

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА САМОСТІЙНИХ

РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ

**“маркшейдерські роботи при
тунелебудуванні”**

Донецьк – ДонНТУ - 2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА САМОСТІЙНИХ
РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
"МАРКШЕЙДЕРСЬКІ РОБОТИ ПРИ
ТУНЕЛЕБУДУВАННІ"

Розглянуто:

НА ЗАСІДАННІ КАФЕДРИ
МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ СПРАВИ
ПРОТОКОЛ № 5
ВІД 05.11. 2010Р.

Затверджено:

НА ЗАСІДАННІ НАВЧАЛЬНО-
ВИДАВНИЧОЇ РАДИ ДОННТУ
ПРОТОКОЛ № 5
ВІД 06.12. 2010Р.

Донецьк – ДонНТУ - 2010.

УДК 622.1: 528

Методичні вказівки до виконання лабораторних та самостійних робіт з дисципліни “Маркшейдерські роботи при тунелебудуванні”/ Ю.М. Гавриленко, А.В. Стягун, А.М. Грищенко, І.В. Філатова.
Донецьк: ДонНТУ, 2010, 59с.

Приведено зміст лабораторних та самостійних робіт студентів спеціальності 7.090307 “Маркшейдерська справа” з дисципліни “Маркшейдерські роботи при тунелебудуванні”. Методичні вказівки призначені для підготовки магістрів та спеціалістів, що навчаються по формах навчання: денна, заочна, екстернат.

“Методичні вказівки до виконання лабораторних та самостійних робіт з дисципліни “Маркшейдерські роботи при тунелебудуванні” рекомендовані до видання методичною комісією спеціальності "Маркшейдерська справа" (протокол № 5 від 05.11.2010р.).

Автори:

Ю.М. Гавриленко, проф.

А.В. Стягун, доц.

А.М. Грищенко, ас.

І.В. Філатова, доц.

Рецензент :

С.В. Подкопаєв, д.т.н., проф.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА САМОСТІЙНИХ
РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
"МАРКШЕЙДЕРСЬКІ РОБОТИ ПРИ
ТУНЕЛЕБУДУВАННІ"

Укладачі:

ГАВРИЛЕНКО ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ
СТЯГУН АНАТОЛІЙ ВОЛОДИМІРОВИЧ
ГРИЩЕНКОВ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ
ФІЛАНОВА ІРИНА ВІКТОРІВНА

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ПЕРЕВІРКИ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ПРИЛАДІВ.

Зміст роботи

Провести перевірки маркшейдерських приладів: теодоліт серії Т-5 та нівелір серії Н-3.

Основні теоретичні зведення та порядок виконання роботи

Перевірки теодоліта серії Т-5.

1. Визначення стійкості штатива та підставки

Для визначення стійкості штатива закріпити на ньому теодоліт, привести вертикальну вісь у прямовисне положення і навести зорову трубу на який-небудь різко обкреслений предмет. Потім голівку штатива злегка повернути то в одну, то в іншу сторону. Якщо після зняття навантаження буде замічений зсув зображення обраного предмета з перехрестя сітки труби, треба краще затягти кріпильні гвинти ніжок штатива (у шарнірі голівки).

Домігшись стійкості штатива, перевірити стійкість підставки. Для цього злегка повернути корпус підставки та й у випадку відхилення зображення предмета з перехрестя сітки труби, після зняття навантаження, зробити хід піднімальних гвинтів більш тугим за допомогою гайки регулювання ходу.

2. Визначення правильності установлення осі круглого рівня щодо вертикальної осі обертання теодоліта.

Для перевірки круглого рівня треба обертанням піднімальних гвинтів підставки вивести бульбашку рівня на середину, потім повернути алідаду-колонку з рівнем на 180° . Якщо бульбашка рівня змістилася із середини, то на половину відхилення його перемістити виправними гвинтами, потім вивести на середину піднімальними гвинтами підставки. Перевірку повторювати доти, поки відхилення бульбашки рівня не буде перевищувати 0,3 поділу.

Для перевірки рівня встановити його за напрямом піднімальних гвинтів підставки й обертанням цих гвинтів у протилежних напрямках вивести бульбашку рівня на середину, потім повернути алідаду на 180° . Якщо бульбашка відхилиться від середнього положення, то половину відхилення виправити піднімальними гвинтами; другу половину - юстувальними гвинтами рівня. Потім повернути алідаду на 90° і третім піднімальним гвинтом підставки привести пухирець на середину. Перевірку повторювати доти, поки відхилення пухирця рівня не буде перевищувати 0,3 розподілу.

3. Визначення положення сітки зорової труби.

Горизонтальний штрих сітки окуляра повинен бути перпендикулярний вертикальній осі обертання теодоліта.

Закріпити теодоліт на штативі і привести вертикальну вісь у прямовисне положення. Вибрати яку-небудь вилучену зручну для наведення ціль і, обертаючи колонку навідним гвинтом по азимуті, переконатися, що зображення крапки не сходить з горизонтального штриха сітки на величину, більш подвійної товщини нитки. Якщо зсув перевищує зазначену величину необхідно зняти кришку, відпустити чотири кріпильних гвинти окуляра і повернути окуляр так, щоб горизонтальна нитка сітки розташувалася горизонтально. Перевірку повторювати доти, поки зображення крапки буде сходити з горизонтального штриха сітки на величину менш подвійної товщини нитки. Після перевірки сітки закріпити окуляр і нагвинтити кришку. Перевірку повторити.

4. Визначення і виправлення колімаційної помилки "С".

Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярна осі обертання труби. Зорову трубу встановити приблизно горизонтально і навести на вилучену точку. Зняти відліки при двох положеннях кола (КП₁ і КЛ₁). Звільнити затискний гвинт підставки, повернути теодоліт на 180° і знову закріпити затискним гвинтом. Зробити наведення на ту ж саму точку при двох положеннях кола (КП₂ і КЛ₂) і зняти відліки. Величину колімаційної помилки обчислити по формулі:

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

Для виправлення колімаційної погрішності зняти кришку, що закриває доступ до юстувальних гвинтів окулярної сітки. Установити по горизонтальному колу відлік, який визначається по формулі:

$$КП = КП_2 - C$$

Юстувальними гвинтами перемістити сітку в горизонтальному напрямку до сполучення перехрестя з зображенням раніше обраного предмета. Знову повторити перевірку. Припустиме значення подвійної колімаційної погрішності не повинне перевищувати 30".

5. Визначення і виправлення місця нуля вертикального кола.

У відгоризонтованому теодоліті при середньому положенні бульбашки рівня штрихи шкали компенсатора повинні розташовуватися над відповідними укороченими штрихами шкали вертикального кола - показника положення компенсатора.

Якщо у відгоризонтованому теодоліті при середньому положенні бульбашки рівня штрихи шкали компенсатора зміщені щодо укорочених штрихів шкали вертикального кола - показника положення компенсатора,

більш ніж на 0,5 поділу шкали - сполучити їх у такий спосіб. Відгвинтити заглушку, діючи обережно юстувальним гвинтом, послабити затягування гвинта, потім обережно, не прикладаючи великих зусиль, вкрутити чи викрутити викруткою гвинт до тих пір поки нульовий штрих компенсатора не сполучиться з нульовим штрихом укороченої шкали.

Після переміщення шкали компенсатора та положення нульового штриха шкали компенсатора над начальним штрихом укороченої шкали-вказівки положення компенсатора, загвинтити гвинт до упора з точкою запобігання гвинта від переміщення, фіксації його положення. Закрутити заглушку.

Місце нуля вертикального кола повинне бути відомо або приведене до нуля. Значення нуля визначати візуванням на ту саму крапку, бажано ближче до обрію, при двох положеннях кола й обчислювати по формулі:

$$MO = \frac{KL - KP \pm 180}{2}$$

При цьому до відліку, меншому 90° , додати 360° .

Для виправлення місця нуля установити по вертикальному колу відлік рівний $KL - MO$ і зсувом окулярної сітки зорової труби юстувальними гвинтами у вертикальному напрямку сполучити перехрестя сітки з зображенням обраної крапки.

Після виправлення знову повторити визначення місця нуля і колімаційної помилки. При визначенні і виправленні місця нуля так само, як і при вимірі кутів нахилу, стежити за положенням пухирця рівня при алідаді горизонтального кола і, у випадку зсуву, піднімальними гвинтами підставки виводити його в середнє положення.

6. Установка візирної мети.

Для установки мети візирної у робоче положення установити візирну мету на штативі та відцентрувати. Установку візирної мети робити так, щоб висота горизонтальних осей теодоліта і мети візирної збігалися. Постійна висота центра марки від підстави підставки досягається за допомогою контрольної настановної шайби, яку варто установити на одному з піднімальних гвинтів підставки.

Для установки горизонтальної вісі теодоліта на висоті центра марки мети візирної, таку ж шайбу установити на одному з піднімальних гвинтів підставки теодоліта.

Після установки контрольної шайби двома іншими гвинтами підставки теодоліт привести в робоче положення.

До початку роботи перевірити ексцентриситет розташування марки мети візирної.

Для цього вертикальну вісь мети візирної за допомогою піднімальних гвинтів підставки привести за рівнем у прямовисне положення. Потім марку мети візирної розглянути в теодоліті. При візуванні бісектор сітки зорової

труби, установити по осі центрального отвору марки мети візирної. Після цього мету візирну повернути на осі на 180° і знову розглянути в теодоліт. Половину зсуву центра марки з бісектора - виправити зсувом оправы з маркою на осях і, якщо необхідно, розворотом марки в оправі. Перевірку проводити кілька разів доти, поки при повороті на 180° центр марки не буде сходити з бісектора.

7. Перевірка рену відлікової системи горизонтального та вертикального кіл

Щоб визначити рен оптичного мікрометра, треба встановити на його шкалі відлік, близький до нуля, та приблизно поєднують за допомогою навідного гвинта алідади діаметрально протилежні штрихи A та $(A+180^\circ)$ верхнього та нижнього зображень лімба. Після цього по барабану оптичного мікрометра беруть відліки при трьох точних поєднаннях штрихів:

- A_1 – при поєднанні штрихів A та $(A+180^\circ)$;
- A_2 – при поєднанні штрихів $(A-\mu)$ та $(A+180^\circ)$;
- A_3 – при поєднанні штрихів A та $(A+180^\circ-\mu)$, де μ - величина найменшого поділу кола.

Рен верхнього та нижнього зображень знаходять по формулах:

$$r_B = (A_1 - A_2)\mu_0 + \frac{\mu}{2};$$

$$r_H = (A_1 - A_3)\mu_0 + \frac{\mu}{2},$$

де μ_0 – ціна поділу шкали мікрометра.

Далі обчислюють середнє значення рена:

$$r = \frac{r_B + r_H}{2}.$$

Установка алідади горизонтального круга для теодолітів з діленнями в $4'$, $10'$, $20'$ і приклад визначення рена показані в таблиці 1.1 та 1.2. Якщо величина рена перевищує вказані допуски, то в результати вимірів вводять поправки

$$\delta_a = \frac{2ra}{\mu},$$

де a – відлік по мікрометру.

При значних величинах δ_a має бути від'юстована оптична відлікова система.

Установка вертикального кола вибирають в діапазоні $\pm 10^\circ$ відносно горизонтального положення труби через інтервал $(2^\circ + \mu)$ в прямому та зворотному ходах.

У польових умовах допускається проводити вибірковий контроль рена на чотирьох установках алідади $0, 90, 180$ та 270° (для вертикального кола $-358, -2, 0, 2^\circ$).

У теодолітах зі шкаловим мікроскопом перевірку рена слід виконувати поєднанням штриха лімба з нульовим штрихом шкали мікроскопа; після

цього знімають відлік за шкалою, відповідною наступному штриху круга. Великою рена буде різниця між відліченим значенням інтервалу і його номінальним значенням(1^0). Виміри роблять на установках алідади, наступних через 60^0 .

Для вертикального кола рен визначають в діапазоні кутів нахилу трубі $\pm 10^0$ через інтервал 2^0 .

Для виправлення рена необхідно ослабити гвинти, що кріплять оправи лінз мікроскопа горизонтального кола. Пересуваючи оправи з лінзами уздовж осі мікроскопа і змінюючи збільшення мікроскопа, усувають рен.

