	-	-	4,2	-	-	-	-	-
Уголь	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-
Песчаник	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-

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	7,5	8,2	7,8	7,1
Песчаник	-	-	13,0	12,1	7,1	-	-
Сланец песчанистый	-	18,0	17,0	10,2	10,2	18,0	-
Уголь	-	3,2	4,7	3,4	8,3	2,4	-
Глинистый сланец	22,2	27,0	19,1	3,0	18,9	20,0	16,3
Уголь	4,8	7,9	5,4	-	5,8	4,9	4,2
Песчаник	-	-	5,6	-	-	-	-
			СМ	СМ			
Глинистый сланец	-	-	3,8	-	-	-	-
Уголь	-	-	4,1	-	-	-	-
Сланец песчанистый	-	-	-	10,0	-	-	-
Уголь	-	-	-	3,1	-	-	-
Глинистый сланец	-	-	-	19,0	-	-	-
Уголь	-	-	-	4,2	-	-	-
Песчаник	2,3	2,1	2,7	3,2	3,3	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	8,2	6,0	6,3
Песчаник	-	2,4	9,0	3,2	-	-	-	10,2
Сланец песчанистый	4,2	14,8	14,4	14,0	20,2	16,0	-	-
Уголь	2,3	4,2	6,4	3,8	4,2	4,1	-	-
Глинистый сланец	22,1	20,8	16,9	4,2	22,1	21,8	20,0	-
				СМ				
Сланец песчанистый	-	-	-	11,2	-	-	-	-
Уголь	6,6	9,5	4,1	3,8	3,7	3,3	6,4	-
Песчаник	-	-	2,8	-	-	-	-	-
			СМ					
Глинистый сланец	-	-	12,1	20,1	-	-	-	-
Уголь	-	-	3,2	3,6	-	-	-	-
Песчаник	3,7	4,2	2,7	1,8	1,8	4,1	1,6	-

Таблица 2.7

Результаты опробования зольности угля

ГД	Западное крыло		Восточное крыло		ГД	Западное крыло		Восточное крыло	
	№ скважины	Зольность, A_d %	№ скважины	Зольность, A_d %		№ скважины	Зольность, A_d %	№ скважины	Зольность, A_d %
	ПЛАСТ 1 (верхний)					ПЛАСТ 2 (нижний)			
17	25	24,7	30	23,0	17	24	24,8	28	24,6
	26	23,3	31	22,7		25	26,5	30	23,7
	27	25,2	-	-		29	26,2	31	23,9
	28	24,3	-	-		37	25,3	-	-
	29	23,3	-	-		38	24,3	-	-
	30	23,2	-	-		39	23,9	-	-
18	34	26,2	37	23,6	18	33	26,1	29	26,1
	35	26,4	38	24,7		34	27,3	37	25,3
	36	24,7	39	24,6		35	25,8	38	24,8
	37	23,8	40	24,3		36	25,6	39	25,3
	38	25,4	-	-		-	-	40	25,6
19	43	27,3	47	25,9	19	42	28,7	45	28,1
	44	27,8	48	25,6		43	28,2	46	27,2
	45	26,3	49	28,1		44	27,7	47	25,6
	46	24,7	-	-		45	27,5	48	28,3
	47	24,2	-	-		-	-	49	27,6
	-	-	-	-		-	-	50	25,2
20	52	29,3	54	25,8	20	51	28,5	53	29,4
	53	28,5	55	27,2		52	28,7	54	28,2
	54	27,4	56	28,7		53	29,1	55	28,3
	-	-	57	27,5		-	-	56	27,8
	-	-	-	-		-	-	57	28,4
21	58	28,3	61	30,1	21	58	29,7	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	28,9		-	-	64	28,6

Таблица 2.8

Поправки в исходные данные разведки

№ п/п	Элемент	Ф, ΔX, м	И, ΔY, м	О, ΔZ, м	Ф, Мощность каротажа $\Delta M_{кар}$, м	И, Мощность пласта $\Delta M_{пл}$, м	О, № пласта	И, ΔA_d, %
1	А	220	110	25	+2	+0,3	1 (В)	-0,2
2	Б	310	650	118	+24	+2,6	1 (В)	+2,4
3	В	85	980	132	+4	+0,3	2 (Н)	+0,3
4	Г	120	720	75	+11	+3,2	2 (Н)	+0,3
5	Д	410	480	172	-1	+0,6	1 (К)	+1,0
6	Е	55	320	142	+9	-0,6	1 (В)	+0,8
7	Ё	230	710	215	+21	+1,5	2 (К)	+1,4
8	Ж	330	610	88	+4	+0,4	2 (В)	-0,3
9	З	130	820	197	+20	-0,7	1 (Н), 2 (В)	+1,3
10	И	420	120	122	-2	-0,4	1 (В)	-0,4
11	Й	610	760	222	+3	-1,0	2 (К)	+1,1
12	К	290	750	174	+18	+1,2	2 (В)	-1,2
13	Л	140	140	69	+10	-0,7	2 (К)	+0,7
14	М	350	770	211	+3	+1,0	1 (В)	+1,2
15	Н	280	690	147	+14	+1,3	2 (К)	-0,6
16	О	440	780	178	+10	-1,9	2 (В)	+0,6
17	П	220	620	107	+4	+0,1	1 (К)	+1,3
18	Р	310	740	58	+13	-0,8	1 (В)	+0,5
19	С	160	160	142	+13	+1,8	2 (К)	-1,0
20	Т	340	680	55	+19	+0,7	2 (В)	+0,8
21	У	270	870	161	+17	-1,2	1 (К)	+0,1
22	Ф	320	160	242	+5	+0,8	1 (В)	-0,9
23	Х	170	790	97	+23	-0,4	2 (К)	-0,2
24	Ц	450	630	116	+12	+0,2	2 (В)	-0,8
25	Ч	230	840	31	+25	+1,6	1 (К)	+0,7
26	Ш	530	800	134	+22	+0,8	1 (В)	-1,0
27	Щ	240	230	192	+7	-0,9	2 (К)	+0,4
28	Э	190	850	85	+13	+0,3	2 (В)	-0,8
29	Ю	460	660	168	+24	-0,5	1 (К)	-1,2
30	Я	260	580	40	+15	+1,7	1 (В)	+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 ПГС Ежов имеет поправки: $\Delta x = +15$м., $\Delta y = +620$м., $\Delta z = +132$м., $\Delta M_1 = -9$м., $\Delta M_2 = +0,1$м., $\Delta A_1 = +0,8$ %. При достижении мощности и зольности используют данные опробования пласта №2 (нижнего) и строят геометрический 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 вышележащих пород.

2. В скважинах, расположенных в зоне смесителя, 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 смесителя, имеется по две величины 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: подсчитать арифметическое распределение значений мощности пласта M_i и зольности угля A_{ci}, оценить среднее значение и изменчивость показателей M_i и A_{ci}. При обработке используются данные опробования одного пласта (№1 или №2 по варианту).

Анализ арифметического распределения и статистическое описание 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 условия месторождения, входят:

1. Система геологических разрезов.
2. Гипсометрические графики поверхностей угольных пластов.
3. Планы равномощных значений мощности пластов.
4. Планы равномощных 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 различным линиям строятся в масштабах: горизонтальный 1:5000, вертикальный 1:2000. Разрезы должны иметь выноску осевую, привязку в плане по координатам X и Y, ориентировку по направлению. Построение разрезов производится последовательным откладыванием от устья скважин мощностей пород, пересеченных скважиной (с вводными 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 около них подписываются абсолютные отметки поверхности. С геологических разрезов на график переносятся точки выхода пласта под наносы и точки встречи забоями поверхности со сместителем. Последовательным соединением соответствующих точек строятся линии выхода пласта под наносы и линии пересечения забоями и восточного крыла пласта со сместителем, ограничивающие два участка. По абсолютным отметкам поверхности, подсекаемым у скважин, методом линейного интерполирования строятся контуры поверхности. В зоне сместителя

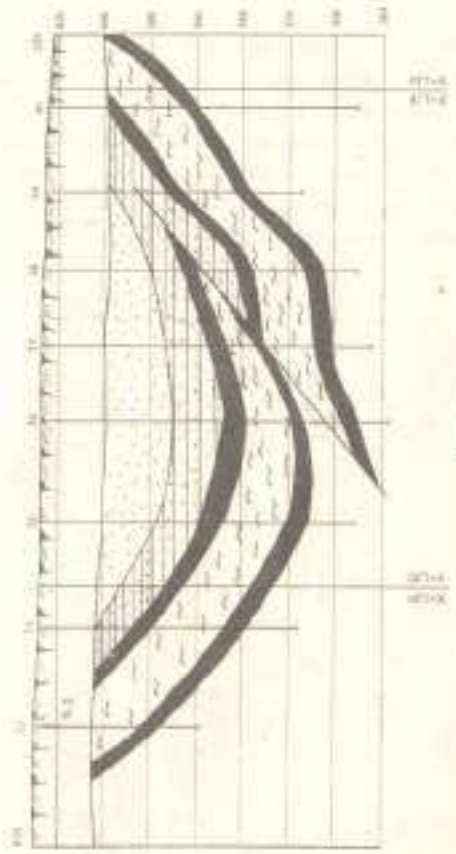


Рис. 2.1

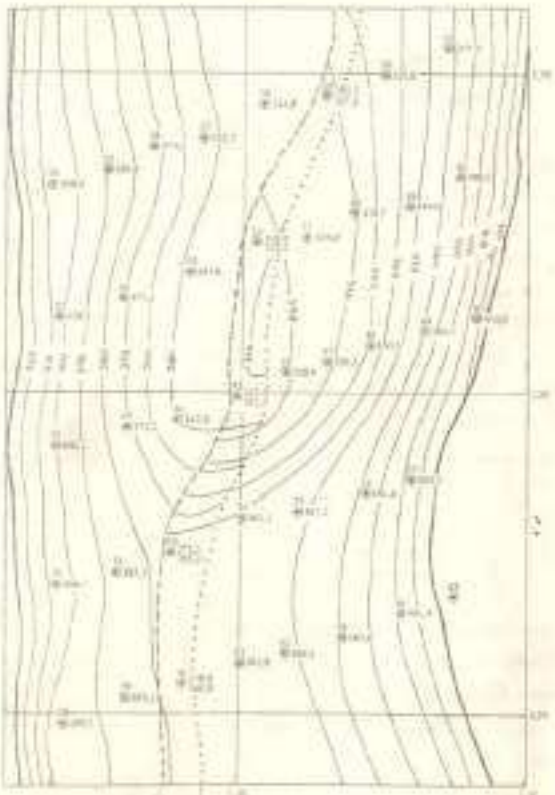
Геологический разрез по разведочной линии I-I

происходит наложение изолиний двух участков. Сечение изолиний – 10 м (рис. 2.2).

