

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО ИМ. Д. Н. ОГЛОБЛИНА»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных и самостоятельных
работ по дисциплине
«Маркшейдерия. Маркшейдерские работы при туннелестроении»

уровень профессионального высшего образования «специалист»
специальность 21.05.04 «Горное дело»
специализация «Маркшейдерское дело»

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
маркшейдерского дела им. Д. Н. Оглоблина
Протокол № № 7__ от 13 января 2020__ г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании Учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № __ от _____ г.

Донецк

2020

УДК 528.3:622.1(076)

ББК 26.12:33.12я73

М54

Рецензент:

Хогуля Александр Владимирович - кандидат технических наук, доцент кафедры "Технология и техника бурения скважин" ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет».

Составители:

Филатова Ирина Викторовна - кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела им. Д. Н. Оглоблина ГОУВПО «ДОННТУ»;
Грищенко Андрей Николаевич - старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела им. Д. Н. Оглоблина ГОУВПО «ДОННТУ».

Методические указания по выполнению лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Маркшейдерия. Маркшейдерские работы при тунелестроении» [Электронный ресурс] : уровень проф. высш. образования «специалист» специальность 21.05.04 «Горное дело» специализация «Маркшейдерское дело» / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. маркшейдерского дела им. Д. Н. Оглоблина ; сост.: И.В. Филатова, А. Н. Грищенко – Электрон. дан. (1 файл). - Донецк : ДОННТУ, 2020. – Систем. требования: Acrobat Reader. – 88 с.

Методические указания содержат общие положения и лабораторные работы по дисциплине «Маркшейдерия. Маркшейдерские работы при тунелестроении», вопросы для самопроверки, список литературы.

Методические указания рекомендованы к изданию методической комиссией специальности 21.05.04 "Горное дело" специализации «Маркшейдерское дело» (протокол №. 7) и предназначены для подготовки специалистов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации "Маркшейдерское дело" очной и заочной форм обучения.

УДК 528.3:622.1(076)

ББК 26.12:33.12я73

М54

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ПОВЕРКИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ПРИБОРОВ.

Содержание работы

Провести поверки маркшейдерских приборов: теодолит серии Т-5 и нивелир серии Н-3.

Основные теоретические сведения и порядок выполнения работы

Поверки теодолита серии Т-5.

1. Определение устойчивости штатива и подставки

Для определения устойчивости штатива закрепить на нём теодолит, привести вертикальную ось в отвесное положение и навести визирную трубу на какой -нибудь резко очерченный предмет. Потом головку штатива слегка повернуть то в одну, то в другую сторону. Если после снятия нагрузки будет замечен сдвиг изображения выбранного предмета с перекрестия сетки трубы, нужно лучше затянуть крепильные винты ножек штатива (в шарнире головки).

Добившись стойкости штатива, проверить стойкость подставки. Для этого слегка повернуть корпус подставки и в случае отклонения изображения предмета с перекрестия сетки трубы, после снятия нагрузки, сделать ход подъемных винтов более тугим с помощью гайки регулирования хода.

2. Определение правильности установления оси кругового уровня к вертикальной оси вращения теодолита .

Для проверки кругового уровня нужно вращением подъемных винтов подставки вывести пузырек уровня на середину, потом повернуть алидаду – колонку с уровнем на 180° . Если пузырёк уровня сместится с середины, то на половину отклонения его переместить исправительными винтами, потом вывести на середину подъемными винтами подставки. Поверку повторять до тех пор, пока отклонение пузырька не будет превышать 0,3 деления.

Для проверки уровня установить его по направлению подъемных винтов подставки и вращением этих винтов в противоположных направлениях, вывести пузырёк уровня на середину, потом повернуть алидаду на 180° . Если пузырёк отклонится от среднего положения, то половину отклонения исправить подъемными винтами, вторую половину юстировочными винтами уровня. Потом повернуть алидаду на 90° и третьим подъемным винтом подставки привести пузырёк на середину. Поверку повторять до тех пор, пока отклонение пузырька уровня не будет превышать 0,3 распределения.

3. Определение положения сетки зрительной трубы

Горизонтальный штрих сетки окуляра должен быть перпендикулярен вертикальной оси вращения теодолита.

Закрепить теодолит на штативе и привести вертикальную ось в отвесное положение. Выбрать какую –нибудь исключительно удобную для наблюдения цель и, вращая колонку наводящим винтом по азимуту, убедиться, что изображение точки не сходит с горизонтального штриха сетки на величину, более двойной величины нити. Если сдвиг превышает эту величину, необходимо снять крышку, отпустить четыре крепильных винта окуляра и повернуть окуляр так, чтоб горизонтальная нитка сетки располагалась горизонтально. Поверку повторяют до тех пор, пока изображение точки не будет сходить с горизонтального штриха сетки на величину вдвое меньшую двойной толщины нитки. После проверки сетки закрепить окуляр и навинтить крышку. Поверку повторить.

4. Определение и исправление коллимационной ошибки «С».

Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы. Зрительную трубу установить приблизительно горизонтально и навести на выбранную точку. Снять отчёты при двух положениях круга ($КП_1$ и $КЛ_1$). Освободить зажимной винт подставки, повернуть теодолит на 180° и снова закрепить зажимным винтом. Выполнить наведение на ту же точку при двух положениях круга ($КП_2$ и $КЛ_2$) и снять отчёты. Величину коллимационной ошибки вычислить по формуле (1.1):

$$C = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4} \quad (1.1)$$

Для исправления коллимационной погрешности снять крышку, которая закрывает доступ к юстировочным винтам окулярной сетки. Установить по горизонтальному кругу отчёт, который определяется по формуле (1.2):

$$КП = КП_2 - C \quad (1.2)$$

Юстировочными винтами переместить сетку в горизонтальном направлении до соединения перекрестия с изображением ранее выбранного предмета. Снова повторить проверку. Допустимое значение двойной коллимационной погрешности не должно превышать $30''$.

5. Определение и исправление места нуля вертикального круга.

В центрированном теодолите, при среднем положении пузырька уровня штрихи шкалы компенсатора должны располагаться над соответствующими укороченными штрихами шкалы вертикального круга – показателя положения компенсатора .

Если в отцентрированном теодолите при среднем положении пузырька уровня штрихи шкалы компенсатора изменены по отношению к укороченным штрихам шкалы вертикального круга – показателя положения компенсатора

больше чем на 0,5 деления шкалы – совместить их таким способом. Отвинтить заглушку, действуя осторожно юстировальным винтом, ослабить затягивание винта, потом осторожно, не прикладывая больших усилий вкрутить, или выкрутить отверткой винт до тех пор, пока нулевой штрих компенсатора не совпадет с нулевым штрихом укороченной шкалы.

После перемещения шкалы компенсатора над начальным штрихом укороченной шкалы – указателя положения компенсатора, завинтить винт до упора с точкой предотвращения винта от перемещения, фиксации его положения. Закрутить заглушку.

Место нуля вертикального круга должно быть известно, или приведено к нулю. Значение нуля определить визированием на ту же точку, желательно ближе к горизонту, при двух положениях круга и вычислить по формуле (1.3):

$$MO = \frac{KL - KP \pm 180}{2} \quad (1.3)$$

При этом по отчёту, меньше 90°, добавить 360°.

Для исправления места нуля установить на вертикальном круге отчет, равный КЛ-МО и сдвигом окулярной сетки визирной трубы юстировочными винтами в вертикальном направлении соединить перекрестие сетки с изображением выбранной точки.

После исправления снова повторить определение места нуля и коллимационной ошибки. При определении и исправлении места нуля так же, как и при измерении углов наклона, следить за положением пузырька уровня при алидаде горизонтального круга, и, в случае сдвига, подъемными винтами подставки выводить его в среднее положение.

6. Установка визирной цели.

Для установки визирной цели, в рабочее положение установить визирную цель на штативе и отцентрировать. Установку визирной цели делать так, чтоб высота горизонтальных осей теодолита и визирной цели совпадали. Постоянная высота центра марки от подставки достигается с помощью контрольной установочной шайбы, которую нужно установить на одном из подъемных винтов подставки.

Для установки горизонтальной оси теодолита на высоте центра марки визирной цели, такую же шайбу установить на одном из подъемных винтов теодолита.

После установки контрольной шайбы двумя другими винтами подставки теодолит привести в рабочее положение.

До начала работы проверить эксцентricность расположения визирной цели .

Для этого вертикальную ось визирной цели с помощью подъемных винтов подставки привести по уровню в отвесное положение. Потом марку визирной цели рассмотреть в теодолите. При визировании бисектор сетки зрительной трубы, установить по оси центрального створа марки визирной цели. После этого визирную цель повернуть по оси на 180° и снова рассмотреть в теодолит. Половину сдвига центра марки с бисектора – исправить сдвигом оправы с маркой на осях, и, если необходимо, разворотом марки в оправе. Проверку повторить несколько раз, пока при повороте на 180° центр марки не будет сходиться с бисектора.

7. Проверка рена отчётной системы горизонтального и вертикального круга.

Чтоб определить рен оптического микрометра, нужно установить на его шкале отсчет, близкий к нулю, и приблизительно соединить с помощью наводящего винта алидады диаметрально противоположные штрихи A и $(A+180^\circ)$ верхнего и нижнего изображений лимба. После этого по барабану

оптического микрометра берут отсчёты при трёх точно соединённых штрихах:

— A_1 – при соединении штрихов A и $(A+180^0)$;

— A_2 – при соединении штрихов $(A-\mu)$ и $(A+180^0)$;

— A_3 – при соединении штрихов A и $(A+180^0-\mu)$, где μ - величина наименьшего деления круга.

Рен верхнего и нижнего изображений находят по формулам (1.4):

$$\begin{aligned} r_B &= (A_1 - A_2)\mu_0 + \frac{\mu}{2}; \\ r_H &= (A_1 - A_3)\mu_0 + \frac{\mu}{2}, \end{aligned} \quad (1.4)$$

где μ_0 – цена деления шкалы микрометра.

Далее вычисляют значение рена:

$$r = \frac{r_B + r_H}{2}. \quad (1.5)$$

Установка алидады горизонтального круга для теодолитов с делениями в $4'$, $10'$, $20'$ и пример определения рена показаны в таблице 1.1 и 1.2. Если величина рена превышает указанные допуски, то в результаты измерений вводят поправки

$$\delta_a = \frac{2ra}{\mu}, \quad (1.6)$$

где a – отчёт по микрометру.

При значительных величинах δ_a должна быть юстирована оптическая отчётная система.

Установку вертикального круга выбирают в диапазоне $\pm 10^0$ относительно горизонтального положения трубы через интервал $(2^0+\mu)$ в прямом и обратных ходах.

В полевых условиях допускается проводить выборочный контроль рена на четырёх установках алидады 0 , 90 , 180 и 270^0 (для вертикального круга - 358 , -2 , 0 , 2^0).

В теодолитах со шкаловым микроскопом проверку рена следует выполнять соединением штриха лимба с нулевым штрихом шкалы микроскопа; после этого снимают отчёт по шкале, соответствующей следующему штриху круга. величиной рена будет разница между отличным значением интервала и его номинальным значением (1^0). Измерения делают на установках алидады, следующих через 60^0 .

Для вертикального круга рен определяют в диапазоне углов наклона трубы $\pm 10^0$ через интервал 2^0 .

Для исправления рена необходимо ослабить винты, которые крепят оправы линз микроскопа горизонтального круга. Передвигая оправы с линзами вдоль оси микроскопа и изменяя увеличение микроскопа, устраняют рен.

Таблица 1.1 – Установка алидады горизонтального круга для теодолитов с делениями в 4', 10', 20'

Установка φ алидады горизонтального круга			
Номер установки	Прямой ход	Номер установки	Обратный ход
Для теодолитов с $\mu=4'$			
1	0°00'	16	22°32'
2	45°06'	15	67°38'
3	90°12'	14	112°44'
4	135°18'	13	157°50'
5	180°24'	12	202°56'
6	225°30'	11	247°02'
7	270°36'	10	292°08'
8	315°42'	9	337°14'
Для теодолитов с $\mu=10'$			
1	0°00'	16	22°40'
2	45°10'	15	67°50'
3	90°20'	14	113°00'
4	135°30'	13	157°10'
5	180°40'	12	202°20'
6	225°50'	11	248°30'
7	270°00'	10	292°40'
8	315°10'	9	337°50'
Для теодолитов с $\mu=20'$			
1	0°00'	16	22°20'
2	45°20'	15	67°40'
3	90°40'	14	113°00'
4	135°00'	13	157°20'
5	180°20'	12	202°40'

6	225°40'	11	248°00'
7	270°00'	10	292°20'
8	315°20'	9	337°40'

Таблица 1.2 – Определение рена отсчётной системы

Дата: 04.11.2010 г.

t=+22,5°C

Теодолит Т1 № 04

Горизонтальный круг

$\mu=10'$

Прямой ход						Обратный ход					
Ф	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁ -A ₂	A ₁ -A ₃	φ	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁ -A ₂	A ₁ -A ₃
0°00'	59,0"	0,4"	0,0"			22°40'	0,8"	0,9"	0,7"		
	59,4	0,1	0,4				0,2	0,9	0,5		
Средний отсчёт	59,2	0,2	0,2	-1,0"	-1,0"		0,5	0,9	0,6	-0,4"	-0,1"
45°10'	58,9	59,0	59,4			67°50'	0,7	1,2	1,0		
	58,8	58,5	59,1				0,4	1,4	0,9		
Средний отсчёт	58,8	58,8	59,2	0,0"	-0,4"		0,6	1,3	1,0	-0,7"	-0,4"
90°20'	0,2	1,0	0,8			113°00'	0,0	1,2	0,9		
	0,4	0,6	0,5				0,5	0,7	0,7		
Средний отсчёт	0,3	0,8	0,6	-0,5"	-0,3"		0,2	1,0	0,8	-0,8"	-0,6"
.....											
135°30'	0,6	1,4	1,1			337°50'	0,1	0,2	0,6		
	0,3	1,2	0,7				0,2	0,4	0,3		
Средний отсчёт	0,4	1,3	0,9	-0,9"	-0,5"		0,2	0,3	0,4	-0,1"	-0,2"

$$r_B = \frac{1}{2n} \sum (A_1 - A_2) = -0,32''$$

$$r = \frac{r_B + r_H}{2} = -0,29''$$

$$\sum (A_1 - A_2) = -5,1''$$

$$r_H = \frac{1}{2n} \sum (A_1 - A_3) = -0,26''$$

$$n = 8$$

$$\sum (A_1 - A_3) = -4,2''$$

8. Определение эксцентритета горизонтального круга

Эксцентритет горизонтального круга $\varepsilon_{з.к.}$ теодолитов типа Т1, Т2 определяют по изменению разниц отсчётов при соединении диаметрально противоположных штрихов круга a и одного из штрихов круга с индексом a_1 . Для каждой установки получают разницы $v_1 = 2(a - a_1)$.

При определении эксцентритета горизонтального круга в теодолите типа Т2 вместо индекса используют штрих вертикального круга, видимый после поворота перемикальной призмы на 45^0 . Отсчёт для всех установок круга делают равным $5'00''$. Формула в этом случае приобретает вид

$$v_1 = 4(a - a_1). \quad (1.8)$$

Эксцентритет горизонтального круга теодолитов типов Т5, Т15 и Т30 определяют по изменению горизонтального угла, близкого к 180^0 , который задается установками φ и $\varphi + 180^0$ алидады при отсчёте φ по кругу.

Положения алидады теодолита фиксируют двумя коллиматорами, установленными на одной прямой с теодолитом.

В этом случае

$$v_1 = \beta_\varphi - \frac{1}{n} \sum_1^n \beta_\varphi, \quad (1.9)$$

где β_φ - значение угла на установке φ круга; n - число установок круга.