Таблиця 1.1 - Установа алідади горизонтального круга для теодолітів з діленнями в $4'$, $10'$, $20'$

Установа φ алідади горизонтального кола			
Номер установки	Прямий хід	Номер установки	Зворотний хід
Для теодолітів з $\mu=4'$			
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 теодолітів з $\mu=10'$			
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 теодолітів з $\mu=20'$			
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'

Таблиця 1.2 – Визначення рена відлікової системи

Дата: 04.11.2010 р.
t=+22,5°C

Теодоліт Т1 № 04
Горизонтальне коло
μ=10'

Прямий хід						Зворотний хід					
φ	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		
Середній відлік	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		
Середній відлік	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		
Середній відлік	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		
Середній відлік	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. Визначення ексцентриситету горизонтального кола

Ексцентриситет горизонтального кола $\varepsilon_{z.k.}$ теодолітів типів Т1, Т2 визначають по зміні різниць відліків при поєднанні діаметрально протилежних штрихів кола a і одного з штрихів кола з індексом a_1 . Для кожної установки круга отримують різниці $v_1 = 2(a - a_1)$.

При визначенні ексцентриситету горизонтального круга в теодолітів типа Т2 замість індексу використовують штрих вертикального круга, видимий після повороту перемикальної призми на 45° . Відлік для всіх установок круга роблять рівним $5'00''$. Формула в цьому випадку набирає вигляду $v_1 = 4(a - a_1)$.

Ексцентриситет горизонтального кола теодолітів типів Т5, Т15 і Т30 визначають по зміні горизонтального кута, близького до 180° , що задається установками φ та $\varphi + 180^\circ$ алідади при відліку φ по кругу.

Положення алідади теодоліта фіксують двома коліматорами, встановленими на одній прямій з теодолітом.

В цьому випадку

$$v_1 = \beta_\varphi - \frac{1}{n} \sum_1^n \beta_\varphi,$$

де β_φ - значення кута на установці φ кола; n - число установок кола.

Ексцентриситет горизонтального кола теодолітів типів Т5 та Т15 допускається визначати по зміні подвійній погрішності колімації, вимірюваній на різних установках горизонтального кола, $v_1 = 2C = KL - KP$.

Число n приймають рівним 12 для теодолітів типів Т1 і Т2 і 8 - для останніх типів. При вибірковій перевірці в польових умовах допускається $n=6$.

Виміри проводять в межах одного звороту круга в прямому і зворотному ходах. Приклад визначення ексцентриситету горизонтального круга наведений в таблиці 1.3.

9. Визначення ексцентриситету вертикального кола

Виміри проводять у наступній послідовності:

а) наводять при «колі зліва» трубу перевіряє мого теодоліта Т на горизонтальну нитка коліматора K_1 та беруть відлік A_1 по вертикальному колу;

б) обертанням труби навколо горизонтальної вісі наводять її на горизонтальну нитка сітки коліматора K_2 та беруть відлік A_2 ;

в) операції у пунктах a та b , які складають один прийом, виконують не менше 6 раз при перевірці теодолітів типу Т30, чергуючи послідовність відліків A_1 та A_2 .

Таблиця 1.3 - Визначення ексцентриситету горизонтального кола

Дата: 15.10.2010 р.
Час: 10^h20^m-11^h30^m
t=+20,8^oC

Теодоліт Т2 №102125
a=5'00"
v=4*(a-a₁)

φ	Прямий хід		Зворотній хід		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"

$$v_1 = \frac{(v'_1 + v''_1)}{2}; \quad v_1^0 = v_0 + X \sin \varphi + Y \cos \varphi; \quad v_0 = \frac{\sum v_1}{12} = +26'';$$

$$X = \frac{\sum v_1 \sin \varphi}{n/2} = \frac{+42,4}{6} = +7,1''; \quad Y = \frac{-\sum v_1 \cos \varphi}{n/2} = \frac{-3,8}{6} = -0,6'';$$

$$\operatorname{tg} \varphi_e = \frac{-\sum v_1 \cos \varphi}{\sum v_1 \sin \varphi} = \frac{-3,8}{42,4} = -0,09; \quad \varepsilon_{\text{ек}} = \frac{1}{2} \sqrt{X^2 + Y^2} = 3,6'';$$

$$\varphi_e = 355^0; \quad e_{\text{ек}} = \frac{\varepsilon_{\text{ек}} R}{\rho} = \frac{3,6 \cdot 45000}{206265} = 0,76 \text{ мкм};$$

де R – радіус
горизонтального кола.

Максимальний вплив ексцентриситету вертикального кола знаходять за формулою

$$\varepsilon_{\text{макс}} = \frac{A_1 - A_2}{2 \cos \alpha},$$

де α – кут нахилу лінії візування.

Для довільного положення вертикального кола $\varepsilon_{\text{ек}} = \varepsilon_{\text{макс}} \cos \alpha$.

При визначенні $\varepsilon_{\text{ек}}$ у теодоліта типу Т30 по вертикальному колу не відлічують, а лише суміщають штрихи φ та φ+180⁰ з індексом; відліки А₁ та А₂ отримують по окулярному мікрометру коліimatorів після наведення на сітку теодоліта Т30. Коліатори заздалегідь встановлюють на одній оптичній вісі.

Приклад визначення максимального впливу ексцентриситету вертикального кола $\varepsilon_{\text{ек}}$ наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Визначення максимального впливу ексцентриситету вертикального кола $\varepsilon_{ек}$

Дата: 17.10.2010 р.
Час: 14^h45^m-15^h30^m
t=+22,5^oC

Теодоліт Т15 №300803
Коліматор 1 (АК-0,25) №67241
Коліматор 2 (АК-0,25) №67242
 $\alpha=0^{\circ}16'$

Номер прийому	Відліки по вертикальному колу		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'

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

$$v = \varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\max_{cp}}; \quad \sum v^2 = 0,0134;$$

$$\varepsilon_{ек} = \varepsilon_{\max} \cos \alpha = -13'' \cos \alpha;$$

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

10. Перевірка зсуву візирної вісі при перефокусуванні.

Для перевірки зсуву візирної вісі при перефокусуванні зорову трубу теодоліта, відфокусовану на нескінченність, наводять на сітку коліматора. При перефокусуванні труби обертанням головки фокусуєчого пристрою по ходу та проти ходу годинникової стрілки спостерігають за положенням зображення сітки.

Зсув зображення сітки не повинно перевищувати подвійної товщини штриха сітки зорової труби.

В польових умовах замість коліматора допускається в якості об'єкта спостережень використовувати лінійку з міліметровими поділами, яку встановлюють горизонтально на відстані 10-30 м від теодоліта. Похибка за хитавицю фокусуєчого пристрою одержують за формулою:

$$\delta_{фок} = \frac{(a_2 - a_1)}{2S} \rho,$$

де a_1, a_2 – відліки за шкалою відносно вертикальної нитки сітки при перефокусуванні труби;

S – відстань від теодоліта до шкали;

$\rho=206265''$.

Похибку за перефокусування труби, пов'язану зі зміною відстані візування, необхідно визначати по коливаннях С або МО, які отримують при спостереженні марок, встановлених на різних відстанях від пристрою.

Марка (або інші об'єкти спостережень) для визначення значень С (або МО) повинні по можливості розташовуватися в одному створі та на одному горизонті (відхилення не більше 3^0).

Юстування нівеліра серії Н-3.

1.Перевірка круглого рівня.

Умова: вісь круглого рівня WW повинна бути паралельною до осі обертання ZZ приладу.

Обертанням підйомних гвинтів приводять бульбашку круглого рівня на середину (в нуль-пункт). Нівелір повертають на 180^0 . Якщо бульбашка рівня після повороту зміститься більше, ніж на 0.5 величини поділки шкали рівня, необхідно буде виконати виправлення.

Для виправлення переміщують бульбашку рівня до центра на половину дуги його відхилення обертанням підйомних гвинтів і точно виводять бульбашку в нуль-пункт черговим обертанням 3-х юстувальних гвинтів круглого рівня.

2.Перевірка сітки ниток.

Умова: горизонтальний штрих сітки повинен бути перпендикулярним до осі обертання ZZ, або вертикальний штрих паралельний осі ZZ (рис. 4).

У випадку якщо точка в полі зору труби зміщується з горизонтальної лінії сітки ниток, відгвинчують ковпачок окуляра нівеліра. Оправа з сіткою прикріплена 3-ма торцевими гвинтами. Злегка відкріплюють усі три гвинти та повертаючи оправу з сіткою ниток добиваються виконання умови. Після цього закріплюють спершу середній, верхній і нижній гвинти оправы з сіткою.

Після виправлення положення сітки ниток обов'язково перевіряємо і якщо необхідно виправляємо кут «і» нівеліра.

3.Перевірка паралельності візирної вісі до вісі циліндричного рівня.

Умова: візирна вісь VV приладу повинна бути паралельною до осі LL циліндричного рівня для нівеліра з циліндричним рівнем.

Якщо величина кута між осями перевищує $20''$, то встановлюємо горизонтальну нитку сітки при допомозі елеваційного гвинта на відлік $(l_2 + d_1/\rho'')$, де l_2 – відлік по рейці, мм; ρ'' - 206265.

Кут «і» беремо із його знаком. Суміщаємо, діючи виправними гвинтами рівня труби, зображення кінців бульбашки рівня. Виконуємо одним прийомом контрольне визначення кута «і».

Повторюємо виправлення поки кут «і» не стане менше $8''$.



Рисунок 1. – Нівелір Н-3.

4. Перевірка працездатності компенсатора нівеліра.

Перевірка працездатності компенсатора нівеліра повинна включати: визначення систематичної погрішності компенсації і діапазону роботи.

У польових умовах погрішність роботи компенсатора σ_k визначають таким чином. Нівелір розташовують в середині створу між двома рейками, встановленими по рівню і укріпленими за допомогою рейкоутримувачів. Спостереження виконують серіями, загальне число яких має бути не менше 5. Перед узяттям відліків по рейках осі нівеліра задають нахили I-V (рис. 2) підймальними гвинтами.

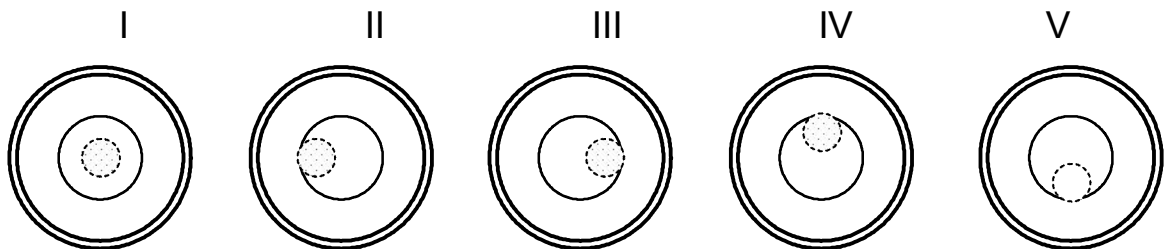


Рисунок 2 – Положення бульбашки круглого рівня при виконанні перевірки працездатності компенсатора

У кожній серії для кожного нахилу осі визначають перевищення по основній і додатковій шкалах рійок. В двосторонніх рійок - по чорній і червоній сторонам. Перед кожною серією змінюють висоту приладу. Для високоточних нівелірів перевірку виконують при відстанях між рейками 10, 50 м; для точних нівелірів - 10 і 75 м; для технічних - 100 м.

Систематичну погрішність компенсації σ_k на 1" нахилу осі нівеліра обчислюють за формулою

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

де h_v , h_0 - перевищення, отримане при нахилі осі нівеліра і при $v=0$,

Д - відстань до рейки.

Приклад перевірки якості роботи компенсатора нівеліра в польових умовах наведено в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 - Приклад перевірки якості роботи компенсатора нівеліра

Дата: 24.05.2010 р.

Нівелір Ni 007 N 14567

t = + 11,5°C

Д = 50,0 м

Номер серії вимірювань	Виміряне перевищення h, мм				
	При положенні бульбашки в нуль-пункті	При подовжньому нахилі на кут		При поперечному нахилі на кут	
		+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
σк		-0,05"	+0,02"	-0,03"	+0,04"

5. Перевірка зсуву візирної вісі при перефокусуванні труби

Перевірку виконують на базисі, розбитому на рівній місцевості. Інтервал переміщення фокусуєної лінії від мінімальної відстані визування до нескінченості розділяють на 10 приблизно однакових частин.

По найкращій видимості для кожного положення фокусуєної лінії визначають положення точок на базисі. Точки закріплюють нівелірними милицями або колами з угвинченими в них шурупами зі сферичною голівкою. Контрольні перевищення визначають нівелювання високоточним приладом в прямому та зворотному напрямках перед та після вимірів перевіряє мого нівеліра. При нівелюванні дотримують рівність плечей, довжина візуючого плеча повинна бути не більша 15 м. Розбіжність перевищень в прямому та зворотному напрямках не більша 0,3 мм.

Перевіряємий нівелір встановлюють у віддаленні найменшої відстані визування від точки 1 та способом нівелювання вперед нівелюють всі точки базису в прямому та зворотному напрямках. Змінюють горизонт прилада та повторюють виміри.