Планы изменчивости и интенсивности углов падения 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 полезных ископаемых 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

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Специальность
21.05.04 Горное дело

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»
форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург

2019

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



Шмонин А. Б.

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПЕРВИЧНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ, Ч.1 (ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ)

Учебно-методическое пособие к самостоятельной работе по дисциплине для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Специализация № 4 «Маркшейдерское дело»

Екатеринбург – 2019

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^o 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:

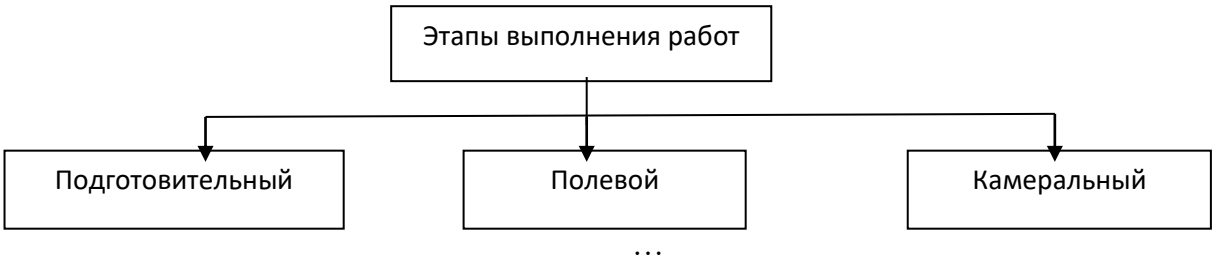


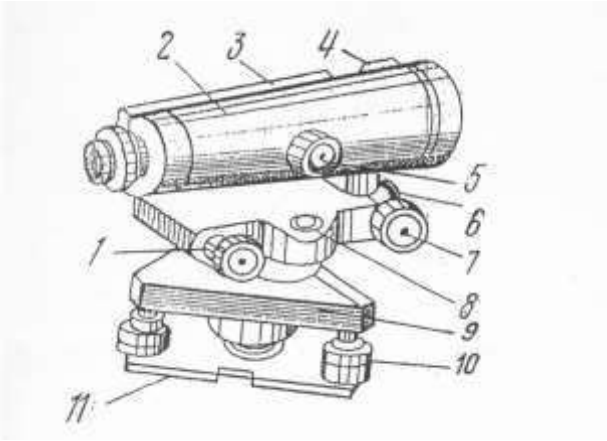
Рисунок 1 – Этапы выполнения работ

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:

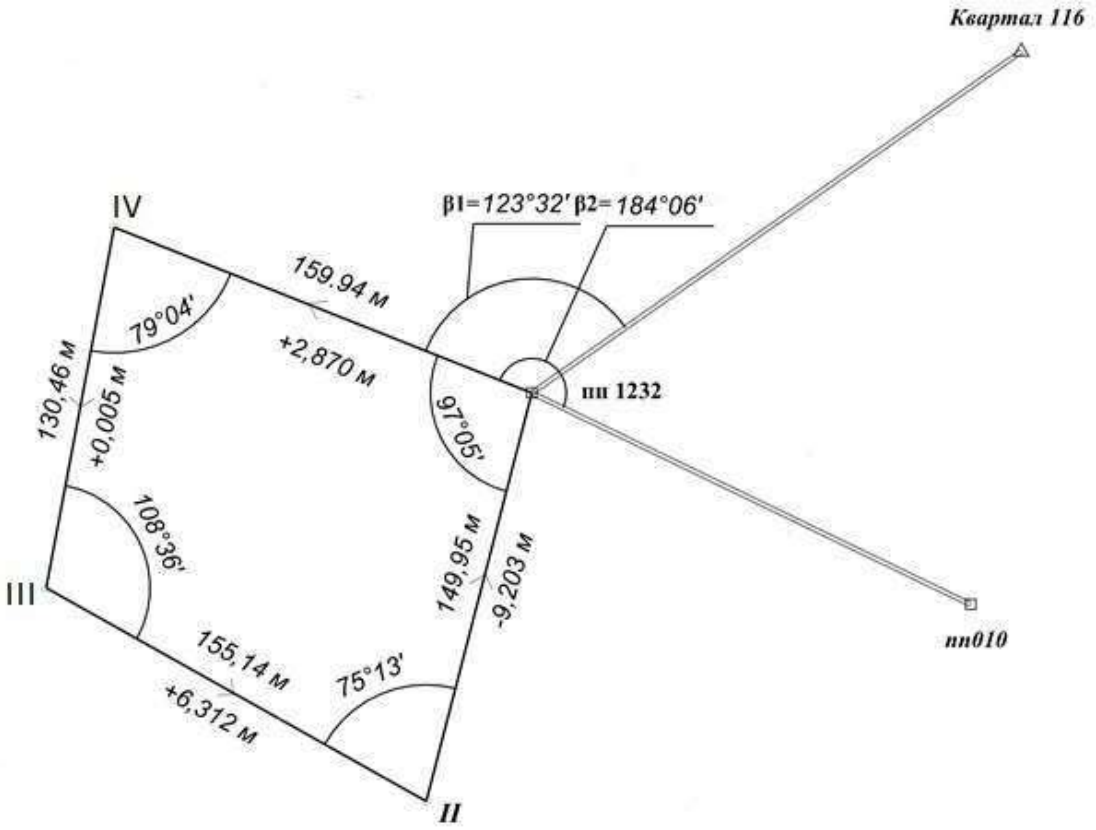


Рисунок 2 – Схема планово-высотного обоснования,……[1]

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Б. П. Голубко

ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПЕРВИЧНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ, Ч.3

Учебное пособие

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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).

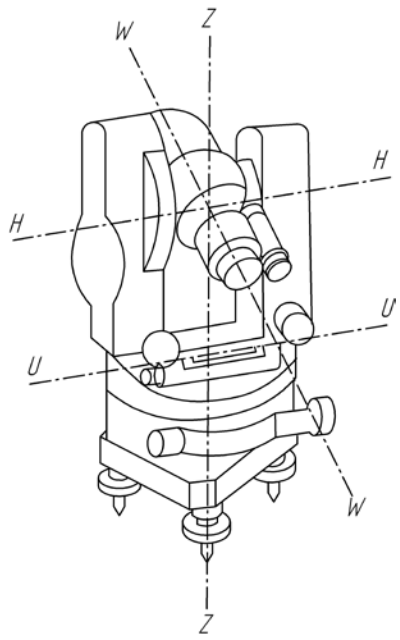


Рис. 3.1. Основные оси теодолита

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

$$C = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2},$$

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.

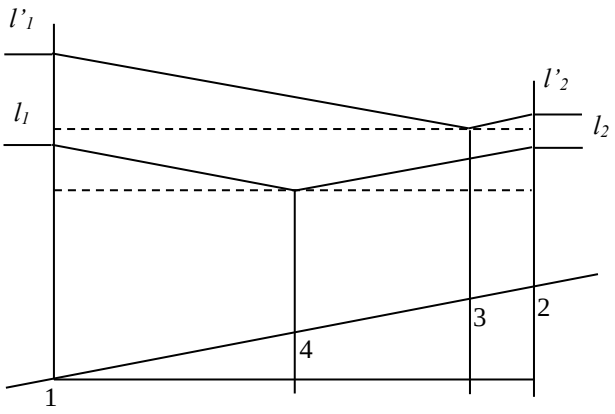


Рис. 3.2. Взаимное расположение нивелира и реек при определении угла *i*

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.

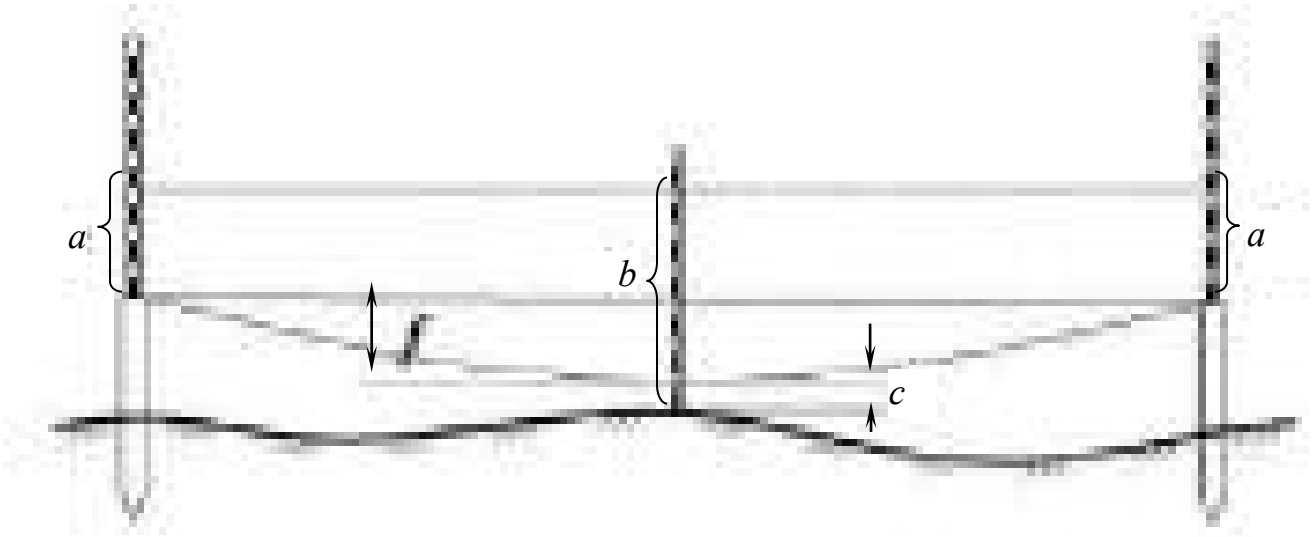


Рис. 3.3. Схема определения стрелы провеса рулетки

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, *с*, $f_\beta \leq 10\sqrt{n}$, 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.