Эксцентритет горизонтального круга теодолитов типов Т5 и Т15 допускается определять по изменению двойной погрешности коллимации, выровняной на разных установках горизонтального круга, $v_1 = 2C = КЛ - КП$.

Число n принимают равным 12 для теодолитов типов Т1 и Т2 и 8 - для других типов. При выборочной проверке в полевых условиях допускается $n=6$.

Измерения проводят в границах одного оборота круга в прямом и обратном ходах. Пример определения эксцентритета горизонтального круга приведен в таблице 1.3.

9. Определение эксцентритета вертикального

Измерения проводят в следующей последовательности:

а) наводят при «круге слева» трубу проверяемого теодолита Т на горизонтальную нитку коллиматора K_1 и берут отсчёт A_1 по вертикальному кругу;

б) вращением трубы вокруг горизонтальной оси наводят ее на горизонтальную нитку сетки коллиматора K_2 и берут отсчёт A_2 ;

в) операции в пунктах а и б, которые составляют один приём, выполняют не менее 6 раз при проверке теодолитов типа Т30, чередуя последовательность отсчётов A_1 и A_2 .

Таблица 1.3 – Определение эксцентритета горизонтального круга

Дата: 15.10.2010 р.

Время: 10^h20^m-11^h30^m

t=+20,8^oC

Теодолит

T2 №102125

a=5'00"

v=4*(a-a₁)

φ	Прямой ход		Обратный ход		v ₁	v ₁ sinφ	v ₁ cosφ	Xsinφ	Ycosφ	v ₁ ⁰
	a' ₁	v' ₁	a'' ₁	v'' ₁						
0°	4'53"	28"	4'54"	24"	26"	0,0"	26,0"	0,0"	-0,6"	25,4"
30°	4'53"	28"	4'52"	32"	30"	13,0"	26,1"	3,6"	-0,5"	29,1"
60°	4'52"	32"	4'52"	32"	32"	27,8"	16,0"	6,2"	-0,3"	31,9"
90°	4'51"	36"	4'50"	40"	38"	38,0"	1,0"	7,1"	0,0"	33,1"
.....										
330°	4'54"	24"	4'54"	24"	24"	12,0"	20,9"	-3,6"	0,5"	22,9"
				Σ	312"	42,4"	3,8"	0,0"	0,0"	312"

$$v_1 = \frac{(v'_1 + v''_1)}{2};$$

$$v_1^0 = v_0 + X \sin \varphi + Y \cos \varphi;$$

$$v_0 = \frac{\sum v_1}{12} = +26'';$$

$$X = \frac{\sum v_1 \sin \varphi}{n/2} = \frac{+42,4}{6} = +7,1'';$$

$$Y = \frac{-\sum v_1 \cos \varphi}{n/2} = \frac{-3,8}{6} = -0,6'';$$

$$\operatorname{tg} \varphi_e = \frac{-\sum v_1 \cos \varphi}{\sum v_1 \sin \varphi} = \frac{-3,8}{42,4} = -0,09;$$

$$\varepsilon_{\bar{a}\bar{e}} = \frac{1}{2} \sqrt{X^2 + Y^2} = 3,6'';$$

$$e_{\bar{a}\bar{e}} = \frac{\varepsilon_{\bar{a}\bar{e}} R}{\rho} = \frac{3,6 \cdot 45000}{206265} = 0,76'' ;$$

$$\varphi_e = 355^0;$$

где R – радиус горизонтального круга.

Максимальное влияние эксцентритета вертикального круга находят по формуле (1.10):

$$\varepsilon_{\max} = \frac{A_1 - A_2}{2 \cos \alpha}, \quad (1.10)$$

где α – угол наклона линии визирования.

Для произвольного положения вертикального круга $\varepsilon_{\hat{a}\hat{e}} = \varepsilon_{\max} \cos \alpha$.

При определении $\varepsilon_{\hat{a}\hat{e}}$ у теодолита типа Т30 по вертикальному кругу совмещают штрихи φ и $\varphi+180^0$ с индексом; отсчёты A_1 и A_2 получают по окулярному микрометру коллиматоров после наведения на сетку теодолита Т30. Коллиматоры предварительно устанавливают на одной оптической оси.

Пример определения максимального влияния эксцентритета вертикального круга $\varepsilon_{\hat{a}\hat{e}}$ приведен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Определение максимального влияния эксцентритета вертикального круга

Дата: 17.10.2010 р.

Теодолит Т15 №300803

Время: 14^h45^m-15^h30^m

Коллиматор 1 (АК-0,25)

№67241

t=+22,5^oC

Коллиматор 2 (АК-0,25)

№67242

$\alpha=0^{\circ}16'$

Номер прёма	Отсчёты по вертикальному кругу		A_1-A_2	$\varepsilon_{\max} = \frac{A_1 - A_2}{2}$
	A_1	A_2		
1	15,6'	16,2'	-0,6'	-0,30'
2	15,7'	16,1'	-0,4'	-0,20'
3	15,6'	16,1'	-0,5'	-0,25'
4	15,8'	16,2'	-0,4'	-0,20'
5	15,8'	16,1'	-0,3'	-0,15'
6	15,6'	16,0'	-0,4'	-0,20'

$$\varepsilon_{\max_{cp}} = -0,22' = -13''$$

$$v = \varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\max_{cp}};$$

$$\sum v^2 = 0,0134;$$

$$\varepsilon_{\hat{a}\hat{e}} = \varepsilon_{\max} \cos \alpha = -13'' \cos \alpha;$$

$$m_{\varepsilon_{\max}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,0134}{30}} = 0,021' = 1,3''.$$

10. Проверка сдвига визирной оси при перефокусировке.

Для проверки сдвига визирной оси при перефокусировке, зрительную трубу теодолита, сфокусированную на бесконечность, наводят на сетку коллиматора. При перефокусировке трубы оборотом головки фокусирующего прибора по ходу и против хода часовой стрелки наблюдают за положением изображения сетки.

Сдвиг изображения сетки не должен превышать двойной толщины штриха сетки зрительной трубы.

В полевых условиях вместо коллиматора допускается в качестве объекта наблюдений использовать линейку с миллиметровыми делениями, которую устанавливают горизонтально на расстоянии 10 – 30 м от теодолита. Погрешность за качку фокусирующего прибора получают по формуле (1.11):

$$\delta_{\text{ока}} = \frac{(a_2 - a_1)}{2S} \rho, \quad (1.11)$$

где a_1, a_2 – отсчёты по шкале относительно вертикальной нити сетей при перефокусировке трубы;

S – расстояние от теодолита до шкалы;

$\rho = 206265''$.

Погрешность за перефокусировку трубы, связанную со сменой расстояния визирования, необходимо определить по колебаниям S или MO , которые получают при наблюдении марок, установленных на разных расстояниях от прибора.

Марка (или другие объекты наблюдений) для определения значений S (или MO) должны по возможности располагаться в одном створе и на одном горизонте (отклонения не более 3^0).

Юстирование нивелира серии Н-3.

1. Проверка круглого уровня.

Условие: ось круглого уровня WW должна быть параллельной оси вращения ZZ прибора.

Вращением подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня на середину (в нель-пункт) нивелир поворачивают на 180° . Если пузырёк уровня после поворота сместится более чем на 0,5 величины деления шкалы уровня, необходимо будет выполнить исправление.

Для исправления перемещают пузырёк уровня к центру на половину дуги его отклонения вращениям подъемных винтов и точно выводят пузырёк в нуль – пункт очередным вращением 3-х юстировочных винтов круглого уровня.

2.Проверка сетки нитей.

Условие: горизонтальный штрих сетки должен быть перпендикулярен оси вращения ZZ, или вертикальный штрих паралелен оси ZZ (рис. 4).

В случае если точка в поле зрения трубы смещается с горизонтальной линии сетки нитей, отвинчивают колпачок окуляра нивелира. Оправа с сеткой прикреплена 3-мя торцевыми винтами. Слегка открепляют все три винта и поворачивая оправу из сетки нитей добиваются выполнения условия. После этого закрепляют сначала средний, верхний и нижний винты оправы с сеткой.

После исправления положения сетки нитей обязательно проверяем, и если необходимо исправляем угол «*i*» нивелира.

3.Проверка параллельности визирной оси к оси цилиндрического уровня.

Условие: визирная ось VV прибора должна быть параллельной к оси LL цилиндрического уровня для нивелира с цилиндрическим уровнем.

Если величина угла между осями превышает $20''$, то устанавливаем горизонтальную нить сетки при помощи элевационного винта на отсчёт $(l_2 + dI/\rho'')$, где l_2 – отсчёт по рейке, мм; ρ'' – 206265.

Угол « i » берём из него знаком. Совмещаем, действуя исправительными винтами уровня трубы, изображения концов пузырька уровня. Выполняем одним приёмом контрольное определение угла « i ».

Повторяем исправление пока угол « i » не станет меньше $8''$.

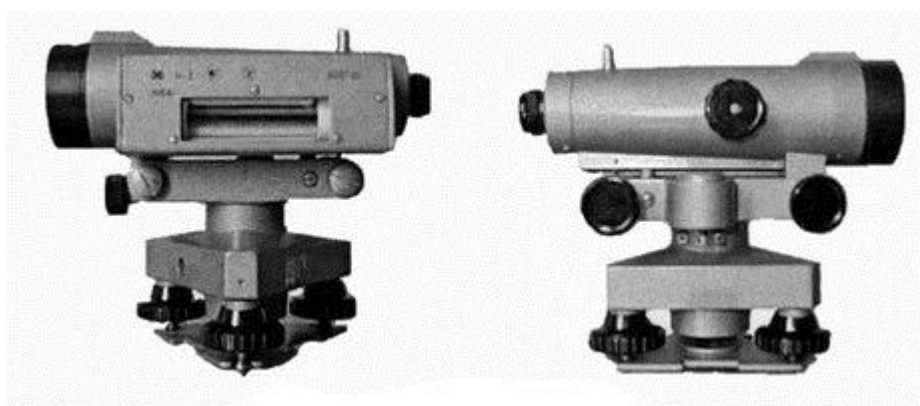


Рисунок 1. – Нивелир Н-3.

4. Проверка работоспособности компенсатора нивелира.

Проверка работоспособности компенсатора нивелира должна включать: определение систематической погрешности компенсации и диапазона работы.

В полевых условиях погрешность работы компенсатора σ_k определяют таким образом. Нивелир располагают посреди створа, меж двумя рейками, установленными по уровню и укрепленными с помощью рейкодержателей. Наблюдения выполняют сериями, общее число которых должно быть не меньше 5. Перед взятием отчётов по рейкам оси нивелира задают наклоны I-V (рис. 2) подъемными винтами.

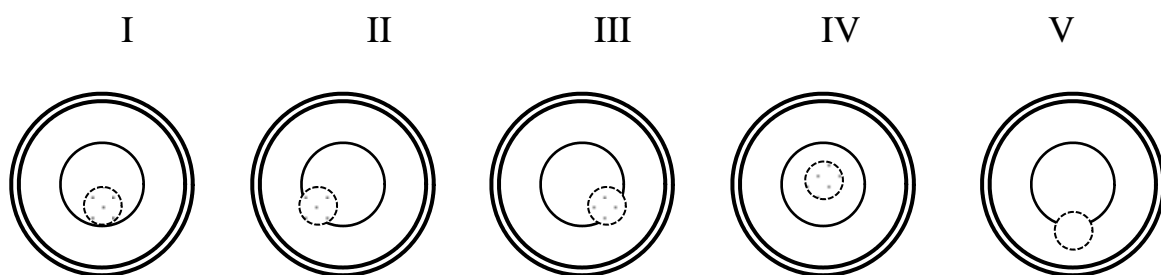


Рисунок 2 – Положение пузырька круглого уровня при проверке работоспособности компенсатора

В каждой серии для каждого наклона оси определяют превышение по основной и дополнительной шкалой реек В двухсторонних рейках – по черной и красной сторонам. Перед каждой серией изменяют высоту прибора. Для высокоточных нивелиров проверку проводят на расстоянии между рейкам 10, 50 м; для точных нивелиров - 10 и 75 м; для технических - 100 м.

Систематическую погрешность компенсации σ_k на 1" наклона оси нивелира определяют по формуле (1.12):

$$\sigma_k = \frac{(h_v - h_0)}{2Dv} \rho, \quad (1.12)$$

где h_v , h_0 – превышение, полученное при наклоне оси нивелира и при $v=0$,

Д – расстояние до рейки.

Пример проверки качества работы компенсатора нивелира в полевых условиях приведен в таблице 1.5

Таблица 1.5 – Пример проверки качества работы компенсатора нивелира

Дата: 24.05.2010 г.

Нивелир Ni 007 N 14567

$t = +$
11,5°C

$D = 50,0$ м

Номер серии измерений	Измеренное превышение h , мм				
	При положении пузырька в нуль - пункте	При продольном наклоне на угол		При поперечном наклоне на угол	
		+10'	-10'	+10'	-10'
1	1575,4	1575,4	1575,6	1575,4	1575,7
	1575,6	1575,5	1575,7	1575,4	1575,9
2	1576	1575,8	1576	1575,8	1576
	1575,8	1575,7	1575,6	1575,6	1575,8
3	1575,5	1575,3	1575,6	1575,4	1575,8
	15,75,8	1575,4	1575,8	1575,56	1575,8
4	1575,9	1575	1576,2	1575,7	1575,9
	1575,9	1575,4	1575,9	1575,7	1576,1
5	1575,4	1575,5	1575,6	1575,2	1575,8
	15,75,5	1575,4	1575,8	1575,6	1575,8
$h_{ср}$, мм	1575,68	1575,44	1575,78	1575,54	1575,86
Δh , мм	0	-0,24	0,1	-0,14	0,18
Σk		-0,05"	+0,02"	-0,03"	+0,04"

5. Проверка сдвига визирной оси при перефокусировке трубы

Проверку выполняют на базисе, разбитом на равной местности. Интервал перемещения фокусирующей линии от минимального расстояния ви-

зирования до бесконечности разделяют на 10 приблизительно одинаковых частей.

По лучшей видимости для каждого положения фокусирующей линии определяют положение точек на базисе. Точки закрепляют нивелирными кольями с ввинченными в них шурупами со сферической головкой. Контрольные превышения определяют нивелированием высокоточным прибором в прямом и обратном направлениях перед и после измерений проверяемого нивелира. При нивелировании придерживаются равенности плечей, длина визирующего плеча должна быть не более 15 м. Разбег превышений в прямом и обратном направлениях не более 0,3 мм.

Проверяемый нивелир устанавливают в отдалении наименьшего расстояния визирования от точки 1 и способом нивелирования вперёд нивелируют все точки базиса в прямом и обратном направлениях. Изменяют горизонт прибора и повторяют измерения.

Превышения вычисляют относительно первой точки базиса. В вычислении превышения должны быть введены поправки за угол i , кривизну Земли и рефракцию, если расстояние от нивелира до рейки более 30 м.

Угол i определяют по формуле (1.13):

$$i = \frac{[(l_n + P_n) - (l_{n-1} + P_{n-1})] - h_0}{(s_n - s_{n-1}) \cdot 10^3} \cdot \rho, \quad (1.13)$$

где h_0 – превышение между последней и предпоследней точками базиса, определенное высокоточным нивелиром;

P_n и P_{n-1} – поправки за кривизну Земли и рефракцию;

l_n и l_{n-1} – отсчёты по рейкам;

s_n и s_{n-1} – расстояния от нивелира до точек.

Значения поправок P для расстояний, кратных 10 м:

$s, м$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150
$P, мм$	0,02	0,07	0,15	0,27	0,42	0,60	0,82	1,08	1,36	1,68	3,78

Значения погрешностей превышения определяют как разницу превышений высокоточного нивелирования и полученных нивелиром, который проверяют.

Величины v , которые характеризуют сдвиг визирной оси при перефокусировке трубы, не должны превышать 1 мм.