Перевищення обчислюють відносно першої точки базису. В обчислені перевищення повинні бути введені поправки за кут i , кривизну Землі та рефракцію, якщо відстань від нівеліра до рейки більша 30 м.

Кут i визначають за формулою:

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

де h_0 – перевищення між останньою та передостанньою точками базису, визначене високоточним нівеліром;

P_n та P_{n-1} – поправки за кривизну Землі та рефракцію у відліки;

l_n та l_{n-1} – відліки по рейкам;

s_n та s_{n-1} – відстані від нівеліра до точок.

Значення поправок P для відстаней, кратних 10 м:

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

Значення похибок перевищень визначають як різницю перевищень високоточного нівелювання та отриманих нівеліром, який перевіряють.

Величини v , які характеризують зсув візирної вісі при перефокуванні труби, не повинні перевищувати 1 мм.

6. Визначення похибки виміру перевищення на станції.

Перевірку виробляють багатократним виміром перевищення між двома точками на місцевості способом нівелювання з середини. Виміри проводять по двом шкалам рейок при довжині візирного променя 100 м. Точки установки рейок закріплюють нівелірними милицями або колами з угвинченими в них шурупами зі сферичною голівкою. Рейки в процесі виміру повинні зберігати незмінне вертикальне положення. Нівелір встановлюють в створі між рейками на рівних відстанях від них, приводять в робоче положення, і десятьма прийомами вимірюють перевищення між рейками, що складає одну серію вимірів. Число серій має бути не менше п'яти. Горизонт нівеліра змінюють перед кожним прийомом і при переході до нової серії.

Середню квадратичну похибку перевищення на станції для i -тої серії обчислюють за формулою:

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \text{ або } m_i = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}},$$

де n – кількість прийомів в одній серії;

v_i – відхилення вимірних перевищень від середнього арифметичного в i -й серії;

Δ_i – відхилення вимірних перевищень від контрольного значення, отриманого більш точним нівеліром.

Остаточно середню квадратичну похибку визначення перевищення на станції обчислюють за формулою:

$$m_{cm} = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_k^2}{k}},$$

де k – кількість серій.

Перевірка нівелірних рейок

1 Зовнішній огляд.

При зовнішньому огляді рейок звертають увагу на якість фарбування штрихів і оцифровки рейок, а так само на рівномірність і чистоту барвистих покриттів. На робочій поверхні рейок не повинне бути більших плям, подряпин і відшаровування фарби, що утрудняють взяття відліків по рейці. Кріплення ручок, круглого рівня й пяток рейок повинне бути надійним. Між корпусом і п'ятою рейки не повинне бути щілин. В інварних рейок перевіряють натяг інварної смуги. По експлуатаційній документації перевіряють наявність приналежностей у комплекті рейок.

При випробуванні перевіряють працездатність і надійність фіксації фурнітури складних рейок.

2. Перевірка правильності установки круглого рівня на рейці.

Правильність установки круглого рівня на рейці перевіряють за допомогою вертикальної нитки сітки труби нівеліра або теодоліта.

Рейку встановлюють на відстані 30-50 м від нівеліра. Приводять вертикальну вісь приладу в прямовисне положення за допомогою рівня і по команді спостерігача встановлюють рейку так, щоб її ребро точно співпадало з вертикальною ниткою сітки. Юстувальними гвинтами круглого рівня, встановленого на рейці, приводять бульбашку на середину ампули. Після цього повертають рейку на 90° і повторюють перевірку. Під час перевірки рейку слід підтримувати за допомогою рейкоутримувача штатива або притулити її до якого-небудь предмета (стовпу, огорожі).

Дерев'яні рейки допускається перевіряти по схилу, підвішеному за допомогою укріпленого на рейці кронштейна.

3 Контрольне визначення довжин метрових інтервалів рейки в польових умовах роблять за допомогою контрольної лінійки.

При дослідженні дерев'яних рейок краю шашкових ділень, по яких робитимуть відлік, відмічають тонкими штрихами за допомогою металевої лінійки і гостро вигостреного олівця. Досліджувану дерев'яну рейку кладуть горизонтально. Інтервали шкали 1-10, 10-20, 20-29, 48-57, 57-67 і 67-76 вимірюють спочатку в прямому, а потім у зворотному напрямі. При зворотних вимірах контрольну лінійку повертають на 180° . Вимір складається з двократного відліку по кінцях метрового інтервалу за

допомогою контрольної лінійки. Спочатку відлічують по лівому кінцю, а потім – по правому. Перед іншим виміром інтервалу лінійку трохи зрушують. Різниці відліків по правому і лівому кінцям контрольної лінійки на шкірному інтервалі не повинні розрізнятися між собою більш ніж на 0,10 мм. Якщо були отримані великі розбіжності, то контрольну лінійку зрушують ще разів і повторюють виміри. Грубі відліки викреслюють, а з тихий, що залишилися беруть середнє. Перед початком і у кінці вимірів кожної сторони рейки вимірюють і записують температуру контрольної лінійки. У таблиці 1.6 наведений приклад компарування дерев'яної рейки.

Таблиця 1.6 – Компарування дерев'яної рейки

Рейка N 2342, чорна сторона

Контрольна лінійка N 0721

Дата: 12.09.2010 р.

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

Інтервал рейки	Відлік по лінійці, мм			(П-Л) ср, мм	Поправка за довжину контрольної лінійки та температуру, мм	Довжина інтервалу рейки, мм
$t = +8,6^{\circ}\text{C}$						
01-10	0	900,14	900,14			
	0,44	900,54	900,1	900,12	-0,11	900,01
10-20	0,1	1000,24	1000,14			
	0,36	1000,55	1000,19	1000,16	-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	1000,64	1000,14	1000,12	-0,12	1000
10-01	0,12	900,22	900,1			
	1,36	901,48	500,12	900,11	-0,11	900
$t = +8,7^{\circ}\text{C}$						
Σ	3,68	11204,49	11200,81	5600,4	-0,68	5599,72

Середня довжина метрового інтервалу рейки N 2342 по чорній стороні рівна $5599,72/5,6=999,95$ мм.

4 Перевірка різниці висот нулів чорної і червоної сторін дерев'яних рейок або основною і додатковою шкал інварних рейок.

Різниця висот нулів чорної і червоної сторін дерев'яних рейок або основною і додатковою шкал інварних рейок визначають таким чином:

У 20-30 м від нівеліра забивають милицю (кілок з цвяхом) або встановлюють нівелірний черевик. Встановлюють на нього рейку і беруть послідовно відліки по різних її шкалах. Різниця відліків визначає значення різниці висот нулів шкал (сторін). Всього роблять три прийоми, між

прийомами змінюють горизонт нівеліра на довільну висоту. За остаточне значення різниці висот нулів приймають середнє арифметичне з трьох прийомів.

5 Визначення прогину рейки.

Для визначення прогину корпусу рейки, останню укладають бічним ребром на рівну поверхню і між її кінцями натягують нитку. Лінійкою з міліметровими діленнями вимірюють відстані a_1 , a_2 і a_3 від нитки до площини шкали на краях і в середній частині рейки. Стрілку прогину корпусу рейки характеризують значенням різниці $[a_2 - (a_1 + a_3) / 2]$, вираженим в міліметрах.

Зміст звіту

1. Короткий опис послідовності виконання роботи.
2. Відомості обчислень.
3. Висновки по приладам.

Питання для самоперевірки

1. Перевірки теодоліта серії Т-5.
2. Перевірки нівеліра серії Н-3.
3. Перевірки нівелірних рейок.

Лабораторна робота 2. Аналітичне проектування траси тунелю.

Зміст роботи

1. Обчислити елементи кругової кривої по розбивним осям.
2. Виконати розрахунок пікетажу тунелів на кривій по розбивним осям.
3. Обчислити координати основних точок на лініях тангенсів лівого тунелю.
4. Обчислити координати пікетів, розташованих на кривій ділянці розбивної вісі лівого тунелю, двома способами:
 - через центральні кути;
 - по стягуючим хордам.
5. Розрахувати елементи перехідних кривих.
6. Визначити пікетажні значення початку і кінця перехідних кривих і координати початку перехідних кривих.
7. Обчислити координати кінців перехідних кривих на вісі пут і на вісі тунелю.
8. Обчислити елементи кругової кривої по вісі лівого тунелю.
9. Розрахувати необхідні елементи для виносу в натуру перехідних кривих.
10. Обчислити координати кінців січних для розбивки в натурі осі лівого тунелю.

Вихідні дані

1. Схема ділянки транспортного тунелю (рис. 2.1).
2. Відстані між осями лівого і правого тунелів D .
3. Кут повороту траси тунелю Q .
4. Радіус кривої R .
5. Пікетажне значення початку кругової кривої (ПКК) правого тунелю.
6. Дирекційний кут прямої ділянки лівого тунелю $\alpha_{ПКК\ 322 - ВУ}$.
7. Координати пікету 322 на осі лівого тунелю.
8. Довжина перехідної кривої L .
9. Швидкість руху потягів V .
10. Максимальна величина стрілки вигину f_0 .

Таблиця 2.1 - Дані для обчислювання завдання

N вар		D, М	Q, м	R, м	П< 322 + Н к к	п< 321- ВУ	У п< 321	Х п< 321	L, м	V, км
1	а	30.0	22° 20' 22"	900	П< 322+25.250 + 21.210	212° 21' 12"	-6123.123	3098.098	40	50
	б	28.5	26° 06' 14"	780						
2	а	28.5	21° 42' 02"	820	+45.450 +40.400	342° 34' 42"	-6345.345	3876.876	36	46
	б	25.4	25° 16' 12"	720						
3	а	30.0	20° 52' 12"	860	+43.430 +65.650	24° 02' 24"	-6567.567	3654.654	38	48
	б	28.5	19° 16' 52"	800						
4	а	25.4	26° 28' 48"	740	+30.300 +60.600	229° 22' 29"	-6789.789	3123.123	32	42
	б	30.0	18° 40' 28"	880						
5	а	30.0	21° 00' 10"	840	+46.460 +64.640	161° 16' 51"	-6012.012	3345.345	38	47
	б	30.0	17° 25' 54"	890						
6	а	28.5	23° 48' 56"	780	+38.380 +62.620	333° 34' 43"	-6232.212	3567.567	34	44
	б	28.5	19° 09' 10"	810						
7	а	28.5	23° 23' 46"	770	+41.410 +60.260	183° 18' 03"	-6452.412	3789.789	34	43
	б	30.0	19° 02' 02"	840						
8	а	30.0	21° 21' 42"	890	+31.310 +23.230	261° 21' 26"	-6672.612	3334.334	40	49
	б	25.4	28° 12' 24"	720						
9	а	30.0	21° 06' 26"	860	+40.040 +48.080	221° 22' 22"	-6892.812	3545.545	38	48
	б	25.4	23° 23' 46"	740						
10	а	28.5	22° 42' 12"	790	+36.360 +42.420	311° 11' 33"	-6045.045	3767.767	36	44
	б	30.0	20° 02' 20"	900						
11	а	28.5	22° 31' 12"	760	+50.050 +49.490	328° 32' 28"	-6255.245	3989.989	34	43
	б	30.0	19° 42' 18"	880						
12	а	28.5	21° 12' 42"	820	+48.480 +53.530	287° 28' 27"	-6475.445	3556.556	36	46
	б	30.0	18° 51' 14"	870						
13	а	25.4	30° 03' 32"	700	+16.160 +33.330	81° 18' 11"	-6695.645	3778.778	30	40
	б	28.5	25° 25' 00"	760						
14	а	28.5	23° 26' 52"	800	+34.340 +61.610	356° 35' 36"	-6835.845	3990.990	36	45
	б	25.4	22° 00' 44"	710						
15	а	28.5	20° 58' 58"	780	+63.630 +58.580	33° 33' 33"	-6067.067	3772.772	34	44
	б	30.0	19° 19' 18"	850						

Коля а = 1,6 м. Висота центра ваги вагона В =1,85 т. Максимальна величина стрілки прогину $f_0 = 0,1$ м.

Основні теоретичні положення

Основним документом для геодезичних розбивних робіт при будівництві тунелів є план і профіль траси.

Для перенесення проекту тунелю в натуру недостатньо числових даних, показуваних на плані і профілі траси, а також на робочих кресленнях. Так, для детальної розбивки кривих у плані необхідно мати координати точок, що знаходяться на кривій, тоді як на проектному плані траси даються координати тільки початку і кінця кривої. Отже, геодезичним роботам у підземних виробках повинні передувати детальні геодезичні розрахунки.