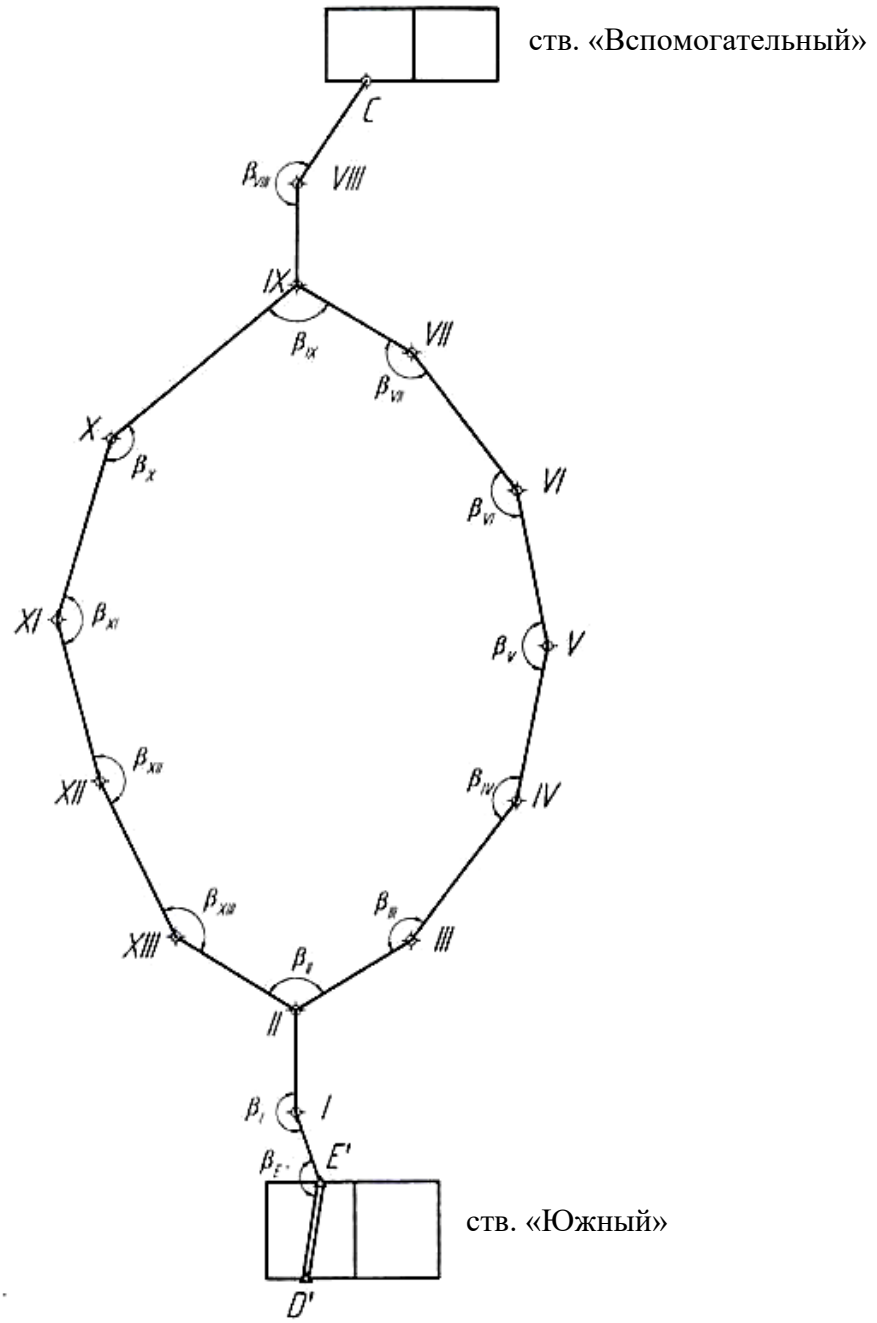


Рис. 4.1. Схема полигона опорных сетей 1-го разряда на поверхности шахты «Южная»

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 ($f_{\text{отн}} \leq 1 : 10000$).

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_β = 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							+4				
	III	130,724	200°03′36″	200°03′36″	284°54′28″			-126,324	33,631	47809,785	9729,276	III
III	II		-2					+3				
	IV	103,352	205°20′40″	205° 20′38″	310°15′06″			-78,880	66,780	47730,908	9796,056	IV
IV	III		-2					+4	-1			
	V	118,818	161°05′44″	161° 05′42″	291°20′48″			-110,666	43,251	47620,446	9839,306	V
V	IV		-3					+4	-1			
	VI	124,889	137°03′10″	137°03′07″	248°23′55″			-116,118	-45,977	47504,132	9793,328	VI
VI	V		-2					+2				
	VII	74,100	188°01′50″	188°01′48″	256°25′43″			-72,031	-17,388	47432,103	9775,940	VII
VII	VI		-3					+2				
	IX	58,331	162°47′04″	162°47′01″	239°12′44″			-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
стоя-ния	наблю-дения		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;

$$f_{\text{отн}} = \frac{39}{1226472} = \frac{1}{31448} < \frac{1}{10000}.$$

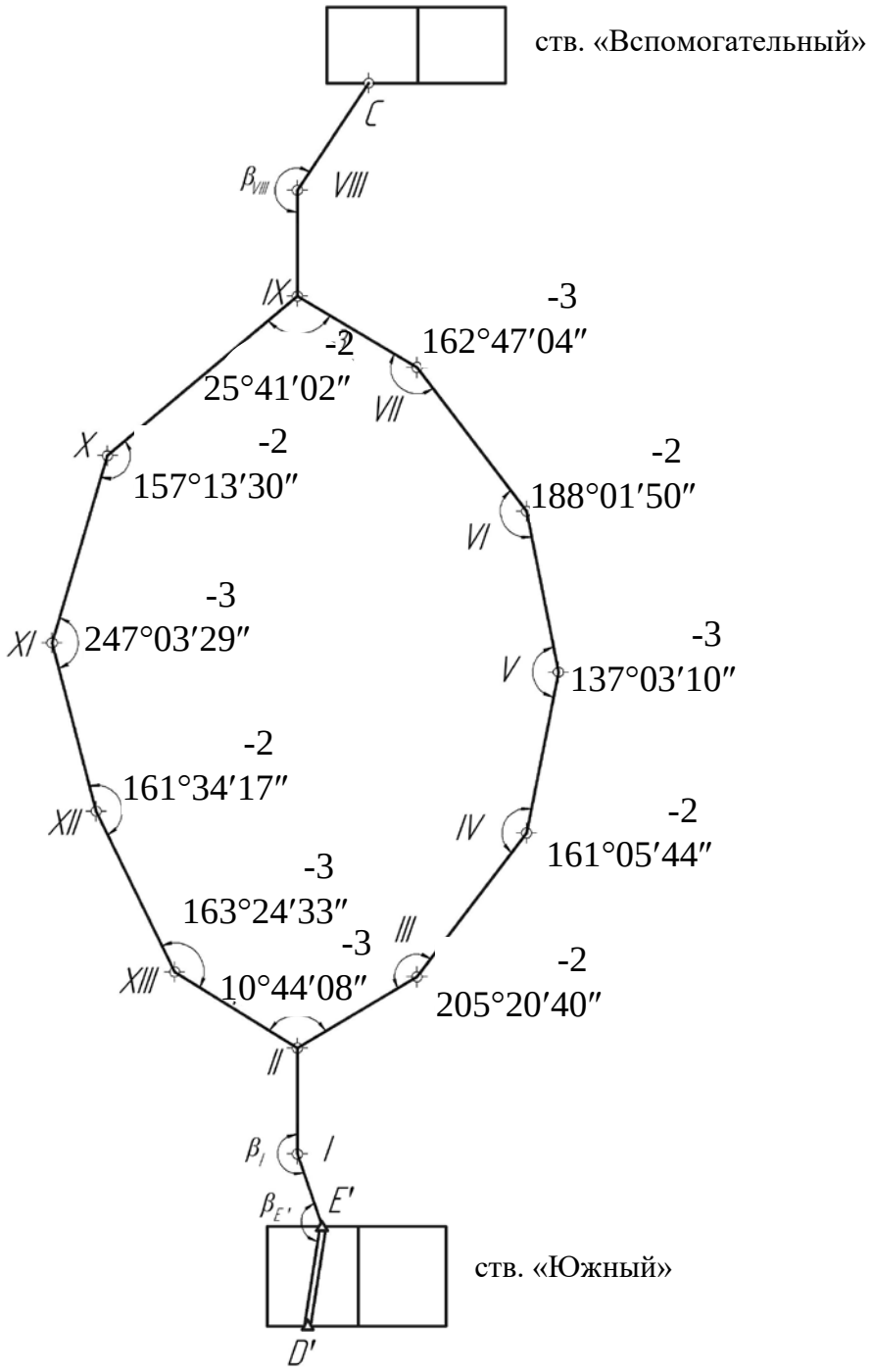


Рис. 4.2. Схема полигонов

$f_{\beta,\text{доп}} \le 10\sqrt{n} = 10\sqrt{11} = 33''$, 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.