б. Определение погрешности измерения превышения на станции.

Проверку производят многократным измерением между двумя точками на местности способом нивелированием из середины. Измерения проводят по двум шкалам реек при длине визирного луча 100 м. Точки установок реек закрепляют нивелирными кольшками с ввинченными в них шурупами со сферической головкой. Рейки в процессе измерения должны сохранять неизменное вертикальное положение. Нивелир устанавливают в створе между рейками на равных расстояниях от них, приводят в рабочее положение, и десятью приёмами измеряют превышения между рейками, которые составляют одну серию измерений. Число серий должно быть не меньше пяти. Горизонт нивелира изменяют перед каждым приёмом и при переходе к новой серии.

Среднюю квадратическую погрешность за превышение на станции для i -той серии определяют по формуле (1.14) :

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \text{ а́а́ } m_i = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}, \quad (1.14)$$

где n – количество приёмов в одной серии;

v_i – отклонение измеренных превышений от среднего арифметического в i -й серии;

Δ_i – отклонения измеренных превышений от контрольного значения, полученного более точным нивелиром.

Окончательно среднюю квадратичную погрешность определения превышения на станции определяют по формуле (1.15):

$$m_{\text{п\ddot{o}}} = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_k^2}{k}}, \quad (1.15)$$

где k – количество серий.

Проверка нивелирных реек

1. Внешний осмотр.

При внешнем осмотре реек обращают внимание на качество покраски штрихов и оцифровки реек, а также на равномерность и чистоту цветного покрытия. На рабочей поверхности реек не должно быть больших пятен, царапин и отшелушивающейся краски, которые затрудняют взятие отсчётов по рейке. Крепление ручек, круглого уровня и пяток реек должны быть надёжными. Между корпусом и пятой рейки не должно быть щелей. В инварных рейках проверяют натяжение инварной полосы. По эксплуатационной документации проверяют наличие принадлежностей в комплекте реек.

При опробовании проверяют работоспособность и надёжность фиксации фурнитуры складных реек.

2. Проверка правильности установки круглого уровня на рейке.

Правильность установки круглого уровня на рейке проверяют с помощью вертикальной нити сетей трубы нивелира, или теодолита.

Рейку устанавливают на расстоянии 30-50 м от нивелира, приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение с помощью уровня и по команде наблюдателя устанавливают рейку так, чтоб её ребро точно совпало с

вертикальной нитью сетки. Юстировочными винтами круглого уровня, установленного на рейке, приводят пузырёк на середину ампулы. После этого поворачивают рейку на 90° и повторяют проверку. Во время проверки рейку следует поддерживать с помощью рейкодержателя штатива, или прислонить её к какому – нибудь предмету (столбу, ограде).

Деревянные рейки допускается проверять по наклоны, подвешенному с помощью укрепленного на рейке кронштейна.

3. Контрольное определение длин метровых интервалов рейки в полевых условиях делают с помощью контрольной линейки.

При осмотре деревянных реек края шашечных делений, по которым будут делать отчёт, отмечают тонкими штрихами с помощью металлической линейки и остро заточенного карандаша. Исследуемую деревянную рейку кладут горизонтально. Интервалы шкалы 1-10, 10-20, 20-29, 48-57, 57-67 и 67-76 отмечают сначала в прямом, а потом в обратном направлениях. При обратных измерениях линейку переворачивают на 180° . Измерение состоит из двукратного отсчёта по концам метрового интервала с помощью контрольной линейки. Сначала отсчитывают по левому концу, а потом по правому. Перед другим измерением интервала линейку немного сдвигают. Разницы по правому и левому концам контрольной линейки на интервале не должны различаться меж собой более чем на 0,10 мм. Если был получен большой разбег, то контрольную линейку сдвигают еще раз и повторяют измерения. Грубые отсчёты вычёркивают, и из тех, что остались берут среднее. Перед началом и в конце измерения каждой стороны рейки измеряют и записывают температуру контрольной линейки. В таблице 1.6 приведён пример компарирования деревянной рейки.

Таблица 1.6 – Компарирование деревянной рейки

Рейка N 2342, чёрная сторона

Контрольная линейка N 0721

Дата: 12.09.2010 р.

$L=1000,00+0,01+0,018(t-16,6^{\circ}\text{C})$,

мм

Интервал рейки	Отсчёт по линейке, мм			(П-Л) ср, мм	Поправка за длину контрольной линейки и температуру, мм	Длина интервала рейки, мм
t = +8,6°C						
01-10	0	900,14	900,14			
	0,44	900,54	900,1	900,12	-0,11	900,01
10-20	0,1	1000,2 4	1000,1 4			
	0,36	1000,5 5	1000,1 9	1000,1 6	-0,12	1000,04
20-29	0,08	900,06	899,98			
	0,3	900,24	899,94	899,96	-0,11	899,85
29-20	0,14	900,1	899,96			
	0,28	900,18	899,9	899,93	-0,11	899,82
20-10	0	1000,1	1000,1			
	0,5	1000,6 4	1000,1 4	1000,1 2	-0,12	1000
10-01	0,12	900,22	900,1			
	1,36	901,48	500,12	900,11	-0,11	900
t = +8,7°C						
Σ	3,68	11204, 49	11200, 81	5600,4	-0,68	5599,72

Средняя длина метрового интервала рейки N 2342 по чёрной стороне равна $5599,72/5,6=999,95$ мм.

4. Проверка разницы высот нулей чёрной и красной сторон деревянных реек, или основной и дополнительной шкалой инварных реек.

Разница высот нулей чёрной и красной сторон деревянных реек, или основной и дополнительной шкал инварных реек определяют таким образом:

В 20-30 м от нивелира забивают колышек с гвоздём, или усанавливают нивелирный башмак. Устанавливают на него рейку и берут отсчёт последовательно по разным её шкалам. Разница отсчётов определяет значение разницы высот нулей шкал (сторон). Всего делают три приёма, между приёмами изменяют горизонт нивелира на произвольную высоту. За окончательное значение разницы высот нулей принимают среднее арифметическое из трёх приёмов .

5. Определение поправки прогиба рейки.

Для определения прогиба корпуса рейки, последнюю укладывают боковым ребром на ровную поверхность, и между её концами натягивают нитку. Линейкой с миллиметровыми делениями измеряют расстояния a_1 , a_2 и a_3 от нитки до плоскости шкалы на краях и в средней части рейки. Стрелку прогиба корпуса рейки характеризуют значением разницы $[a_2 - (a_1 + a_3) / 2]$, выраженным в миллиметрах.

Содержание отчёта

1. Краткое описание последовательности выполнения работы.
2. Ведомости вычислений.
3. Выводы по приборам.

Вопросы для самопроверки

1. Проверка теодолита серии Т-5.
2. Проверка нивелира серии Н-3.
3. Проверки нивелирных реек.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАССЫ ТОННЕЛЯ

Содержание работы

1. Вычислить элементы круговой кривой по разбивным осям.
2. Выполнить расчёт пикетажа тоннелей на кривой по разбивным осям.
3. Вычислить координаты основных точек на линиях тангенсов левого туннеля.
4. Вычислить координаты пикетов, расположенных на кривом участке разбивной оси левого туннеля двумя способами:
 - через центральные углы;
 - по стягивающим хордам.
5. Рассчитать элементы переходных кривых.
6. Определить пикетажные значения начала и конца переходных кривых и координаты начала переходных кривых.
7. Вычислить координаты концов переходных кривых на оси пути и на оси туннеля.
8. Вычислить элементы круговой кривой по оси левого туннеля.
9. Рассчитать необходимые элементы для выноса в натуру переходных кривых.
10. Вычислить координаты концов сечения для разбивки в натуре оси левого туннеля.

Исходные данные

1. Схема участка транспортного туннеля (рис. 2.1).
2. Расстояния между осями левого и правого туннелями D.
3. Угол поворота трассы туннеля Q.

4. Радиус кривой R .
5. Пикетажное значение начала круговой кривой (ПКК) правого тоннеля.
6. Дирекционный угол прямого участка левого тоннеля $\alpha_{ПКК\ 322 - ВУ}$.
7. Координаты пикета 322 на оси левого тоннеля.
8. Длина переходной кривой L .
9. Скорость движения поездов V .
10. Максимальная величина стрелки прогиба f_0 .

Таблица 2.1 – Данные для вычисления задания

N вар	D, M	Q, M	R, M	П< 322 + Н к к	п< 321- ВУ	У п< 321	Х п< 321	L, M	V, KM	
1	a	30.0	22° 20' 22"	900	П< 322+25.250 + 21.210	212° 21' 12'' 106° 10' 16''	-6123.123 - 6234.234	3098.098 3987.987	40 36	50 44
	б	28.5	26° 06' 14''	780						
2	a	28.5	21° 42' 02''	820	+45.450	342° 34' 42''	-6345.345	3876.876	36	46
	б	25.4	25° 16' 12''	720	+40.400	146° 14' 16''	-6456.456	3765.765	32	42
3	a	30.0	20° 52' 12"	860	+43.430	24° 02' 24"	-6567.567	3654.654	38	48
	б	28.5	19° 16' 52''	800	+65.650	293° 29' 23''	-6678.678	3543.543	36	45
4	a	25.4	26° 28' 48"	740	+30.300	229° 22' 29''	-6789.789	3123.123	32	42
	б	30.0	18° 40' 28''	880	+60.600	267° 56' 26''	-6890.890	3234.234	36	49
5	a	30.0	21° 00' 10''	840	+46.460	161° 16' 51''	-6012.012	3345.345	38	47
	б	30.0	17° 25' 54''	890	+64.640	39° 39' 03''	-6122.112	3456.456	38	50
6	a	28.5	23° 48' 56"	780	+38.380	333° 34' 43''	-6232.212	3567.567	34	44
	б	28.5	19° 09' 10''	810	+62.620	87° 47' 04''	-6342.312	3678.678	36	46
7	a	28.5	23° 23' 46''	770	+41.410	183° 18' 03''	-6452.412	3789.789	34	43
	б	30.0	19° 02' 02''	840	+60.260	10° 01' 01''	-6562.412	3890.890	38	47
8	a	30.0	21° 21' 42"	890	+31.310	261° 21' 26''	-6672.612	3334.334	40	49
	б	25.4	28° 12' 24''	720	+23.230	94° 09' 49''	-6782.712	3434.434	30	41
9	a	30.0	21° 06' 26"	860	+40.040	221° 22' 22''	-6892.812	3545.545	38	48
	б	25.4	23° 23' 46''	740	+48.080	66° 06' 46''	-6912.912	3656.656	32	42

10	a	28.5	22° 42' 12"	790	+36.360	311° 11' 33"	-6045.045	3767.767	36	44
	б	30.0	20° 02' 20"	900	+42.420	115° 11' 15"	-6135.145	3878.878	40	50
11	a	28.5	22° 31' 12"	760	+50.050	328° 32' 28"	-6255.245	3989.989	34	43
	б	30.0	19° 42' 18"	880	+49.490	123° 12' 23"	-6365.245	3090.090	38	49
12	a	28.5	21° 12' 42"	820	+48.480	287° 28' 27"	-6475.445	3556.556	36	46
	б	30.0	18° 51' 14"	870	+53.530	195° 19' 15"	-6585.555	3667.667	38	48
13	a	25.4	30° 03' 32"	700	+16.160	81° 18' 11"	-6695.645	3778.778	30	40
	б	28.5	25° 25' 00"	760	+33.330	137° 13' 17"	-6745.745	3889.889	34	43
14	a	28.5	23° 26' 52"	800	+34.340	356° 35' 36"	-6835.845	3990.990	36	45
	б	25.4	22° 00' 44"	710	+61.610	189° 18' 19"	-6955.945	3661.661	30	41
15	a	28.5	20° 58' 58"	780	+63.630	33° 33' 33"	-6067.067	3772.772	34	44
	б	30.0	19° 19' 18"	850	+58.580	349° 34' 39"	-6167.167	3883.883	38	48

Колея $a = 1,6$ м. Высота центра тяжести вагона $B = 1,85$ т. Максимальная величина стрелки прогиба $f_0 = 0,1$ м.

Основные теоретические положения

Основным документом для геодезических разбивочных работ при строительстве тоннелей есть план и профиль трассы.

Для переноса проекта тоннеля в натуру недостаточно числовых данных, показываемых на плане и профиле трассы, а также на рабочих чертежах. Так, для детальной разбивки кривых в плане необходимо иметь координаты точек, находящихся на кривой, тогда как на проектном плане трассы даются координаты только начала и конца кривой. Итак, геодезическим работам в подземных выработках должны предшествовать детальные геодезические расчеты.

Для осуществления разбивочной и вычислительных работ при сооружении тоннелей на закруглениях принято пользоваться тремя осями трассы (рис. 2.1):

- Разбивная ось с радиусом R ;
- Ось пути с радиусом $R-p$;
- Ось тоннеля с радиусом $R-p-q$.

Ось трассы тоннеля, состоит из прямых участков и круговых кривых, называется разбивочной.

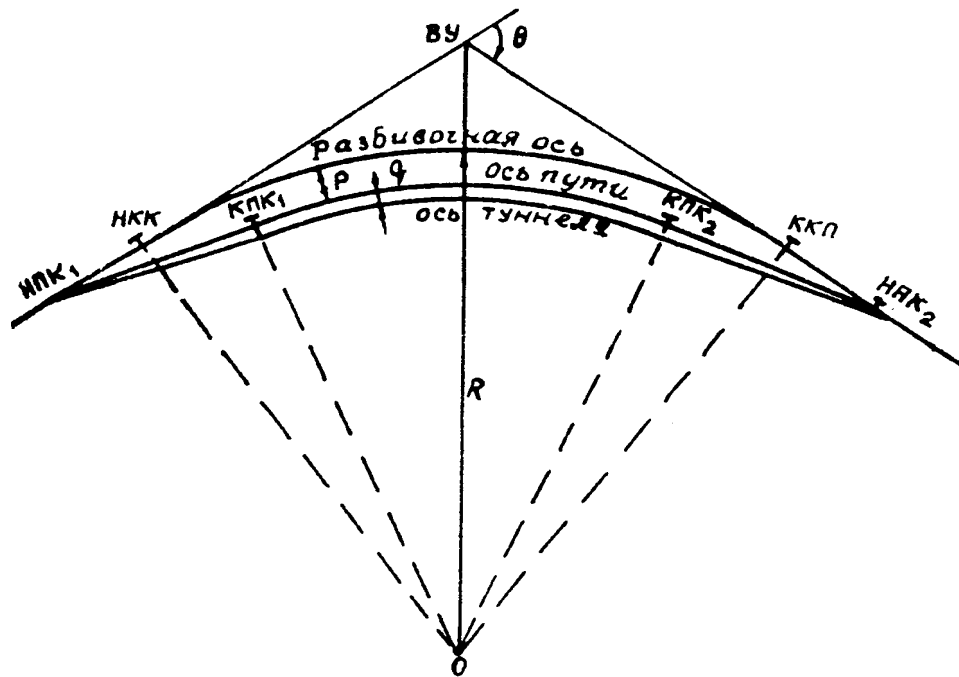


Рисунок 2.1 – Разбивная ось

При строительстве метрополитенов и транспортных тоннелей для создания плавного перехода с прямого участка на круговую кривую и обратно при радиусах круговых кривых менее 1500 м применяют переходные кривые. В результате вписывания переходных кривых круговая смещается к центру на величину p , вычисляется по формулам (2.1):

$$p = \frac{L^3}{24c} \quad \text{или} \quad p = \frac{L^2}{24R}, \quad (2.1)$$

где L – длина переходной кривой; R – радиус круговой кривой; $c = LR$ – параметри переходной кривой.

Ось трассы, включая прямые отрезки, переходные и заломленной кривые, называется осью пути.

Для уравнивания центробежной силы, возникающей при движении вагона по участку круговой кривой, внешнюю рейку укладывают выше внешнего на величину h . Это вызывает наклон вагона и смещение его центра к центру кривой.