Для здійснення розбивних і обчислювальних робіт при спорудженні тунелів на закругленнях прийнято користуватися трьома осями траси (рис. 2.1):

- розбивна вісь з радіусом R ;
- вісь путі з радіусом $R-p$;
- вісь тунелю з радіусом $R-p-q$.

Вісь траси тунелю, що складається з прямих ділянок і кругових кривих, називається розбивною.

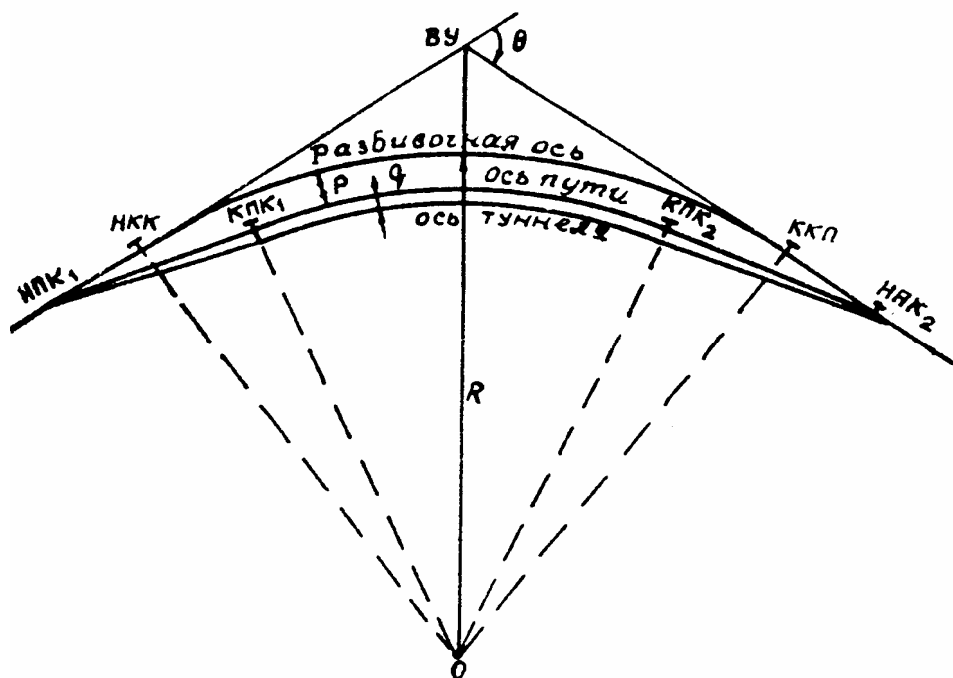


Рисунок 2.1 – Розбивна вісь

При будівництві метрополітенів і транспортних тунелів для створення плавного переходу з прямої ділянки на кругову криву і назад при радіусах кругових кривих менш 1500 м застосовують перехідні криві. У результаті вписування перехідних кривих кругова зміщається до центра на величину p , що обчислюється по формулах

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

де L – довжина перехідної кривої; R – радіус кругової кривої; $c = LR$ – параметри перехідної кривої.

Вісь траси, що включає прямі відрізки, перехідні і зсунені криві, називається віссю путі.

Для зрівноважування відцентрової сили, що виникає при русі вагона по ділянці кругової кривої, зовнішню рейку укладають вище зовнішнього на величину h . Це викликає нахил вагона і зсув його центра до центра кривої.

Горизонтальне положення цього зсуву визначається формулою

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

де b – висота центра ваги вагона над голівками рейок; a - відстань між осями рейок (у тунелях метрополітенів $b=1,85$ м чи $1,70$ м, а $a=1,6$ м),
Величина підвищення h в мм, обчислюється по формулі

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

де V – швидкість руху потягів в км/год;

R – радіус кругової кривої в м.

Підвищення зовнішньої рейки над внутрішнім здійснюється не відразу, а поступово протягом усієї перехідної кривої.

Довжини перехідних кривих розраховуються таким чином, щоб була можливість здійснити відвід підвищення чи зниження рейкових ниток з ухилом не крутіше $0,002$ для головних путів і $0,003$ – для службових путів. Інакше кажучи, повинні дотримуватися умови:

$$\text{для головних путів} \quad L \geq \frac{h}{2} : 2;$$

$$\text{для службових путів} \quad L \geq \frac{h}{2} : 3.$$

де L – довжина перехідної кривої в метрах; h – повне підвищення.

Тунелі метрополітену будують переважно одноколійними. Для руху потягів у прямому і зворотному напрямках споруджують два рівнобіжних тунелі з однаковими довжинами і радіусами кругових кривих (рис. 2.2). Відстані між осями тунелів $D=25,4$ м. На прямих ділянках траси однойменні пікети розташовують так, щоб лінія, яка їх з'єднувала, була перпендикулярна до вісі тунелів. На кругових кривих, на внутрішньому правому тунелі (рис. 2.2) вкладається менше число пікетів, внаслідок чого на прямій ділянці, розташованій за кривою, однойменні пікети правого і лівого путів не будуть знаходитися на одному перпендикулярі до осі путі. Для усунення цих незручностей вводять неправильні пікети, довжини яких більше чи менше 100 м.

Відхилення довжини неправильного пікету від 100 м обчислюють по формулі

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

де D – відстань між осями тунелів; Q – кут повороту траси.

Величину a вводять, як правило, в останній пікет зовнішнього (лівого) путі.

При перевірці основних проектних елементів траси обчислюють:

- елементи кругової кривої;
- координати основних точок кругової кривої (ПК, КК, ВУ) і пікетів, розташованих на кругових кривих розбивних осей;
- координати точок початку перехідних кривих;
- координати точок кінців перехідних кривих на осях путі і тунелю;
- довжину кругової кривої по вісі тунелю.

При аналітичній підготовці до перенесення кривих у натуру обчислюють координати точок, розташованих через визначений інтервал.

Для розбивки перехідних кривих застосовують спосіб прямокутних координат чи стягуючої хорди. Розрахунок ведуть для точок через 1-2 м.

Винесення тунелю в натуру на ділянках кругових кривих роблять по хордах чи січних. Для цього обчислюють координати кінців хорд чи січних.

Всі обчислення, як при перевірці проекту траси, так і при аналітичній підготовці для виносу в натуру повинні бути забезпечені надійним контролем (застосування контрольних формул, обчислення двома способами чи в дві руки та інше.). Усі кутові обчислення ведуть з утриманням $0,01$. Лінійні величини і координати обчислюють з точністю до 1 мм. При виконанні контрольних обчислень допускається розбіжність не більш $0,002$ м.

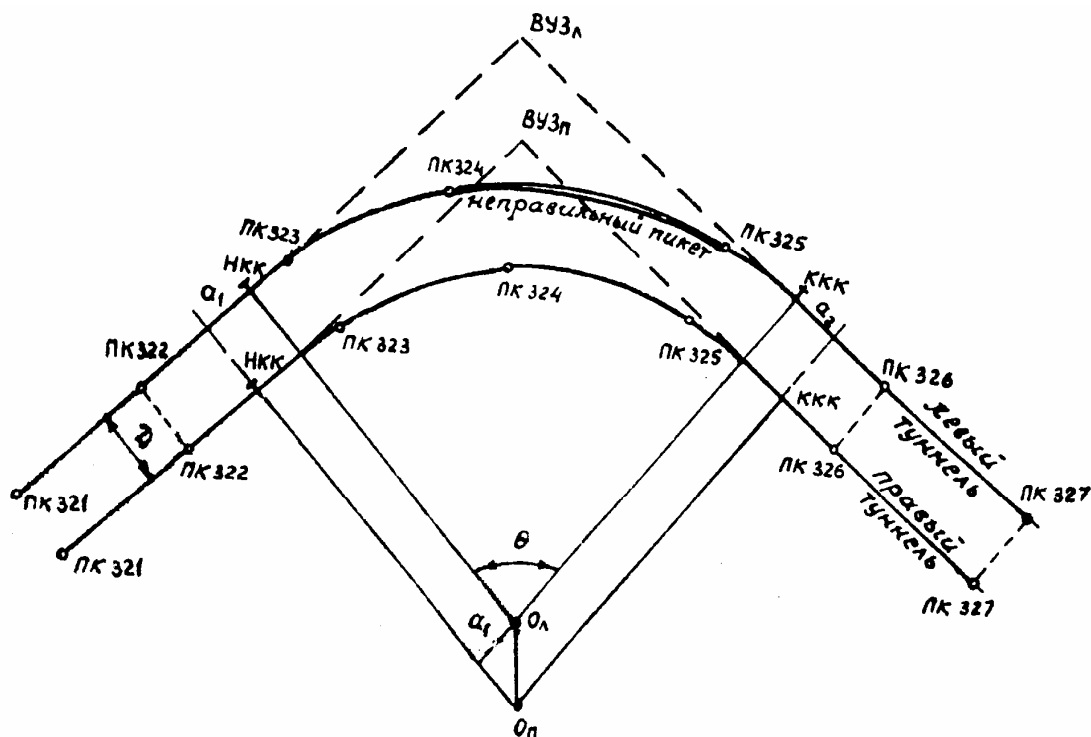


Рис 2.2 – Схема ділянки
Порядок виконання роботи

Розглянемо виконання роботи на ділянці, схема якої зображена на рис. 2.2, де:

- відстань між осями лівого і правого тунелів $D=28,5$ м;
- кут повороту траси тунелю $Q=23^{\circ}23'46''$;
- радіус кругової кривої $R=770$ м;
- пікетажне значення початку кругової кривої (ПКК) правого тунелю ПК322+ПКК +41,410;
- дирекційний кут прямої ділянки лівого $\alpha_{\text{ПК322-ВУ}}=183^{\circ}18'03''$;
- координати пікету 322 на вісі лівого тунелю
- $X_{\text{ПК322}}=3789,789$ м; $Y_{\text{ПК322}}=-6452,412$ м;
- довжина перехідної кривої $L=34$ м;
- швидкість руху потягів $V=43$ км/год;
- максимальна величина стрілки прогину $f_0=0,1$ м;
- колія $a=1,6$ м;
- висота центра ваги вагона $v=1,85$ м.

1. Обчислюють основні елементи кривих:

- тангенс

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

- довжину кругової кривої

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

- зрушення

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

- величину підвищення зовнішньої рейки h по формулі (2.3)

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

- зсув вісі тунелю щодо вісі путі по формулі (2.2)

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

- відхилення довжини неправильного пікету від 100м по формулі (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. Визначають пікетаж ПКК і ККК тунелю по розбивним осям:

а) для правого тунелю знаходять пікетажне значення кінця кругової кривої

$$ПК \ ККК_{\Pi} = ПК \ ПКК_{\Pi} + K,$$

$$ПК \ ККК_{\Pi} = (ПК322 + 41,41) + 314,42 = ПК325 + 55,83;$$

б) для лівого тунелю спочатку визначають пікетажне значення початку кругової кривої

$$ПК \ ПКК_{\Pi} = ПК \ ПКК_{\Pi} + a_1,$$

$$ПК \ ПКК_{\Pi} = (ПК322 + 41,41) + 5,9 = ПК322 + 47,31,$$

а потім пікетажне значення кінця кругової кривої

$$ПК \ ККК_{\Pi} = ПК \ ПКК_{\Pi} + k - a,$$

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

в) для контролю обчислюють величину

$$a_2 = ПК \ ККК_{\Pi} - ПК \ ККК_{\Pi},$$

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

3. Обчислюють координати пікетів, розташованих на прямих ділянках розбивної вісі, і координати ПКК, ВУ, ККК лівого тунелю. Для цього використовують дирекційні кути ліній тангенсів, відстані між пікетами, відстані від пікетів до ПКК і ККК, а також значення тангенсів. Дирекційний кут тангенса за вершиною кута повороту визначають по формулі

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

де Q_{Π} і Q_{Π} - відповідно правий і лівий кут повороту.

Обчислення координат приведені в таблиці 2.2.

