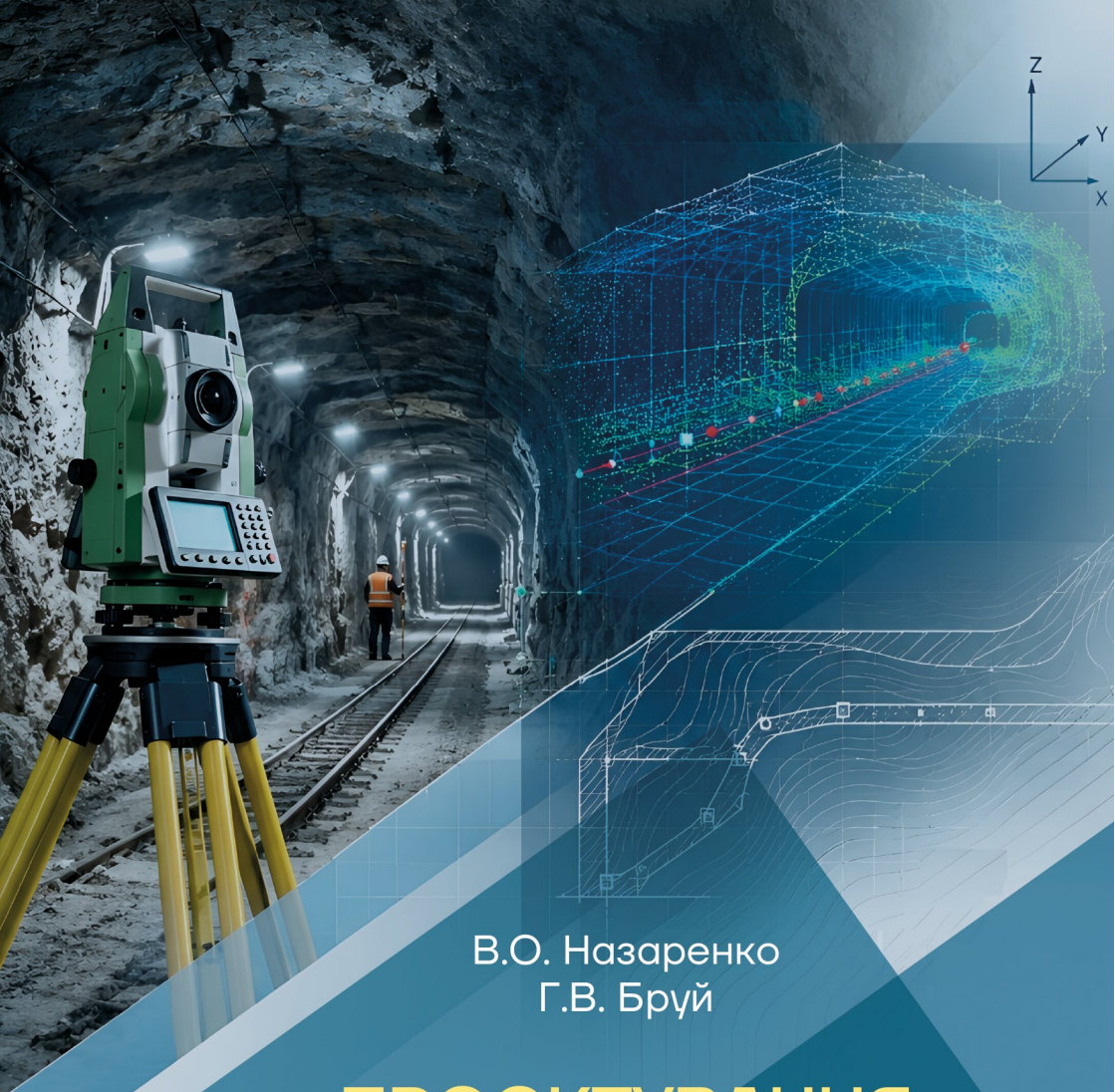




В.О. Назаренко
Г.В. Бруй

ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ЗЙОМОК

ОЛДІ
ПЛЮС

Навчальний посібник

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

В. О. НАЗАРЕНКО, Г. В. БРУЙ

ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ЗЙОМОК

Навчальний посібник

Одеса • 2026 • Олді+

УДК 622.1:528(075.8)

Н19

Автори:

В. О. Назаренко – доктор технічних наук, професор;

Г. В. Бруй – кандидат технічних наук, доцент

Рецензенти:

І. Г. Сахно – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гірничої справи ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»;

С.С. Іськов – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Рекомендовано до друку Вченою радою

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

(протокол № 1 від 27.08.2026 р.)

Назаренко В. О.

Н19

Проектування та аналіз точності маркшейдерських зйомок : навчальний посібник / В. О. Назаренко, Г. В. Бруй ; ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка». – Одеса : Олді+, 2026. – 158 с.

ISBN 978-617-8555-16-0

Навчальний посібник присвячено теоретичним і практичним питанням створення, розвитку та аналізу точності підземних маркшейдерських мереж. Розглянуто геометричну основу маркшейдерських зйомок, класифікацію підземних маркшейдерських мереж і полігонометричних ходів, принципи побудови, реконструкції та поповнення опорних мереж, вимоги до польових вимірювань і їх обробки.

Значну увагу приділено аналізу похибок маркшейдерських вимірювань, їх накопиченню в полігонометричних ходах та оцінюванню точності визначення координат і дирекційних кутів. Розглянуто висотні мережі, точність геометричного і тригонометричного нівелювання, орієнтувально-з'єднувальні зйомки та точність орієнтування через шахтні стволи. Завершальний розділ присвячено оцінюванню точності маркшейдерських робіт під час проведення гірничих виробок зустрічними вибоями та визначенню очікуваних похибок їх змикання.

Навчальний посібник призначений для студентів, що вивчають маркшейдерську справу, викладачів закладів вищої освіти, а також фахівців маркшейдерських служб гірничодобувних підприємств.

УДК 622.1:528(075.8)

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	8
------------------------	---

РОЗДІЛ 1

ПЛАНОВІ МАРКШЕЙДЕРСЬКІ МЕРЕЖІ	10
--	----

1.1 Геометрична основа маркшейдерських зйомок на земній поверхні	10
1.2 Класифікація підземних маркшейдерських мереж	14
1.3 Класифікація полігонометричних ходів	16

РОЗДІЛ 2

ПІДЗЕМНІ МАРКШЕЙДЕРСЬКІ ОПОРНІ МЕРЕЖІ	19
--	----

2.1 Призначення підземних опорних мереж і загальні принципи їхнього створення	19
2.2 Особливості побудови підземних опорних мереж	20
2.3 Схеми побудови підземних маркшейдерських опорних мереж	22
2.4 Недоліки типових схем побудови підземних маркшейдерських опорних мереж	28
2.5 Підвищення надійності опорних мереж шляхом автономного орієнтування сторін полігонометричних ходів	29
2.6 Загальні рекомендації щодо розташування опорних дирекційних кутів	31
2.7 Точність побудови підземних маркшейдерських опорних мереж	33

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ПРИ СТВОРЕННІ І РЕКОНСТРУКЦІЇ ПІДЗЕМНОЇ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ ОПОРНОЇ МЕРЕЖІ 36

- 3.1 Загальні положення організації робіт з побудови
 підземної маркшейдерської опорної мережі 36
- 3.2 Складання проєкту створення підземної
 маркшейдерської опорної мережі 37
- 3.3 Складання проєкту реконструкції підземної
 маркшейдерської опорної мережі 39
- 3.4 Поповнення підземної маркшейдерської
 опорної мережі 40
- 3.5 Рекогносцировка і закріплення пунктів підземної
 маркшейдерської опорної мережі 42
- 3.6 Нормативні вимоги до вимірювань
 у полігонометричних ходах 44
- 3.7 Обробка підземних опорних мереж 46
- 3.8 Заходи безпеки при прокладанні підземних
 полігонометричних ходів 48

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ПОГРІШНОСТЕЙ ПІДЗЕМНИХ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ПЛАНОВИХ МЕРЕЖ 50

- 4.1 Загальні відомості про вимірювання і їхню точність . . . 50
- 4.2 Класифікація вимірювань 51
- 4.3 Помилки вимірювань і їх класифікація 53
- 4.4 Загальні положення аналізу точності
 маркшейдерських мереж 56
- 4.5 Інструментальні погрішності горизонтальних кутів,
 що вимірюються способами прийомів і повторень . . . 60
- 4.6 Погрішність візування 62
- 4.7 Погрішність відліку 63

4.8	Порівняння способів прийомів і повторень	64
4.9	Погрішність вимірювання горизонтального кута, обумовлена неточністю центрування теодоліта і сигналів	66
4.10	Загальна середня квадратична погрішність вимірювання горизонтального кута	69
4.11	Похибка визначення дирекційного кута гіроприладами	71
4.12	Похибка вимірювання довжин сторін підземних полігонів	72

РОЗДІЛ 5

НАКОПИЧЕННЯ ПОГРІШНОСТЕЙ У ПІДЗЕМНИХ ПОЛІГОНОМЕТРИЧНИХ ХОДАХ

5.1	Накопичування погрішностей при вимірюванні довжини сторін підземних полігонометричних ходів	80
5.2	Погрішності координат вершин вільного полігонометричного ходу	82
5.3	Погрішність дирекційних кутів сторін вільного полігонометричного ходу	87
5.4	Середня погрішність положення точки K вільного полігонометричного ходу	87
5.5	Погрішність положення останньої точки вільного витягнутого рівностороннього полігонометричного ходу	88
5.6	Середні погрішності координат кінцевого пункту полігонометричного ходу при попередньо зрівняних кутах [4]	90
5.7	Середня погрішність дирекційного кута будь-якої сторони невідного полігонометричного ходу при попередньо зрівняних кутах [4]	91

