

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 контрольной работы по дисциплине**  
**«Маркшейдерия. Маркшейдерские работы при туннелестроении»**  
**(для студентов заочной формы обучения)**

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:**

Хохуля 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 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»;

Грищенко Андрей Николаевич - старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела им. Д. Н. Оглоблина ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет».

**Методические указания по выполнению контрольной работы 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. – 23 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

### Предварительный расчёт 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.

**ВНИМАНИЕ** : Вариант берется по номеру в списке группы студента.

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	1.0μ
3	2280	2000	0.7	2.2	1.0μ
4	2850	1620	0.8	2.3	1.0μ
5	2300	1870	0.7	2.4	1.0μ
6	2650	1610	0.6	2.5	1.0μ
7	2980	1520	0.5	2.6	1.0μ
8	2590	1412	0.8	2.4	1.0μ
9	2360	1280	0.7	2.3	1.0μ
10	2720	1360	0.6	2.2	1.0μ
11	2610	1520	0.5	2.3	1.0μ

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

### Порядок выполнения работы

Расчет точности геодезических измерений выполняется при составлении проекта производства геодезических работ (ППГР) и необходимый 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 1.1.

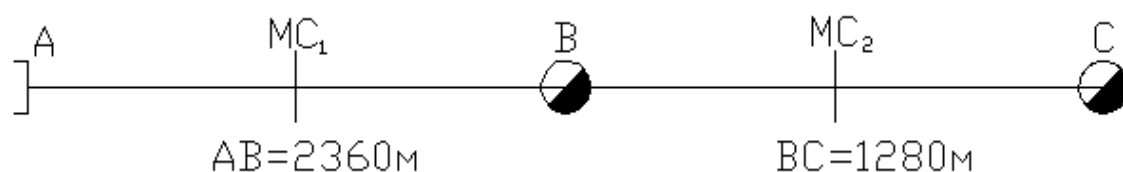


Рисунок 1.1 – Схема сбойки

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 квадратичная ошибка ориентирования через ствол В:

$m_4$  – средняя квадратичная ошибка подземной полигонометрии от портала А до места сбойки  $МС_1$ ;

$m_5$  – средняя квадратичная ошибка подземной полигонометрии от ствола В до места сбойки  $МС_1$ .

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  $m_\beta$  хода от ствола определяется по формуле:

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

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  $m''_\beta$

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

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 выполняется 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.

Отчет по работе выполняется на листах формата А4.

## Содержание отчёта

### 1. Схема участка тоннеля.

2. Рассчёт 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 редукции?
8. В каких случаях по трассе тоннеля проходят промежуточную скважину ?



## Лабораторная работа 2

**Обработка результатов измерений, выполненных при ориентировании подземной геодезической основы 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  $\omega$  ( $\omega_1$ ) и углов  $\alpha$  ( $\alpha_1$ ) при трёх положениях отвесов.
4. Расстояние между точками приствольной 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 2.1.

Основные теоретические ведомости в чи  $z_i$

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

Таблица 2.1 – Исходные данные.

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

При этом способе около ствола закрепляют точку 37 (рис. 2.1), из которой видно исходный пункт полигонометрии, или триангуляции (К). В ствол спускают два отвеса  $O_1$  и  $O_2$  таким образом, чтоб угол  $\alpha$  был как можно меньше и не превышал  $3^\circ$ , 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  $\omega$  и угол в связующем  $\alpha$ , а на точке 40 – направление на пункт подземной полигонометрии 41  $\omega_1$  и угол в треугольнике  $\alpha_1$ .