Контроль обчислень координат може бути виконаний за наступними формулами (рис. 2.3):

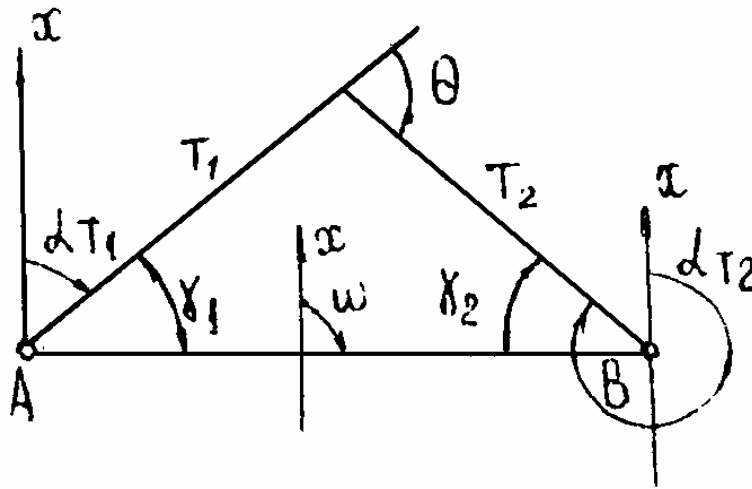


Рис. 2.3 - Контроль обчислень координат

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

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

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

$$\gamma_2 = \alpha_{T_1} - \omega; \quad (2.9)$$

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

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

Таблиця 2.2 - Обчислення координат

Номер точки	Кути повороту (ліві)	Дирекційні кути	Довжини ліній, м	Приріст координат, м		Координати, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
ПК 321						-6452.412	3789.789
ПК 322	180°00'00"	183°18'03"	100,00	-99.834	-5.458	-6552.246	3784.031
		183°18'03"	49.93	-49.847	-2.875		
$\frac{ПКК}{ПК322 + 49,93}$	180°00'00"					-6602.093	3781.156
		183°18'03"	159,43	-159.166	-9.180		
$\frac{БК}{Злев}$	203°23'46"					-6761.259	3771.976
		206°41'49"	159,43	-142.434	-71.627		
$\frac{ККК}{ПК325 + 55,83}$	180°00'00"					-6903.693	3700.349
		206°41'49"	55,83	-49.878	-25.083		
ПК 326	180°00'00"	206°41'49"	100,00	-89.340	-44.927	-6953.571	3675.266
ПК 327		206°41'49"				-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. Обчислюють координати пікетів, розташованих на кривій ділянці розбивної вісі лівого тунелю, двома способами: через центральні кути і по стягуючим хордам.

Центральні кути обчислюють по формулі

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

де k_i - довжина дуг, що відповідають центральним кутам, що визначаються по кривих між початком кривих, цілими пікетами і кінцями кривих. Зазначені довжини підраховують за пікетажним значенням точок з урахуванням довжин неправильних пікетів. Обчислення центральних кутів приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Обчислення центральних кутів

Дуга	Довжина дуги k_i , м	γ_i , с	γ_i	Позначка центральних кутів
ПКК-ПК323	52.69	14114.419	3°55'14'',42	γ_1
ПК323-ПК324	100	26787.66	7°26'27'',66	$\gamma_{п}$
ПК324-ПК325	111.8	29948.61	8°19'08'',61	$\gamma_{пн}$
ПК325-ККК	49.93	13375.080	3°42'55'',08	γ_2
	$\sum k_i = 314.42$		$\sum \gamma_i = 23^{\circ}23'46''$	

Обчислені значення довжин дуг і центральних кутів перевіряють по формулах

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

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

де γ_1 - центральний кут між радіусами, проведеними через точку ПКК і перший пікет, що лежить на кривій; γ_2 - центральний кут між радіусами, проведеними через останній пікет, що лежить на кривій, і точку ККК; γ_n - центральний кут, що відповідає нормальному пікету; γ_{nn} - центральний кут, що відповідає неправильному пікету; k_1, k_2, k_n, k_{nn} - довжини дуг, що відповідають центральним кутам; n - число нормальних пікетів; Q - кут повороту траси; k - довжина всієї кругової кривої.

Координати пікетів обчислюють через центр кривої - точку O . Для цього спочатку знаходять координати центра кривої:

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

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

Потім для контролю знаходять координати ККК. Приклад обчислення приведений у табл. 2.3.

Дирекційні кути напрямків на пікети кривої з центра O визначають від відомого дирекційного кута лінії O -ПКК шляхом додавання відповідного центрального кута γ . По цим дирекційним кутам і радіусу знаходять приріст координат щодо центра кривої (табл. 2.4).

Для обчислення координат по стягуючим хордам необхідно знати довжини хорд і їх дирекційні кути.

Довжину хорди b обчислюють по формулах:

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

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

Кути повороту (ліві) знаходять по формулах:

у точці ПКК	$180^\circ + \gamma_1 / 2;$
у точці ПК 323	$180^\circ + \gamma_1 / 2 + \gamma_n / 2;$
у точці ПК 324	$180^\circ + \gamma_n / 2 + \gamma_{nn} / 2;$
у точці ПК 325	$180^\circ + \gamma_{nn} / 2 + \gamma_2 / 2;$
у точці ККК	$180^\circ + \gamma_2 / 2.$

Таблиця 2.4 - Знаходження приросту координат щодо центра кривої

Номер точки	Кути повороту (ліві)	Дирекційні кути	Довжини ліній, м	Приріст координат, м		Координати, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
ПК 322		183°18'03"		Обчислення координат центра кривої 3 по лівому путі			
$\frac{ПКК}{ПК322 + 49,93}$	270°00'00"					-6602.093	3781.156
ОЗЛІВ	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"					
ОЗЛІВ				Обчислення координат пікетів на круговій кривій через центральні кути			
ПК 323	3°55'14",42	93°18'03"	770,00	-96.793	763.892	-6557.758	3012.433
ПК 324	7°26'27",66	97°13'17",4	770,00	-194.906	744.924	-6654.685	3776.325
ПК 325	8°19'08",61	104°39'45"	770,00	-194.906	744.924	-6849.591	4521.249
ККК	3°42'55",08	112°58'54"	770,00	-300.636	708.885	7550.227	5230.134
		116°41'49"	770,00	-345.939	687.914	-7496.166	5918.048

Обчислення кутів повороту і довжин хорд приведені в табл. 2.5, а координат пікетів по стягуючим хордам - у табл. 2.6.

Таблиця 2.5 - Обчислення кутів повороту і довжин хорд

Номер точки	Довжина дуги кривої, м	$\Delta\epsilon = \frac{k_i^3}{24 \cdot R^2}$	$\epsilon = k + \Delta\epsilon$	γ_i	Кути повороту (ліві)
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. Складають геометричну схему траси.

Геометричну схему траси звичайно складають в масштабі 1:1000. На схему виносять усі дані, отримані в процесі обчислення, причому дані, що відносяться до правого тунелю, записують із правої сторони вісі міжколії, а до лівого тунелю - ліворуч від міжколії. Приклад геометричної схеми показаний на рис. 2.4.

6. Обчислюють елементи перехідних кривих (рис.2.5), приймаючи лінію тангенсів за вісь ox :

$$t_1 = \frac{L}{2} \cdot \left(1 + \frac{L^2}{30 \cdot R^2} \right) = \frac{L}{2} + \frac{L^3}{60 \cdot C^2}; \quad (2.19)$$

$$t_2 = \frac{L}{2} \cdot \left(1 - \frac{L^2}{12 \cdot R^2} \right) = \frac{L}{2} - \frac{L^3}{24 \cdot C^2}; \quad (2.20)$$

$$X_l = L \cdot \left(1 - \frac{L^2}{40 \cdot R^2} \right) = L - \frac{L^3}{40 \cdot C^2}; \quad (2.21)$$

$$Y_l = \frac{L^2}{6 \cdot R} \cdot \left(1 - \frac{L^2}{56 \cdot R^2} \right) = \frac{L^3}{6 \cdot C} - \frac{L^4}{336 \cdot C^3}; \quad (2.22)$$

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

Таблиця 2.6 - Обчислення координат пікетів по стягуючим хордам

Номер точки	Кути повороту (лівіе)	Дирекційні кути	Довжини ліній, м	Приріст координат, м		Координати, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
Обчислення координат пікетів на круговій кривій через стягуючі хорди							
ПК 322		183°18'03"					
$\frac{НКК}{ПК322 + 49,93}$	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		
$\frac{ККК}{ПК325 + 55,83}$	181°51'28"					-6903.696	3700.350
		26°41'49"					
ПК 326							

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

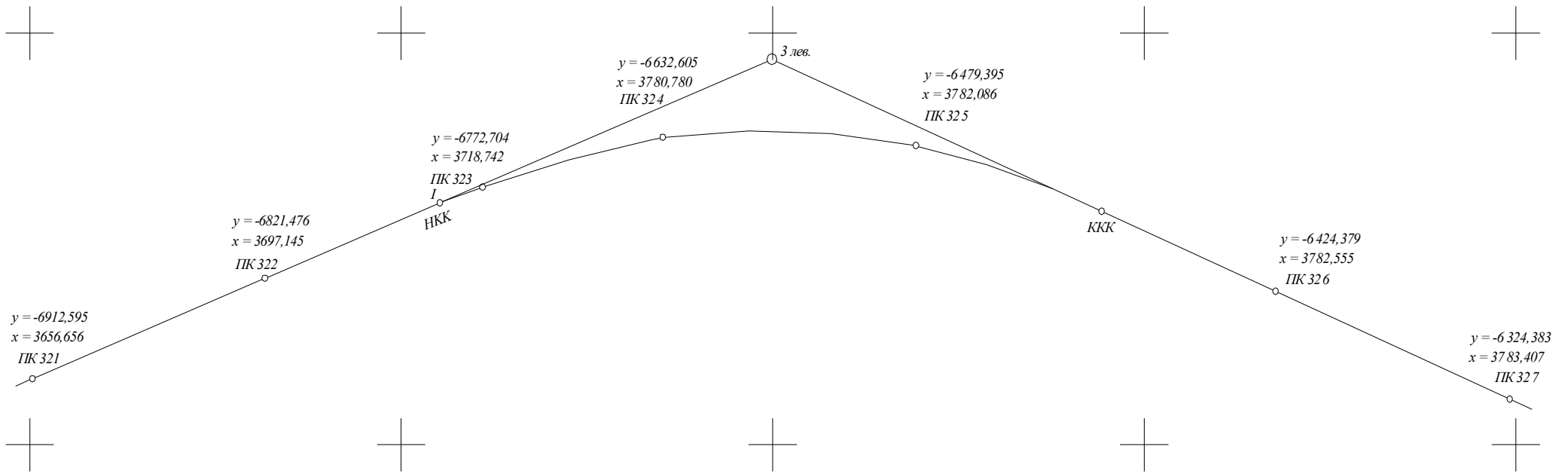


Рис. 2.4 - Приклад геометричної схеми траси (Масштаб 1:2000)