5.8 Середні погрішності координат будь-якої вершини полігонометричного ходу, зрівняного в кутах і координатах	92
5.9 Середні погрішності координат кінцевого пункту полігонометричного ходу, що має твердий дирекційний кут проміжної сторони	93
РОЗДІЛ 6	
СПРОЩЕНІ СПОСОБИ АНАЛІЗУ ПОГРІШНОСТЕЙ ПІДЗЕМНИХ ПЛАНОВИХ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ МЕРЕЖ ..	
6.1 Окремі полігонометричні ходи	95
6.2 Дія помилок у системах полігонометричних ходів	99
6.3 Вільні системи полігонів	101
6.4 Невільні системи полігонів	104
РОЗДІЛ 7	
ВИСОТНІ МЕРЕЖІ	
7.1 Загальні положення	109
7.2 Середня квадратична погрішність геометричного нівелювання	111
7.3 Середня квадратична погрішність відліку по рейці ..	112
7.4 Середня квадратична погрішність тригонометричного нівелювання	113
РОЗДІЛ 8	
АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОРІЄНТУВАЛЬНО-З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЗЙОМОК	
8.1 Загальні відомості	115
8.2 Фактори, що впливають на точність проектування ..	116
8.3 Кутова похибка проектування	117

8.4 Аналіз точності при примиканні з'єднувальними трикутниками	121
8.5 Аналіз точності орієнтування через два вертикальних шахтних ствола	128
РОЗДІЛ 9	
АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ РОБІТ	
ПРИ ПРОВЕДЕННІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ЗУСТРІЧНИМИ	
ВИБОЯМИ	
9.1 Загальні відомості	138
9.2 Основні типи збійок	141
9.3 Визначення очікуваної похибки змикання вісей збійки, яка проводиться в межах однієї шахти	143
9.4 Визначення очікуваної похибки змикання вісей збійки, яка проводиться з різних шахт	149
9.5 Визначення похибки змикання вибоїв по висоті	153
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	156

ПЕРЕДМОВА

Упровадження сучасних продуктивних способів розробки родовищ, застосування комплексної механізації, значне збільшення розмірів шахтних полів, а також процес укрупнення гірничих підприємств визначають високі вимоги до точності й оперативності виконання маркшейдерських зйомок.

Плановою основою підземних зйомок є підземні маркшейдерські опорні мережі, побудова яких повинна виконуватися з нормованою погрішністю положення віддалених пунктів. Підземні опорні мережі, в силу специфічного характеру розвитку і тривалого терміну служби, багаторазово проходять стадії поповнення і реконструкції і на кожній з цих стадій методика виконання маркшейдерських робіт має свої відмітні особливості.

Створення підземних мереж на більш якісному рівні забезпечується автономним виміром дирекційних кутів за допомогою малогабаритних гірокомпасів, завдяки чому одночасно з рішенням задачі орієнтування досягається підвищення точності визначення координат пунктів, надійності мереж і збільшується продуктивність праці маркшейдерів за рахунок зменшення обсягу робіт із прокладання повторних полігонометричних ходів. Ефективність автономного орієнтування залежить від оптимальності варіантів розміщення в мережах сторін, що зорієнтовані гіроскопічним способом.

Забезпечити необхідну точність маркшейдерських зйомок можливо на підставі раціональних, науково обґрунтованих схем побудови підземних опорних мереж, які враховують особливості розвитку гірничих робіт на шахтах і рудниках з різними гірничотехнічними умовами.

Відомо, що будь-які вимірювання, як би ретельно вони ні виконувалися, завжди супроводжуються помилками, тобто відхиленнями обмірюваних значень від дійсних. Удосконалювання методики вимірювань і конструкцій вимірювальних інструментів і приладів, підвищення кваліфікації спостерігача може підвищити точність вимірювань, тобто зменшити відхилення одержуваних результатів від їхніх істинних значень. Одержати безпомилкові результати вимірювань неможливо. Тому в практиці вимірювання роблять таким чином, щоб результати вийшли з деякою заданою точністю. Поняття «задана точність» повинне супроводжуватися певними чисельними критеріями, що являють собою ймовірнісну характеристику можливих відхилень отриманих результатів обробки вимірювань від їхніх дійсних значень.

Для оцінки точності окремих полігонометричних ходів довільної форми і систем цих ходів, у тому числі і з дирекційними кутами, що визначені за допомогою гірокомпасів, виконуються спеціальні інженерні розрахунки, що враховують закономірності накопичення помилок у ходах. Типові схеми побудови підземної полігонометрії, що базуються на цих розрахунках, дозволяють досить просто робити порівняльний аналіз точності мереж і вибирати їхні вигідні форми.

Навчальний посібник буде корисним студентам, що навчаються за освітніми програмами «Сучасні методи маркшейдерського забезпечення процесів видобування корисних копалин» та «Маркшейдерська справа» під час оволодіння освітніми компонентами: Геодезія; Маркшейдерські роботи при розробці вугільних родовищ; Маркшейдерські роботи при відкритій розробці родовищ; Маркшейдерські роботи при будівництві шахт і підземних споруд; Проектування та дослідження точності підземних маркшейдерських мереж; Новітні маркшейдерсько-геодезичні технології та прилади.

РОЗДІЛ 1

Планові маркшейдерські мережі

1.1 Геометрична основа маркшейдерських зйомок на земній поверхні

Маркшейдерські зйомки при підземній розробці родовищ корисних копалин являють собою комплекс зйомок на земній поверхні, у гірничих виробках і з'єднувальних зйомок, що дозволяє визначати координати пунктів зйомки в єдиній системі.

Вихідними для виконання всіх маркшейдерських зйомок на території виробничо-господарської діяльності гірничих підприємств є маркшейдерські опорні мережі на земній поверхні, що складаються з пунктів державної геодезичної мережі і геодезичних мереж згущення.

На земній поверхні планові опорні мережі створюються методами тріангуляції, полігонометрії і трилатерації або їхнім сполученням.

Основними для планових опорних мереж є мережі тріангуляції. Однак метод полігонометрії є незамінним в умовах закритої чи забудованої місцевості. В останні десятиліття він одержав широке розповсюдження, чому сприяв розвиток світло- і радіодалекомірних методів вимірювання довжин. Метод трилатерації поки не знайшов широкого практичного застосування, хоча високий рівень технології вимірювань довжин сторін у трикутниках є сприятливим чинником.

Державні планові і висотні мережі є головною геодезичною основою топографічних зйомок усіх масштабів і повинні задовольняти вимогам при рішенні наукових і інженерно-технічних завдань. Вони підрозділяються на чотири класи. Їхній розвиток

відповідає принципіві «від загального до окремого», тобто побудова виконується декількома рівнями. Спочатку створюється мережа окремих пунктів вищого класу, що є основою для подальшого згущення мережі. Це дозволяє у відносно стиснутий термін розвинути мережі згущення на великій території відповідно до потреб, що виникають. Вимірювання в мережах вищого класу виконуються з більш високою точністю, яка потім поступово знижується для мереж нижчих класів (принцип «від більшої точності до меншої»).

Мережі згущення служать для обґрунтування великомасштабних (1:5000–1:500) топографічних зйомок і інженерних робіт, що виконуються у населених пунктах, на промисловому майданчику, у маркшейдерській справі і т.п. Планові геодезичні спеціальні мережі підрозділяються на два розряди і створюються методом тріангуляції або методом полігонометрії.

Для виконання зйомок на основі мереж згущення створюється різними методами знімальне обґрунтування (знімальні мережі).

Маркшейдерська опорна мережа на земній поверхні в основному представлена пунктами державної геодезичної мережі 4 класу і пунктами геодезичних мереж згущення. Пункти тріангуляції 4 класу визначаються шляхом вставки твердих систем або окремих пунктів з обов'язковим вимірюванням у трикутниках усіх трьох кутів.

Пункти полігонометрії 4 класу утворюють системи або одиночні ходи, що спираються на пункти тріангуляції 1, 2, 3 і 4 класів і полігонометрії 1, 2 і 3 класів [1].

Тріангуляція 1 і 2 розрядів створюється у вигляді суцільної мережі, ланцюга трикутників і вставок систем або окремих пунктів. При цьому тріангуляція 1 розряду розвивається на основі державної геодезичної мережі всіх класів, у випадку тріангуляції 2 розряду в якості вихідних додатково використовують пункти тріангуляції 1 розряду.

Мережі полігонометрії 1 і 2 розрядів створюються у вигляді одиночних ходів або їхніх систем з вузловими точками,

що спираються на пункти державної геодезичної мережі всіх класів і пункти триангуляції 1 розряду.

При побудові планової опорної мережі на території гірничих відводів шахт повинні дотримуватися вимоги, що приведені в таблиці 1.

Особливе значення при створенні геометричної основи гірничого підприємства мають підхідні пункти і реperi біля усть шахтних стволів.

Підхідні пункти повинні розташовуватися на проммайданчиках стволів шахти не далі 300 м від усть. Вони служать для орієнтування і центрування підземних опорних маркшейдерських мереж, координування кутів будинків, границь земельних відводів, виносу осьових пунктів стовбурів і виконання інших маркшейдерсько-геодезичних робіт. На кожному проммайданчику повинно бути закріплене не менш чотирьох планових пунктів, у тому числі – два пункти поблизу надшахтної будівлі.

Середні квадратичні погрішності визначення положення підхідних пунктів щодо вихідних пунктів повинні бути не більш $\pm 0,1$ м, а середні квадратичні погрішності взаємного положення підхідних пунктів – не більш $\pm 0,03$ м [1].

Місце закладення підхідного пункту повинне забезпечувати прокладання від нього висячого полігонометричного ходу до ствола шахти з числом сторін не більш трьох.

Підхідними пунктами можуть служити пункти маркшейдерської опорної мережі не нижче 1 розряду.

Висоти пунктів для зйомки земної поверхні і для виконання інших маркшейдерських робіт визначають шляхом побудов нівелірних мереж III, IV класів і мереж технічного нівелювання, що розвиваються на додаток до існуючих мереж нівелювання I, II класів.