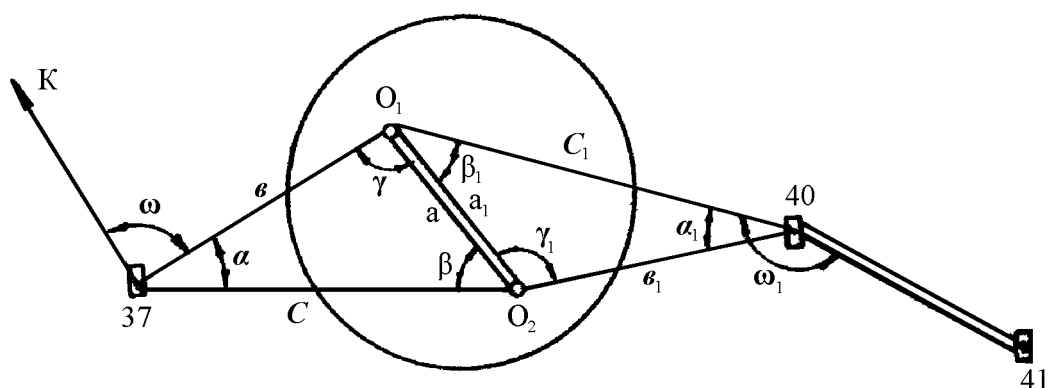


Рисунок 2.1 – Схема связующего треугольника

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:

$$\Delta\omega_{теор.в} = \frac{15}{b} \cdot \rho''(\text{верх}); \tag{2.1}$$

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

Стороны  $b$  и  $c$  принимают в зависимости от того, к какой стороне связующего треугольника измеряемый угол  $\omega$  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  $\omega$  и  $\omega_1$ , которые вышли после сдвига отвесов сравнивают с теоретическими значениями.

Разбег между измеренными величинами углов  $\omega$ ,  $\omega_1$ ,  $\alpha$  и  $\alpha_1$  и их теоретическими значениями не должен превышать  $10''$  на поверхности и  $15''$  под землёй.

По измеренным элементам треугольника можно вычислить два угла  $\alpha$  и  $\beta$ , что в сумме с измеренным третьим углом  $\gamma$  должны давать  $180^\circ$ , на вследствие ошибок измерений в треугольнике сумма углов может отличаться от  $180^\circ$  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].

Порядок выполнения работы

Таблица 2.2 – Измеренные данные

Поверхность				Шахта			
Обозначение	1 положение	2 положение	3 положение	Обозначение	1 положение	2 положение	3 положение
А	0°16'51"	0°12'40"	0°21'10"	$\alpha_1$	1°13'41"	1°16'35"	1°10'55"
А	4,2883	4,2871	4,2890	$a_1$	4,2906	4,2886	4,2946
В	5,4331	5,4338	5,4324	$b_1$	6,8801	6,8808	6,8794
С	9,7219	9,7215	9,7223	$c_1$	11,1648	11,1642	11,1654
$\Omega$	65°54'24"	66°04'02"	65°44'54"	$\omega_1$	179°02'55"	178°58'15"	179°07'28"

Схема соединительного треугольника приведена на рисунке, а измеряемые данные - в табл. 2.2.

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.

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:

$$\Delta a_1 = a_{Iв} - a_{Iн} \quad \Delta a_2 = a_{II в} - a_{IIн} \quad \Delta a_3 = a_{III в} - a_{IIIн};$$

где  $a_{Iв}$ ,  $a_{II в}$ ,  $a_{III в}$  – расстояния между отвесами при трёх разных положениях на поверхности;

$a_{Iн}$ ,  $a_{IIн}$ ,  $a_{IIIн}$ ,  $a_{III}$ ,  $a_{IIIн}$  – расстояние между отвесами при трёх их положениях в шахте  $i$ .

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

б) проверяют совпадение полученных измерений в величинах углов  $\omega$  и  $\omega_1$  перемещения отвесов с их теоретическими значения по формулам (2.1). Данные вычислений заносят в таблицу 2.3;

Таблица 2.3 – 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  $\alpha$  и  $\alpha_1$  после перемещения отвесов.