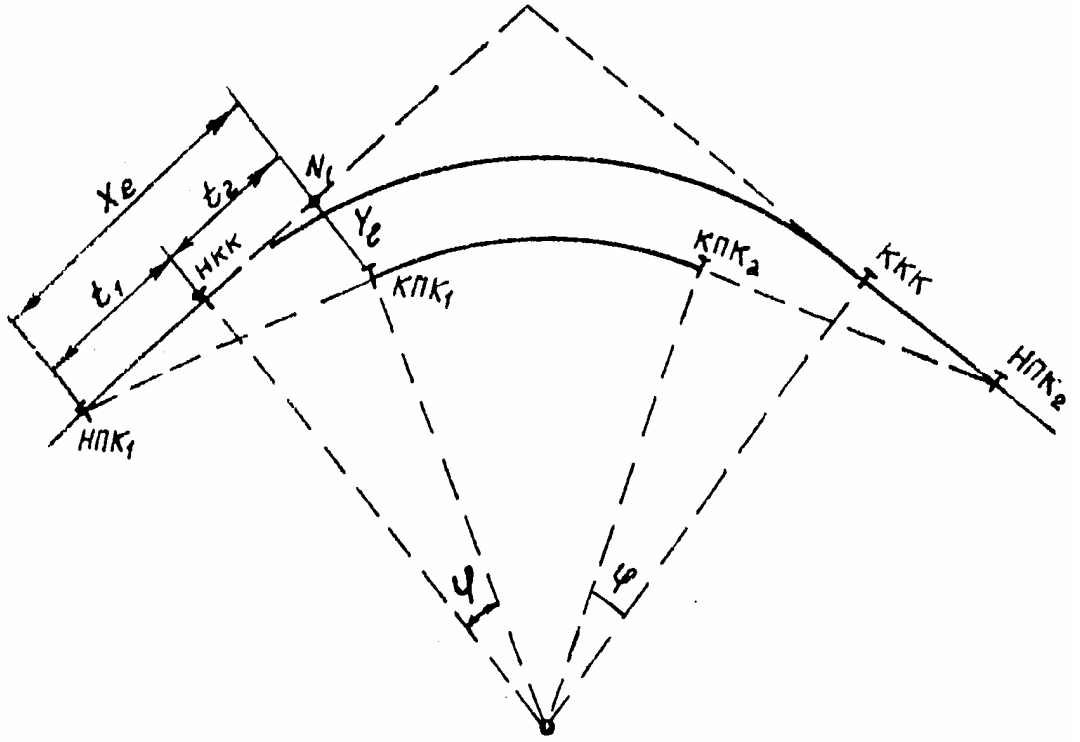


Рис. 2.5 - Схема элементов переходных кривых

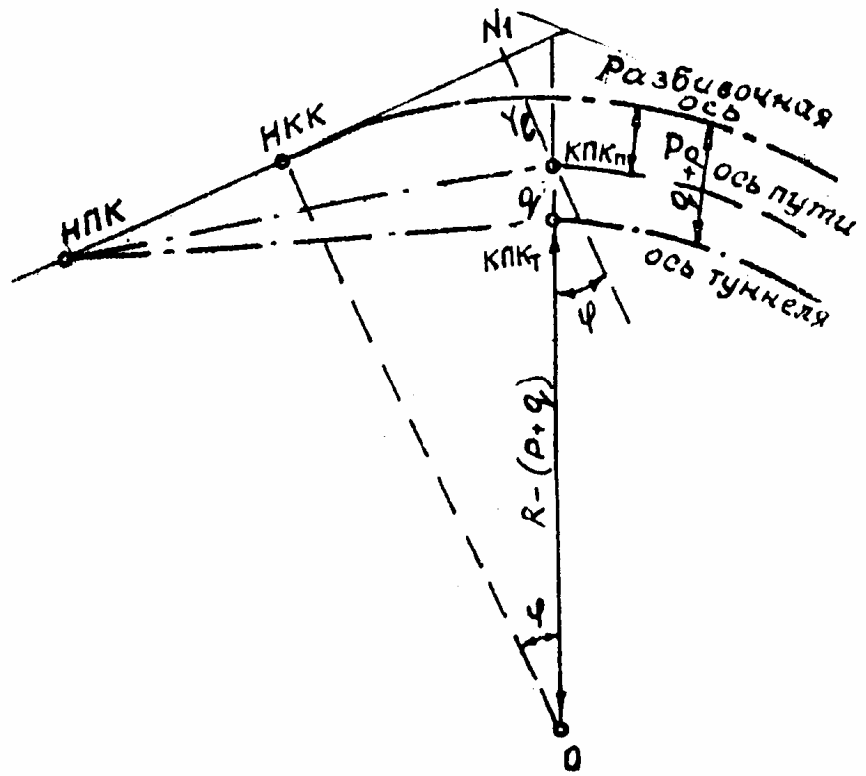


Рис. 2.6 – Перехідна крива

Для розглянутого прикладу зазначені величини будуть рівні

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

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

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

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

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

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

Контроль: $X_l = t_1 + t_2 = 33,998$;

7. Обчислюють пікетажні значення початку і кінця перехідних кривих від крапок ПКК і ККК:

$$\text{ПКК}_1 = \text{ПКК} - t_1 = \text{ПК322} + 41.41 - 17.001 = \text{ПК322} + 24.409;$$

$$\text{КПК}_1 = \text{ППК}_1 + L = \text{ПК322} + 24.409 + 34 = \text{ПК322} + 58.409;$$

$$\text{ПКК}_2 = \text{ККК} + t_1 = \text{ПК325} + 55.83 + 17,001 = \text{ПК325} + 72.831;$$

$$\text{КПК}_2 = \text{ППК}_1 - L = \text{ПК325} + 72.831 - 34 = \text{ПК325} + 38,831.$$

8. Обчислюють координати точок початку перехідних кривих. Для цього використовують пікетажні значення цих точок і відрізки t_1 . Приклад обчислення приведений у табл. 2.7.

9. Визначають координати кінців перехідних кривих. На перехідній кривій величина q , будучи пропорційною підвищенню h , зростає від нуля (на початку перехідної кривої) до своєї повної величини (наприкінці перехідної кривої). Тому координати кінця перехідної кривої необхідно обчислювати на осі тунелю (рис. 2.6).

Обчислення координат кінців перехідних кривих виконують двома способами: від лінії тангенсів і через центр кривої. У першому випадку використовуються величини Y_l , X_l , q , а в другому - радіус ($R - p - q$) і дирекційний кут напрямку О-КПК, обумовлений від напрямків О-ПКК чи О-ККК через кут φ . Обчислення для першої перехідної кривої приведені в табл. 2.8, а для другої - у табл. 2.9.

Таблиця 2.7 - Обчислення координат точок початку перехідних кривих

Номер точки	Кути повороту (ліві)	Дирекційні кути	Довжини ліній, м	Приріст координат, м		Координати, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
Обчислення координат начала першої перехідної кривої							
ПК 321		183°18'03"					
ПК 322	180°00'00"	183°18'03"	24,409	-24,369	-1,405	-6552,246	3784,031
$\frac{НПК_1}{ПК\ 322 + 24,409}$	180°00'00"	183°18'03"	17,001	-16,973	-0,979	-6576,615	3782,626
$\frac{НKK}{ПК\ 322 + 41,41}$						-6593,588	3781,647
Обчислення координат начала другої перехідної кривої							
ПК 327		26°41'49"					
ПК 326	180°00'00"	26°41'49"	27,169	24,273	12,206	-6955,571	3675,266
$\frac{НПК_2}{ПК\ 325 + 72,831}$	180°00'00"	26°41'49"	17,001	15,189	7,638	-6931,298	3687,372
$\frac{KKK}{ПК\ 325 + 49,95}$						-6916,109	3695,110

Таблиця 2.8 – Обчислення координат точок для першої перехідної кривої

Номер точки	Кути повороту (ліві)	Дирекційні кути	Довжини ліній, м	Приріст координат, м		Координати, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
Обчислення координат кінця перехідної кривої 1 от лінії тангенса							
ПК 322		183°18'03"					
$\frac{ППК_1}{ПК\ 322 + 24,409}$	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
$\frac{КПК_1 \text{ на вісі пугі}}{ПК\ 322 + 24,409}$	181°15'53",9	273°18'03"	0,250	0,014	-0,249	-6652,067	3778,025
$\frac{КПК_1 \text{ на вісі тунелю}}{ПК\ 322 + 41,41}$		274°33'57"	0,035	0,027	-0,034	-6652,04	3777,991
Обчислення координат КПК ₁ через центр кривої							
$\frac{ККК}{ПК\ 322 + 41,41}$		274°33'57"				-6557,758	3012,433
O _{з лев}	1°15'53",9	95°49'50",9	769,750	61,276	-767,307	-6496,482	2245,126
$\frac{КПК_1 \text{ на вісі тунелю}}{ПК\ 322 + 24,409}$							

Таблиця 2.9 - Обчислення координат точок для другої перехідної кривої

Номер точки	Кути повороту (ліві)	Дирекційні кути	Довжини ліній, м	Приріст координат, м		Координати, м	
				ΔX	ΔY	X	Y
Обчислення координат кінця перехідної кривої 2 от лінії тангенса							
ПК 326		26°41'49"					
$\frac{ППК_2}{ПК 325 + 72,831}$	180°00'00"					-6931,298	3687,472
		26°41'49"	75,591	67,533	-33,961		
N ₁	90°00'00"					-6863,765	3721,433
$\frac{КПК_2 \text{ на вісі пугі}}{ПК325 + 38,831}$	173°44'06",1	116°41'49"	0,250	-0,112	0,233		
		115°25'55"	0,035	-0,015	0,032		
$\frac{КПК_2 \text{ на вісі пугі}}{ПК325 + 38,831}$						6863,892	3721,688
Обчислення координат КПК ₂ через центр кривої							
$\frac{ККК}{ПК325 + 49,95}$		116°41'49"					
O _{з лів}	1°15'53",9		769,750	-345,827	687,691	-6955,571	3675,266
$\frac{КПК_2 \text{ на вісі тунелю}}{ПК325 + 38,831}$		117°57'43"				-7301,398	4362,957

10. Обчислюють дані для розбивки в натурі перехідної кривої. Розбивка перехідної кривої може бути виконана двома способами: від лінії тангенса чи від хорди, що стягує кінець і початок перехідної кривої.

При розбивці від лінії тангенсу поточні координати знаходять по спрощених формулах

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

де l_i - відстань до поточної точки i від початку перехідної кривої. Розрахунки виконують для точок через 1-2 м. Ці точки визначають положення осі путі.

Для переходу до осі тунелю необхідно до величин y_i , додати зсув осі тунелю від осі путі:

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

Строго кажучи, у величину q необхідно ввести виправлення за розбіжність напрямків перпендикулярів до лінії тангенсів і нормалей осі путі (рис. 2.7). Однак ці виправлення малі і їх практично не враховують. Тому

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

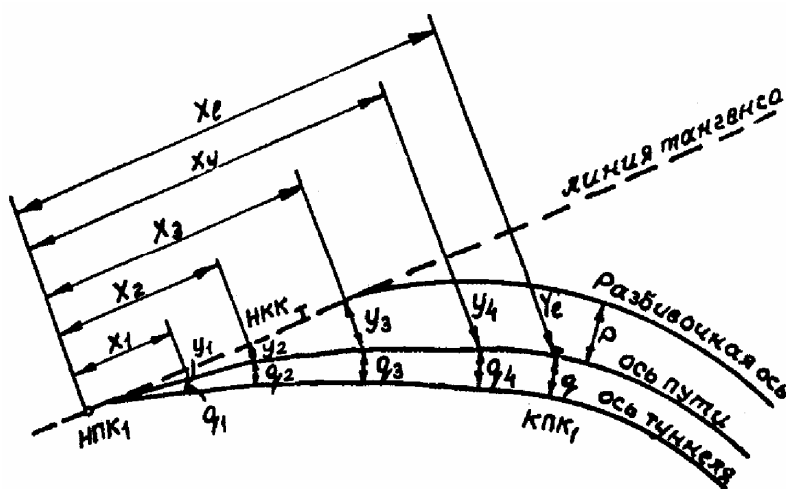


Рис. 2.7 – Вісь путі

Обчислення для розглянутого приклада приведені в табл. 2.10. Недоліком даного способу є те, що до кінця кривої величини y'_i стають значними. Це затрудняє відкладання їх у натурі і знижує точність розбивки.

Таблиця 2.10 – Приклад обчислення

l_i , м	y_i , мм	q_i , мм	y_i' , мм	$l_i \cdot \text{tg}\beta$, 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 розбивці перехідної кривої від стягуючої хорди обчислюють дирекційний кут хорди, використовуючи координати початку і кінця перехідної кривої по осі тунелю. З використанням цього кута і кута лінії дирекційного тангенсу знаходять розбивний кут β (рис. 2.8):

$$\text{tg}\alpha_{\text{нпк1}} - \text{КПК}_{\text{1т}} = \frac{3777,991 - 3782,626}{-6652,04 + 6576,615} = \frac{-4,635}{-75,425} = 0,0615;$$

$$\alpha_{\text{нпк1}} - \text{КПК}_{\text{1т}} = 183^\circ 31' 09'';$$

$$\beta = \alpha_{\text{нпк1}} - \text{КПК}_{\text{1т}} - \alpha_{\text{т1}} = 183^\circ 31' 09'' - 183^\circ 18' 03'' = 0^\circ 13' 06''.$$

Для контролю кут β визначають по формулі

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



Рис. 2.8 – Схема розбивного кута

Величина перпендикуляра від стягуючої хорди до будь-якої точки перехідної кривої на осі тунелю визначається за наступною наближеною формулою:

$$e_i = l_i \cdot \operatorname{tg} \beta - y_i \quad (2.27)$$

Приклад обчислення приведений у таблиці 2.10. Аналізуючи таблицю 2.10, неважко переконатися, що розбивка перехідної кривої від стягуючої хорди значно зручніше, ніж розбивка від лінії тангенсу, тому що в цьому випадку перпендикуляри значно менші.