Технічне нівелювання призначене для визначення висот пунктів триангуляційних і полігонометричних мереж 2 розряду і точок об'єктів маркшейдерської зйомки (усть свердловин, шурфів, оголень гірських порід і інших об'єктів), для планування площадок

Таблиця 1 – Характеристика планових мереж

Показник	Точність вимірювань		
	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд
Тріангуляція, трилатерація та їхні сполучення			
Довжина сторони трикутника, км, не більш	5	5	3
Припустима величина кута, не менш	20°	20°	20°
Припустиме нев'язання в трикутнику, не більш	8»	20»	40»
Припустима відносна помилка виміру сторони m_L/L , не більш	1:50 000	1:20 000	1:10 000
Полігонометрія			
Гранична довжина ходу, км, не більш			
– окремого	14	7	4
– між вихідною і вузловою точками	9	5	3
– між вузловими точками	7	4	2
Довжина сторони ходу, км			
– максимальна	3	0,8	0,5
– мінімальна	0,25	0,12	0,08
– середня	0,5	0,3	0,2
Припустима відносна помилка виміру сторони m_L/L	1:25 000	1:10 000	1:5000
Відносне лінійне нев'язання ходу при його довжині більш 0,5 км	1:25 000	1:10 000	1:5000
Абсолютне лінійне нев'язання ходу при його довжині менш 0,5 км, м	–	0,05	0,1
Припустиме кутове нев'язання ходу або полігона, кутові секунди, де n_y – число кутів у ході	$5\sqrt{n_y}$	$10\sqrt{n_y}$	$20\sqrt{n_y}$

і визначення обсягів земляних робіт, для визначення висот пунктів знімальних мереж і побудови профілів, розрізів. Технічне нівелювання виконується у вигляді одиночних ходів між вихідними пунктами або у вигляді систем ходів з вузловими точками.

На промисловій площадці повинне бути не менш трьох реперів. Одним з них є центр підхідного пункту. Крім того, поблизу від устя шахтного ствола в надшахтній будівлі закладається два стінних репери. Висоти реперів визначаються геометричним нівелюванням не нижче IV класу [1].

Маркшейдерська служба гірничого підприємства щорічно повинна проводити інвентаризацію опорної мережі і зйомок, що характеризує їхній стан і необхідний обсяг робіт на відновлення і поповнення опорної мережі. Час повторних вимірювань в опорній маркшейдерській плановій мережі з визначенням координат усіх підхідних пунктів повинне бути не більш 15 років.

1.2 Класифікація підземних маркшейдерських мереж

При зйомці підземних гірничих виробок, так само як і при зйомці земної поверхні, неухильно дотримуються принципу послідовного переходу від більш загальних і точних геометричних побудов до окремих і менш точних побудов. У залежності від точності зйомки і її призначення підземні теодолітні полігони і мережі підрозділяються на наступні види [4]:

- маркшейдерські опорні мережі;
- маркшейдерські знімальні мережі:
 - теодолітні ходи;
 - кутомірні ходи;
- маркшейдерські мережі спеціального призначення.

Маркшейдерські опорні мережі є головною геометричною основою всіх підземних зйомок і складаються з полігонометричних ходів, що прокладаються, як правило, по капітальних і основних гірничих виробках.

Маркшейдерські знімальні мережі є основою для зйомки гірничих виробок і складаються з теодолітних і кутомірних ходів.

Теодолітні ходи призначені для поповнювальної зйомки капітальних і підготовчих виробок; пункти цих ходів служать вихідними для кутомірних ходів [2].

Кутомірні ходи складаються з ходів, що прокладаються інструментами зниженої точності (кутомірами). Вони призначаються для зйомки нарізних і очисних виробок, а також для виконання збіжок нарізних виробок у межах очисного блоку.

Маркшейдерські мережі спеціального призначення створюються для рішення найбільш важливих завдань, наприклад, при проведенні відповідальних збіжок гірничих виробок. При цьому точність кутових і лінійних вимірювань у мережах спеціального призначення визначається за спеціально розробленою програмою для кожного окремого випадку.

За умовами виконання зйомок, можливості розміщення і схоронності пунктів геометричної основи гірничі виробки поділяються на три основні групи:

- капітальні (основні) – є головними магістралями шахтного або рудничного поля; до них відносяться штольні, капітальні квершлагги, польові, групові й основні (відкотні) штреки, похили і бремсберги. Перераховані виробки розташовані в об'ємному контурі шахтного і рудничного полів більш-менш рівномірно; як правило, мають велику довжину і тривалий термін експлуатації; зручні для закріплення в них пунктів підземних опорних мереж;

- підготовчі – це панельні, проміжні, вентиляційні штреки й інші виробки, що знаходяться у виїмкових ділянках і мають значну довжину і більш-менш тривалий термін експлуатації. Закріплені в таких виробках пункти можуть служити для зйомки виробок і використовуватися в якості вихідних при періодичній (оперативній) зйомці очисних вибоїв;

- нарізні, пройдені в межах виїмкової ділянки або очисного блоку, і очисні виробки – мають невелику довжину і малий

термін служби. Очисні вибої, наприклад лави, безупинно переміщаються, закріплені в них пункти часто використовуються тільки один раз при зйомці цих виробок.

1.3 Класифікація полігонометричних ходів

В умовах підземних гірничих виробок єдиною можливою є полігонометричний метод теодолітної зйомки в сполученні зі зйомкою подробиць. Це обумовлено тим, що основні підземні гірничі виробки являють собою витягнуті об'єкти обмеженого перетину.

При прокладанні полігонів у підземних гірничих виробках вимірюються за допомогою теодолітів: горизонтальний кут між кожними двома суміжними сторонами ходу, кут нахилу і довжина кожної сторони ходу. При цьому полігони (ходи) у залежності від їхнього призначення називаються полігонометричними або теодолітними [4].

Підземні полігонометричні ходи створюються в міру розвитку гірничих робіт при цьому, кожен полігон (хід), що знову прокладається, прив'язують до пунктів попередньої зйомки. Такий метод розвитку маркшейдерських зйомок називається методом «нанизаних полігонів».

Підземні полігонометричні ходи класифікують залежно від надлишкових вихідних даних і за обумовленими цією ознакою способами і характером контролю полігонометричних ходів. Відповідно до зазначених ознак класифікації полігонометричні ходи і їхні системи розділяють на вільні і невольні.

Вільні полігонометричні ходи спираються тільки на один пункт із твердими координатами і на один твердий дирекційний кут. Вільні полігонометричні ходи розділяють на розімкнуті (висячі) і замкнуті.

Розімкнуті полігонометричні ходи (рис. 1, а) контролюють прокладанням повторного ходу.

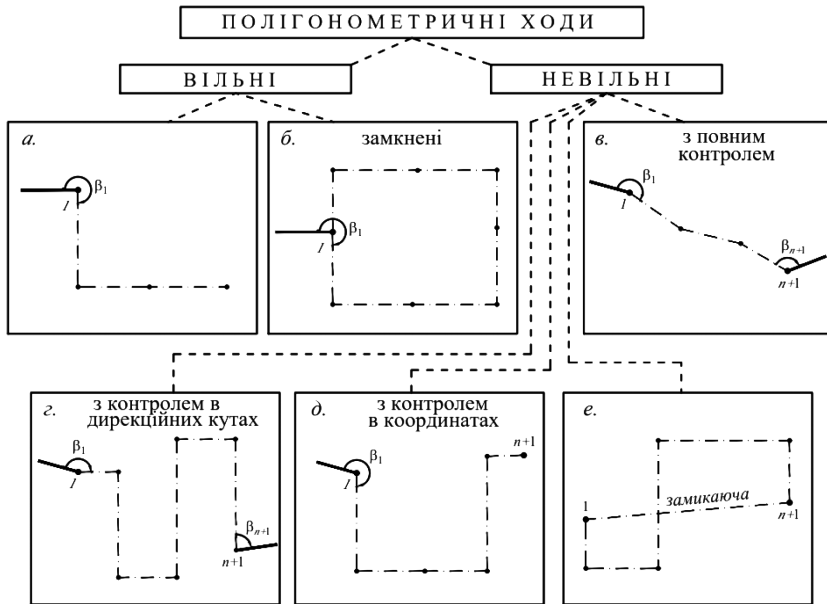


Рисунок 1 – Класифікація полігонометричних ходів

Замкнуті ходи (рис. 1, б) контролюють порівнянням отриманої суми кутів полігона і сум збільшень координат з теоретичними їхніми значеннями.

По конфігурації розімкнуті полігонометричні ходи розділяють на витягнуті ходи і ходи ламаної форми.

Невільні полігонометричні ходи мають надлишкові вихідні дані; їх можуть прокладати:

- між твердими пунктами і твердими дирекційними кутами, тобто з повним контролем – у дирекційних кутах і координатах (рис. 1, в);
- між твердими дирекційними кутами з вихідними координатами одного пункту, тобто з контролем у дирекційних кутах (рис. 1, г);
- між двома пунктами з твердими координатами і з вихідним дирекційним кутом, тобто з контролем у координатах (рис. 1, д);

- між двома пунктами з твердими координатами без вихідного дирекційного кута, тобто з контролем по довжині замикаючої ходу (рис. 1, е).

В останніх трьох випадках повний контроль правильності виконання полігонометричних ходів відсутній, унаслідок чого прокладають повторні ходи або повторно вимірюють кути.

Змикаючись між собою, підземні теодолітні полігони утворюють у межах великих шахтних і рудничних полів складні мережі.

РОЗДІЛ 2

Підземні маркшейдерські опорні мережі

2.1 Призначення підземних опорних мереж і загальні принципи їхнього створення

Підземні маркшейдерські опорні мережі, служать для складання гірничої графічної документації, що відбиває просторове розташування гірничих виробок, корисної копалини і границь шахтного поля, а також для рішення різних маркшейдерських і гірничотехнічних задач, пов'язаних із забезпеченням раціональної і безпечної експлуатації родовища.

Геометричною основою всіх маркшейдерських зйомок як земної поверхні, так і підземних гірничих виробок є пункти геодезичної опорної мережі, що створені на території гірничих підприємств. Використовуючи ці пункти в якості вихідних, виконують центрування й орієнтування підземної опорної мережі [1].

Центрування, мережі виконують для визначення вихідних координат. З цією метою при розкритті родовищ вертикальними шахтними стволами незалежно двічі примикають до виска, опушеного у вертикальну гірничу виробку, або до двох і більш схилів.

Орієнтування мережі для одержання вихідних дирекційних кутів роблять незалежно двічі. В основному, застосовується гіроскопічний спосіб визначення вихідних дирекційних кутів. На кожному горизонті гірничих робіт орієнтують не менш двох сторін мережі, розташованих друг від друга на відстані 300–500 м [2].

Підземні маркшейдерські опорні мережі створюють у вигляді систем замкнутих, розімкнутих і висячих полігонометричних ходів (висячі ходи повинні прокладатися двічі в прямому і зворотному напрямку). Вони розвиваються від вихідних постійних пунктів, що закріплені в пристолових виробках.

При розкритті родовищ похилими шахтними стволами або штольнями самостійна задача центрування й орієнтування мережі не виникає. У цьому випадку полігонометричні ходи прокладають безпосередньо від пунктів геодезичної основи на земній поверхні.