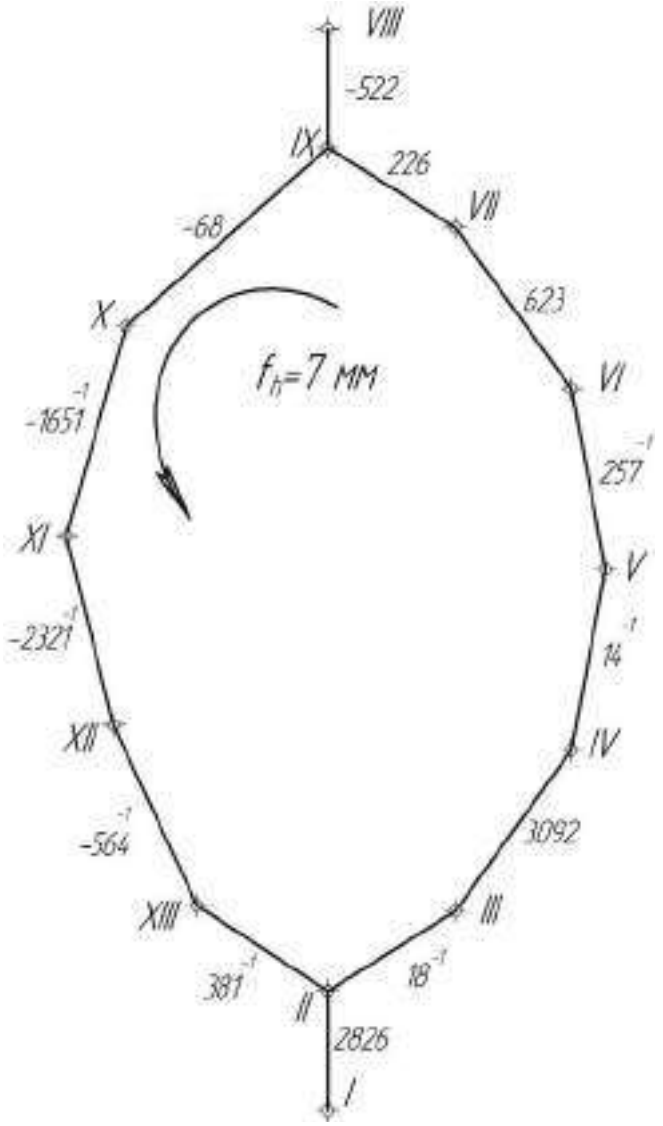


Рис. 4.3. Схема полигона.
Нивелирование IV класса, распределение высотной невязки

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 положений 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 _____

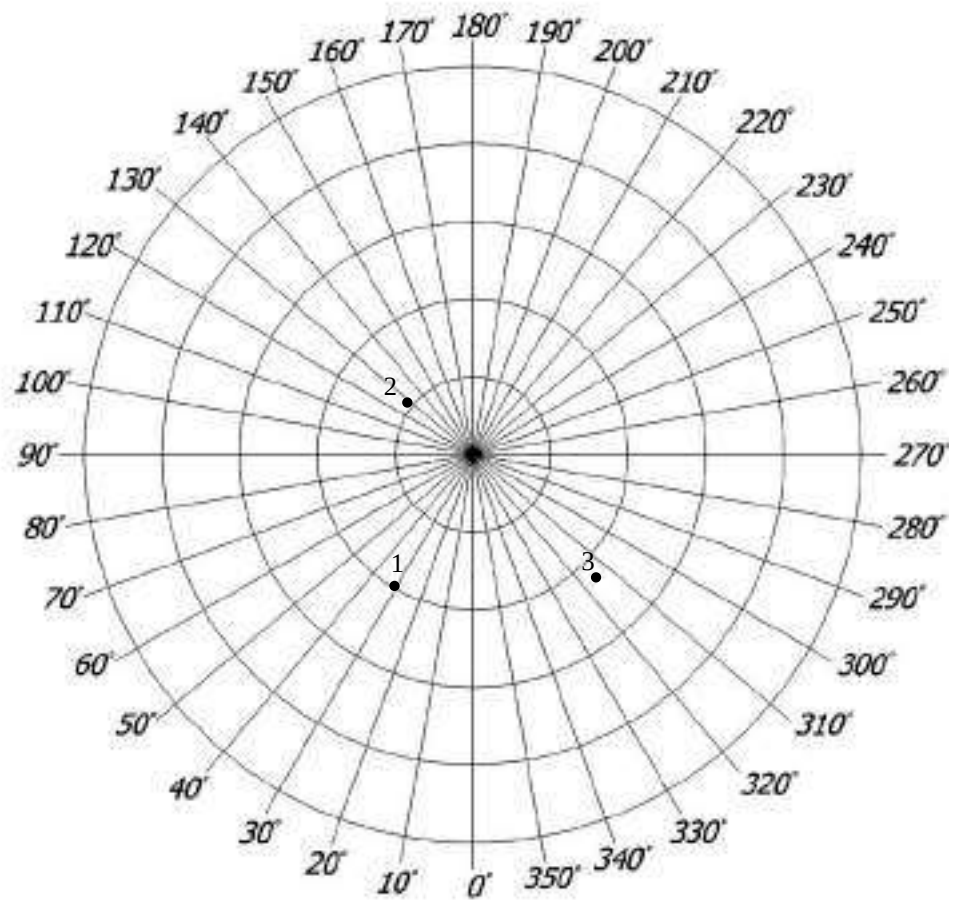
Инструмент ___Theo 015, МГ=90˚, К=100_____

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 $h=d\operatorname{tg}\delta+i-v$	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	



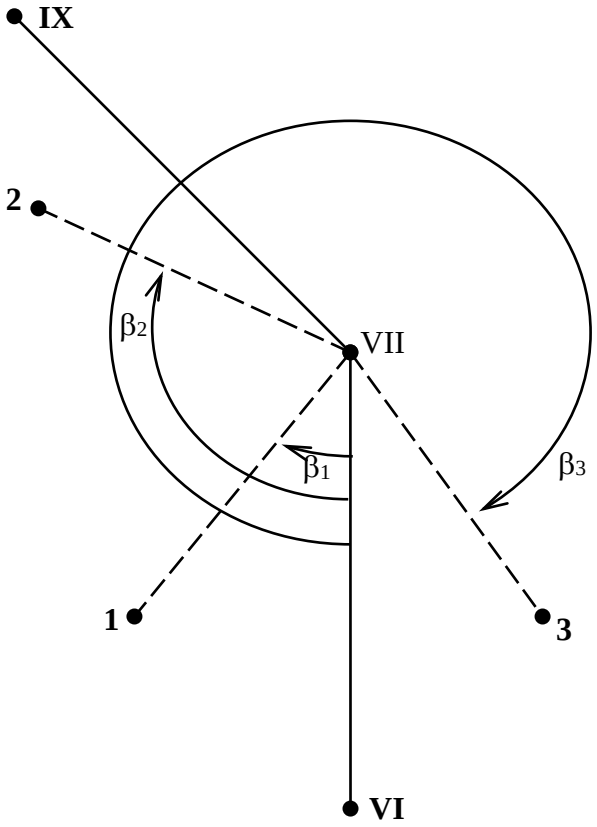


Рис. 4.4. Тахеометрическая съемка

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.

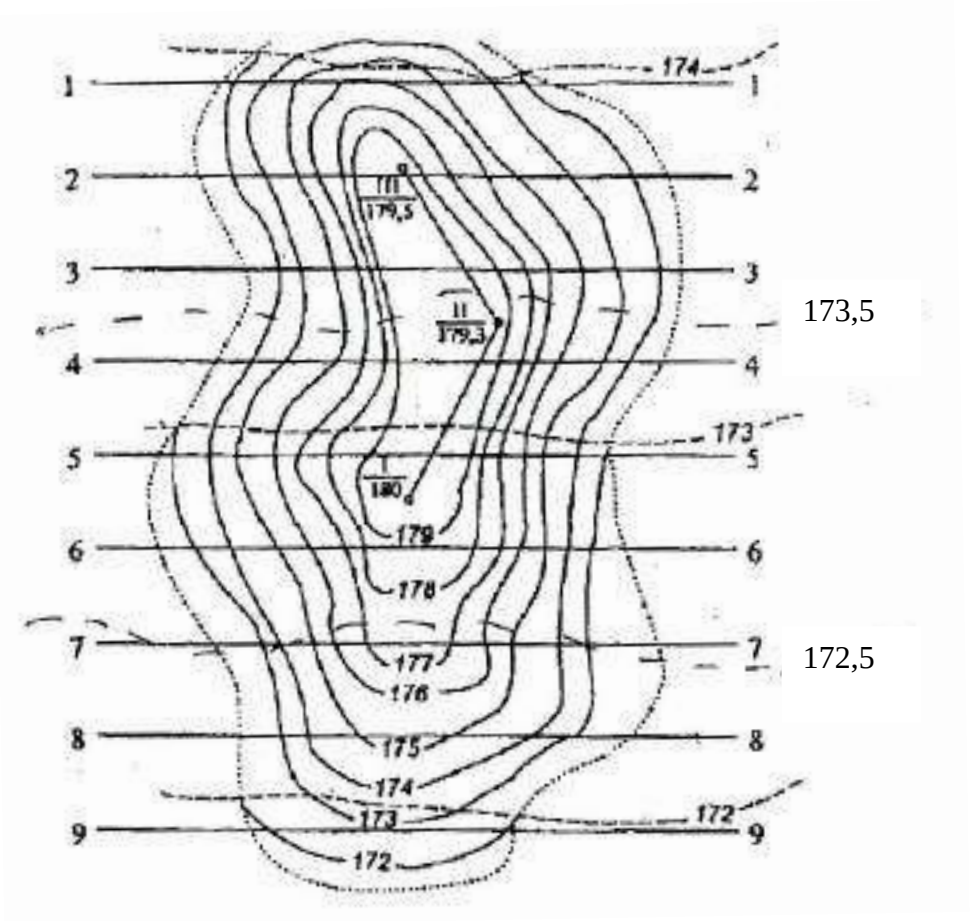


Рис. 4.5. Определение объема складированной руды

Площади сечений S определяют по формуле, м^2:

$$S = \frac{S \cdot M^2}{100^2},$$

где M – знаменатель масштаба; S – в см^2.