Горизонтальное положение этого сдвига определяется формулой (2.2):

$$q = h \frac{b}{a}, \quad (2.2)$$

где b – высота центра тяжести вагона над головками реек; a – расстояние между осями реек (в тоннелях метрополитенов $b=1,85$ м или $1,70$ м, а $a=1,6$ м),

Велечина превышения h в мм, вычисляется по формуле (2.3):

$$h = 12,5 \frac{V^2}{R}, \quad (2.3)$$

где V – скорость движения поездов в км/час;

R – радиус круговой кривой в м.

Превышение наружного рельса над внутренним осуществляется не сразу, а постепенно в течение всей переходной кривой.

Длины переходных кривых рассчитываются таким образом, чтобы была возможность осуществить отвод, повышение или понижение рельсовых нитей с уклоном не круче 0,002 для главных путей и 0,003 - для служебных путей. Иначе говоря, должны соблюдаться условия:

$$\text{для главных путей } L \geq \frac{h}{2} : 2;$$

$$\text{для служебных путей } L \geq \frac{h}{2} : 3.$$

где L – длина переходной кривой в метрах; h – полное превышение.

Туннели метрополитена строят преимущественно одноколейными. Для движения поездов в прямом и обратном направлениях сооружают два параллельных тоннеля с одинаковыми длинами и радиусами круговых кривых (рис. 2.2). Расстояния между осями тоннелей $D = 25,4$ м. На прямых участках трассы одноименные пикеты располагают так, чтобы линия, которая их соединяет, была перпендикулярна к оси тоннелей. На круговых кривых на внутреннем правом тоннеле (рис. 2.2) уложится меньшее число пикетов, в результате чего на прямом участке, расположенном по кривой, одноименные пикеты правого и левого путей не будут на одном перпендикуляре к оси пути. Для устранения этих неудобств вводят неправильные пикеты, длины которых больше или меньше 100 м.

Отклонения длины неправильного пикета от 100 м вычисляют по формуле (2.4):

$$a = a_1 + a_2 = 2D \cdot \operatorname{tg} \frac{Q}{2}, \quad (2.4)$$

где D – расстояние между осями тоннелей; Q – угол поворота трассы.

Величину a вводят, как правило, в последний пикет внешнего (левого) пути.

При проверке основных проектных элементов трассы вычисляют:

- элементы круговой кривой;
- координаты основных точек круговой кривой (ПК, КК, ВУ) и пикетов, расположенных на круговых кривых разбивных осей;
- координаты точек начала переходных кривых;
- координаты точек концов переходных кривых на осях пути и тоннеля;
- длину круговой кривой по оси тоннеля

При аналитической подготовке к переносу кривых в натуру вычисляют координаты точек, расположенных через определенный интервал.

Для разбивки переходных кривых применяют способ прямоугольных координат или стягивающей хорды. Расчет ведут к точкам через 1-2 м.

Вынесение тоннеля в натуру на участках круговых кривых делают по хорде или секущих. Для этого вычисляют координаты концов хорд или секущих.

Все вычисления, как при проверке проекта трассы, так и при аналитической подготовке для выноса в натуру должны быть обеспечены надежным контролем (применение контрольных формул, вычисления двумя способами или в две руки и прочее.). Все угловые вычисления ведут с содержанием 0,1. Линейные величины и координаты вычисляют с точностью до 1 мм. При выполнении контрольных вычислений допускается разброс не более 0,002 м.

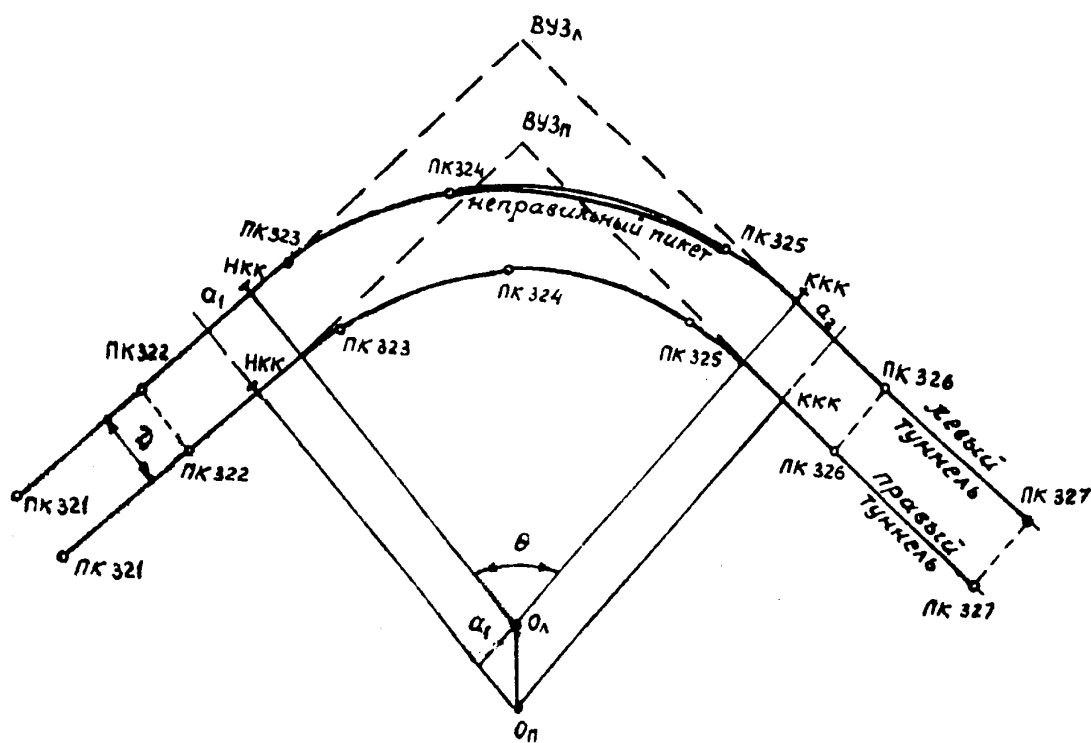


Рис 2.2 – Схема участка

Порядок выполнения работы

Рассмотри порядок выполнения работы на участке, схема которого изображена на рис. 2.2, где:

- расстояние между осями левого и правого туннелей $D=28,5$ м;
- угол поворота трассы туннеля $Q=23^{\circ}23'46''$;
- радиус круговой кривой $R=770$ м;
- пикетажное значение начала круговой кривой (ПКК) правого туннеля $ПК322+ПКК +41,410$;
- дирекционный угол прямого участка левого $\alpha_{ПК322-ВУ}=183^{\circ}18'03''$;
- координаты пикета 322 на оси левого туннеля;
- $X_{ПК322}=3789,789$ м; $Y_{ПК322}=-6452,412$ м;
- длина переходной кривой $L=34$ м;
- скорость движения поездов $V=43$ км/час;
- максимальная величина стрелки прогиба $f_0=0,1$ м;
- колея $a=1,6$ м;
- высота центра тяжести вагона $v=1,85$ м.

1. Вычисляют основные элементы кривых:

- тангенс

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{Q}{2} = 770 \cdot \operatorname{tg} \frac{23^{\circ}23'46''}{2} = 159,43 \text{ м};$$

- длину круговой кривой

$$k = \frac{R \cdot Q''}{\rho''} = \frac{R \cdot Q^{\circ} \cdot \pi}{180} = \frac{770 \cdot 23,3961 \cdot 3,1415}{180} = 314,42 \text{ м};$$

— СДВИГ

$$p = \frac{L^3}{24 \cdot R} = \frac{34^3}{24 \cdot 770} = 0,0626 \text{ м};$$

— величину превышения внешней рейки h по формуле (2.3)

$$h = 12,5 \frac{V^2}{R} = 12,5 \frac{43^2}{770} = 30,0 \text{ мм};$$

— сдвиг оси тоннеля к оси пути по формуле (2.2)

$$q = h \frac{e}{a} = 0,03 \cdot \frac{1,85}{1,6} = 0,035 \text{ м};$$

— отклонения длины неправильного пикета от 100м по формуле (2.4)

$$a = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \frac{Q}{2} = 2 \cdot 28,5 \cdot \operatorname{tg} \frac{23^\circ 23' 46''}{2} = 11,8 \text{ м}.$$

2. Определяют пикетаж ПКК и ККК тоннеля по разбивным осям:

а) для правого тоннеля находят пикетажное значение конца круговой кривой

$$ПК \text{ ПКК}_n = ПК \text{ ПКК}_n + a_1,$$

$$ПК \text{ ПКК}_n = (ПК322 + 41,41) + 5,9 = ПК322 + 47,31,$$

б) для левого тоннеля сначала находят пикетажное значение начала круговой кривой

$$ПК \text{ ККК}_n = ПК \text{ ПКК}_n + k - a,$$

$$ПК ККК_{л} = (ПК322 + 47,31) + 314,42 - 11,8 = ПК325 + 49,93;$$

а потом пикетажное значение конца круговой кривой

$$ПК ККК_{л} = ПК ПКК_{л} + k - a ,$$

$$ПК ККК_{л} = (ПК322 + 47,31) + 314,42 - 11,8 = ПК325 + 49,93;$$

в) для контроля вычисляют величину

$$a_2 = ПК ККК_{п} - ПК ККК_{л} ,$$

$$a_2 = (ПК325 + 55,83) - (ПК325 + 49,93) = 5,9 \text{ м} .$$

3. Вычисляют координаты пикетов, расположенных на прямых участках разбивочной оси, и координаты ПКК, ВУ, ККК левого тоннеля. Для этого используют дирекционные углы линий тангенсов, расстояния между пикетами, расстояния от пикетов до ПКК и ККК, а также значение тангенсов. Дирекционный угол тангенса за вершиной угла поворота определяют по формуле (2.5):

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + Q_{п} = \alpha_i - Q_{л} , \quad (2.5)$$

где $Q_{п}$ и $Q_{л}$ - соответственно правый и левый угол поворота.

Вычисления координат приведено в таблице 2.2.

Контроль вычислений координат может быть выполнен по следующим формулам (рис. 2.3):

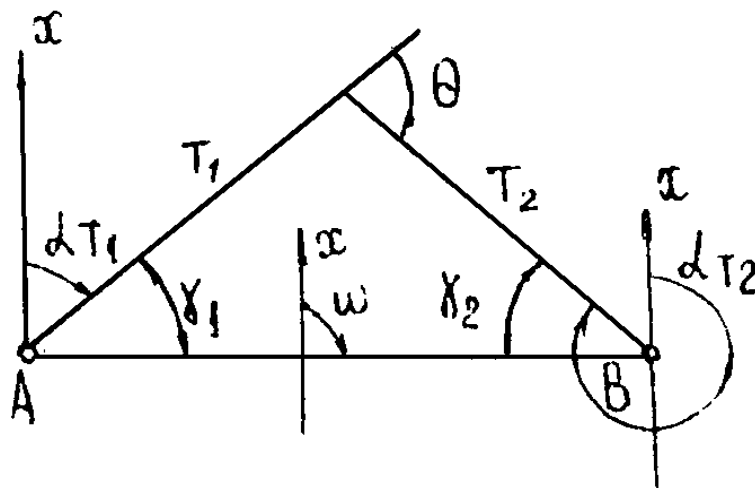


Рис. 2.3 - Контроль вычисления координат

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2.6)$$

$$S' = \frac{\Delta y}{\sin \omega} = \frac{\Delta x}{\cos \omega} \quad (2.7)$$

$$\gamma_1 = \omega - \alpha_{T_1}; \quad (2.8)$$

$$\gamma_2 = \alpha_{T_2} - \omega; \quad (2.9)$$

$$S = T_1 \cos \gamma_1 + T_2 \cos \gamma_2; \quad (2.10)$$

$$S = S'; \quad \gamma_1 + \gamma_2 = Q. \quad (2.11)$$

Таблица 2.2 – Вычисления координат

Номер точки	Углы поворо- та (левые)	Дирекционные углы	Длины линий, м	Прирост координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
ПК 321		183°18'03"	100,00	-99.834	-5.458	-6452.412	3789.789
ПК 322	180°00'00"	183°18'03"	49.93	-49.847	-2.875	-6552.246	3784.031
$\frac{ПКК}{ПК322 + 49,93}$	180°00'00"	183°18'03"	159,43	-159.166	-9.180	-6602.093	3781.156
$\frac{БК}{Злев}$	203°23'46"	206°41'49"	159,43	-142.434	-71.627	-6761.259	3771.976
$\frac{ККК}{ПК325 + 55,83}$	180°00'00"	206°41'49"	55,83	-49.878	-25.083	-6903.693	3700.349
ПК 326	180°00'00"	206°41'49"	100,00	-89.340	-44.927	-6953.571	3675.266
ПК 327						-7042.911	3630.339
			624,62	-590.499	-159.450		

Контроль

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{-159,450}{-590,499} = 0,270; \quad \omega = 15^{\circ}06'39'';$$

$$S' = \frac{\Delta y}{\sin 15^{\circ}06'39''} = \frac{-159,450}{\sin 15^{\circ}06'39''} = 611,648;$$

$$S'' = \frac{\Delta x}{\cos \omega} = \frac{-590,499}{\cos 15^{\circ}06'39''} = 611,648;$$

$$S'_{cp} = \frac{S' + S''}{2} = \frac{611,648 + 611,648}{2} = 611,648;$$

$$\gamma_1 = 15^{\circ}06'39'' - 183^{\circ}18'03'' = 191^{\circ}48'36'';$$

$$\gamma_2 = 206^{\circ}41'49'' - 15^{\circ}06'39'' = 191^{\circ}35'09'';$$

4. Вычисляют координаты пикетов, расположенных на кривой участке разбивочной оси левого тоннеля, двумя способами: через центральные углы и по утягивающим хордам.

Центральные углы вычисляются по формуле (2.12):

$$\gamma_i = \frac{k_i}{R} \rho, \quad (2.12)$$

где k_i - длина дуг, которые соответствуют центральным углам, которые определяются по кривым между началом кривых целыми пикетами и концами кривых. Эти длины подсчитывают по пикетажным значениям точек с учётом длины неправильных пикетов. Вычисления центральных углов приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Вычисления центральных углов

Дуга	Длина дуги k_i , м	γ_i , с	γ_i	Обозначение центральных углов
ПКК-ПК323	52.69	14114.419	3°55'14",42	γ_1
ПК323-ПК324	100	26787.66	7°26'27",66	γ_n
ПК324-ПК325	111.8	29948.61	8°19'08",61	γ_{nn}
ПК325-ККК	49.93	13375.080	3°42'55",08	γ_2
	$\sum k_i = 314.42$		$\sum \gamma_i = 23^\circ 23' 46''$	

Вычисленные значения длин дуг и центральных углов проверяют по формулам (2.13) и (2.14):

$$\gamma_1 + n \cdot \gamma_n + \gamma_{nn} + \gamma_2 = Q; \quad (2.13)$$

$$k_1 + n \cdot k_n + k_{nn} + k_2 = k, \quad (2.14)$$

где γ_1 - центральный угол между радиусами, проведёнными через точку ПКК и первый пикет, который лежит на кривой; γ_2 - центральный угол между радиусами, проведенными через последний пикет, который лежит на кривой, и точку ККК; γ_n - центральный угол, который соответствует нормальному пикету; γ_{nn} - центральный угол, который соответствует неправильному пикету; k_1, k_2, k_n, k_{nn} - длины дуг, которые соответствуют центральным углам; n - число нормальных пикетов; Q – угол поворота трассы; k - длина всей круговой кривой.

Координаты пикетов вычисляют через центр кривой – точку O . Для этого сначала находят координаты центра кривой:

$$x_0 = x_{\text{ККК}} + R \cdot \cos \alpha_{\text{ККК}-0} \quad (2.15)$$

$$y_0 = y_{\text{ККК}} + R \cdot \sin \alpha_{\text{ККК}-0} \quad (2.16)$$

Затем для контроля находят координаты ККК. Пример вычисления приведен в табл. 2.3.