Побудову підземних опорних мереж необхідно виконувати з таким розрахунком, щоб [1]:

- а) незалежно від довжини мереж погрішність положення віддалених пунктів не перевищувала допуску, що задається;
- б) видалення пунктів мереж від вибоїв гірничих виробок не перевищувало 300–500 м;
- в) забезпечувалася можливість подальшого безперервного розвитку мереж.

У процесі розробки родовища всі знову пройдені гірничі виробки, що мають вихід на поверхню, повинні бути використані для додаткового центрування мережі.

2.2 Особливості побудови підземних опорних мереж

У порівнянні з опорними мережами на земній поверхні підземні маркшейдерські опорні мережі мають істотні особливості, що складають три групи.

До першої групи відносяться:

- залежність розвитку мереж від просування гірничих виробок і термінів служби цих виробок і шахти (рудника) у цілому;
- наявність періодичних змін конструкції мережі, що обумовлені погашенням старих гірничих виробок і нестійкістю частини пунктів;

- роз'єднана в часі і просторі поява в мережі додаткових надлишкових даних.

Унаслідок впливу відзначених факторів підземні опорні мережі у своєму розвитку проходять стадії поповнення і реконструкції. При цьому порядок поповнення визначається просуванням гірничих виробок, а терміни реконструкції встановлюють в залежності від стану мережі.

До другої групи особливостей підземних опорних мереж входять:

- змушена конфігурація полігонометричних ходів, обумовлена конфігурацією гірничих виробок, що обмежує можливості вибору форми і параметрів полігонів;
- наявність у ходах підземної полігонометрії вимушено коротких сторін (до 3–5 м);
- обмежене число вихідних пунктів підземної полігонометрії і переважне розташування їх у центрі шахтного поля.

Усе це сприяє більш швидкому накопиченню помилок у підземних опорних мережах у міру видалення ходів від вихідних пунктів. Для забезпечення необхідної точності визначення положення віддалених пунктів варто підвищити твердість мереж. Ефективним заходом підвищення твердості мережі є визначення додаткових дирекційних кутів за допомогою гірокомпаса і поділ у зв'язку з цим полігонометричних ходів гірсторонами на секції.

Третю групу особливостей побудови опорних підземних мереж складають наступні:

- прокладання теодолітних ходів до побудови опорної мережі;
- застосування в окремих випадках тих самих приладів і однієї методики вимірювань для полігонометричних ходів (опорної мережі) і теодолітних ходів.

Тому на практиці в ряді випадків може бути відсутнім розподіл за точністю полігонометричних ходів на опорні мережі і теодолітні ходи. Виходячи з цього, полігонометричні ходи поділяються на поповнювальні і контрольні [2].

2.3 Схеми побудови підземних маркшейдерських опорних мереж

Схеми побудови опорних мереж різноманітні і визначаються схемами розкриття і підготовки шахтного поля, формою й умовами залягання родовищ корисних копалин. Побудова підземних опорних мереж здійснюється за проектом з урахуванням перспективного плану розвитку гірничих робіт, забезпечення надійного центрування й орієнтування, достатньої твердості опорних мереж і необхідної точності визначення положення віддалених пунктів.

Полігонометричні ходи необхідно прокладати у капітальних і головних підготовчих виробках, а при необхідності і в другорядних виробках. У будь-якому випадку повинен бути дотриманий принцип: довжина наступного теодолітного ходу знімальної мережі повинна бути не більш 1 км [1].

При створенні проекту основна увага повинна бути приділена складанню принципової схеми і розрахунку основних конструктивних елементів мережі (місця примикання підземної мережі до пунктів опорної мережі на земній поверхні і до вихідних пунктів у гірничих виробках, форми полігонометричних ходів, довжини сторін, визначення гірсторін, замикання полігонів і встановлення постійних пунктів).

На схеми побудови підземних маркшейдерських опорних мереж значно впливають умови залягання родовищ і способи їхнього розкриття. Від цих факторів залежить просторове розташування основних гірничих виробок, по яких прокладають полігонометричні ходи, конструкція і форма мережі, довжина сторін полігонометричних ходів, можливість з'єднання полігонометричної мережі з пунктами маркшейдерської опорної мережі на земній поверхні і з пунктами полігонометричних мереж на інших горизонтах. Від цих факторів залежить наявність і характер додаткових зв'язків.

Залежно від умов залягання родовищ і способів їхнього розкриття виділяють шість основних найбільш типових схем конструкцій побудови підземних маркшейдерських опорних мереж.

Розробка одиночного пласта горизонтального залягання

Конструкція опорної мережі при розробці одиночного пласта горизонтального залягання (рис. 2), коли, як правило, родовище розкривають центрально-здвоєними шахтними стволами, являє собою систему полігонометричних ходів, що прокладаються в штреках головних напрямків і в рівнобіжних їм виробках. Ці ходи утворюють витягнуті замкнуті полігони, що примикають друг до друга.

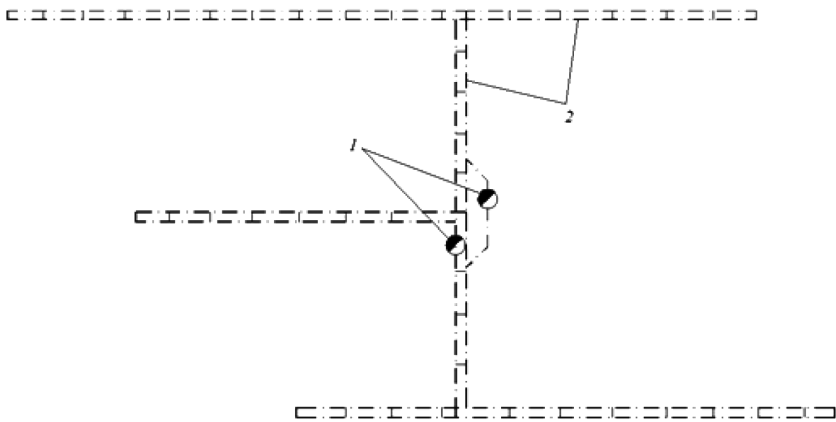


Рисунок 2 – Конструкція опорної мережі при розробці одиночного пласта горизонтального залягання:

1 – вертикальні шахтні стволи; 2 – замкнуті полігони, що примикають один до одного, у квершлагоу і штреках головних напрямків

Розробка одиночних пластів пологого і похилого падіння

Конструкція опорної мережі при розробці одиночних шарів пологого і похилого падіння (рис. 3), коли родовище розкривають похилими шахтними стволами з проходженням на флангах шахтного поля вентиляційних збіжок, залежить від прийнятої

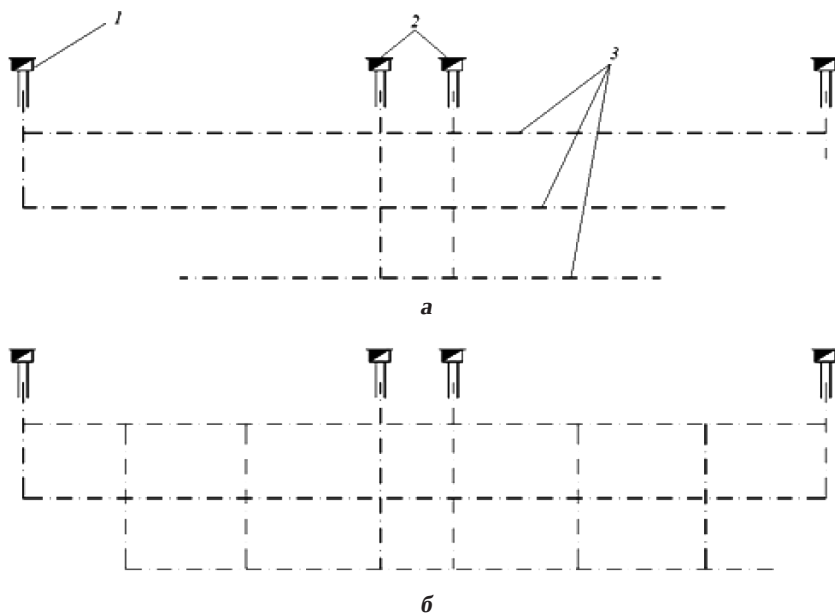


Рисунок 3 – Конструкція опорної мережі при розробці одиночних пластів пологого і похилого падіння:

а – полігонометричний хід, що примикає до пунктів маркшейдерської опорної мережі на земній поверхні; б – замкнуті полігони, що примикають один до одного; 1 – вентиляційна збіжка; 2 – похилий шахтний ствол; 3 – ходи, пройдені в поверхових штреках двічі і зв'язані з пунктами на земній поверхні через вентиляційні збіжки

системи розробки, за звичай суцільної або системи довгих стовпів по простяганню (у залежності від потужності пласта).

При суцільній системі розробки полігонометричні ходи прокладають двічі у поверхових штреках між системами постійних пунктів. Після з'єднання поверхових штреків з вентиляційною збіжкою полігонометричні ходи приєднують до пунктів маркшейдерської опорної мережі на земній поверхні (рис. 3, а).

При системі довгих стовпів по простяганню полігонометричні ходи утворюють замкнуті полігони, що примикають один до одного (рис. 3, б). Після з'єднання поверхового штреку з вентиляційною збіжкою полігонометричні ходи приєднують,

як і в першому випадку, до пунктів маркшейдерської опорної мережі на земній поверхні.

Розробка світи пластів пологого або похилого падіння.