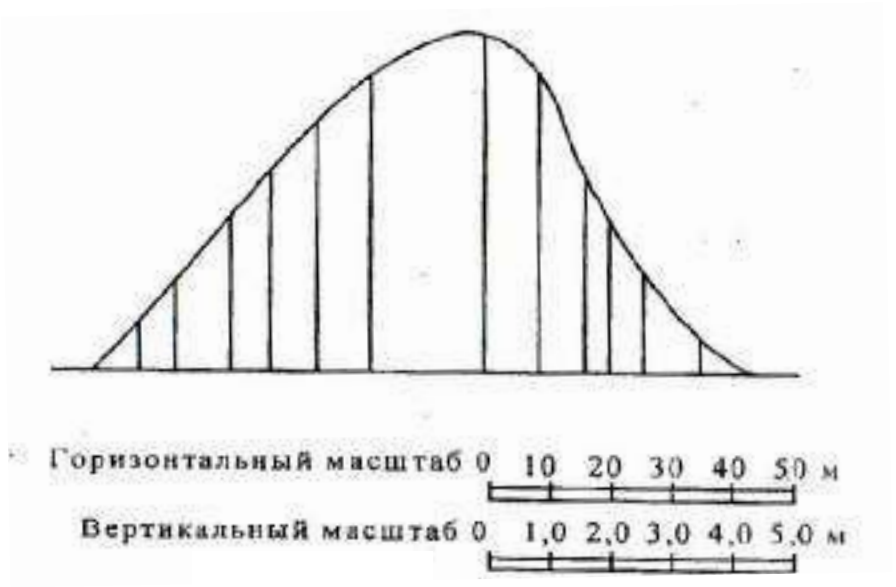


Рис. 4.6. Разрез по линии 5-5

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).

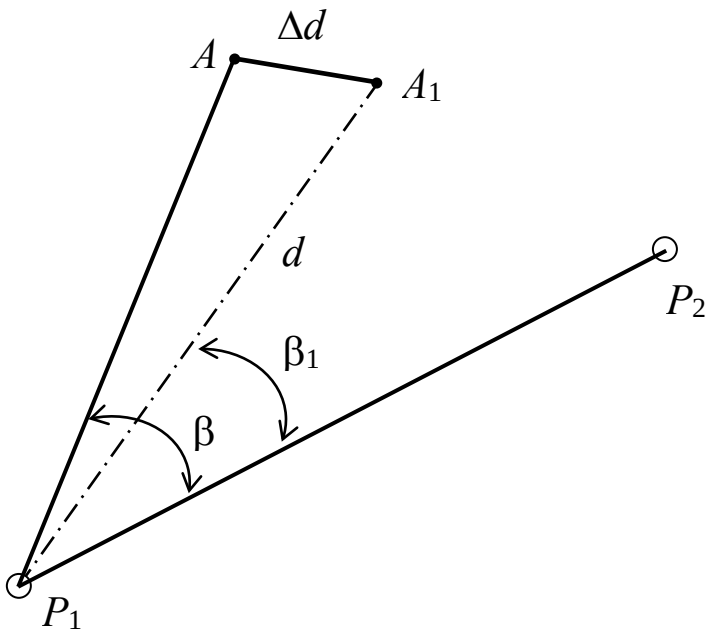


Рис. 4.7. Схема построения проектного угла на местности:
P_1P_2 – исходное направление; A – точка определяемого направления

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 $A_1 P_1 P_2$ 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).

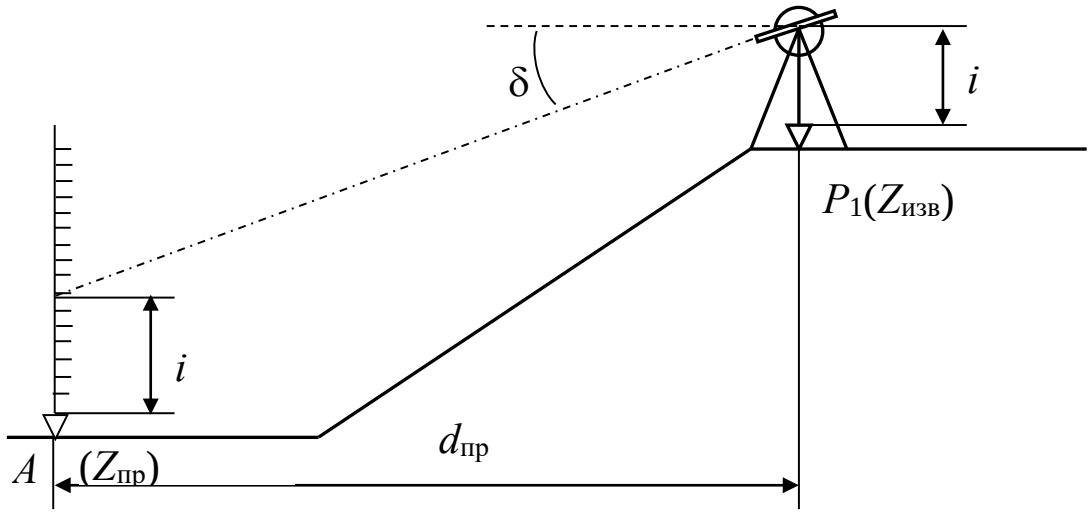


Рис. 4.8. Вынос проектной высотной отметки тригонометрическим нивелированием

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 точка (*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).

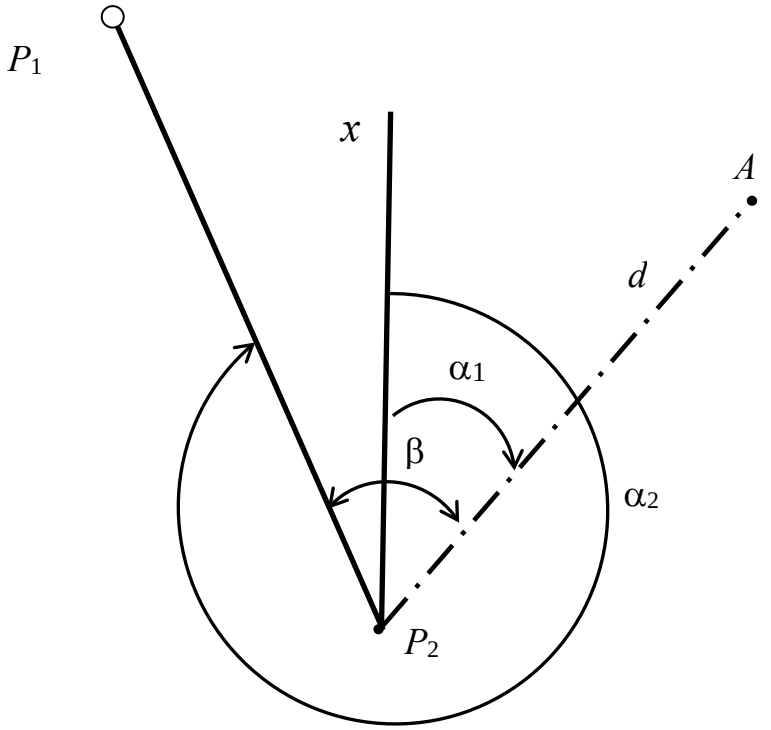


Рис. 4.9. Полярный способ разбивочных работ

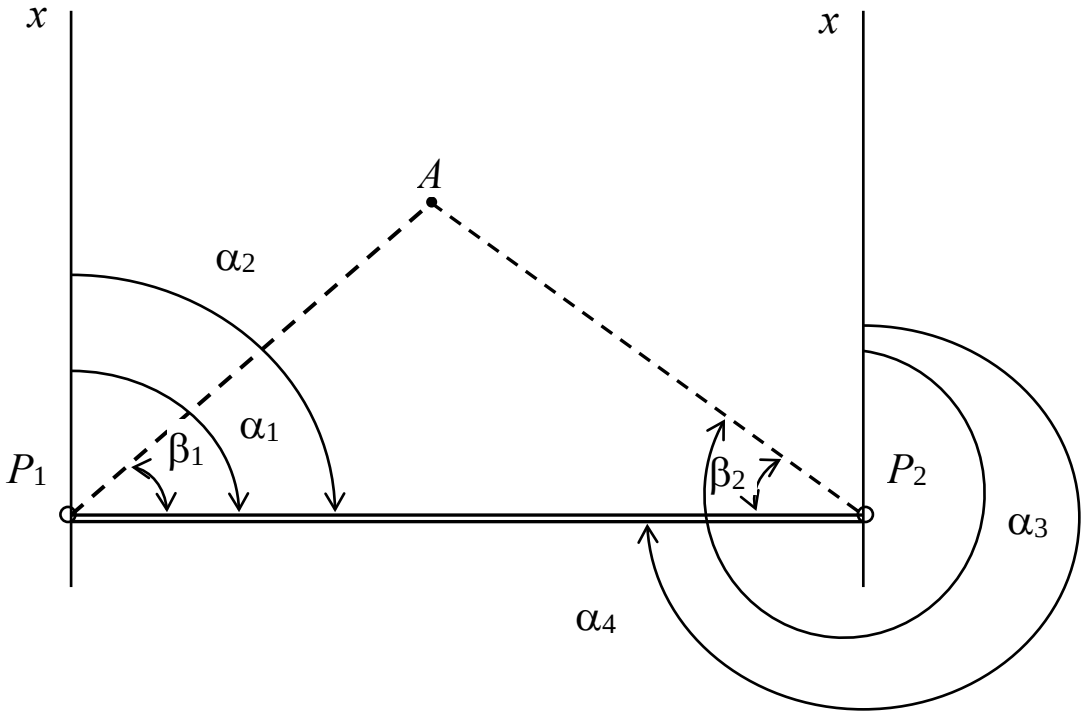


Рис. 4.10. Способ прямой угловой засечки при выполнении разбивочных работ

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).