Дирекционные углы направлений на пикете кривой из центра О определяют для известного дирекционного угла линии О-ПКК путём добавления соответствующего центрального γ . По этим дирекционным углам и радиусу находят приращение координат к центру кривой (табл. 2.4).

Для вычисления координат по стягивающим хордам необходимо знать длины хорд и их дирекционные углы.

Длину хорды b вычисляют по формулам:

$$b_i = k_i - \frac{k_i^3}{24 \cdot R^2}; \quad (2.17)$$

$$b_i = 2 \cdot R \cdot \sin \gamma_i / 2. \quad (2.18)$$

Углы поворотов (левые) находят по формулам:

В точке ПКК	$180^\circ + \gamma_1 / 2;$
В точке ПК 323	$180^\circ + \gamma_1 / 2 + \gamma_n / 2;$
В точке ПК 324	$180^\circ + \gamma_n / 2 + \gamma_{\text{ин}} / 2;$
В точке ПК 325	$180^\circ + \gamma_{\text{ин}} / 2 + \gamma_2 / 2;$
В точке ККК	$180^\circ + \gamma_2 / 2.$

Таблица 2.4 - Определение приращения координат относительно центральной кривой

Номер точки	Углы по-ворота (левые)	Дирекционные углы	Длины линий, м	Прирост координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
ПК 322				Обчислення координат центра кривої 3 по лівому путі			
$\frac{ПКК}{ПК322 + 49,93}$	270°00'00"	183°18'03"				-6602.093	3781.156
Озлев	23°23'46"	273°18'03"	770,00	44.335	-768.723	-6557.758	3012.433
$\frac{ККК}{ПК325 + 55,83}$	270°00'00"	116°41'49"	770,00	-345.939	687.914	-6903.697	3700.347
ПК 326		206°41'49"					
				Вычисление координат пикетов на круговой кривой через центральные углы			
Озлев		93°18'03"				-6557.758	3012.433
ПК 323	3°55'14",42	97°13'17",4	770,00	-96.793	763.892	-6654.685	3776.325
ПК 324	7°26'27",66	104°39'45"	770,00	-194.906	744.924	-6849.591	4521.249
ПК 325	8°19'08",61	112°58'54"	770,00	-300.636	708.885	7550.227	5230.134
ККК	3°42'55",08	116°41'49"	770,00	-345.939	687.914	-7496.166	5918.048

Вычисление углов поворота и длин хорд приведены в табл. 2.5, а координат пикетов по утягивающим хордам в таблице 2.6.

Таблица 2.5 – Вычисление углов поворота и длин хорд.

Номер точки	Длина дуги кривой, м	$\Delta e = \frac{k_i^3}{24 \cdot R^2}$	$e = k + \Delta e$	γ_i	Углы поворота (левые)
ПКК					
	52.69	-0,0103	52.680	3°55'14",42	181°57'37"
ПК 323					
	100,00	-0,0703	99.930	7°26'27",66	185°40'51"
ПК 324					
	111.8	-0,0982	111.702	8°19'08",61	187°52'48"
ПК 325					
	49.93	-0,0087	49.921	3°42'55",08	186°01'01".85
ККК					
					181°51'28"
Σ	314.42	-1875	301,968	23°23'46",6	923°23'46"

5. Составляют геометрическую схему трассы.

Геометрическую схему трассы обычно составляют в масштабе 1: 1000. На схему выносят все данные, полученные в процессе вычисления, причем данные, относящиеся к правому тоннелю, записывают с правой стороны оси междупутья, а к левому тоннелю - слева от междупутья. Пример геометрической схемы показан на рис. 2.4.

6. Вычисляют элементы переходных кривых (рис.2.5), принимая линию тангенсов за ось ox :

$$t_1 = \frac{L}{2} \cdot \left(1 + \frac{L^2}{30 \cdot R^2} \right) = \frac{L}{2} + \frac{L^5}{60 \cdot C^2}; \quad (2.19)$$

$$t_2 = \frac{L}{2} \cdot \left(1 - \frac{L^2}{12 \cdot R^2} \right) = \frac{L}{2} - \frac{L^5}{24 \cdot C^2}; \quad (2.20)$$

$$X_l = L \cdot \left(1 - \frac{L^2}{40 \cdot R^2} \right) = L - \frac{L^5}{40 \cdot C^2}; \quad (2.21)$$

$$Y_l = \frac{L^2}{6 \cdot R} \cdot \left(1 - \frac{L^2}{56 \cdot R^2} \right) = \frac{L^3}{6 \cdot C} - \frac{L^7}{336 \cdot C^3}; \quad (2.22)$$

$$\varphi = \frac{L}{2 \cdot R} \cdot \rho = \frac{L^2}{2 \cdot C} \cdot \rho. \quad (2.23)$$

Таблица 2.6 – Вычисление координат пикетов по стягивающим хордам

Номер точки	Углы поворо- та (левые)	Дирекционные углы	Длины линий, м	Приращения координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
Вычисления координат пикетов на круговой кривой через стягивающие хорды							
ПК 322		183°18'03"					
<i>НКК</i>							
<u>ПК322 + 49,93</u>	181°57'37"					-6602.093	3781.156
		5°15'40"	52.680	-52.458	-4.830		
ПК 323	185°40'51"					-6654.551	3776.326
		10°56'31"	99,930	-98.113	-18.968		
ПК 324	187°52'48"					-6752.664	3757.358
		18°49'19"	111,702	-105.729	-36.038		
ПК 325	186°01'01".85					-6852.393	3721.320
		24°50'21"	49.921	-45.303	-20.970		
<i>ККК</i>							
<u>ПК325 + 55,83</u>	181°51'28"					-6903.696	3700.350
		26°41'49"					
ПК 326							

$$\Sigma = 923^{\circ}23'46''$$

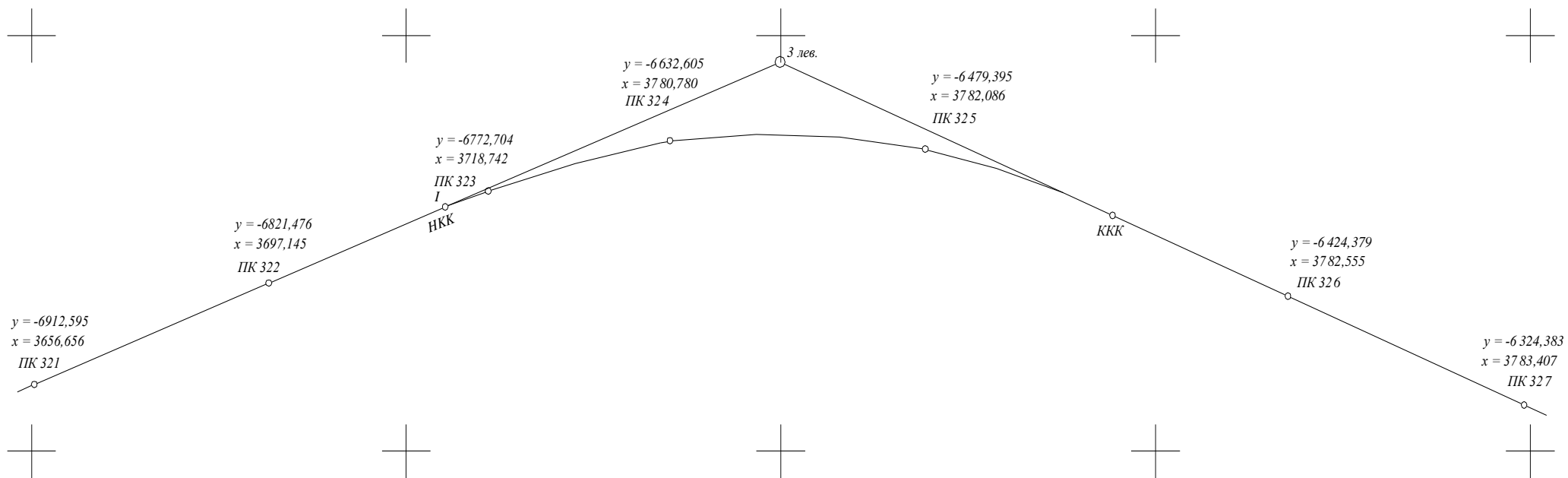


Рис. 2.4 – Пример геометрической схемы трассы (Масштаб 1:2000)

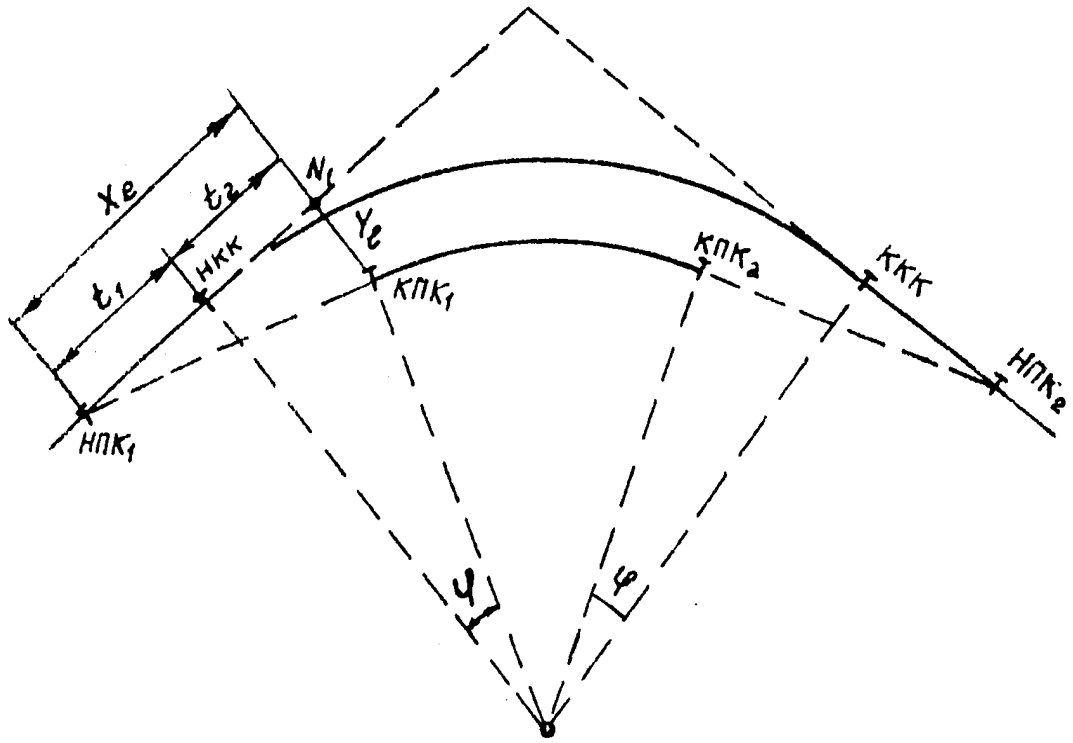


Рис. 2.5 - Схема элементов переходных кривых

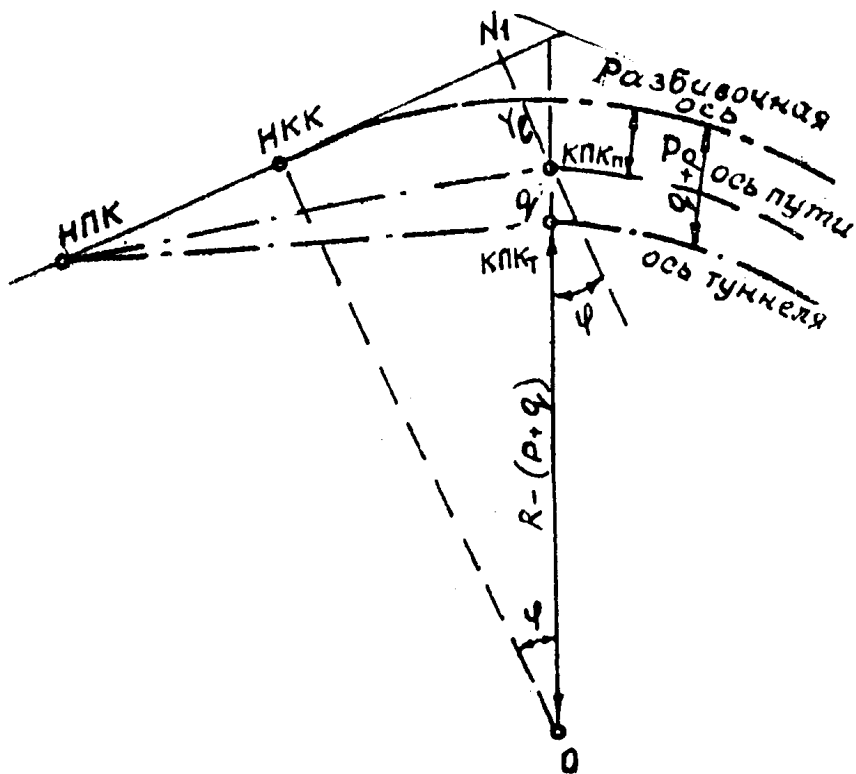


Рис. 2.6 – Переходная кривая

Для рассмотренного примера обозначенные величины будут равны:

$$t_1 = \frac{34}{2} \cdot \left(1 + \frac{34^2}{30 \cdot 770^2} \right) = 17,001;$$

$$t_2 = \frac{34}{2} \cdot \left(1 - \frac{34^2}{12 \cdot 770^2} \right) = 16,997;$$

$$X_l = 34 \cdot \left(1 - \frac{34^2}{40 \cdot 770^2} \right) = 34,000;$$

$$Y_l = \frac{34^2}{6 \cdot 770} \cdot \left(1 - \frac{34^2}{56 \cdot 770^2} \right) = 0,250;$$

$$\varphi = \frac{34}{2 \cdot 770} \cdot 206265'' = 4553'',9.$$

$$\varphi = 1^\circ 15' 53'',9$$

Контроль: $X_l = t_1 + t_2 = 33,998$;

7. Вычисляют пикетажные значения начала и конца переходных кривых точек ПКК и ККК:

$$\text{ПКК}_1 = \text{ПКК} - t_1 = \text{ПК}322 + 41.41 - 17.001 = \text{ПК}322 + 24.409;$$

$$\text{КПК}_1 = \text{ППК}_1 + L = \text{ПК}322 + 24.409 + 34 = \text{ПК}322 + 58.409;$$

$$\text{ПКК}_2 = \text{ККК} + t_1 = \text{ПК}325 + 55.83 + 17,001 = \text{ПК}325 + 72.831;$$

$$\text{КПК}_2 = \text{ППК}_1 - L = \text{ПК}325 + 72.831 - 34 = \text{ПК}325 + 38,831.$$

8. Вычисляют координаты точек начала переходных кривых. Для этого используют пикетажные значения этих точек и отрезки t_1 . Пример вычисления приведен в табл. 2.7.

9. Определяют координаты концов переходных кривых. На переходной кривой величина q , будучи пропорциональной повышению h , растет от нуля

(в начале переходной кривой) в своей полной величины (в конце переходной кривой). Поэтому координаты конца переходной кривой необходимо вычислять на оси туннеля (рис. 2.6).

Вычисления координат концов переходных кривых выполняют двумя способами: от линии тангенсов и через центр кривой. В первом случае используются величины Y_1 , X_1 , q , а во втором - радиус ($R - p - q$) и дирекционный угол направления В-КПК, обусловлен от направлений 0-ПКК или 0-ККК через угол φ . Вычисления для первой переходной кривой приведены в табл. 2.8, а для второй - в табл. 2.9.