Конструкція опорної мережі при розробці світи пластів пологого або похилого падіння (рис. 4), коли родовище розкривають вертикальними центрально-здвоєними шахтними стволами з капітальним квершлагом, а на флангах шахтного поля

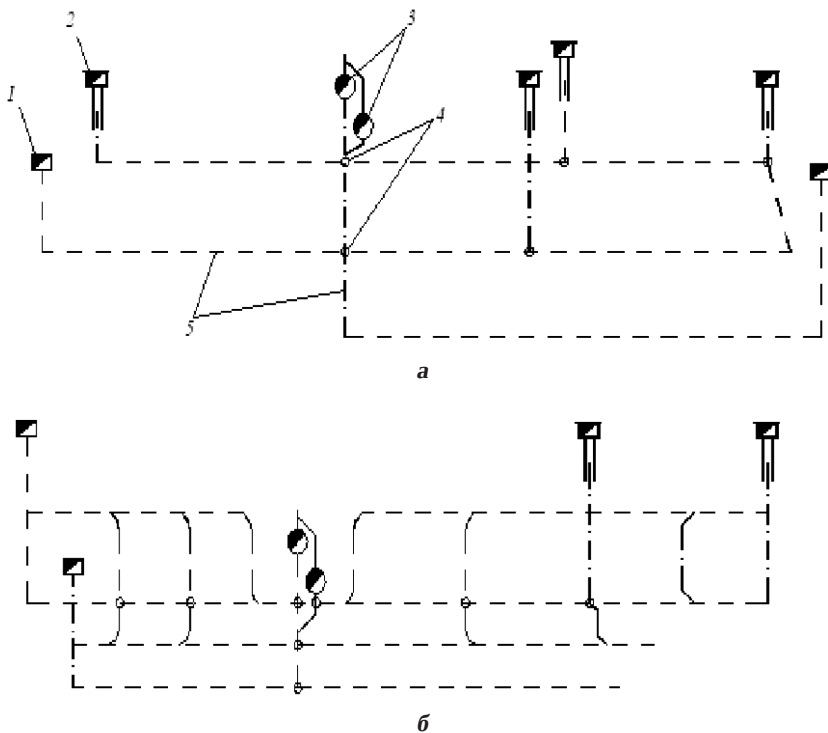


Рисунок 4 – Конструкція опорної мережі при розробці світи пластів пологого або похилого падіння:

а – системи полігонів з вузловими точками; б – системи полігонів з вузловими точками і замкнутими полігонами; 1 – шурф; 2 – вентиляційний похилий шахтний ствол; 3 – вертикальні шахтні стволи; 4 – вузлові точки; 5 – ходи в гірничих виробках

проходять шурфи або вентиляційні стволи, являє собою полігонометричні ходи, що утворюють системи полігонів з вузловими точками (рис. 4, а).

При розробці пластів системою довгих стовпів по простяганню конструкція опорної мережі включає не тільки вузлові точки, а і замкнуті полігони (рис. 4, б).

Розробка світи крутоспадних пластів

Конструкція опорної мережі при розробці світи крутоспадних пластів (рис. 5), коли родовище розкривають центрально-здвоєними вертикальними шахтними стволами з капітальним квершлагом, залежить від розташування підготовчих виробок на основних горизонтах. При розробці світи пластів малої і середньої потужності, не схильних до самозаймання, полігонометричні ходи прокладають у польових або групових

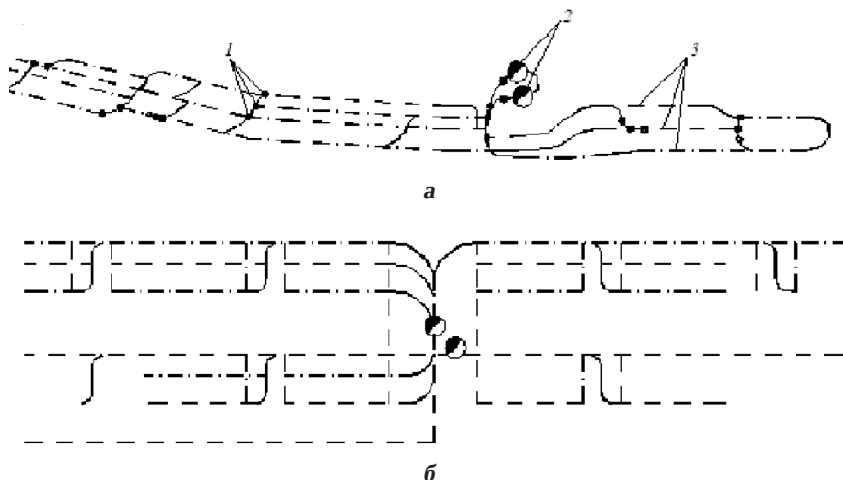


Рисунок 5 – Конструкція опорної мережі при розробці світи крутоспадних пластів:

- а* – система замкнутих полігонів, що примикають один до одного;
- б* – система незамкнутих ходів, пройдених двічі з метою контролю;
- 1* – постійні пункти; *2* – вертикальні шахтні стволи; *3* – ходи, пройдені в гірничих виробках

штреках, відкотних штреках і дільничних квершлагах, створюючи систему замкнутих полігонів, що примикають друг до друга (рис. 5, а).

При розробці свиті потужних крутоспадних пластів, схильних до самозаймання, між виїмковими дільницями залишають проти-пожежні цілики; це не дозволяє замикати ходи, і приводить до необхідності прокладання повторних ходів з метою контролю (рис. 5, б).

Розробка потужних рудних покладів

Конструкція опорної мережі при розробці потужних рудних покладів (рис. 6), коли при їхньому розкритті, навіть при невеликій довжині рудничного поля, як у центрі, так і на його флангах, проходять кілька вертикальних шахтних стволів, являє собою полігонометричні ходи, що прокладаються у квершлагах і польових штреках і примикають до висків, опущених через вертикальні шахтні стволи.

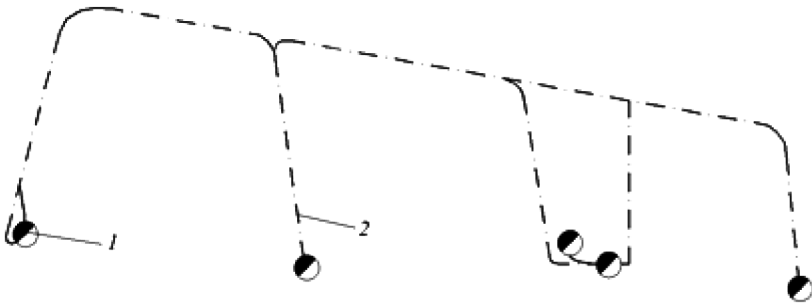


Рисунок 6 – Конструкція опорної мережі при розробці потужних рудних покладів:

1 – шахтний ствол; 2 – ходи в гірничих виробках

Розробка родовищ солей

Конструкція опорної мережі при розробці родовищ солей (рис. 7) підземним способом, коли родовища розкривають вертикальними центрально-здвоєними шахтними стволами, являє собою замкнуті ходи, що примикають друг до друга.

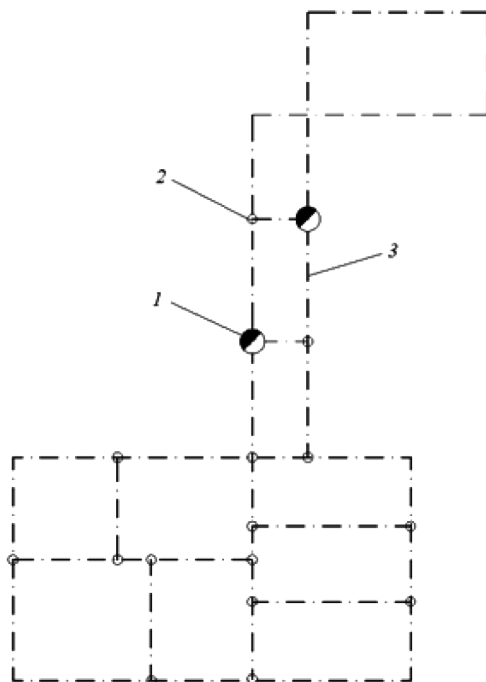


Рисунок 7 – Конструкція опорної мережі при розробці родовищ солей підземним способом:

1 – шахтний ствол; 2 – вузлові точки; 3 – ходи в гірничих виробках

2.4 Недоліки типових схем побудови підземних маркшейдерських опорних мереж

Перелічені системи побудови підземних маркшейдерських опорних мереж доводять їхню залежність від умов залягання родовищ і способів їх розкриття. У той же час у типових системах побудови мереж видні істотні недоліки, до яких відносяться:

- обмежена кількість або повна відсутність надлишкових твердих дирекційних кутів сторін мережі. Як правило, орієнтування підземних маркшейдерських опорних мереж виконують

в одному місці, найчастіше в центрі шахтного поля. У зв'язку з цим, а також унаслідок коротких ліній полігонометричних ходів, відбувається швидке накопичення помилок у положенні полігонометричних пунктів, що приводить до різкої неоднорідності мережі, це, у свою чергу, викликає значні утруднення в рішенні гірничотехнічних питань, зокрема, питань щодо збійки виробок і складання планів гірничих виробок;

- необхідність прокладання великої кількості повторних ходів при побудові мережі і під час її поновлення; недостатнє число додаткових зв'язків у мережі (твердих координат і твердих дирекційних кутів) приводить до необхідності виконувати великий обсяг повторних полігонометричних ходів, а у випадках порушення або втрати пунктів опорної мережі – великий обсяг робіт з її поновлення.

Ці недоліки в існуючих системах побудови мереж стають особливо помітні в зв'язку зі збільшенням розмірів шахтних полів і глибини розробки родовищ.

2.5 Підвищення надійності опорних мереж шляхом автономного орієнтування сторін полігонометричних ходів

Застосування автономного орієнтування за допомогою гірокомпасів дозволяє перейти до нових схем побудови підземних маркшейдерських опорних мереж. Сутність цих схем полягає в наступному:

- підземну полігонометричну мережу розділяють на секції;
- у кожній секції автономно за допомогою гірокомпаса визначають дирекційний кут однієї зі сторін мережі;
- врівноважують спільно результати кутових вимірів і результати автономного визначення дирекційних кутів сторін у секціях, з огляду на їхні вагові значення.

Нові схеми побудови мереж мають наступні переваги:

- поліпшення однорідності мережі і значне підвищення точності положення найбільш віддалених пунктів мережі;
- підвищення продуктивності праці маркшейдерів, принаймні, у 1,5 рази в зв'язку з тим, що виключається необхідність прокладання контрольних ходів;
- високий ступінь надійності мережі, а отже і планів гірничих виробок.

Значення першої з переваг видно з приклада для витягнутого полігонометричного ходу з приблизно однаковими за довжиною сторонами.

Позначимо помилку положення кінцевого пункту вільного витягнутого полігонометричного ходу з рівними сторонами, що залежить від помилок кутових вимірів і помилок орієнтування, як M_1 .

Помилку положення кінцевого пункту такого ж полігонометричного ходу, що залежить від помилок кутових вимірів, але складається із секцій з автономним визначенням дирекційних кутів сторін у секції, позначимо M_2 .