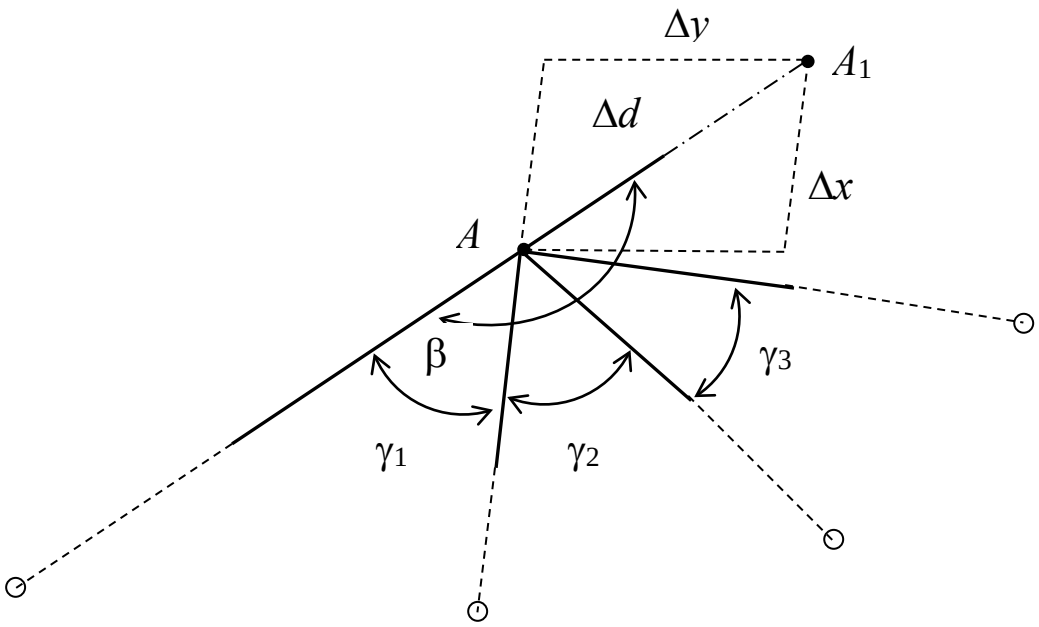


Рис. 4.11. Способ обратной угловой засечки (способ редуцирования)

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 (Δ*d*), 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).

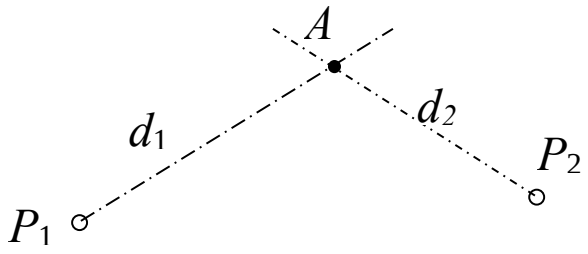


Рис. 4.12. Способ линейной засечки

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).

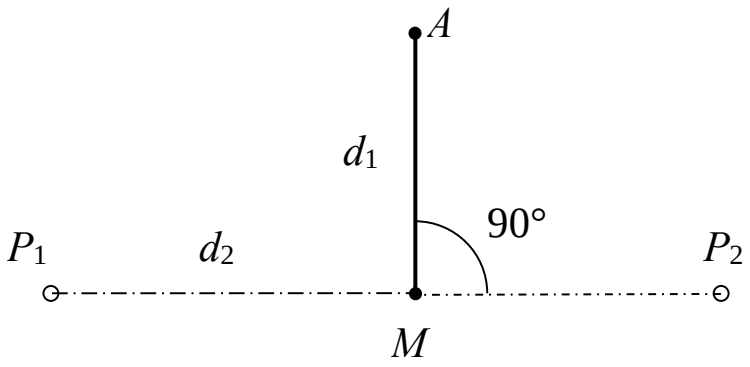


Рис. 4.13. Способ перпендикуляров

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.

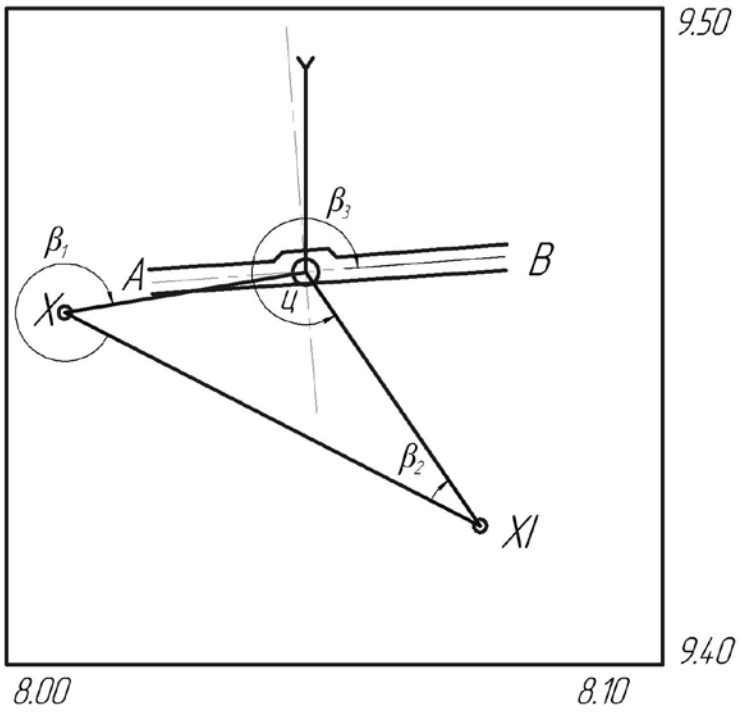


Рис. 4.14. Схема разбивки центра (ц. с.) и строительной оси ствола:
X, XI – пункты опорной маркшейдерской сети;
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – разбивочные горизонтальные углы; *AB* – строительная ось ствола

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:

$$\alpha'_{X-ц.с}\text{arctg}\left(\frac{Y_{ц.с}-Y_X}{X_{ц.с}-X_X}\right);$$

$$\alpha'_{X-ц.с}=\text{arctg}\left(\frac{8045{,}000-8008{,}870}{9460{,}000-9453{,}755}\right)=80^o11'36''\ (\text{I четверть});$$

$$\alpha_{X-ц.с}=80^o11'36'';$$

$$\alpha'_{XI-ц.с.}=\text{arctg}\left(\frac{Y_{ц.с}-Y_{XI}}{X_{ц.с}-X_{XI}}\right);$$

$$\alpha'_{XI-ц.с}=\text{arctg}\left(\frac{8045{,}000-8071{,}764}{9460{,}000-9421{,}131}\right)=34^o33'00''\ (\text{IV четверть});$$

$$\alpha_{XI-ц.с}=360^o-34^o33'00''=325^o27'00'';$$

$$\alpha_{ц.с-XI}=\alpha_{XI-ц.с}-180^o=325^o27'00''-180^o=145^o27'00'';$$

$$\alpha'_{XI-X}=\text{arctg}\left(\frac{Y_X-Y_{XI}}{X_X-X_{XI}}\right);$$

$$\alpha'_{XI-X}=\text{arctg}\left(\frac{8008{,}870-8071{,}764}{9453{,}755-9421{,}131}\right)=62^o35'01''\ (\text{IV четверть});$$

$$\alpha_{XI-X} = 360^{o} - 62^{o}35'01'' = 297^{o}24'59'';$$
$$\alpha_{X-XI} = \alpha_{XI-X} - 180^{o} = 297^{o}24'59'' - 180^{o} = 117^{o}24'59''.$$

Разбивочные углы β_1, β_2 вычисляют по разности дирекционных углов направлений, составляющих искомый угол:

$$\beta_1 = \alpha_{X-ц.с} - \alpha_{X-XI};\ \ \beta_1 = 80^{o}11'36'' + 360^{o} - 117^{o}24'59'' = 322^{o}46'37'';$$

$$\beta_2 = \alpha_{XI-ц.с} - \alpha_{XI-X};\ \ \beta_2 = 325^{o}27'00'' - 297^{o}24'59'' = 28^{o}02'01'';$$

$$\beta_3 = \alpha_{A-B} - \alpha_{ц.с-XI};\ \ \beta_3 = 86^{o}00'00'' + 360^{o} - 145^{o}27'00'' = 300^{o}33'00''$$

Горизонтальное проложение $d_{XI-ц.с}$ вычисляется по следующей формуле:

$$d_{XI\text{-}ц.с} = \frac{\Delta Y_{XI-ц.с}}{\sin\alpha_{XI-ц.с}} = \frac{\Delta X_{XI-ц.с}}{\cos\alpha_{XI-ц.с}};$$

$$d_{XI\text{-}ц.с} = \frac{-26{,}764}{\sin 325^{o}27'00''} = 47{,}192 \quad м;$$

$$d_{XI\text{-}ц.с} = \frac{38{,}869}{\cos 325^{o}27'00''} = 47{,}192 \quad м;$$

$$d_{XI\text{-}ц.с.} = 47{,}192 \quad м.$$

Наклонная длина $l_{XI\text{-}ц.с}$ вычисляется по формуле

$$l_{XI-ц.с} = \sqrt{d^{2}{}_{XI\text{-}ц.с} + \left(Z_{XI} - Z_{ц.с}\right)^{2}};$$

$$l_{XI-ц.с} = \sqrt{(47{,}192)^{2} + (265{,}784 - 264{,}000)^{2}} = 47{,}226 \quad м;$$

$$d_{X\text{-}ц.с} = \frac{\Delta Y_{X-ц.с}}{\sin\alpha_{X-ц.с}} = \frac{\Delta X_{X-ц.с}}{\cos\alpha_{X-ц.с}};$$

$$d_{X\text{-}ц.с} = \frac{36{,}130}{\sin 80^{o}11'36''} = 36{,}666 \ \ м;$$

$$d_{\text{X-ц.с}} = \frac{6{,}245}{\cos 80^{\circ}11'36''} = 36{,}666 \text{ м};$$

$$\text{d}_{\text{X-Ц.С}} = 36{,}666 \text{ м};$$

$$l_{\text{X}-\text{ц.с}} = \sqrt{d^2{}_{\text{X-ц.с.}} + \left(Z_{\text{X}} - Z_{\text{ц.с.}}\right)^2};$$

$$l_{\text{X}-\text{ц.с}} = \sqrt{(36{,}666)^2 + \left(263{,}092 - 264{,}000\right)^2} = 36{,}677 \text{ м}.$$

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.