Таблица 2.7 –Вычисления координат точек начала переходных кривых

Номер точки	Углы поворота (левые)	Дирекционные углы	Длины линий, м	Приращение координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
ПК 321		Вычисления координат начала первой переходной кривой					
ПК 322	180°00'00"	183°18'03"				-6552,246	3784,031
$\frac{НПК_1}{ПК322 + 24,409}$	180°00'00"	183°18'03"	24,409	-24,369	-1,405	-6576,615	3782,626
$\frac{НKK}{ПК322 + 41,41}$		183°18'03"	17,001	-16,973	-0,979	-6593,588	3781,647
ПК 327		Вычисления координат начала второй переходной кривой					
ПК 326	180°00'00"	26°41'49"				-6955,571	3675,266
$\frac{НПК_2}{ПК325 + 72,831}$	180°00'00"	26°41'49"	27,169	24,273	12,206	-6931,298	3687,372
$\frac{KKK}{ПК325 + 49,95}$		26°41'49"	17,001	15,189	7,638	-6916,109	3695,110

Таблица 2.8 – Вычисления координат точек для первой переходной кривой

Номер точки	Углы поворота (левые)	Дирекционные углы	Длины линий, м	Приращения координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
Вычисление координат конца переходной кривой 1 от линии тангенса							
ПК 322		183°18'03"					
$\frac{ППК_1}{ПК322 + 24,409}$	180°00'00"					-6576,615	3782,626
N_1	270°00'00"	183°18'03"	75,591	-75,466	-4,352	-6652,081	3778,274
$\frac{КПК_1 \text{ на весу пути}}{ПК322 + 24,409}$	181°15'53",9	273°18'03"	0,250	0,014	-0,249	-6652,067	3778,025
$\frac{КПК_1 \text{ на весу тунеля}}{ПК322 + 41,41}$		274°33'57"	0,035	0,027	-0,034	-6652,04	3777,991
Вычисления координат КПК ₁ через центр кривой							
$\frac{ККК}{ПК322 + 41,41}$		274°33'57"				-6557,758	3012,433
ОЗ лев	1°15'53",9		769,750	61,276	-767,307	-6496,482	2245,126
$\frac{КПК_1 \text{ на весу тунеля}}{ПК322 + 24,409}$		95°49'50",9					

Таблица 2.9 – Вычисления координат точек для другой переходной кривой

Номер точки	Углы поворота (левые)	Дирекционные углы	Длины линий, м	Приращения координат, м		Координаты, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
ПК 326		Вычисление координат конца переходной кривой 2 от линии тангенса					
$\frac{ППК_2}{ПК325 + 72,831}$	180°00'00"	26°41'49"				-6931,298	3687,472
N ₁	90°00'00"	26°41'49"	75,591	67,533	-33,961	-6863,765	3721,433
$\frac{КПК_2 \text{ на весу пути}}{ПК325 + 38,831}$	173°44'06", 1	116°41'49"	0,250	-0,112	0,233	-6863,877	3721,656
$\frac{КПК_2 \text{ на весу пути}}{ПК325 + 38,831}$		115°25'55"	0,035	-0,015	0,032	6863,892	3721,688
$\frac{ККК}{ПК325 + 49,95}$		Вычисления координат КПК ₂ через центр кривой					
ОЗ лів	1°15'53",9	116°41'49"	769,750	-345,827	687,691	-6955,571	3675,266
$\frac{КПК_2 \text{ на весу тунеля}}{ПК325 + 38,831}$		117°57'43"				-7301,398	4362,957

10. Вычисляют данные для разбивки в натуре переходной кривой. Разбивка переходной кривой может быть выполнена двумя способами: от линии тангенса или от хорды, взимает конец и начало переходной кривой.

При разбивке от линии тангенса текущие координаты находят по упрощенным формулам:

$$X_i = l_i; Y_i = \frac{l_i^3}{6 \cdot C} - \frac{l_i^7}{336 \cdot C^3} \quad (2.24)$$

где l_i - расстояние от точки и до начала переходной кривой. Расчёты выполняют для точек через 1-2 м. Эти точки определяют положения оси пути.

Для перехода к оси тоннеля необходимо к величине y , добавить сдвиг оси тоннеля от оси пути:

$$q_i = q \cdot \frac{l_i}{L} \quad (2.25)$$

Строго говоря, в величину q необходимо ввести поправки за расхождение направлений перпендикуляров к линии тангенсов и нормалей оси пути (рис. 2.7). Однако эти поправки малы и их практически не учитывают. Поэтому:

$$y'_i = y_i + q_i \quad (2.26)$$

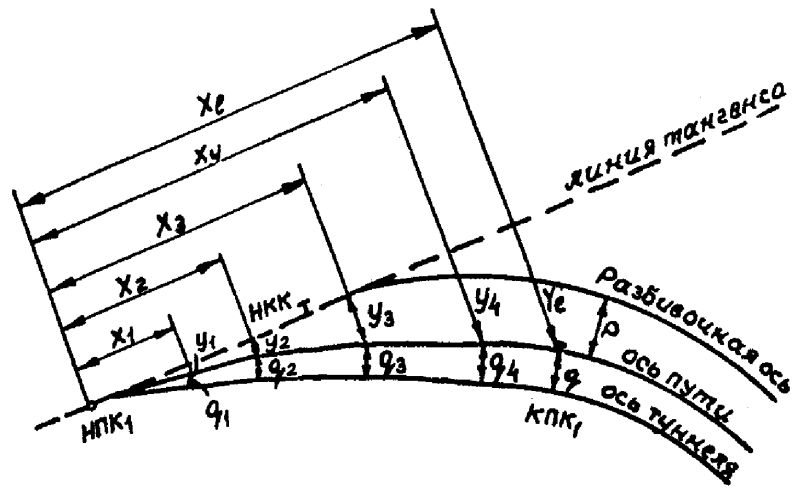


Рис. 2.7 – Ось пути

Вычисления для рассматриваемого примера приведены в табл. 2.10. Недостатком данного способа является то, что к концу кривой величины становятся значительными. Это затрудняет откладывания их в натуре и снижает точность разбивки.

Таблица 2.10 – Пример вычисления

l_i , м	y_i , мм	q_i , мм	y_i' , мм	$l_i \cdot \operatorname{tg}\beta$, мм	b_i , мм
2	0	2	2	44	42
4	0	4	4	88	84
6	2	6	8	132	124
8	4	8	12	177	165
10	8	10	18	221	203
12	13	12	25	265	240
14	22	14	36	309	273
16	32	16	48	353	305
18	46	19	65	397	332
20	63	21	84	442	358
22	84	23	107	486	379
24	110	25	135	530	395
26	139	27	166	574	408
28	174	29	203	618	415
30	214	31	245	662	417
32	260	33	293	707	414

При разбивке переходной кривой от стягивающей хорды вычисляют дирекционный угол хорды, используя координаты начала и конца переходной кривой по оси тоннеля. С использованием этого угла и угла линии дирекционного тангенса находят разбивочный угол β (рис. 2.8):

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{НПК}_1 - \text{КПК}_{1T}} = \frac{3777,991 - 3782,626}{-6652,04 + 6576,615} = \frac{-4,635}{-75,425} = 0,0615;$$

$$\alpha_{\text{НПК}_1 - \text{КПК}_{1T}} = 183^\circ 31' 09'';$$

$$\beta = \alpha_{\text{НПК}_1 - \text{КПК}_{1T}} - \alpha_{T_1} = 183^\circ 31' 09'' - 183^\circ 18' 03'' = 0^\circ 13' 06''.$$

Для контроля угол β определяют по формуле (2.27):

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{Y_l + Q_c}{X_l} = \frac{0,250 + 0,035}{34,000} = 0,008; \quad \beta = 0^\circ 27' 30''. \quad (2.27)$$

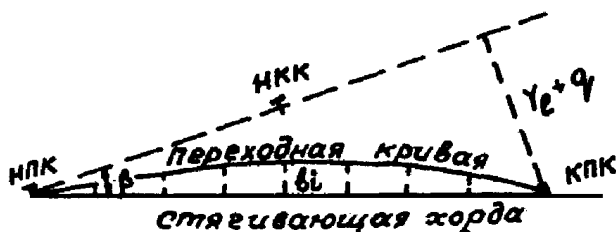


Рис. 2.8 – Схема разбивного угла

Величина перпендикуляра от стягивающей хорды к любой точки переходной кривой на оси тоннеля определяется по следующей приближенной формуле (2.28):

$$v_i = l_i \cdot \operatorname{tg}\beta - y_i \quad (2.28)$$

Пример вычисления приведен в таблице 2.10. Анализируя таблицу 2.10, нетрудно убедиться, что разбивка переходной кривой от стягивающей хорды значительно удобнее, чем разбивка от линии тангенса, так как в этом случае перпендикуляры значительно меньше.

11. Вычисляют элементы круговой кривой по оси левого тоннеля:

$$Q_T = Q - 2 \cdot \varphi = 23^\circ 23' 46'' - 2 \cdot (1^\circ 15' 53'',9) = 20^\circ 51' 58'',2;$$

$$R_T R - (p + q) = 770 - (0.626 + 0.035) = 769,902 \text{ м};$$

$$K_T = \frac{Q_T'' \cdot R_T}{\rho''} = \frac{75118'',2 \cdot 769,902}{206265} = 280,385 \text{ м}.$$

12. Вычисляют координаты концов секущей для разбивки оси левого тоннеля:

а) определяют приблизительную длину секущей по условию $f_0=0,1$ м:

$$C_{\text{ПР}} = 4 \cdot \sqrt{f_0 \cdot R};$$

$$C_{\text{ПР}} = 4 \cdot \sqrt{770 \cdot 0,1} = 35,100 \text{ м};$$

б) определяют приблизительное число всех секущих (полных и неполных)

$$m' = \frac{K_T}{C_{\text{ПР}}} + 0,3;$$

$$m' = \frac{280,385}{35,1} + 0,3 = 8,3.$$

в) устанавливают число всех сечений путём округления m' до ближайшего большего целого числа – $m = 9$;

г) вычисляют длину дуги относительно полной секущей:

$$K_C = \frac{K_T}{(m - 0,3)} = 32,217;$$

д) находят длину дуг, которая соответствует длине K_B и неполной секущей $K_{\text{НС}}$:

$$K_B = 0,7 \cdot K_C = 0,7 \cdot 32,217 = 22,552;$$

$$K_{\text{НС}} = 0,85 \cdot K_C = 0,85 \cdot 22,552 = 27,384$$

е) проверяют правильность вычисления дуг, которые соответствуют полным и неполным секущим:

$$n \cdot K_C + 2 \cdot K_{HC} = K_T,$$

где $n=m-2$ – число полных секущих

$$7 \cdot 32,217 + 2 \cdot 27,384 = 280,287$$

ж) вычисляют центральные углы, которые соответствуют полной секущей и хорде (рис. 2.9):

$$\gamma_C = \frac{K_C}{R_T} \cdot \rho''; \quad \gamma_{HC} = \frac{K_{HC}}{R_T} \cdot \rho'' = 0,85 \cdot \gamma_C;$$

$$\gamma_B = \frac{K_B}{R_T} \cdot \rho'' = 0,7 \cdot \gamma_C;$$

$$\gamma_C = \frac{32.217}{769.902} \cdot \rho'' = 2^\circ 23' 51''$$

$$\gamma_{HC} = \frac{27.384}{769.902} \cdot \rho'' = 2^\circ 02' 16''$$

$$\gamma_B = \frac{22.552}{769.902} \cdot \rho'' = 1^\circ 40' 42''$$

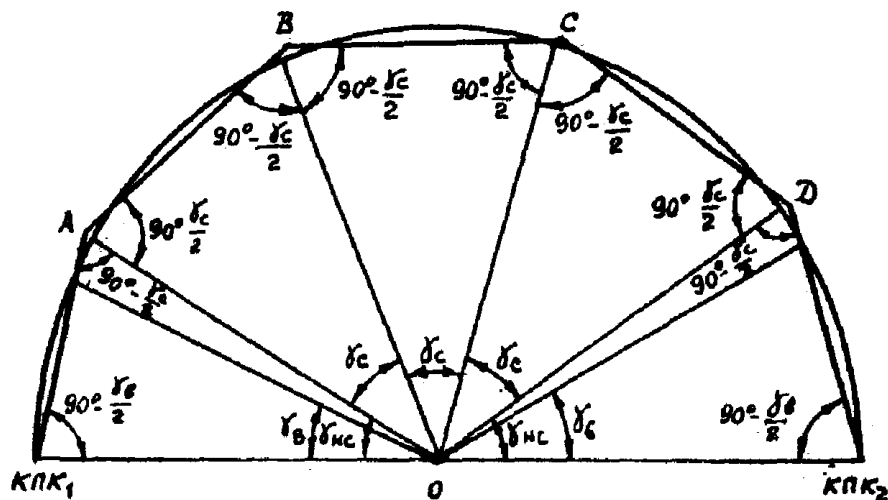


Рис . 2.9 – Схема секущих хорд

з) проводят проверку правильности вычисления углов

$$n \cdot \gamma_c + 2 \cdot \gamma_{HC} = Q_T;$$

$$2^\circ 23' 51'' \cdot 7 + 2 \cdot 2^\circ 02' 16'' = 20^\circ 51' 29''$$

и) определяют длины полных и неполных секущих

$$C = K_C + \frac{K_C^3}{48 \cdot R_T^2} \approx K_C + \frac{K_C^3}{48 \cdot R_T^2};$$

$$C_H = K_{CH} + \frac{K_C^3}{300 \cdot R_T^2} \approx K_{CH} + \frac{K_C^3}{300 \cdot R_T^2};$$

$$C = 32.217 + \frac{32.217^3}{48 \cdot 769.902} = 32.218$$

$$C = 27.384 + \frac{27.384^3}{300 \cdot 769.902} = 27.384$$

к) вычисляют углы поворота (правые) рис. 2.8 – при точках КПК1 и КПК2 на оси тоннеля:

$$90^\circ - \frac{\gamma_c}{2} = 90^\circ - \frac{1^\circ 40' 42''}{2} = 89^\circ 09' 39''$$

Между суммарными секущими:

$$180^\circ - \gamma_c = 180^\circ - 2^\circ 33' 51'' = 177^\circ 36' 09''$$

л) вычисляют координаты секущих.

Содержание отчёта

1. Краткое описание последовательности выполнения работы.
2. Ведомости вычислений.
3. Геометрическая схема трассы в масштабе 1:2000 с указанием координат пикетов только по левому тоннелю.
4. Схема вычисления координат концов переходных кривых.

5. Схема разбивки кривой по секущим.

Вопросы для самопроверки

1. Какие оси отличают при строительстве тоннелей? Охарактеризуйте каждую из них.
2. Чем обусловлено неправильное ведение пикетов?
3. Какими способами вычисляют координаты пикетов на кривых?
4. Какими способами вычисляют координаты концов переходных кривых?
5. Какими способами делают разбивку переходных кривых в натуре? Сравните способы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАССЧЁТ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ

Содержание работы

Привести расчёт точности геометрического обоснования, которое обеспечивает сбойку тоннелей с заданной точностью.

Исходные данные

1. Схема транспортного тоннеля, который состоит из двух прямолинейных участков.

2. Размер максимальной величины сбойки для всех вариантов принимается 100 мм.

3. Расстояние между пунктами основной подземной полигонометрии – 100 м, между пунктами главной подземной полигонометрии– 200-300 м.