Відношення помилок M_2/M_1 служить характеристикою переваги у відношенні точності полігонометричних ходів, що розділені на секції. Для різних значень числа сторін ходу і кількості секцій у ньому, при середній помилці кутових вимірів $\pm 20''$,

Таблиця 2

Число сторін ходу	Відношення M_2/M_1 при кількості секцій у полігонометричному ході					Довжина полігоном. ходу, м	Середня квадратична помилка M_1 , м
	1	2	3	4	5		
20	0,58					1000	0,31
40	0,58	0,33				2000	0,81
60	0,52	0,30	0,23			3000	1,45
80	0,52	0,30	0,23	0,18		4000	2,18
100	0,52	0,29	0,21	0,17	0,15	5000	3,01

помилці орієнтування $\pm 30''$ і середній довжині сторони ходу 50 м, це відношення виражається числами, представленими в табл. 2.

З табл. 2 видно, що помилка положення кінцевого пункту полігонометричного ходу довжиною 5000 м, розділеного на секції (з довжиною секції 1 км), зменшується майже в 7 разів.

2.6 Загальні рекомендації щодо розташування опорних дирекційних кутів

Побудову систем полігонометричних ходів, розділених на секції гіросторонами, роблять при видаленні пунктів мереж від точок центрування на відстань 1,5–2 км і більш. Гіросторони розміщують, як правило, через 20–30 кутів або їхнє розташування і число визначається при складанні проєкту мережі.

Розглядаючи питання про доцільне місце розташування опорних дирекційних кутів, що визначаються автономно, в полігонометричних ходах різних типів, виходять, з одного боку, з досягнення більшої однорідності мережі і, з іншого боку, з досягнення мінімуму прокладання повторних ходів.

Досить часто в практиці застосовують вільні висячі полігонометричні ходи, що прокладають двічі (рис. 8, а).

Для усунення необхідності прокладання повторного ходу при визначенні дирекційних кутів гірокомпасом полігон розділяють на секції (рис. 8, б) і в кожній секції незалежно визначають дирекційний кут. Довжина секції або відстань між сторонами з опорними дирекційними кутами залежить від довжини сторін ходу і точності кутових вимірювань. При середній довжині сторони ходу 50 м і середньої квадратичній помилці вимірювання кута $\pm 20''$ відстань між найближчими сторонами з опорними дирекційними кутами, визначеними незалежно, приймають 1–1,5 км. При підвищенні точності кутових вимірювань до $\pm 10''$ ці відстані можуть бути збільшені до 2 км.

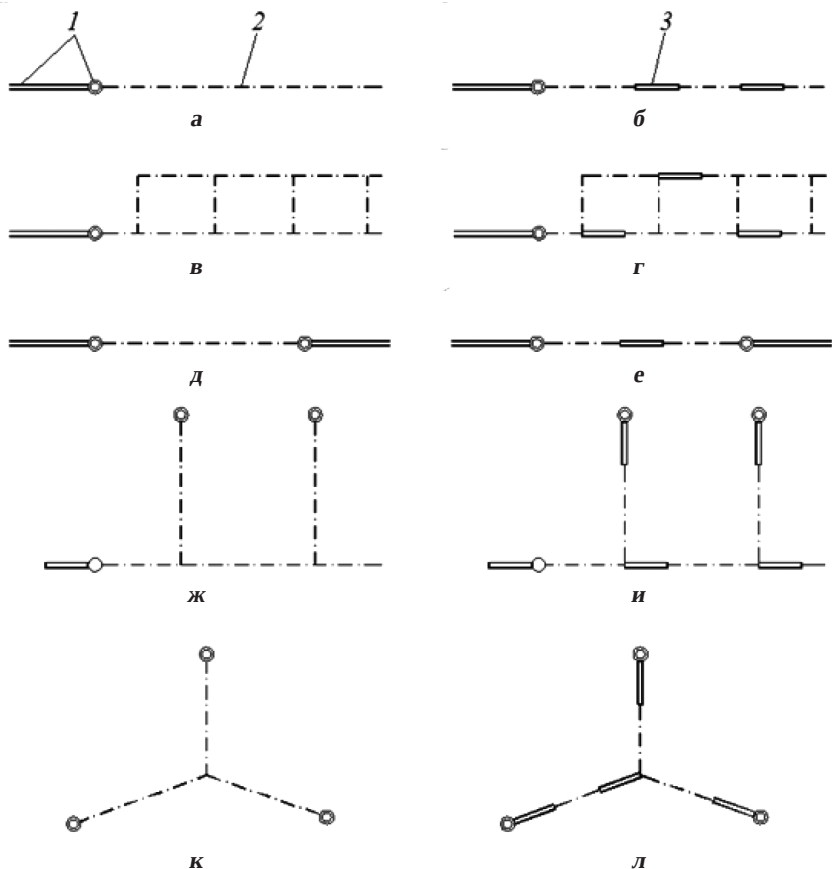


Рисунок 8 – Приклади розташування сторін з опорними дирекційними кутами:

1 – вихідні дані; 2 – хід; 3 – сторона з опорним дирекційним кутом, визначеним гіроскопічним способом

Узагалі, визначення опорного дирекційного кута сторони ходу вводять у тому випадку, коли його помилка в 3–4 рази менше помилки дирекційного кута цієї ж сторони, отриманого шляхом послідовної передачі його по сторонах полігонометричного ходу. При поділі на секції висячий полігонометричний хід

прокладають один раз замість двох. Кожну лінію в ньому для виключення грубих помилок обов'язково вимірюють незалежно двічі – у прямому і зворотному напрямках.

У вільних замкнутих полігонометричних ходах значної довжини, що примикають один до одного (рис. 8, в), визначають опорні дирекційні кути у кожному замкнутому ході (рис. 8, г).

У полігонометричних ходах між двома твердими сторонами (рис. 8, д) при довжині ходу 2 км і більш хід поділяють на секції довжиною 1 км (рис. 8, е).

У невідільних полігонометричних ходах з контролем у координатах (рис. 8, ж) з метою виключення прокладання повторних ходів визначають дирекційні кути сторін, що примикають до пунктів (висків) із твердими координатами або сторін, розташованих поблизу (рис. 8, з).

У невідільних полігонометричних ходах з контролем по замикаючій (у ходах між висками, рис. 8, і) визначають дирекційні кути сторін, що прилягають до пунктів (висків) із твердими координатами або сторін близьких до них (рис. 8, к). Ходи або відстані від вузлової точки до пунктів із твердими координатами більш 1 км розділяють на секції.

2.7 Точність побудови підземних маркшейдерських опорних мереж

Головним фактором, що визначає точність положення пунктів підземних маркшейдерських опорних мереж, є точність планів гірничих виробок, необхідна для рішення різного роду гірничотехнічних і гірничогеометричних завдань.

У зв'язку з недостатньою стійкістю пунктів полігонометричних ходів у ряді випадків маркшейдери змушені періодично знову прокладати полігонометричні ходи. У випадку неузгодженості точності положення полігонометричних пунктів з точністю

графічної побудови планів гірничих виробок пункти повторних полігонометричних ходів неминуче будуть виходити за контури виробок, раніше нанесених на план. Розв'язати цю проблему можна тільки шляхом приведення у відповідність точності зйомки з точністю графічної побудови планів гірничих виробок. Таким чином, при рішенні питання про точність положення пунктів підземної маркшейдерської опорної мережі варто враховувати не тільки точність рішення гірничотехнічних задач, але і необхідність узгодження з точністю графічної побудови плану гірничих виробок [4].

При рішенні питання про узгодження точності зйомки з точністю графічної побудови планів гірничих виробок після повторної зйомки важливий не збіг самих пунктів полігонометричних мереж, тому що ці пункти, як правило, встановлюються в нових місцях, а збіг контурів гірничих виробок у межах точності графічної побудови планів.

Для оцінки точності робіт і вимірів повинні використовуватися середні квадратичні, припустимі і граничні погрішності. Як припустиму погрішність використовується подвоєна середня квадратична погрішність, а в якості граничної – потроєна.

Виходячи з точності графічної побудови планів, припустиму помилку положення контурної точки боків основних виробок стосовно пунктів маркшейдерської опорної мережі на земній поверхні приймають $\pm 0,8$ мм. З огляду на те, що положення боків виробок визначають безпосередніми вимірюваннями від пунктів мережі за допомогою рулетки з помилкою, що не перевищує ± 5 см, за величину граничної помилки визначення найбільш віддаленого пункту підземної маркшейдерської опорної мережі приймають величину помилки положення контурної точка, рівну $\pm 0,8$ мм на плані. Середня квадратична погрішність положення найбільш віддалених пунктів опорної мережі щодо вихідних пунктів не повинна перевищувати 0,4 мм на плані, що складає 0,4 і 0,8 м для планів гірничих виробок масштабів відповідно 1:1000 і 1:2000 [1].

Для підземних маркшейдерських опорних мереж вугільних шахт установлені наступні вимоги по точності: середня квадратична погрішність положення довільного пункту не повинна перевищувати 0,6 м.

Для проведення особливо точних робіт, наприклад, робіт для задавання напрямків при проходженні виробок зустрічними вибоями, у кожному конкретному випадку виконують розрахунок необхідної точності кутових і лінійних вимірювань при прокладанні полігонометричних ходів. Цей розрахунок виконують тільки в тому випадку, якщо попередня оцінка точності результатів роботи, наприклад, змикання зустрічних вибоїв, з урахуванням установлених норм точності кутових і лінійних вимірів, виявить їхню неприйнятність [2].

РОЗДІЛ 3

Організація робіт при створенні і реконструкції підземної маркшейдерської опорної мережі

3.1 Загальні положення організації робіт з побудови підземної маркшейдерської опорної мережі

Роботи з побудови (реконструкції) підземних маркшейдерських опорних мереж виконують у наступному порядку [1]:

- складають проєкт мережі;
- проводять рекогносцировку і закріплюють постійні пункти;
- досліджують кутомірні інструменти і прилади для лінійних вимірів і автономного орієнтування;
- орієнтують сторони мережі за допомогою гіроскопічних приладів;
- виконують кутові і лінійні виміри в полігонометричних ходах;
- центрують мережу і виконують примикання полігонометричних ходів до пунктів маркшейдерської опорної мережі на земній поверхні;
- виконують попередню обробку результатів вимірювань і оцінку їхньої точності;
- врівноважують мережу й обчислюють координати пунктів;
- складають каталоги координат постійних пунктів мережі.