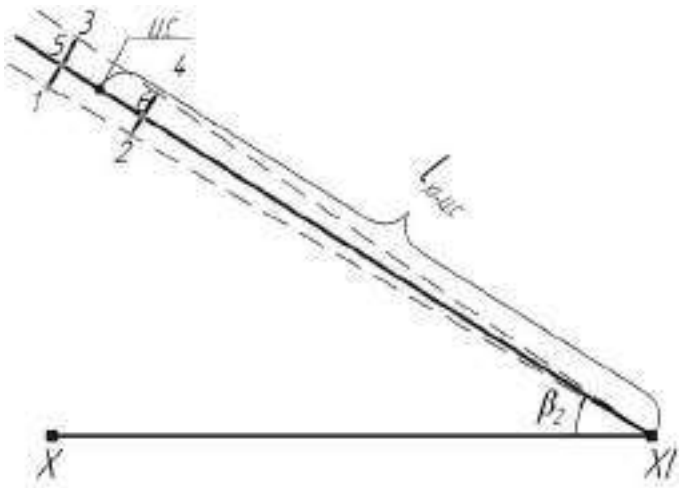


Рис. 4.15. Схема выноса центра ствола в натуру

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-

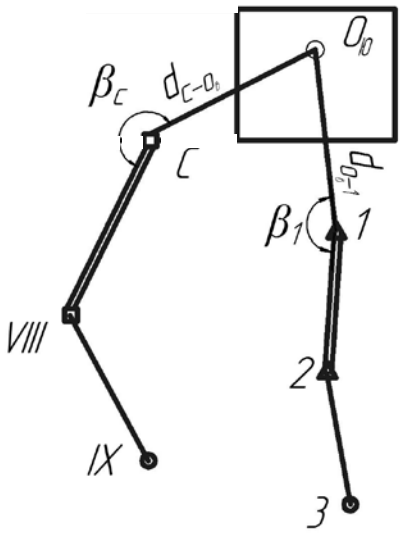
вращения сильного раскачивания отвеса. Когда груз опустится до ориентируемого горизонта, малый груз осторожно снимают, удерживая руками проволоку в натянутом состоянии, и навешивают подставку (грузодержатель), на которую устанавливают рабочий груз. Для более быстрого успокоения качаний отвес погружают 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.



ств. «Вспомогательный»

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:

$$X^{\text{п}}_{\text{О}_\text{в}} = X_{\text{VIII}} + d_{\text{VIII}-C} \cdot \cos\alpha_{\text{VIII}-C} + d_{\text{C}-\text{О}_\text{в}} \cdot \cos\alpha_{C-\text{О}_\text{в}};$$

$$Y^{\text{п}}_{\text{ОВ}} = Y_{\text{VIII}} + d_{\text{VIII}-C} \cdot \sin\alpha_{\text{VII}-C} + d_{C-\text{ОВ}} \cdot \sin\alpha_{C-\text{ОВ}},$$

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.

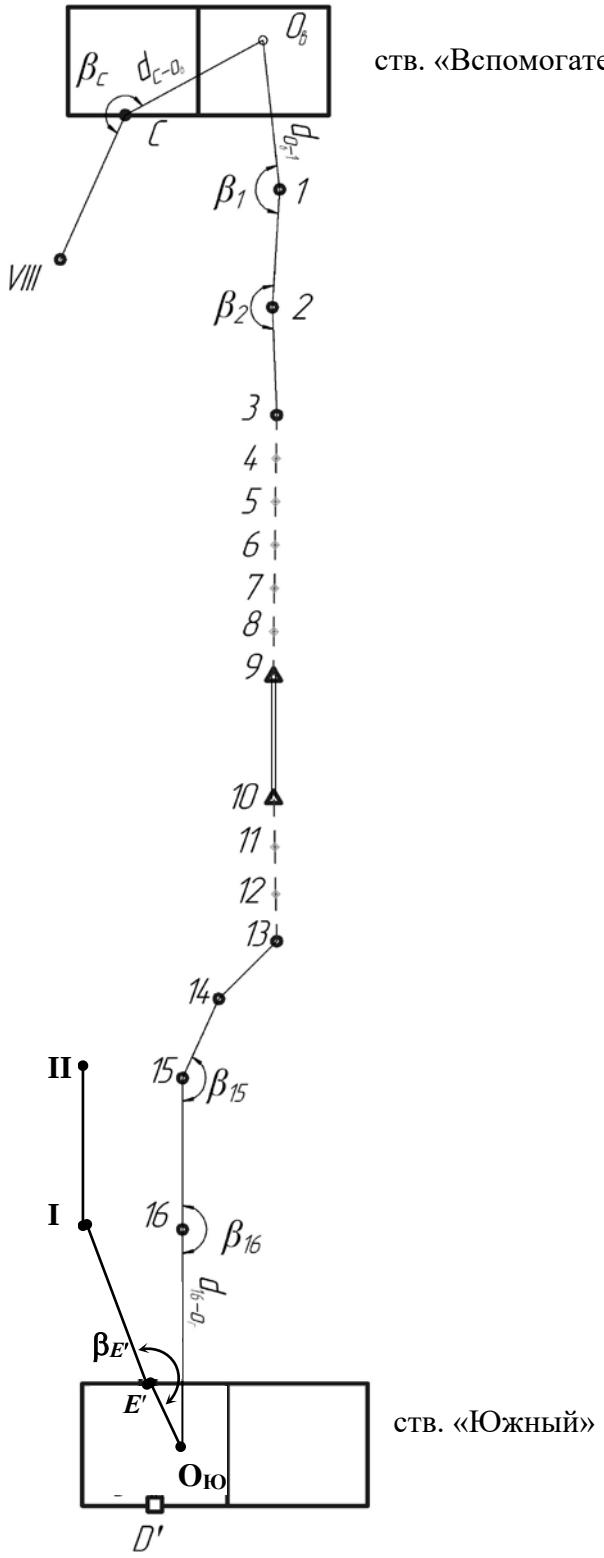


Рис. 5.2. Схема ориентировки через два вертикальных ствола
с использованием гирокомпаса

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 $\text{О}_\text{В}, \text{О}_\text{Ю}$.

В шахте на ориентируемом горизонте проходится соединительный теодолитный ход между стволами. На примычных точках 1 и 16 измеряются углы и длины до отвесов $\text{О}_\text{В}; \text{О}_\text{Ю}$.

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).

$X_{E'} = 9704{,}249; \quad Y_{E'} = 48050{,}952; \quad d_{E'-O_\text{Ю}} = 8{,}930$ м;

$\alpha_{I-E'} = 88^0 13' 23''$ (см. табл. 4.3); $\quad \alpha_{10-9} = 272^0 53' 35'' + N^0 + N' + N''$,

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 $\text{О}_\text{В}$ и в сторону отвеса $\text{О}_\text{Ю}$. Приведем расчет координат от отвеса $\text{О}_\text{В}$, 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}):

$$\alpha_{9-8} = \alpha_{10-9} + \beta_9 - 180^0; ...; \alpha_{1-О_В} = \alpha_{2-1} + \beta_1 - 180^0;$$

$$\alpha_{10-11} = \alpha_{9-10} - \beta_{10} + 180^0; ...; \alpha_{16-О_Г} = \alpha_{15-16} + \beta_{16} - 180^0.$$

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 $О_Ю$ 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								
	Ою	5,640	166°19′18″	78°12′34″	5,521	1,152	48059,576	9704,735	Ою

$\sum d_i = 762{,}286$

$f_Y = 0{,}295;\ f_X = 0{,}017$

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0{,}09 + 0{,}003} \approx 0{,}3$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{abc}}}{\sum d_i} = \frac{0{,}3}{762{,}286} \le \frac{1}{3000}.$$

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.

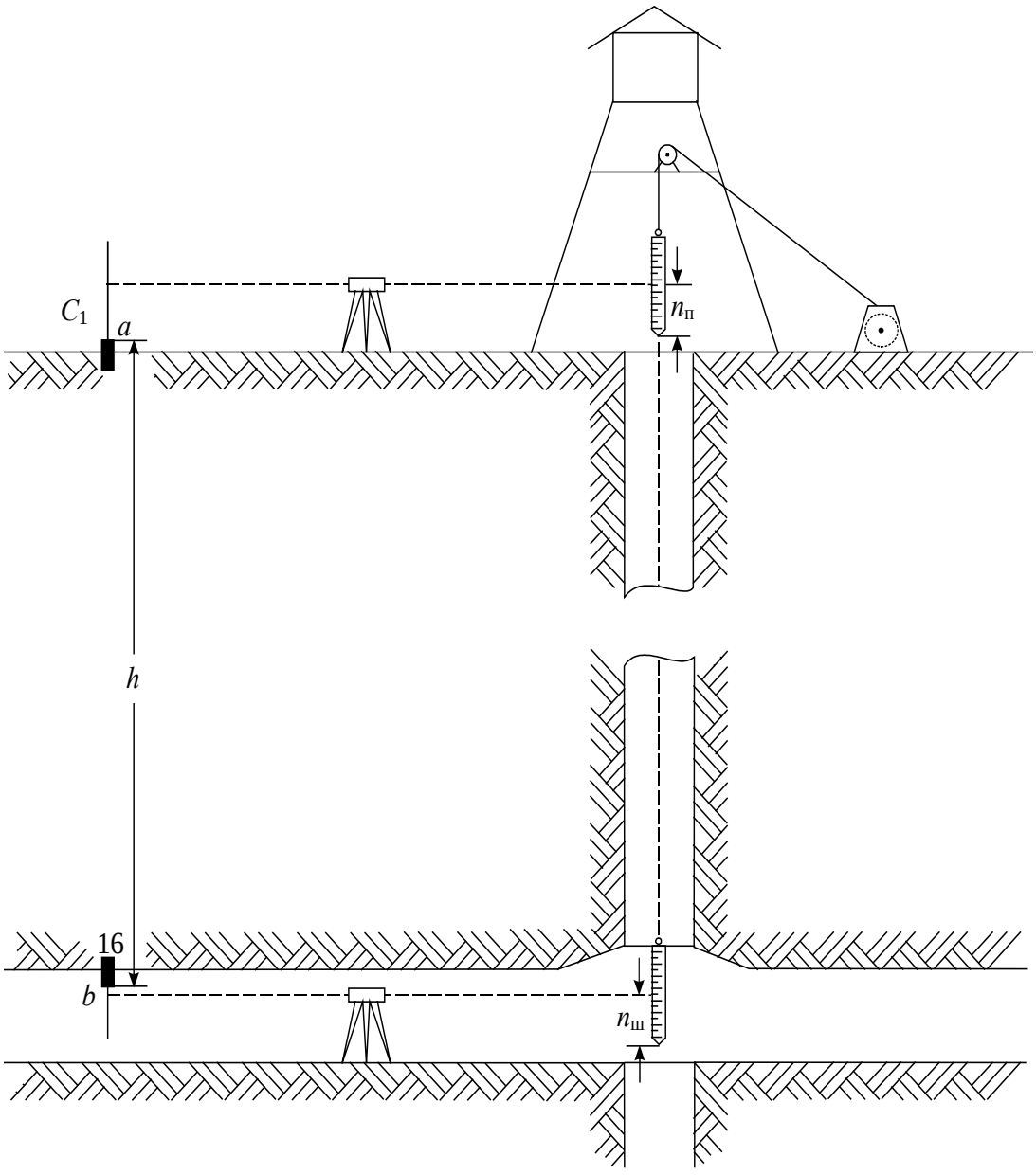


Рис. 6.1. Схема передачи высотной отметки в шахту длиномером (глубиномером) ДА-2

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}	$\Delta_к$	$\sum\Delta L$
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.