11. Обчислюють елементи кругової кривої по осі лівого тунелю:

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

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

$$K_T = \frac{Q_T'' \cdot R_T}{\rho''} = \frac{75118'',2 \cdot 769.902}{206265} = 280,385 \text{ м}.$$

12. Обчислюють координати кінців січних для розбивки осі лівого тунелю:

а) визначають наближену довжину січної за умови $f_0=0,1$ м:

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

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

б) визначають наближене число всіх січних (повних і неповних):

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

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

в) установлюють число всіх січних шляхом округлення m' до найближчого більшого цілого числа – $m = 9$;

г) обчислюють довжину дуги відповідної повної січної:

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

д) знаходять довжину дуг, що відповідає довжині хорди K_B і неповній січній $K_{НС}$:

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

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

е) перевіряють правильність обчислення дуг, що відповідають повним і неповним січним:

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

де $n=m-2$ – число повних січних

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

ж) обчислюють центральні кути, що відповідають повній січній і хорді (рис. 2.9):

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

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

$$\gamma_C = \frac{32,217}{769,902} \cdot \rho'' = 2^\circ 23' 51''$$

$$\gamma_{HC} = \frac{27,384}{769,902} \cdot \rho'' = 2^\circ 02' 16''$$

$$\gamma_B = \frac{22,552}{769,902} \cdot \rho'' = 1^\circ 40' 42''$$

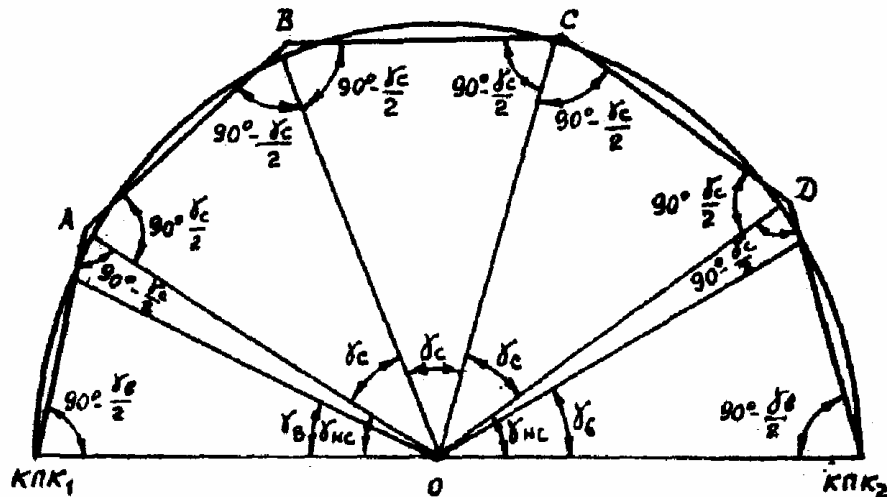


Рис . 2.9 – Схема січних хорд

з) проводять перевірку правильності обчислення кутів

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

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

и) визначають довжини повних і неповних січних

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

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

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

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

к) обчислюють кути повороту (праві) рис. 2.8 – при точках КПК1 і КПК2 на вісі тунелю:

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

між суміжними січними

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

л) обчислюють координати січних.

Зміст звіту

1. Короткий опис послідовності виконання роботи.
2. Відомості обчислень.
3. Геометрична схема траси в масштабі 1:2000 із указівкою координат пікетів тільки по лівому тунелю.
4. Схема обчислення координат кінців перехідних кривих.
5. Схема розбивки кривої по січним.

Питання для самоперевірки

1. Які вісі розрізняють при будівництві тунелів? Охарактеризуйте кожну з них.
2. Чим введено неправильне ведення пікетів?
3. Якими способами обчислюють координати пікетів на кривих?
4. Якими способами обчислюють координати кінців перехідних кривих?
5. Якими способами роблять розбивку перехідних кривих у натурі? Порівняйте способи.

Лабораторна робота 3.
Попередній розрахунок точності геометричних вимірів при будівництві тунелів.

Зміст роботи

Привести розрахунок точності геометричного обґрунтування, що забезпечує збіжку тунелів із заданою точністю.

Вихідні дані

1. Схема транспортного тунелю, що складається з двох прямолінійних ділянок.
2. Розмір максимальної величини збіжки для усіх варіантів приймається 100 мм.
3. Відстань між пунктами основної підземної полігонометрії – 100 м, між пунктами головної підземної полігонометрії – 200-300 м.

Варіант	AB, м	BC, м	m ₁	m _{2,m3}	m _{4,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 виконання роботи

Розрахунок точності геодезичних вимірів виконується при складанні проекту виробництва геодезичних робіт (ПВГР) і необхідний для попереднього розрахунку середніх квадратичних помилок окремих видів геодезичних робіт, що впливають на точність збійки тунелю.

Перед виконанням роботи студентам варто вивчити § 58-59 підручника [1] і § 15 монографії [4], схему геодезичного обґрунтування на поверхні, у підземних виробках і способи орієнтування.

Нижче розглянутий приклад виконання роботи зі схеми, показаної на рисунку 3.1.

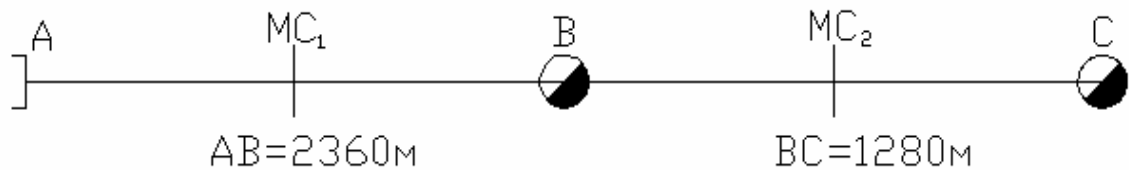


Рисунок 3.1 – Схема збійки

Ділянка АВ споруджується через портал А та вертикальний ствол У, а ділянка ВР – через два вертикальних ствола. Приймаємо, що збійка обох ділянок буде зроблена посередині між точками відкриття гірничих робіт. Розрахунок виконують для кожної ділянки окремо.

Роботу на ділянці АВ виконують у такій послідовності:

1. Визначають кількість помилок, що робить вплив на точність збійки:

m_1 – середня квадратична помилка геодезичного обґрунтування на поверхні;

m_2 – середня квадратична помилка орієнтування через ствол В:

m_4 – середня квадратична помилка підземної полігонометрії від порталу А до місця збійки МС₁;

m_5 – середня квадратична помилка підземної полігонометрії від ствола В до місця збійки МС₁.

Варто мати на увазі, що в даному конкретному випадку помилку m_3 не враховують, тому що проходка тунелю в точці А здійснюється через портал.

2. Визначають довжину одnobічної проходки.

Відстань від точки А до точки В складає 2360 м, довжина одnobічної проходки $l_1=1180$ м.

3. Обчислюють середні квадратичні помилки на різних стадіях геодезичного обґрунтування.

При довжині тунелів більш 1.5 км дану задачу вирішують послідовними наближеннями. Часто приймають наступне співвідношення помилок:

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

Тоді середня квадратична помилка збійки робочих осей зустрічних тунелів для розглянутого випадку

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

Величина m не повинна перевищувати $\Delta/2$, тобто 50 мм. Тоді $\mu=17,9$ 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. Знаходять середню квадратичну помилку орієнтування через ствол

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

При будівництві тунелів орієнтування виконують не менш трьох разів і беруть середній результат, тоді припустима помилка однократного орієнтування може бути в середньому прийнята рівної

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

Таку точність орієнтування можна забезпечити способами сполучного чи трикутника гіроскопічного орієнтування.

5. Обчислюють середню квадратичну помилку кутових вимірів підземної полігонометрії.

Поперечне зрушення кінцевого пункту неврівноваженого витягнутого ходу від ствола визначається по формулі

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

Для обчислень по цій формулі необхідно знати число сторін у ході – n . Спочатку розглядають основну підземну полігонометрію з довгої сторони 100 м. у тому випадку, коли основна полігонометрія при вимірі кутів із середньої квадратичною помилкою $m_\beta \geq 3''$ не забезпечує задану точність збійки, проектують головну підземну полігонометрію з великими сторонами. При цьому, як показує практика, не слід приймати $m_\beta < 2''$, тому що це в підземних умовах важко виконати.

Приймаючи для ділянки АВ $S=100$ м, $n=12$, $m_4=m_5=17,9$ мм, знаходять m''_β

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

Тому що в основній полігонометрії таку точність вимірів забезпечити не можна, проектують головну полігонометрію із середньою стороною $S=300$ м ($n=4$). У цьому випадку

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

тобто головна полігонометрія при $m_\beta=2''$ забезпечить необхідну точність збійки.

6. Розрахунок точності геодезичних вимірів для збійки між стволами В и С роблять у такій же послідовності як і в пп. 1...5, тому що орієнтування виконують через стволи двох шахт, необхідно враховувати і помилку m_3 . Довжина тунелю складає близько 1.5 км, тому можна прийняти принцип рівного впливу складових помилок, тобто

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

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

Виходячи з отриманої величини визначають середні квадратичні помилки орієнтування і виміру кутів у підземній полігонометрії. На підставі отриманих помилок необхідно вибрати спосіб орієнтування і довжини сторін підземної полігонометрії.

У висновках по роботі студентам необхідно узагальнити результати по обох ділянках.

Зміст звіту

1. Схема ділянки тунелю.
2. Розрахунок необхідної точності вимірів у підземній полігонометрії.
3. Вибір способу орієнтування підземної геодезичної основи.
4. Висновки по роботі

Питання для самоперевірки

1. Що таке збійка тунелів?
2. Які складові помилки впливають на точність збійки при спорудженні тунелю: через 2 вертикальних стволи; через ствол і портал, через 2 портали?
3. Що таке орієнтування підземної геодезичної основи?
4. Охарактеризуйте способи орієнтування з оцінкою їхньої точності.
5. Назвіть вид підземної полігонометрії.
6. Вкажіть вимоги до довжин сторін підземної полігонометрії і методиці кутових і лінійних вимірів.
7. Які дії застосовують для зменшення впливу на кутові виміри центрування і редукації?
8. У яких випадках по трасі тунелю проходять проміжну свердловину?

Лабораторна робота 4.

Обробка результатів вимірів, виконаних при орієнтуванні підземної геодезичної основи способом сполучного трикутника.

Зміст роботи

1. Виконати контроль і аналіз якості вимірів.
2. Провести рівняння сполучних трикутників.
3. Обчислити дирекційний кут приствольної сторони підземної полігонометрії і координати двох пунктів.
4. Розрахувати середню квадратичну помилку орієнтування.

Вихідні дані

1. Схема сполучних трикутників на поверхні і у шахті.
2. Вихідний дирекційний кут приствольної сторони на поверхні і координати одного з пунктів.
3. Довжини сторін сполучних трикутників на поверхні і у шахті, величини прилеглих кутів ω (ω_1) і кутів α (α_1) при трьох положеннях висків.
4. Відстань між точками приствольної сторони підземної полігонометрії.
5. Величини середніх квадратичних помилок вимірів сторін сполучних трикутників і кутів на поверхні і у підземних розробках

Вихідні дані необхідно взяти з приклада в методичних указівках, змінивши деякі дані відповідно до нижче приведеної таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані.

Варіант	Що змінити	На скільки
1,21	ω (I положення) і α	+1''
2,22	ω (I положення) і α	+2''
3,23	ω (I положення) і α	+3''
4,24	ω (I положення) і α	+4''
5,25	ω (I положення) і α	+5''
6,26	ω (I положення) і α	-1''
7,27	ω (I положення) і α	-2''
8,28	ω (I положення) і α	-3''
9,29	ω (I положення) і α	-4''
10,30	ω (I положення) і α	-5''
11	ω (I положення) і α	+1''
12	ω (I положення) і α	+2''
13	ω (I положення) і α	+3''
14	ω (I положення) і α	+4''
15	ω (I положення) і α	+5''
16	ω (I положення) і α	-1''
17	ω (I положення) і α	-2''
18	ω (I положення) і α	-3''
19	ω (I положення) і α	-4''
20	ω (I положення) і α	-5''

Основні теоретичні відомості

Спосіб сполучного трикутника знайшов широке застосування для орієнтування підземних розробок при будівництві залізничних тунелів і тунелів метрополітену.

При цьому способі біля ствола закріплюють точку 37 (рис. 4.1), з якої видно вилучений пункт чи полігонометрії, триангуляції (К). У ствол спускають два виски O_1 і O_2 таким чином, щоб кут α був якнайменше і не перевищував 3° , а відношення сторін $y:a$ не перевищувало 1,5. У шахті біля ствола вибирають і закріплюють пункти підземної полігонометрії (40 і 41), на які передають дирекційний кут.

У сполучних трикутниках сталевую компаровану рулеткою вимірюють одночасно три сторони на поверхні (a , b і c) і в шахті (a_1 , y_1 і z_1). Розбіжність обмірюваної відстані між висками на поверхні a й у підземних виробках a_1 не повинне перевищувати 2 мм.

У програму кутових вимірів на точці 37 включають напрямок на пункт триангуляції полігонометрії ω і кут у сполучному трикутнику α , а на точці 40 – напрямок на пункт підземної полігонометрії ω_1 і кут у трикутнику α_1 .