Для виконання робіт з побудови підземних маркшейдерських опорних мереж маркшейдерські відділи гірничих підприємств повинні мати необхідний комплект інструментів, приладів і пристосувань.

До складу маркшейдерської групи при побудові підземних маркшейдерських опорних мереж повинно входити не менш чотирьох виконавців – два маркшейдери і два робітники.

3.2 Складання проєкту створення підземної маркшейдерської опорної мережі

Перед початком робіт з побудови підземних маркшейдерських опорних мереж складають проєкт мережі.

Однією з відмінних рис складання проєкту побудови підземних маркшейдерських опорних мереж є складання його не на основі фактичної ситуації, як це має місце при побудові маркшейдерських опорних мереж на земній поверхні, а виходячи з проєктного положення гірничих виробок з урахуванням перспективних планів розвитку гірничих робіт.

Однак далеко не завжди фактичне положення гірничих виробок відповідає проєктному, тому при складанні проєкту мережі встановлюють тільки її основні конструктивні елементи: місця визначення опорних дирекційних кутів, місця примикання підземної мережі до пунктів на земній поверхні, місця замикання полігонів і місця установки постійних пунктів. Конструкцію мережі вибирають з таким розрахунком, щоб забезпечувалася необхідна точність положення її віддалених пунктів.

Основні положення проєкту побудови підземної маркшейдерської опорної мережі [1]

При складанні проєкту встановлюють принципову схему опорної мережі, що повинна бути геометричною основою розвитку знімальної мережі і зйомок гірничих виробок.

У проєкті повинні бути викладені основні питання побудови мережі:

1. Характеристика пунктів і сторін маркшейдерської геодезичної опорної мережі, що будуть використані для визначення

координат і висот підхідних пунктів, визначення поправки гірокомпаса. При необхідності згущення опорної мережі визначають обсяги і терміни виконання робіт.

2. Відомості про існуючу підземну опорну мережу і можливість використання раніше прокладених полігонометричних ходів, що по точності вимірів і стану збереження пунктів можуть бути включені до мережі, що проектується.

3. Схема побудови проєктованої мережі.

4. Місця і способи додаткового центрування й орієнтування мережі.

5. Розрахунок точності положення віддалених пунктів підземної опорної мережі.

6. Прилади й устаткування для побудови мережі.

7. Методика гіроскопічного орієнтування, вимірювань кутів і ліній.

8. Порядок зрівнювання підземної опорної мережі.

9. Календарний план виконання робіт із зазначенням обсягів по видах робіт і виконавців (шахта, підрядна організація, спеціалізована група й ін.).

10. Заходи безпеки при виконанні робіт.

Зміст графічної частини проєкту побудови підземної маркшейдерської опорної мережі [1]

У графічну частину проєкту включають:

1. План опорної мережі на земній поверхні (масштаби 1:2000–1:10 000) з нанесеною схемою примикання до точок центрування і зазначенням сторони для визначення поправки гірокомпаса.

2. Плани гірничих виробок, на які наносять:

- технічні границі шахти;
- існуючі і проєктовані капітальні і підготовчі гірничі виробки;
- існуючі вихідні пункти опорної мережі;
- місця додаткового орієнтування і центрування;
- схему існуючої опорної мережі і проєктовані ходи;

- постійні пункти, що збереглися (із указівкою номера) і проєктовані групи постійних пунктів;
 - існуючі і проєктовані гіросторони.
3. Схему мережі для виконання зрівнювання.

3.3 Складання проєкту реконструкції підземної маркшейдерської опорної мережі

Особливості і характер підземних маркшейдерських опорних мереж показують, що мережі повинні періодично піддаватися реконструкції або відновленню, унаслідок чого частіше виникає необхідність у складанні не проєкту створення мережі, а проєкту її реконструкції. Підставами для реконструкції мережі можуть бути:

- значні зміни в мережі через зміщення або втрату постійних пунктів, необхідних для подальшого прокладання ходів, унаслідок прояву гірничого тиску і погашення виробок;
- проходження нових виробок і виникнення нових зв'язків з маркшейдерською опорною мережею на земній поверхні;
- зниження точності мережі внаслідок збільшення її довжини;
- необхідність рішення складних завдань з проведення виробок зустрічними вибоями;
- необхідність ув'язування мереж різних горизонтів або шахт;
- перехід до нової системи координат.

Основні положення проєкту реконструкції мережі такі ж, як і проєкту створення підземної маркшейдерської опорної мережі.

У технічному проєкті реконструкції або відновлення мережі, виходячи зі стану гірничих виробок на даний момент і приймаючи до уваги подальший розвиток гірничих робіт, установлюють найбільш вигідну конфігурацію мережі з урахуванням її контролю, розраховують відстані між сторонами з опорними дирекційними кутами, що визначаються за допомогою маркшейдерських гірокомпасів, установлюють місця і способи примикання підземної мережі до пунктів маркшейдерської опорної мережі на земній

поверхні, визначають місця установки постійних точок, методи і порядок зрівноважування мережі [1].

Порядок і строк реконструкції опорної мережі встановлює, у залежності від її стану і місцевих гірничотехнічних умов, головний маркшейдер гірничого підприємства; проєкт реконструкції мережі затверджує головний маркшейдер вищестоящої організації.

За результатами реконструкції мережі складають новий каталог координат постійних пунктів мережі.

Після реконструкції опорної мережі зміни в положенні пунктів полігонометрії, найбільш віддалених від точок центрування, не повинні перевищувати 1,2 мм на плані, а при розробці світи крутих пластів – 1,5 мм. У випадку перевищення зазначених допусків раніше виконані зйомки в межах діючих гірничих виробок підлягають переобчисленню.

У випадку, якщо в процесі реконструкції мережі виявляють грубі помилки, що відбиваються на точності гірничої графічної документації, останню переробляють. В інших випадках, незважаючи на реконструкцію мережі, гірничі графічні документації залишається у попередньому вигляді.

У випадку, якщо мережу реконструюють з метою проведення виробок зустрічними вибоями, у проєкті приводять розрахунок точності кутових і лінійних вимірювань, визначають методику виконання робіт і вибирають відповідні інструменти. В інших випадках методику вимірювання кутових і лінійних елементів у підземних полігонометричних ходах і їхню точності приймають відповідно до вимог маркшейдерської інструкції.

3.4 Поповнення підземної маркшейдерської опорної мережі

Залежно від просування гірничих виробок підземну опорну мережу періодично поповнюють. Пункти полігонометричних ходів не повинні відставати від вибоїв виробок більше чим

на 500 м, якщо вихідні плани гірничих виробок складають у масштабі 1:2000, і на 300 м, якщо плани складають у масштабі 1:1000 [1].

При веденні гірничих робіт поблизу затверджених границь небезпечних зон у затоплених і загазованих виробок віддалення пунктів полігонометричних ходів від вибоїв підготовчих виробок не повинне перевищувати 30 м при підході виробок на відстань 50 м до зазначених границь і 150 м при проведенні виробок уздовж границі зони.

При розробці шахтного поля від ствола до границь, при великих розмірах шахтних полів, підземні маркшейдерські опорні мережі в середній частини шахтного поля, що вже вироблена, утрачають своє значення, їх майже не використовують. Тому підтримувати ці ділянки опорні мережі немає необхідності. Однак на глибоких горизонтах і в інших випадках, що супроводжуються посиленням гірничого тиску, постійно закріплені пункти опорної мережі піддаються зсувові. Це змушує періодично прокладати полігонометричні ходи від стійких пунктів, що, як правило, знаходяться поблизу шахтного ствола.

Автономне визначення дирекційних кутів сторін мережі дозволяє в цьому випадку перейти на побудову локальних мереж, що розвиваються в районах діючих гірничих робіт. Це усуває надмірно великий обсяг робіт з періодичного повторного прокладання контрольних полігонометричних ходів від шахтного ствола до границь шахтного поля. Центрування таких мереж роблять по декількох пунктах колишньої опорної мережі (визначеним із застосуванням твердих дирекційних кутів), тому що зсув пунктів мережі навіть у межах 1,0–1,5 дм не зробить істотного впливу на помилку положення пунктів при зйомці виробок. Орієнтування мережі в цьому випадку виконують за допомогою гірокомпаса перед початком кожного поповнення опорної або знімальної мережі [2].

Викладене вище так відображено в маркшейдерській інструкції: якщо пункти опорної мережі піддаються зрушенню,

дозволяється використовувати координати цих пунктів для поповнення мережі при дотриманні наступних умов:

- дирекційний кут початкової сторони ходу, що прокладається, визначають гіроскопічним способом;
- відстань між останніми збереженими пунктами змінилася не більше ніж на 15 см.

Поповнення мережі при вищевказаних умовах допускається не більш 3 разів, при цьому загальна довжина поповнюваних ділянок мережі не повинна перевищувати 1,5 км [2].

3.5 Рекогносцировка і закріплення пунктів підземної маркшейдерської опорної мережі

У задачу рекогносцировки входить обстеження стану гірничих виробок, у яких запроєктована побудова опорних мереж, уточнення конструкції мережі і вибір місць установки постійних пунктів.

Стан гірничих виробок обстежують з метою виявлення умов, у яких передбачено прокладання полігонометричних ходів, виявлення можливостей поліпшення запроєктованої конструкції мережі і установлення відповідності проєктного положення мережі станові гірничих виробок у даний момент.

Пункти підземних маркшейдерських опорних мереж залежно від терміну їхнього існування і способу закріплення розділяють на постійні і тимчасові.

Постійні пункти закладають групами в місцях, що забезпечують їхню нерухомість і тривалу схоронність. У кожній групі повинне бути не менш трьох пунктів, а у приствольовому дворі при вихідному орієнтуванні – не менш чотирьох. При нестійких породах постійні пункти закладають у міру можливості.

При виборі місць установки постійних пунктів керуються наступними положеннями.

- Пункти встановлюють у місцях, що забезпечують повну їхню нерухомість. Як правило, цій вимозі задовольняють капітальні гірничі виробки, пройдені в корінних породах. Уникають установки пунктів у тих виробках, що у даний момент знаходяться в зонах опорного тиску або підробітки, або ж будуть знаходитися в них найближчим часом.