Вариант	AB, м	BC, м	m1	m2,m3	m4,m5
1	2500	1510	0.5μ	2.0μ	1.0μ
2	3000	1500	0.6	2.1	
3	2280	2000	0.7	2.2	
4	2850	1620	0.8	2.3	
5	2300	1870	0.7	2.4	
6	2650	1610	0.6	2.5	
7	2980	1520	0.5	2.6	
8	2590	1412	0.8	2.4	
9	2360	1280	0.7	2.3	
10	2720	1360	0.6	2.2	
11	2610	1520	0.5	2.3	

12	2440	1450	0.6μ	2.4μ	1.0μ
13	2376	1780	0.7	2.4	
14	2920	1360	0.8	2.5	
15	2660	1600	0.7	2.6	
16	2870	1650	0.6	2.7	
17	2395	1590	0.5	2.8	
18	2420	1280	0.4	2.9	
19	2780	1350	0.5	2.7	
20	2400	1320	0.6	2.8	
21	2650	1450	0.7	2.7	
22	2700	1340	0.8	2.6	
23	2520	1430	0.9	2.5	
24	2650	1520	0.8	2.4	
25	2430	1610	0.7	2.3	

Порядок выполнения работы

Расчет точности геодезических измерений выполняется при составлении проекта производства геодезических работ (ППГР) и необходим для предварительного расчета средних квадратических ошибок отдельных видов геодезических работ, влияющих на точность сбойки тоннеля.

Перед выполнением работы студентам следует изучить § 58-59 учебника [1] и § 15 монографии [4], схему геодезического обоснования на поверхности, в подземных выработках и способы ориентирования.

Ниже рассмотрен пример выполнения работы по схеме, показанной на рисунке 3.1.

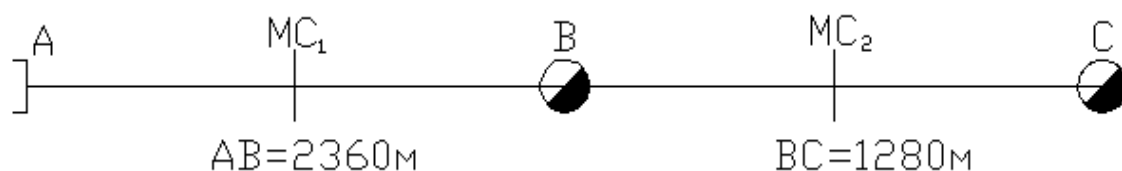


Рисунок 3.1 – Схема сбойки

Участок АВ сооружается через портал А и вертикальный ствол В, а участок ВР - через два вертикальных ствола. Принимаем, что сбойка обоих участков будет сделана посередине между точками открытия горных работ. Расчет выполняют для каждого участка отдельно.

Работу на участке АВ выполняют в такой последовательности:

1. Определяют количество ошибок, которые имеют влияние на точность сбойки:

m_1 – средняя квадратическая ошибка геодезического обоснования на поверхности;

m_2 – средняя квадратическая ошибка ориентирования через ствол В;

m_4 – средняя квадратическая ошибка подземной полигонометрии от портала А до места сбойки MC_1 ;

m_5 – средняя квадратическая ошибка подземной полигонометрии от ствола В до места сбойки MC_1 .

Следует иметь в виду, что в данном конкретном случае ошибку m_3 не учитывают, потому что проходка тоннеля в точке А осуществляется через портал.

2. Определяют длину односторонней проходки.

Расстояние от точки А до точки В составляет 2360 м, длина односторонней проходки $l_1=1180$ м.

3. Вычисляют средние квадратичные ошибки на разных стадиях геодезического обоснования.

При длине тоннелей более 1.5 км данную задачу решают последовательными приближениями. Часто принимают следующее соотношение ошибок:

$$m_y=m_5=\mu; m_1=0,7\mu; m_2=m_3=2,3\mu.$$

Тогда средняя квадратическая ошибка сбойки рабочих осей встречных тоннелей для рассматриваемого случая

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_4^2 + m_5^2} = \sqrt{(0,7 \cdot \mu)^2 + (0,3 \cdot \mu)^2 + 2 \cdot \mu^2} = \sqrt{7,78} \cdot \mu$$

Величина m не должна превышать $\Delta/2$, то есть 50 мм. Тогда $\mu=17,9$ мм, а $m_1=0,7\mu=12,53$; $m_2=2,3 \cdot \mu=41,17$ мм; $m_4=m_5=\mu=17,9$ мм.

4. Находят среднюю квадратичную ошибку ориентирования через ствол

$$m_0 = \frac{m_2 \cdot \rho''}{l_1} = \frac{41,17 \cdot 206265}{1180 \cdot 1000} = 7'',2;$$

При строительстве тоннелей ориентирования выполняют не менее трех раз и берут средний результат, тогда допустимая ошибка однократного ориентирования может быть в среднем принята равной:

$$m_0 = 7'',2 \cdot \sqrt{3} = 12'',4;$$

Такую точность ориентирования можно обеспечить способами связующего или треугольника гироскопического ориентирования.

5. Вычисляют среднюю квадратичную ошибку угловых измерений подземной полигонометрии.

Поперечные сдвиги конечного пункта неувязаного вытянутого m_β хода от ствола определяется по формуле (3.1):

$$m_u = m_4 = m_5 = \frac{m'' \cdot \beta}{\rho''} \cdot l_1 \cdot \sqrt{\frac{n+1,5}{3}} \Rightarrow m_\beta = \frac{m_u \cdot \rho''}{l_1 \cdot \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}}; \quad (3.1)$$

Для вычислений по этой формуле необходимо знать число сторон в ходе - n . Сначала рассматривают основную подземную полигонометрию с длинной стороны 100 м. В том случае, когда основная полигонометрия при измерении углов с средней квадратичной ошибкой $m_\beta \geq 3''$ не обеспечивает заданную точность сбойки, проектируют главную подземную полигонометрию с большими сторонами. При этом, как показывает практика, не следует принимать $m_\beta < 2''$, потому что это в подземных условиях трудно выполнить.

Принимая для участка АВ $S=100$ м, $n=12$, $m_4=m_5=17,9$ мм, находят m''_β

$$m''_\beta = \frac{17,9 \cdot 206265}{1180 \cdot 1000 \sqrt{\frac{12+1,5}{3}}} = 1'',5;$$

Так как в основной полигонометрии такую точность измерений обеспечить невозможно, проектируют главную полигонометрию со средней стороной $S=300$ м ($n=4$). В этом случае:

$$m''_\beta = \frac{17,9 \cdot 206265}{1180 \cdot 1000 \sqrt{\frac{4+1,5}{3}}} = 2'',3;$$

То есть главная полигонометрия при $m_\beta=2''$ обеспечит необходимую точность сбойки.

6. Расчет точности геодезических измерений для сбойки между стволами В и С делают в такой же последовательности как и в пп. 1 ... 5, так как ориентировка выполняют через стволы двух шахт, необходимо учитывать и

ошибку m_3 . Длина тоннеля составляет около 1.5 км, поэтому можно принять принцип равного влияния составляющих ошибок, то есть:

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5$$

$$\mu = \frac{m}{\sqrt{5}} = \frac{50}{\sqrt{5}} = 22 \text{ мм.}$$

Исходя из полученной величины определяют средние квадратические ошибки ориентирования и измерения углов в подземной полигонометрии. На основании полученных ошибок необходимо выбрать способ ориентирования и длины сторон подземной полигонометрии.

В выводах по работе студентам необходимо обобщить результаты по обоим участкам.

Содержание отчёта

1. Схема участка тоннеля.
2. Расчёт необходимой точности измерений в подземной полигонометрии.
3. Выбор способа ориентирования подземной геометрической основы.
4. Выводы по работе

Вопросы для самопроверки

1. Что такое сбойка тоннелей?
2. Какие суммарные ошибки влияют на точность сбойки при сооружении тоннеля: через 2 вертикальных ствола, через ствол и портал, через 2 портала?
3. Что такое ориентирование подземной геодезической основы?
4. Охарактеризуйте способы ориентирования с оценкой их точности.

5. Назовите вид подземной полигонометрии.
6. Укажите требования к длинам сторон подземной полигонометрии и методики угловых и линейных измерений.
7. Какие действия применяют для уменьшения влияния на угловые измерения центрирования и редукации?
8. В каких случаях по трассе тоннеля проходят промежуточную скважину ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ
ПРИ ОРИЕНТИРОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОС-
НОВЫ СПОСОБОМ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА

Содержание работы.

1. Выполнить контроль и анализ качества измерений.
2. Провести уравнивание соединительных треугольников.
3. Вычислить дирекционный угол приствольной стороны подземной полигонометрии и координаты двух пунктов.
4. Рассчитать среднюю квадратичную ошибку ориентирования.

Исходные данные

1. Схема соединительных треугольников на поверхности и в шахте.
2. Исходный дирекционный угол приствольной стороны на поверхности и одного из пунктов
3. Длины сторон соединительных треугольников на поверхности и в шахте, величины прилежащих углов ω (ω_1) и углов α (α_1) при трёх положениях отвесов.
4. Расстояние между точками пристволовой стороны подземной полигонометрии.
5. Величины средних квадратичных ошибок измерений сторон соединительных треугольников и углов на поверхности и в подземных выработках

Исходные данные необходимо взять с примера в методических указаниях, изменив некоторые данные в соответствии с ниже приведенной таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Вариант	Что изменить	На сколько
1,21	ω (I положение) и α	+1''
2,22	ω (I положение) и α	+2''
3,23	ω (I положение) и α	+3''
4,24	ω (I положение) и α	+4''
5,25	ω (I положение) и α	+5''
6,26	ω (I положение) и α	-1''
7,27	ω (I положение) и α	-2''
8,28	ω (I положение) и α	-3''
9,29	ω (I положение) и α	-4''
10,30	ω (I положение) и α	-5''
11	ω (I положение) и α	+1''
12	ω (I положение) и α	+2''
13	ω (I положение) и α	+3''
14	ω (I положение) и α	+4''
15	ω (I положение) и α	+5''
16	ω (I положение) и α	-1''
17	ω (I положение) и α	-2''
18	ω (I положение) и α	-3''
19	ω (I положение) и α	-4''
20	ω (I положение) и α	-5''

Способ связующего треугольника нашел широкое применение для ориентирования подземных разработок при строительстве тоннелей и тоннелей метрополитена.

При этом способе около ствола закрепляют точку 37 (рис. 4.1), из которой видно исходный пункт полигонометрии, или триангуляции (К). В ствол спускают два отвеса O_1 и O_2 таким образом, чтоб угол α был как можно меньше и не превышал 3° , а отношение сторон $y:a$ не превышало 1,5. В шахте

около ствола выбирают и закрепляют пункты подземной полигонометрии (40 и 41), на которые передают дирекционный угол.

В связующих треугольниках стальной компарированной рулеткой измеряют одновременно три стороны на поверхности (a , b и c в шахте (a_1 , b_1 и c_1)). Разбег измеренного расстояния между отвесами на поверхности a и b в подземных выработках a_1 не должно превышать 2 мм.

В программу угловых измерений на точке 37 включают направление на пункт триангуляции полигонометрии ω и угол в связующем α , а на точке 40 – направление на пункт подземной полигонометрии 41 ω_1 и угол в треугольнике α_1 .

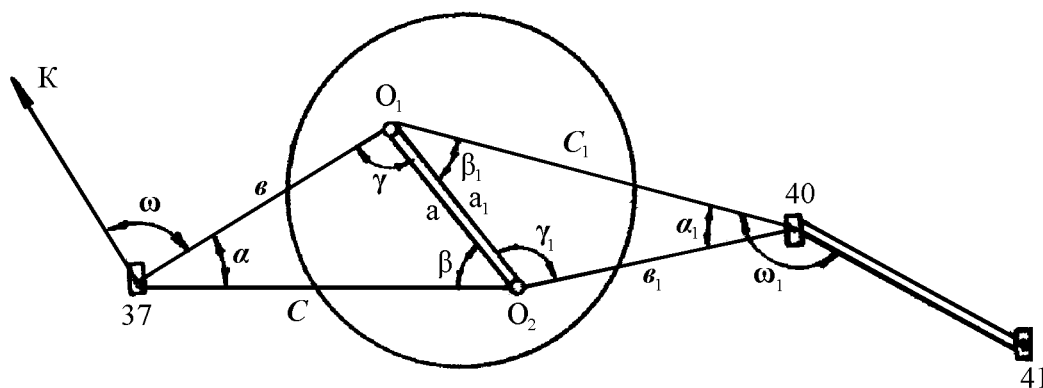


Рисунок 4.1 – Схема связующего треугольника

Для повышения точности и исключения грубых ошибок ориентирования делают при трех положениях висков. Положение висков меняют путем перемещения точек подвеса с помощью специального устройства «центровочных пластин», что позволяет перемещать точки крепления висгов на 15 мм в направлении, перпендикулярном к стороне b или z_i связующего треугольника. Поэтому измеряемые углы после перемещения отвесов должны меняться на величины (4.1):

$$\Delta\omega_{теор.в} = \frac{15}{b} \cdot \rho''(\text{верх});$$

$$\Delta\omega_{теор.н} = \frac{15}{c} \cdot \rho''(\text{низ}).$$

Стороны b и c принимают в зависимости от того, к какой стороне связующего треугольника измеряемый угол ω на поверхности b и в шахте z_1 . В формулах (4.1) длины сторон выражены в миллиметрах, как среднее значение из трёх положений отвесов.

Изменения измеренных углов ω и ω_1 , которые вышли после сдвига отвесов сравнивают с теоретическими значениями.

Разбег между измеренными величинами углов ω , ω_1 , α и α_1 и их теоретическими значениями не должен превышать $10''$ на поверхности и $15''$ под землёй.

По измеренным элементам треугольника можно вычислить два угла α и β , что в сумме с измеренным третьим углом γ должны давать 180° , на вследствие ошибок измерений в треугольнике сумма углов может отличаться от 180° на величину невязки, которая получилась.

Теоретическими исследованиями установлено, что ошибка измеряемого острого угла соединительного треугольника очень мало влияет на величину невязки. Поэтому уравнение можно делать путем введения поправок только в измеренные стороны соединительного треугольника, не меняя величину измеряемого острого угла.

После окончания уравнения углов в соединительных треугольниках вычисляют дирекционные углы плоскости отвесов, линий подземной полигонометрии и координат точек 40 и 41 в подземной выработке.

Подробнее с вопросами выполнения ориентирования способом треугольника можно ознакомиться в учебниках и монографиях: [1, с.282-291; 3, с.14-62; 4, с. 197-208; 7, с. 268-275].

Схема соединительного треугольника приведена на рисунке, а измеряемые данные - в табл. 4.2.

Дирекционный угол исходной стороны $\alpha_{37-до} = 324^\circ 28' 39''$, координаты пункта 37: $X=4583,493$; $Y=2740,523$, длина стороны подземной полигонометрии (40-41) составляет 50,075.

Порядок выполнения работы:

Таблица 4.2 – Измеренные данные

Поверхность				Шахта			
Обозначение	1 положение	2 положение	3 положение	Обозначение	1 положение	2 положение	3 положение
A	0°16'51"	0°12'40"	0°21'10"	α_1	1°13'41"	1°16'35"	1°10'55"
A	4,2883	4,2871	4,2890	a_1	4,2906	4,2886	4,2946
B	5,4331	5,4338	5,4324	b_1	6,8801	6,8808	6,8794
C	9,7219	9,7215	9,7223	c_1	11,1648	11,1642	11,1654
Ω	65°54'24"	66°04'02"	65°44'54"	ω_1	179°02'55"	178°58'15"	179°07'28"

Лабораторную работу выполняют в такой последовательности:

1. Контролируют полученные результаты полевых измерений:

а) проверяют измерены расстояния между склонами вверху (поверхность) и внизу (шахта) при трех положениях висков выполняют по формулам:

$$\Delta a_1 = a_{IВ} - a_{IH} \quad \Delta a_2 = a_{IIВ} - a_{IИH} \quad \Delta a_3 = a_{IIIВ} - a_{IIIИH};$$

где $a_{IВ}$, $a_{IIВ}$, $a_{IIIВ}$ – расстояния между отвесами при трёх разных положениях на поверхности;

a_{IH} , $a_{IИH}$, $a_{IIIИH}$, a_{II} , $a_{IIIИH}$ – расстояние между отвесами при трёх их положениях в шахте i .