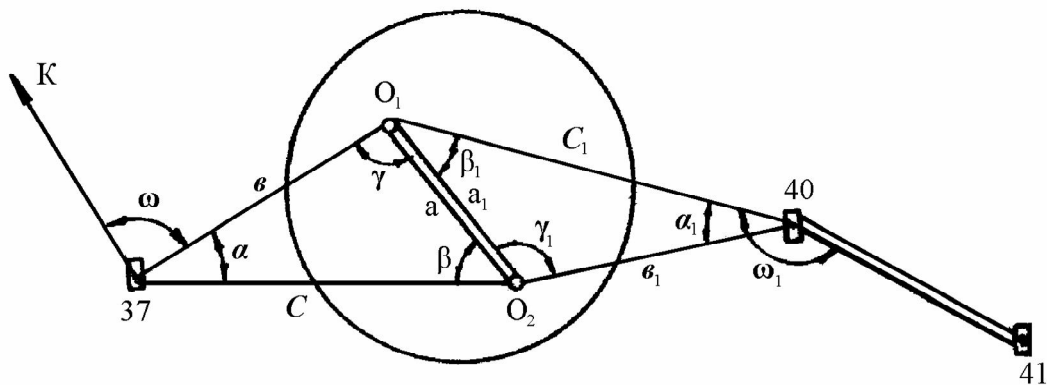


Рисунок 4.1 – Схема сполучного трикутника

Для підвищення точності і виключення грубих помилок орієнтування роблять при трьох положеннях висків. Положення висків змінюють шляхом переміщення точок підвісу за допомогою спеціального пристрою «центрувальних пластин», що дозволяє переміщати точки кріплення висків на 15 мм у напрямку, перпендикулярному до сторони b чи z_1 сполучного трикутника. Тому вимірювані кути після переміщення висків повинні змінюватися на величини:

$$\Delta\omega_{теор.в} = \frac{15}{b} \cdot \rho''(\text{верх}); \tag{4.1}$$

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

Сторони b чи c приймають у залежності від того, до якої сторони сполучного трикутника обмірюваний сполучний кут ω на поверхні b і в шахті z_1 . У формулах (4.1) довжини сторін виражені в міліметрах як середнє значення з трьох положень висків.

Зміни обмірюваних кутів ω і ω_1 , що вийшли після зсуву висків, порівнюють з теоретичними значеннями.

Розбіжності між обмірюваними величинами кутів ω , ω_1 , α і α_1 і їхніми теоретичними значеннями не повинне перевищувати 10" на поверхні і 15" під землею.

По обмірюваних елементах у трикутнику можна обчислити два кути α і β , що у сумі з обмірюваним третім кутом γ повинні давати 180° , але внаслідок помилок вимірів у трикутнику сума кутів може відрізнятись від 180° на величину нев'язки, що вийшло.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що помилка вимірюваного гострого кута сполучного трикутника дуже мало впливає на величину нев'язки. Тому зрівняння можна робити шляхом введення виправлень тільки в обмірювані сторони сполучного трикутника, не змінюючи величину вимірюваного гострого кута.

Після закінчення зрівняння кутів у сполучних трикутниках обчислюють дирекційні кути площини висків, ліній підземної полігонометрії і координат точок 40 і 41 у підземній виробці.

Докладніше з питаннями виконання орієнтування способом сполучного трикутника можна ознайомитися в підручниках і монографіях: [1, с.282-291; 3, с.14-62; 4, с. 197-208; 7, с. 268-275].

Порядок виконання роботи

Таблиця 4.1 – Вимірювані дані

Поверхня				Шахта			
Ознака	1 положен- ня	2 положен- ня	3 положен- ня	Ознака	1 положен- ня	2 положен- ня	3 положення
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"

Схема сполучного трикутника приведена на рисунку, а вимірювані дані – у табл. 4.1.

Дирекційний кут вихідної сторони $\alpha_{37-до} = 324^\circ 28' 39''$, координати пункту 37: $X=4583,493$; $Y=2740,523$, довжина сторони підземної полігонометрії (40-41) складає 50,075.

Лабораторну роботу виконують у такій послідовності:

1. Контролюють отримані результати польових вимірів:

а) перевіряють обмірювані відстані між схилами вгорі (поверхня) і внизу (шахта) при трьох положеннях висків виконують за формулами:

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

де $a_{IВ}$, $a_{IIВ}$, $a_{IIIВ}$ – відстані між висками при трьох їхніх положеннях на поверхні;

$a_{Iн}$, $a_{IIн}$, $a_{IIIн}$, a_{III} , $a_{IIIн}$ – відстані між висками при трьох їхніх положеннях у шахті.

Розбіжність Δa між величинами a й a_1 у кожному положенні висків не повинне перевищувати 2мм;

б) перевіряють збіжність отриманих вимірів у величинах кутів ω і ω_1 після переміщення висків з їхніми теоретичними значеннями за формулами (4.1). Дані обчислення зводять у табл. 4.2;

Таблиця 4.2 – Дані обчислення

Означення	Різниця		
	I-II	I-III	Теоретична
$\Delta \omega$	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) аналогічним чином здійснюють перевірку збіжності отриманих вимірів у величинах кутів α і α_1 після переміщення висків.

Теоретичні значення обмірюваних кутів α і α_1 у результаті переміщення висків обчислюють по формулах:

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

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

Як і в попередній перевірці, отримані зміни обмірюваних кутів α і α_1 порівнюють з теоретичними значеннями і результати записують у табл. 3.2. З урахуванням помилок вимірів, розбіжності не повинні перевищувати 12" на поверхні і 15" у підземних виробленнях при довжинах сторін e и c 4-6 м і відповідно 8" і 10" при довжинах сторін більш 6 м.

2. Зрівнюють сполучні трикутники:

а) обчислюють нев'язки сполучних трикутників. Для цього спочатку визначають кут β :

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

По $\sin \beta$ знаходять β , а потім $\cos \beta$.

Обчислюють значення $C_{\text{обч}}$

$$C_{\text{обч}} = a * \cos \beta + e * \cos \alpha \quad (4.4)$$

і визначають величину нев'язки

$$f_l = C_{\text{обч}} - C_{\text{вим}} \quad (4.5)$$

Припустиму величину нев'язки для сполучних трикутників, розташованих на поверхні, можна обчислити за формулою:

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

З огляду на коливання висків при вимірі сторін, для підземних сполучних трикутників припустимо нев'язки обчислюють по формулі:

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

б) визначають виправлення в обмірювані сторони й обчислюють виправлені довжини сторін:

$$(a) = -\frac{f_1}{3}; \quad (b) = -\frac{f_1}{3}; \quad (c) = \frac{f_1}{3}. \quad (4.6)$$

Обчислення ведуть у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Дані обчислення

Означення	Положення висків		
	I	II	III
	Поверхня		
$\sin\alpha$	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
β	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
$c_{\text{испр}}$	9,7221	9,7217	9,7227
	Шахта.		
$\sin\alpha_1$	0,02143	0,02228	0,020627
$\cos\alpha_1$	0,99977	0,99975	0,99979
b/a1	1,60353	1,60439	1,60262
$\sin\beta_1$	0,03436	0,03575	0,03306
β_1	1°58'09"	2°02'54"7	1°53'40"8
$\cos\beta_1$	0,99941	0,99936	0,99945
a1 $\cos\beta_1$	4,2881	4,2858	4,2922
b1 $\cos\alpha_1$	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
f11	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) обчислюють кути γ і β по довжинах сторін сполучних трикутників:

$$\sin \beta = \frac{b_{\text{испр}}}{a_{\text{испр}}} \sin \alpha \quad (4.7)$$

$$\sin \gamma = \frac{c_{\text{испр}}}{a_{\text{испр}}} \sin \alpha \quad (4.8)$$

Обчислення виконують у табл. 4.4

Таблиця 4.4 – Обчислення кутів γ і β по довжинах сторін сполучних трикутників

Позначення	Положення висків		
	I	II	III
Поверхня			
α	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			
$\alpha 1$	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

Сума кутів у кожному сполучному трикутнику, обчислена по зрівняних сторонах, може відхилитися від 180° тільки за рахунок округлення при обчисленнях. Ці округлення не повинні перевищувати 0,3".

3. Обчислюють дирекційний кут приствольної сторони підземної полігонометрії. Дирекційний кут приствольні сторони підземної полігонометрії (40-41) обчислюють по кожному положенню висків самостійно. З трьох отриманих значень беруть середнє арифметичне. Відхилення від середнього арифметичного значення з трьох визначень дирекційного кута не повинні перевищувати 18 ".

Вихідним для обчислення α_{40-41} є дирекційний кут $\alpha_{37-до}$ (табл.4.5.). Через обмірювані на поверхні ω і γ знаходять дирекційний кут площини висків α_{01-02} , а потім через обмірювані в шахті кути β_1 і ω_1 визначають дирекційний кут сторони підземної полігонометрії (α_{40-41}).

Таблиця 4.5 – Дані для обчислення

Означення.	Положення висків		
	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. Обчислюють координати двох пунктів 40 і 41 підземної полігонометрії. Координати пунктів підземної полігонометрії обчислюють по кожному положенню схилів. З отриманих результатів беруть середнє значення координат. Відхилення від середнього значення координат більш 3 мм не допускають.

Обчислення координат пунктів підземної полігонометрії виконують по таблиці 4.6.

$$\begin{aligned} \text{Середні значення: } Y_{41} &= 2773,734 \text{ м; } X_{41} = 4641,304 \text{ м} \\ Y_{40} &= 2748,693 \text{ м; } X_{40} = 4597,940 \text{ м.} \end{aligned}$$

5. Оцінюють виконане орієнтування. Величину помилки орієнтування (помилку дирекційного кута приствольної сторони підземної полігонометрії) виражають формулою:

$$m_0^2 = m_{\alpha_{вих}}^2 + m_{01}^2 + m_{0\beta}^2 + m_{0\omega}^2 \quad (4.9)$$

де $m_{\alpha_{вих}}$ – помилка вихідного дирекційного кута, одержувана з оцінки точності тунельної чи триангуляції основної полігонометрії (при виконанні роботи приймається рівної 3 ")

$m_{0\omega}$ – помилка орієнтування, викликана впливом помилок виміру сторін сполучних трикутників;

$m_{0\beta}$ – помилка орієнтування, викликана впливом помилок куткових вимірів;

m_{0in} – помилка орієнтування, викликана впливом помилок проектування висків (при відстані між висками 4-5 м і глибині стовбура близько 80 метрів складає 8 ").

Таблиця 4.6 - Обчислення координат пунктів підземної полігонометрії

Номер точки	Дирекційні кути	Довжина лінії, м	Приріст координат		Координати	
			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		
О1	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
К	144°28'39"				4583,493	2740,523
37						
	30°13'33"	5,433	+4,694	+2,735		
О1	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

У цьому випадку

$$m_{0l}^2 = \left(\operatorname{tg}^2 \alpha * \frac{a^2 + b^2}{a^4} + \operatorname{tg}^2 \alpha_1 * \frac{a_1^2 + b_1^2}{a_1^4} \right) * m_l^2 \rho^2; \quad (4.10)$$

$$m_{0\beta}^2 = m_{\alpha_1}^2 \omega \left[1 + \frac{b}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right] + m_{\alpha_1}^2 \omega_1 \left[1 + \frac{b_1}{a_1} + \left(\frac{b_1}{a_1} \right)^2 \right]; \quad (4.11)$$

де m_e – помилка лінійних вимірів у сполучних трикутниках;

$m_{\alpha\omega}$ – помилка виміру кутів на поверхні;

$m_{\alpha 1 \omega 1}$ - помилки виміру кутів у підземних виробках.

При порівняно однаковій формі трикутників на поверхні й у шахті формули приймають вид:

$$m_{ol}^2 = \frac{tg\alpha}{a^2} \rho \sqrt{2(a^2 + b^2)} m_l ; \quad (4.12)$$

$$m_{o\beta}^2 = \left[1 + \frac{b}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right] (m_{\alpha}^2 \omega + m_{\alpha 1}^2 \omega_1), \quad (4.13)$$

При обчисленнях за формулами (3.10)...(3...13) приймають $m_l=0,8$ мм, $m_{\alpha\omega}=4''$, $m_{\alpha 1 \omega 1}=5''$.

Помилку орієнтування при трьох положеннях висків обчислюють по формулі:

$$M_0^2 = m_{\text{виз.сл}}^2 + \frac{m_{ol}^2 + m_{o\beta}^2 + m_{\text{опрсл}}^2}{3} + m_{\text{опр.сист}}^2 \quad (4.14)$$

де $m_{\text{виз.сл}}$ - випадкова складова помилки проектування, що на підставі досвідчених даних складає $5''$;

$m_{\text{виз.сист}}$ систематична складова помилка проектування, яку можна прийняти рівної $6''$.

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

Список літератури, що рекомендується

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 маркшейдерським 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.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота 1. Перевірки маркшейдерських приладів.....	3
2. Лабораторна робота 2. Аналітичне проектування траси тунелю.....	19
3. Лабораторна робота 3. Попередній розрахунок точності геометричних вимірів при будівництві тунелів.....	44
4. Лабораторна робота 4. Обробка результатів вимірів, виконаних при орієнтуванні підземної геодезичної основи способом сполучного трикутника.....	48
Список літератури, що рекомендується.....	57