Теоретические значения измеряемых углов  $\alpha$  и  $\alpha_1$  в результате перемещения отвесов вычисляют по формулам:

$$\Delta\alpha_{\text{теор.в.}} = \frac{15}{c} \rho'' - \frac{15}{b} \rho'' \text{ (верх)} \quad (2.2)$$

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

Как и в предыдущей проверке, полученные изменения измеренных углов  $\alpha$  и  $\alpha_1$  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  $\beta$ :

$$\sin \beta = \frac{B \sin \alpha}{a} \quad (2.3)$$

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

Вычисляют значение  $C_{\text{обч}}$

$$\tilde{N}_{\hat{a}\hat{a}} = \hat{a} * \cos \beta + \hat{a} * \tilde{n} \cos \alpha \quad (2.4)$$

И определяют величину невязки

$$f_l = C_{\hat{A}\hat{x}} - \tilde{N}_{\hat{A}\hat{E}\hat{E}} \quad (2.5)$$

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

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

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:

$$(a) = -\frac{f_l}{3}; \quad (b) = -\frac{f_l}{3}; \quad (c) = \frac{f_l}{3}. \quad (2.6)$$

Вычисления ведут в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – 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
$\beta$	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
f <sub>l</sub>	-0,00064	-0,00069	-0,00114
a <sub>испр</sub>	4,2885	4,2873	4,2894
b <sub>испр</sub>	5,4333	5,4340	5,4328
$C_{\text{испр}}$	9,7221	9,7217	9,7227

Обозначения	Положение отвесов		
	I	II	III
	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
$\beta_1$	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
$c_{\text{выч}1}$	11,1666	11,1649	11,1702
$c_{\text{изм}1}$	11,1648	11,1642	11,1654
$f_{11}$	0,0018	0,0007	0,0048
$a_{\text{испр}1}$	4,2900	4,2884	4,2930
$b_{\text{испр}1}$	6,8795	6,8806	6,8778
$c_{\text{испр}1}$	11,1642	11,1640	11,1638

в) вычисляют углы  $\gamma$  и  $\beta$  по длинам сторон связующих треугольников:

$$\sin \beta = \frac{b_{\text{испр}}}{a_{\text{испр}}} \sin \alpha \quad (2.7)$$

$$\sin \gamma = \frac{c_{\text{испр}}}{a_{\text{испр}}} \sin \alpha \quad (2.8)$$

Вычисления выполняют в табл. 2.5

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".

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".

Таблица 2.5 – Вычисления углов  $\gamma$  и  $\beta$  по длинам сторон связующих треугольников

Обозначения	Положения отвесов		
	I	II	III
Поверхность			
$\alpha$	0°16'51"	0°12'40"	0°21'10"
$\sin \alpha$	0,00490	0,00368	0,00616
180- $\gamma$	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
$\beta$	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			
$\alpha_1$	1°13'41"	1°16'35"	1°10'55"
$\sin \alpha_1$	0,02143	0,02228	0,02063
180- $\gamma_1$	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
$\beta_1$	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

Исходным для вычисления  $\alpha_{40-41}$  является дирекционный угол  $\alpha_{37-\text{до}}$  (табл.2.6). Через измерения на поверхности  $\omega$  и  $\gamma$  находят дирекционный угол

плоскостей отвесов  $\alpha_{01-02}$ , а потом через измеренные в шахте углы  $\beta_1$  и  $\omega_1$  определяют дирекционный угол стороны подземной полигонометрии ( $\alpha_{40-41}$ ).

Таблица 2.6 – Данные для вычисления

Обозначения.	Положение отвесов		
	I	II	III
$\alpha_{37-к}$	324 °28 '39 "	324 °28 '39 "	324 °28 '39 "
$\Omega$	65 °54 '24 "	66 °04 '02 "	65 °44 '54 "
$\alpha_{37-01}$	30 °23 '03 "	30 °32 '41 "	30 °13 '33 "
180- $\gamma$	0 °38 '11 "	0 °28 '41 "	0 °48 '00 "
$\alpha_{01-02}$	31 °01 '14 "	31 °01 '22 "	31 °01 '33 "
$\beta_1$	1 °58 '10 "	2 °02 '55 "	1 °53 '39 "
$\alpha_{01-40}$	29 °03 '04 "	28 °58 '27 "	29 °07 '54 "
180- $\omega_1$	0 °57 '05 "	1 °01 '45 "	0 °52 '32 "
$\alpha_{40-41}$	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 выполняют по таблице 2.7.