Разбег Δa между величинами a и a_1 в каждом положении отвесов не должно превышать 2мм;

б) проверяют совпадение полученных измерений в величинах углов ω и ω_1 перемещения отвесов с их теоретическими значения по формулам (4.1). Данные вычислений заносят в таблицу 4.3;

Таблица 4.3 – Данные вычислений

Обозначения	Разница		
	I-II	I-III	Теоретическая
$\Delta \omega$	9 38"	9 30"	9 29"
$\Delta \omega_1$	4 40"	4 33"	4 37"
$\Delta \alpha$	4 11"	4 19"	4 11"
$\Delta \alpha_1$	2 54"	2 46"	2 53"

в) аналогичным образом делают проверку совпадения полученных измерения в величинах углов α и α_1 после перемещения отвесов.

Теоретические значения измеряемых углов α и α_1 в результате перемещения отвесов вычисляют по формулам (4.2):

$$\Delta\alpha_{\text{теор.в.}} = \frac{15}{c} \rho'' - \frac{15}{b} \rho'' \text{ (верх)} \quad (4.2)$$

$$\Delta\alpha_{\text{теор.н.}} = \frac{15}{c} \rho'' - \frac{15}{b} \rho'' \text{ (низ)}$$

Как и в предыдущей проверке, полученные изменения измеренных углов α и α_1 сравнивают с теоретическими значениями и результаты записывают в таблицу 3.2. С учётом ошибок измерений разбег не должен превышать 12" на поверхности и 15" в подземных выработках при длине сторон b и c 4-6 м и соответственно 8" и 10" при длинах сторон более 6 м.

2. Сравнивают связующие треугольники:

а) вычисляют невязки связующих треугольников. Для этого сначала определяют угол β (4.3):

$$\sin \beta = \frac{B \sin \alpha}{a} \quad (4.3)$$

По $\sin \beta$ находят β , а потом $\cos \beta$.

Вычисляют значение $C_{\text{обч}}$

$$\tilde{N}_{\hat{a}\hat{b}} = \hat{a} * \cos \beta + \hat{a} * \tilde{n} \cos \alpha \quad (4.4)$$

И определяют величину невязки

$$f_l = C_{\hat{a}\hat{b}} - \tilde{N}_{\hat{a}\hat{b}} \quad (4.5)$$

Допустимую величину невязки для соединительных треугольников, расположенных на поверхности, можно вычислить по формуле (4.6):

$$f_{\text{доо}} = \pm 1,6 \text{ мм} \sqrt{3} \approx 2,2 \text{ мм}. \quad (4.6)$$

Учитывая колебания висков при измерении сторон, для подземных соединительных треугольников допустимо невязки вычисляют по формуле:

$$f_{\text{доо}} = \pm 2,4 \sqrt{3} \approx 4,1 \text{ мм};$$

б) определяют поправки в измеренные стороны и вычисляют исправленные длины сторон (4.7):

$$(a) = -\frac{f_l}{3}; \quad (b) = -\frac{f_l}{3}; \quad (c) = \frac{f_l}{3}. \quad (4.7)$$

Вычисления ведут в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Данные вычислений

Обозначения	Положение отвесов		
	I	II	III
	Поверхность		
$\sin \alpha$	0,00490	0,0036	0,00616
$\cos \alpha$	0,99999	0,999	0,9998
b/a	1,26696	1,26748	1,26659
$\sin \beta$	0,00621	0,00466	0,00780
B	0° 21'20"5	0° 16'02"	0° 26' 49"3
$\cos \beta$	0,99998	0,99999	0,99997
a $\cos \beta$	4,28821	4,28706	4,28887
b $\cos \alpha$	5,43305	5,43375	5,43229
$c_{\text{выч}}$	9,72126	9,72081	9,72116
$c_{\text{изм}}$	9,7219	9,7215	9,7223
F1	-0,00064	-0,00069	-0,00114
$a_{\text{испр}}$	4,2885	4,2873	4,2894
$b_{\text{испр}}$	5,4333	5,4340	5,4328

$C_{испр}$	9,7221	9,7217	9,7227
	Шахта.		
$\text{Sin}\alpha_1$	0,02143	0,02228	0,020627
$\text{Cos}\alpha_1$	0,99977	0,99975	0,99979
b/a_1	1,60353	1,60439	1,60262
$\text{Sin}\beta_1$	0,03436	0,03575	0,03306
β_1	1°58'09"	2°02'54"7	1°53'40"8
$\text{Cos}\beta_1$	0,99941	0,99936	0,99945
$a_1 \text{ cos}\beta_1$	4,2881	4,2858	4,2922
$b_1 \text{ cos}\alpha_1$	6,8785	6,8791	6,8780
$C_{выч1}$	11,1666	11,1649	11,1702
$C_{изм1}$	11,1648	11,1642	11,1654
f_{l1}	0,0018	0,0007	0,0048
$a_{испр1}$	4,2900	4,2884	4,2930
$b_{испр1}$	6,8795	6,8806	6,8778
$C_{испр1}$	11,1642	11,1640	11,1638

в) вычисляют углы γ и β по длинам сторон связующих треугольников:

$$\sin \beta = \frac{b_{испр}}{a_{испр}} \sin \alpha \quad (4.8)$$

$$\sin \gamma = \frac{c_{испр}}{a_{испр}} \sin \alpha \quad (4.9)$$

Вычисления выполняют в табл. 4.5

Сумма углов в каждом связующем треугольнике, вычисленная по уравненным сторонам может отклоняться от 180° только за счёт округления при вычислениях. Эти округления не должны превышать $0,3''$.

Таблица 4.5 – Вычисления углов γ и β по длинам сторон связующих треугольников

Обозначения	Положения отвесов		
	I	II	III
Поверхность			
A	0°16'51"	0°12'40"	0°21'10"
$\sin \alpha$	0,00490	0,00368	0,00616
180- γ	179°21'48"7	179°31'18"8	179°11'59"9
$\sin \gamma$	0,01111	0,00834	0,01396
c:a	2,26702	2,26756	2,26668
$c_{\text{випр}}$	9,7221	9,7217	9,7227
$a_{\text{випр}}$	4,2885	4,2873	4,2894
$b_{\text{випр}}$	5,4333	5,4340	5,4328
b/a	1,26695	1,26746	1,26656
$\sin \beta$	0,00621	0,00466	0,00780
β	0°21'00"2	0°16'02"1	0°26'49"3
$\alpha + \beta + \gamma$	180°00'00"2	180°00'00"7	179°59'59"8
Шахта			
α_1	1°13'41"	1°16'35"	1°10'55"
$\sin \alpha_1$	0,02143	0,02228	0,02063
180- γ_1	176°48'10",8	176°40'29"6	176°55'29"
$\sin \gamma_1$	0,05577	0,05800	0,05365
C1:a1	2,60238	2,60330	2,60047
$c_{\text{випр1}}$	11,1642	11,1640	11,1638
$a_{\text{випр1}}$	4,2900	4,2884	4,2930
$b_{\text{випр1}}$	6,8795	6,8806	6,8778
B1/a1	1,60361	1,60447	1,60210
$\sin \beta_1$	0,03436	0,03575	0,03305
β_1	1°58'09"8	2°02'55"	1°53'38"6
$\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1$	180°00'00"8	179°59'59"8	180°00'00"8

3. Вычисляют дирекционный угол околоствольном стороны подземной полигонометрии. Дирекционный угол околоствольном стороны подземной полигонометрии (40-41) вычисляют по каждому положению висков самостоятельно. Из трех полученных значений берут среднее арифметическое. От-

клонение от среднего арифметического значения из трех определений дирекционного угла не должны превышать 18".

Исходным для вычисления α_{40-41} является дирекционный угол $\alpha_{37-до}$ (табл.4.6). Через измерения на поверхности ω и γ находят дирекционный угол плоскостей отвесов α_{01-02} , а потом через измеренные в шахте углы β_1 и ω_1 определяют дирекционный угол стороны подземной полигонометрии (α_{40-41}).

Таблица 4.6 – Данные для вычисления

Обозначения.	Положение отвесов		
	I	II	III
$\alpha_{37-к}$	324 °28 '39 "	324 °28 '39 "	324 °28 '39 "
Ω	65 °54 '24 "	66 °04 '02 "	65 °44 '54 "
α_{37-01}	30 °23 '03 "	30 °32 '41 "	30 °13 '33 "
180- γ	0 °38 '11 "	0 °28 '41 "	0 °48 '00 "
α_{01-02}	31 °01 '14 "	31 °01 '22 "	31 °01 '33 "
β_1	1 °58 '10 "	2 °02 '55 "	1 °53 '39 "
α_{01-40}	29 °03 '04 "	28 °58 '27 "	29 °07 '54 "
180- ω_1	0 °57 '05 "	1 °01 '45 "	0 °52 '32 "
α_{40-41}	30 °00 '09 "	30 °00 '12 "	30 °00 '26 "
$\alpha_{40-41} = 30 °00 '16 "$			

4. Вычисляют координаты двух пунктов 40 и 41 подземной полигонометрии. Координаты пунктов подземной полигонометрии вычисляют по каждому положению склонов. Из полученных результатов берут среднее значение координат. Отклонение от среднего значения координат более 3 мм не допускают.

Вычисления координат пунктов подземной полигонометрии выполняются по таблице 4.7.

Средние значения: $Y_{41}=2773,734$ м; $X_{41}=4641,304$ м

$Y_{40}=2748,693$ м; $X_{40}=4597,940$ м.

5. Оценивают выполнено ориентирования. Величину ошибки ориентирования (ошибку дирекционного угла околоствольном стороны подземной полигонометрии) выражают формулой (4.10):

$$m_0^2 = m_{\alpha_{исх}}^2 + m_{\alpha_{0l}}^2 + m_{\alpha_{0\beta}}^2 + m_{\alpha_{0np}}^2 \quad (4.10)$$

где $m_{\alpha_{вих}}$ – ошибка исходного дирекционного угла, полученная из оценки точности тоннельной, или триангуляции основной полигонометрии (при выполнении работы принимается равной 3")

m_{0e} – ошибка ориентирования, вызванная влиянием ошибок измерения сторон связующих треугольников;

$m_{0\beta}$ – ошибка ориентирования, вызванная влиянием ошибок угловых измерений;

$m_{0ин}$ – ошибка ориентирования, вызванная влиянием ошибок проектирования отвесов (при расстоянии между отвесами 4-5 м и глубине ствола около 80 метров составляет 8").

Таблица 4.7 – Вычисления координат пунктов подземной полигонометрии

Номер точки	Дирекционные углы	Длина линии, м	Приращения координат		Координаты	
			ΔX	ΔY	X	Y
К	144°28'39"				4583,493	2740,523
37						
	30°23'03"	5,433	+4,687	+2,748		
О1	29°03'04"	11,165	+9,760	+5,422		
40					4597,940	2748,693
			+43,364	+25,041	4641,304	2773,734
	30°00'16"	50,075	+57,811	+33,211		
К	144°28'39"				4583,493	2740,923
37						
	30°32'41"	5,434	+4,680	+2,762		

O1	28°58'27"	11,164	+9,767	+5,408		
40					4597,940	2748,693
	30°00'16"	50,075	+43,364	+25,041		
41			+57,811	+33,211	4641,304	2773,734
K	144°28'39"				4583,493	2740,523
37						
	30°13'33"	5,433	+4,694	+2,735		
O1	29°07'54"	11,166	+9,754	+5,436		
40					4597,941	2748,694
	30°00'16"	50,075	+43,364	+25,041		
41			+57,812	+33,212	4641,305	2773,735

В этом случае:

$$m_{Ol}^2 = \left(\operatorname{tg}^2 \alpha * \frac{a^2 + b^2}{a^4} + \operatorname{tg}^2 \alpha_1 * \frac{a_1^2 + b_1^2}{a_1^4} \right) * m_l^2 \rho^2; \quad (4.11)$$

$$m_{O\beta}^2 = m_{\alpha_1}^2 \omega \left[1 + \frac{b}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right] + m_{\alpha_1}^2 \omega_1 \left[1 + \frac{b_1}{a_1} + \left(\frac{b_1}{a_1} \right)^2 \right]; \quad (4.12)$$

где m_ϵ – ошибка линейных измерений в связующих треугольниках;

$m_{\alpha\omega}$ – ошибка измерения углов на поверхности;

$m_{\alpha_1\omega_1}$ – ошибки измерения углов в подземных выработках.

При сравнительно одинаковой форме треугольников на поверхности и в шахте формулы принимают вид:

$$m_{Ol}^2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{a^2} \rho \sqrt{2(a^2 + b^2)} m_l; \quad (4.13)$$

$$m_{O\beta}^2 = \left[1 + \frac{b}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right] (m_{\alpha}^2 \omega + m_{\alpha_1}^2 \omega_1), \quad (4.14)$$

При вычислениях по формулам (3.10)...(3...13) принимают $m_l=0,8$ мм,

$$m_{\alpha\omega}=4'', m_{\alpha1\omega1}=5''.$$

Ошибку ориентирования при трёх положениях отвесов вычисляют по формуле (4.15):

$$M_0^2 = m_{\alpha\omega}^2 + \frac{m_{ol}^2 + m_{o\beta}^2 + m_{опрсл}^2}{3} + m_{опрсист}^2 \quad (4.15)$$

где $m_{виз.сл}$ – случайная составляющая ошибки проектирования, которая на основании опытных данных составляет 5";

$m_{виз.сист}$ систематичная суммарная ошибка проектирования, которую можно принять равной 6".

$$M_0^2 = 3^2 + \left(\frac{-0,714}{4,2884} * 206265 \sqrt{2(4,2884^2 + 5,4334^2)} * 0,8 + \left(1 + \frac{5,4334}{4,2884} + \left(\frac{5,4334}{4,2884} \right)^2 \right) * (4^2 + 5^2) + 5^2 \right) / 3 + 6^2 = 72''$$

Содержание

1. Лабораторная работа 1. Поверки маркшейдерских приборов.....	4
2. Лабораторная работа 2. Аналитическое проектирование трассы тоннеля	30
3. Лабораторная работа 3. Предварительный расчёт точности геометриче- ских измерений при строительстве тоннелей.....	66
4. Лабораторная работа 4. Обработка результатов измерений, выполненных при ориентировании подземной геодезической основы способом связующего треугольника.....	73
Список рекомендуемой литературы.....	86

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия: Геодез. работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
2. Справочное пособие по прикладной геодезии /Под ред.. В.Д. Большакова. – М.: Недра, 1987. – 543 с.
3. Геодезия в тоннелестроении /Под ред.. А.Н. Баранова. – М.: Геодезиздат, 1953. – Ч.2. – 492 с.
4. Черемисин М.С., Воробьев М.В. Геодезическо-маркшейдерская разбивочная основа при строительстве подземных сооружений. – М.:Недра, 1982. – 262 с.
5. Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортнх тоннелей ВСН 460-69. – М.: Минтрансстрой, 1970. – 114 с.
6. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве: Введ. 01.07.85. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 28 с.
7. Афанасьев В.Г., Муравьев А.В. Геодезия и маркшейдерское дело в транспортном строительстве. – М.: Недра, 1987. – 440 с.
8. Данченко О.В. Маркшейдерско-геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерно-технических сооружений: учеб, пособие. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. - 164 с.
9. Горбунова В. А. Инженерная геодезия: учеб. пособие [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки бакалавров 270800. Строительство, профиль Автомобильные дороги / В. А. Горбунова. Кемерово: КузГТУ, 2012. – 193 с.
10. Инженерная геодезия и геоинформатика: Учебник для вузов / Под ред. С.И. Матвеева. — М.: Академический Проект; Фонд «Мир», 2012. — 484 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ
ТУННЕЛЕСТРОЕНИИ "

Составители:

ФИЛАТОВА ИРИНА ВИКТОРОВНА

ГРИЩЕНКОВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