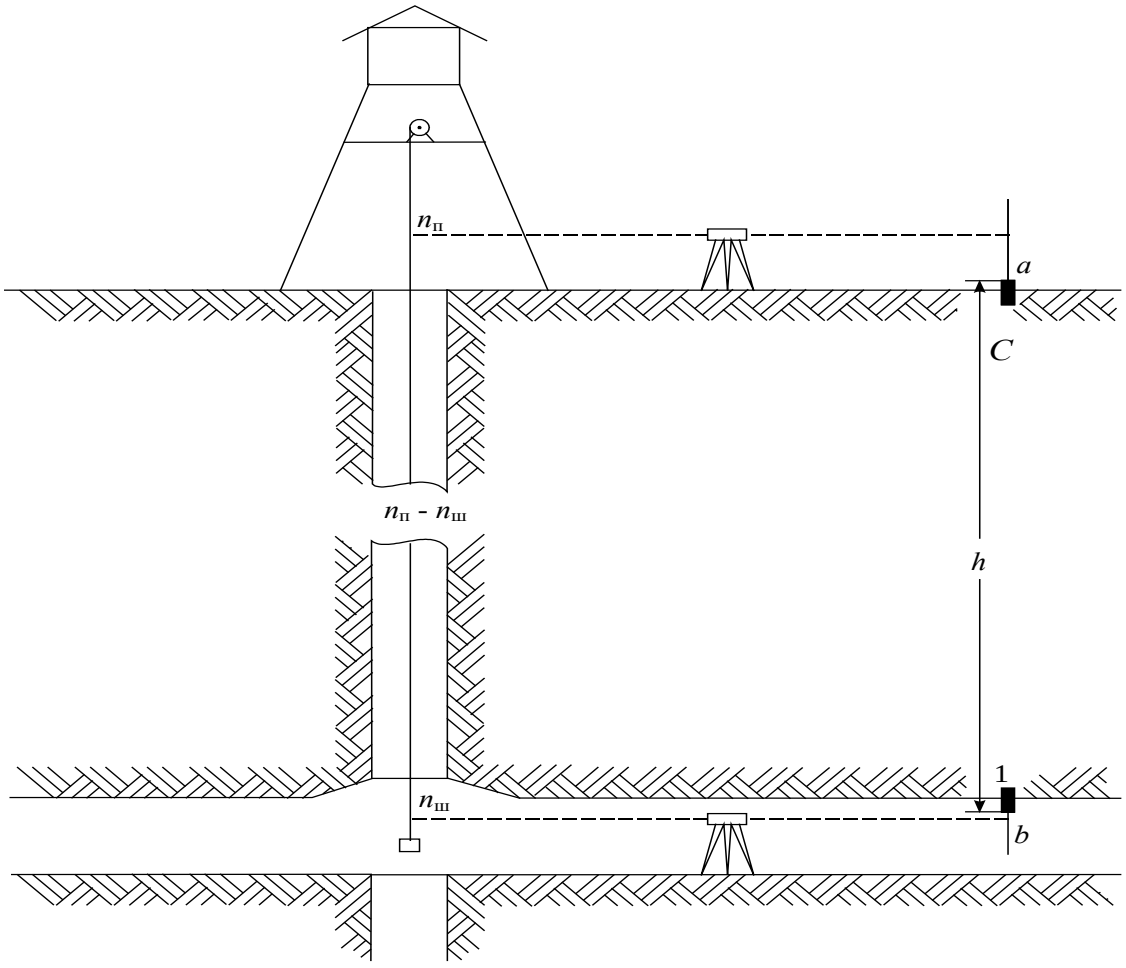


Рис. 6.2. Схема передачи высотной отметки в шахту шахтной лентой

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 $n_{\text{п}}$ и $n_{\text{ш}}$ 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

$$h = n_{\text{п}} - n_{\text{ш}} - a - b.$$

Если все значения h из нескольких независимых передач высотной отметки удовлетворяют допуску, то вычисляется среднее арифметическое значение превышения $h_{\text{ср}}$. В эту величину необходимо ввести следующие поправки:

$\Delta l_{\text{к}}$ – 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:

$$\Delta l_t = 1000 \cdot \alpha \cdot l(t - t_{\text{к}}),$$

знак поправки определяется знаком разности температур $(t - t_{\text{к}})$;

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; $t_{\text{к}}$ – 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

$$h_{ср} = 264{,}133$$

$$Z_1 = Z_с - h_{ср} = 265{,}890 - 264{,}133 = 1{,}757 \text{ м}$$

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).

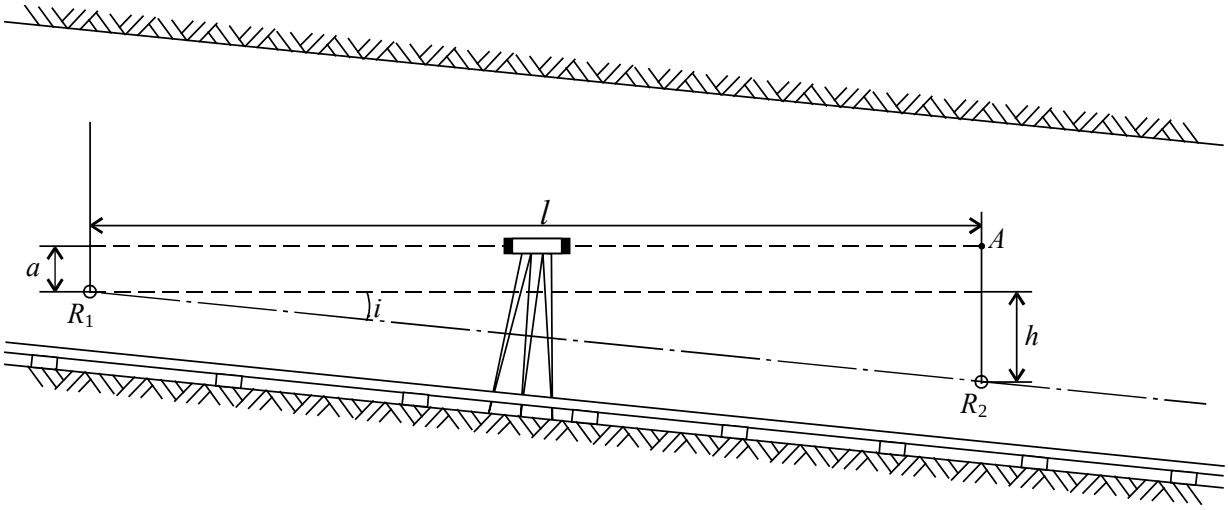


Рис. 7.1. Задание направления выработке в вертикальной плоскости стенными реперами с помощью нивелира

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б. П., Земских Г. В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА, Ч.1

Программа и методические указания по прохождению практики

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 ºС, 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: 20·75;

б) для выделения какого-либо сомножителя: 2·2*xy*·*z*;

в) для записи скалярного произведения векторов: *a*·*b*;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: *a* cos *x*·*b* cos *y*;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Т*очка как знак умножения не ставится*:

а) между числом и буквенным символом: 5*ab*;

б) перед скобками и после них: (*b*+*c*)(*a*-*d*);

в) перед дробными выражениями и после них: $\alpha \frac{\cos \alpha}{b} \frac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: arccos ω*t*.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: 4,5×3 м;

б) при записи векторного произведения *a*×*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:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_1 + b_2 + \dots + b_n.$$

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Голубко Б. П., Земских Г. В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА, Ч.2

Программа и методические указания
по прохождению производственной практики

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное
дело специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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 ºС, 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: 20·75;

б) для выделения какого-либо сомножителя: 2·2*xy*·*z*;

в) для записи скалярного произведения векторов: *a*·*b*;

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением: *a* cos *x*·*b* cos *y*;

д) между знаком радикала и сомножителем: $\sqrt{y \cdot \alpha \sin x}$.

Т*очка как знак умножения не ставится*:

а) между числом и буквенным символом: 5*ab*;

б) перед скобками и после них: (*b*+*c*)(*a*-*d*);

в) перед дробными выражениями и после них: $\alpha \frac{\cos \alpha}{b} \frac{2}{\alpha}$;

г) перед знаком интеграла, радикала, логарифма: $2a \int \sin x \, dx$;

д) перед аргументом тригонометрической функции: arccos ω*t*.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: 4,5×3 м;

б) при записи векторного произведения *a*×*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:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_1 + b_2 + \dots + b_n.$$

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.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО

«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
специализация «Маркшейдерское дело»
очного и заочного обучения

Екатеринбург

2019

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: 20·75;

б) для выделения какого-либо сомножителя: 2·2*xy*·*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 5*ab*;

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 ω*t*.

Косой крест в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров: 4,5×3 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».