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:

Таблица 2.7 – Вычисления координат пунктов подземной полигонометрии

Номер точки	Дирекционные углы	Длина линии, м	Приращения координат		Координаты	
			$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
К 37	144°28'39"				4583,493	2740,523
	30°23'03"	5,433	+4,687	+2,748		
О1 40	29°03'04"	11,165	+9,760	+5,422		
			+43,364	+25,041	4597,940	2748,693
	30°00'16"	50,075	+57,811	+33,211	4641,304	2773,734
К 37	144°28'39"				4583,493	2740,923
	30°32'41"	5,434	+4,680	+2,762		
О1 40	28°58'27"	11,164	+9,767	+5,408		
					4597,940	2748,693
	30°00'16"	50,075	+43,364	+25,041		
41			+57,811	+33,211	4641,304	2773,734
К 37	144°28'39"				4583,493	2740,523
	30°13'33"	5,433	+4,694	+2,735		
О1 40	29°07'54"	11,166	+9,754	+5,436		
					4597,941	2748,694
	30°00'16"	50,075	+43,364	+25,041		
41			+57,812	+33,212	4641,305	2773,735

$$m_0^2 = m_{\alpha_{исх}}^2 + m_{\alpha_{ол}}^2 + m_{\alpha_{\beta}}^2 + m_{\alpha_{оп}}^2 \quad (2.9)$$

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

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

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

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

В этом случае:

$$m_{Ol}^2 = \left( \operatorname{tg}^2 \alpha * \frac{a^2 + b^2}{a^4} + \operatorname{tg}^2 \alpha_1 * \frac{a_1^2 + b_1^2}{a_1^4} \right) * m_l^2 \rho^2; \quad (2.10)$$

$$m_{O\beta}^2 = m_{\alpha_1}^2 \omega \left[ 1 + \frac{b}{a} + \left( \frac{b}{a} \right)^2 \right] + m_{\alpha_1}^2 \omega_1 \left[ 1 + \frac{b_1}{a_1} + \left( \frac{b_1}{a_1} \right)^2 \right]; \quad (2.11)$$

где  $m_\epsilon$  – 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:

$$m_{Ol}^2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{a^2} \rho \sqrt{2(a^2 + b^2)} m_l; \quad (2.12)$$

$$m_{O\beta}^2 = \left[ 1 + \frac{b}{a} + \left( \frac{b}{a} \right)^2 \right] (m_{\alpha}^2 \omega + m_{\alpha_1}^2 \omega_1), \quad (2.13)$$

При вычислениях по формулам (2.10)...(2...13) принимают  $m_l=0,8$  мм,

$m_{\alpha\omega}=4''$ ,  $m_{\alpha_1\omega_1}=5''$ .

Ошибку ориентирования при трёх положениях отвесов вычисляют по формуле:

$$M_0^2 = m_{\text{аисх}}^2 + \frac{m_{\text{ол}}^2 + m_{\text{об}}^2 + m_{\text{опрсл}}^2}{3} + m_{\text{опр.сист}}^2 \quad (2.14)$$

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

$m_{\text{виз.сист}}$  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 Предварительный расчёт точности геометрических измерений при строительстве тоннелей.....	3
2. Лабораторная работа 2 Обработка результатов измерений, выполненных при ориентировании подземной геодезической основы способом связующего треугольника.....	9
Список рекомендуемой литературы.....	23

## 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 подземних сооружений. – М.:Недра, 1982. – 262 с.
5. Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортних 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<sup>3</sup>, профиль Автомобильные дороги / В. А. Горбунова. Кемерово: КузГТУ, 2012. – 193 с.