- Пункти встановлюють у виробках із тривалим терміном служби й у таких місцях, де не передбачається розсічка нових гірничих виробок, розширення їх або реконструкція транспорту.

- Пункти встановлюють таким чином, щоб ними зручно було користуватися. Установці інструмента не повинні заважати труби, кабелі, рух транспорту і т.п.

- Розташування постійних пунктів у межах шахтного поля повинне щонайкраще задовольняти потреби знімальних робіт, тому пункти встановлюють поблизу від об'єктів зйомки і сполучень капітальних гірничих виробок.

- Відстані між постійними пунктами однієї системи приймають максимальними і приблизно рівними один одному при добрій взаємній видимості.

По закінченні рекогносцирувальних робіт уточнюють схему мережі і місця установки постійних пунктів. Обрані місця установки постійних пунктів фіксують у гірничих виробках і складають ескізи їхнього розташування. Ескіз кожного постійного пункту поміщають у спеціальний журнал або журнал обчислення координат із зазначенням розмірів, що фіксують положення пункту у виробці, і дату закладення.

Місця установки тимчасових пунктів визначають у процесі прокладання полігонометричних ходів.

Конструкція центрів постійних маркшейдерських пунктів залежить від місця їхнього розташування у виробці. Усі типи маркшейдерських центрів повинні бути простими за конструкцією і стійкими проти корозії. Діаметр отвору, керна або ширина щілини центра пункту повинні бути не більш 2 мм.

3.6 Нормативні вимоги до вимірювань у полігонометричних ходах

Точність вимірювань у полігонометричних ходах, що прокладаються при побудові підземних опорних мереж, характеризується загальними показниками, приведеними в таблиці 3 [1].

Таблиця 3

Середня квадратична погрішність вимірювання кутів		Середня квадратична погрішність гіроскопічного орієнтування	Коефіцієнти випадкового (μ) і систематичного (λ) впливу при лінійних вимірюваннях рулеткою у виробках з кутами нахилу			
горизонтальних	вертикальних		менш 15°		більш 15°	
			μ	λ	μ	λ
20"	30"	не більш 1'	0,0005	0,00005	0,0015	0,0001

Кутові вимірювання

Вимірювання кутів у підземних полігонометричних ходах виконують теодолітами з точністю відлікового пристрою не менш 15" [1].

Спосіб центрування теодоліта і сигналу вибирають у залежності від довжин сторін вимірюваного кута відповідно до таблиці 4.

При використанні шнурового виска необхідно захищати висок від впливу повітряного струменя.

У полігонометричних ходах, що прокладаються у виробках з кутом нахилу менш 30°, кути вимірюють одним повторенням або прийомом. При вимірюванні кутів способом повторень різниця між одинарним і остаточним (середнім) значенням кута

Таблиця 4

Горизонтальне прокладання меншої сторони кута, м	Спосіб центрування
до 10	Автоматичне центрування
10...20	Оптичне центрування або дворазове вимірювання кута з незалежним центруванням шнуровим виском перед кожним вимірюванням
понад 20	Однократне центрування шнуровим виском

не повинна перевищувати 45". При вимірюванні кутів способом прийомів розбіжність кутів між напівприйомами не повинна перевищувати 1' [2].

Вимірювання кутів у виробках з кутом нахилу більш 30° рекомендується виконувати способом прийомів (не менш двох) при умові дотримування наступних правил:

- перед кожним прийомом установлюють вертикальну вісь обертання теодоліта в прямовисне положення і повторно центрують прилад;
- перед повторним вимірюванням кута початковий відлік змінюють приблизно на 180°.

Розбіжність у кутах, отриманих з окремих прийомів, не повинна перевищувати 1'; розбіжності кутів між напівприйомами не повинні перевищувати величин, що наведені у таблиці 5.

Перед використанням постійних пунктів мережі вимірюють контрольний кут; різниця між попереднім значенням кута і контрольним не повинна перевищувати 1' [1].

Таблиця 5 – Припустимі розбіжності кутів між напівприйомами

Кут нахилу виробки, град.	Припустимі розбіжності кутів між напівприйомами	
	на сполученні горизонтальних і похилих виробок	у похилій виробці
31–45	1'20"	2'
46–60	1'50"	2'30"

Лінійні вимірювання

Довжину сторін у полігонометричних ходах вимірюють сталевими компарованими рулетками, світлодалекомірами й іншими приладами, що забезпечують необхідну точність. Сталеві рулетки (стрічки) повинні бути прокомпаровані з відносною погрішністю не більш 1:15 000 [1].

Лінійні вимірювання рулеткою виконують при постійному натягу мірного приладу, рівному натягові при компаруванні. Силу натягу фіксують динамометром. Температуру повітря враховують у тому випадку, якщо зміна її щодо температури компарування перевищує 5° . Кут нахилу лінії враховують, якщо він більш 1° .

При провішуванні ліній за допомогою проміжних висків варто утворювати інтервали довжиною не менш 10 м. Відхилення проміжних висків від створу і висотних міток від лінії візування не повинні перевищувати 10 см. Відліки беруть до міліметрів, кожен інтервал вимірюють не менш двох разів, друге вимірювання виконують при зміщенні рулетки. Розбіжність між результатами вимірювань повинна бути не більш 5 мм [2].

Сторони полігонометричних ходів вимірюють двічі в прямому і зворотному напрямках. Дозволяється вимірювати лінії в одному напрямку з зміщенням проміжних висків, зі зміною кута нахилу сторони або з зміщенням рулетки при повторному вимірюванні.

У висячих ходах, що примикають до гірсторін, довжину сторін обов'язково вимірюють у прямому і зворотному напрямках.

Припустимі розбіжності між двома вимірами лінії світлодалекомірами – не більш 3 см, сталевими рулетками – 1:3000 довжини сторони [1].

3.7 Обробка підземних опорних мереж

Обробка підземних опорних мереж включає:

- контроль обчислень у журналах вимірювань;
- уведення поправок до обмірюваних довжин;

- обчислення нев'язок;
- зрівнювання мереж.

В обмірювану довжину ліній вводять поправки за компарування, температуру і прогин. При вимірюванні похилої довжини обчислюють горизонтальне прокладання.

Поправки за приведення до поверхні референц-еліпсоїда вводять при висотних позначках більш +200 м і менш -200 м, а поправки за приведення до площини проєкцій Гауса вводять при віддаленні від осьового меридіана більш 50 км [1].

Кутова нев'язка в полігонометричних ходах не повинна перевищувати величин, що обчислюються за формулами:
у замкнутих полігонах:

$$f_{\beta} = 2m_{\beta}\sqrt{n};$$

у висячих полігонах, що пройдені двічі,

$$f_{\beta} = 2m_{\beta}\sqrt{n_1 + n_2};$$

у секціях полігонів і в розімкнутих полігонах, що прокладені між гіросторонами,

$$f_{\beta} = 2\sqrt{2m_{\alpha}^2 + nm_{\beta}^2},$$

де m_{β} – середня квадратична погрішність вимірювання кутів;

m_{α} – середня квадратична погрішність визначення дирекційних кутів гіросторон;

n – число кутів полігонометричного ходу;

n_1, n_2 – число кутів у першому і другому ходах.

Лінійна відносна величин в замкнутих полігонах не повинна перевищувати 1:3000 довжини ходу, у розімкнутих полігонах – 1:2000. Розбіжність між полігонометричними ходами, що пройдені двічі, не повинна бути більш 1:2000 сумарної довжини ходів (без попереднього зрівнювання кутів). При довжині ходу менш 500 м абсолютна нев'язка в розімкнутих полігонах не повинна перевищувати 25 см [1].

У полігонометричних ходах, що розділені на секції, і що примикають у кінці ходу до пункту (виска), абсолютна лінійна нев'язка не повинна перевищувати 0,8 мм на плані.

При реконструкції підземних опорних мереж контроль якості вимірювань виконують по програмах, що дозволяють обчислювати фактичні і припустимі значення нев'язок полігонів по найкоротшій ходовій лінії.

3.8 Заходи безпеки при прокладанні підземних полігонометричних ходів

Крім загальних правил безпеки, персонал маркшейдерської групи повинний дотримувати спеціальні правила.

Усі маркшейдерські інструменти повинні бути пристосовані для перенесення їх по гірничих виробках. Вимірювальні прилади і частини до них повинні бути закріплені в ящиках або футлярах, що закривають на ключ. Для зручності перенесення до ящиків, футлярів і штативів прикріплюють реміні. Ніжки штатива при перенесенні повинні бути скріплені ремінем, а пружина станового гвинта повинна знаходитися в закріпленому стані. Дрібний інвентар повинний бути покладений у спеціальну сумку.

При спуску до шахти інструменти, штативи і рейки варто укладати на підлогу кліті з боку її стінки. Ящики і футляри не можна ставити один на одного або на штативи, що лежать на підлозі; штативи і рейки повинні бути зв'язані. Жоден із предметів, що лежать на підлозі кліті, не повинний виступати за її межі.

Перевозити інструмент, штативи і рейки горизонтальними і похилими виробками у потягах з людьми дозволяється тільки в тому випадку, якщо вони не виходять за межі вагонетки.

У горизонтальних виробках маркшейдерська група повинна пересуватися по одній людині один за одним вздовж ходової сторони виробки. Ящики з інструментами, штативи, рейки і т.п. слід переносити в руках.

Про місце і час виконання маркшейдерських робіт в основних виробках варто довести до відома начальника підземного транспорту. При прокладанні полігонометричних ходів у тимчасово зупинених гірничих виробках, що ізольовані ґратчастими перемичками, слід отримати дозвіл начальника дільниці.

У горизонтальних виробках з рейковим транспортом маркшейдерські пункти, по можливості, розміщують з боку ходової частині виробки. Інструменти і сигнали рекомендується встановлювати на консолях, що закріплюють з таким розрахунком, щоб вагонетки їх не зачіпали. Під час роботи повинні бути виставлені світлові сигнали на відстанях не менш 40 м від задньої і передньої точок.

При вимірюванні ліній сталевими рулетками у виробках з контактним дротом слід дотримуватися обережності і не допускати торкання рулеткою до дроту.

Виконання маркшейдерських робіт у похилих виробках, по яких здійснюється відкочування вагонетками або іншими відкаточними судинами, дозволяється тільки при зупиненому русі і закритих бар'єрах.

Буріння шпурів за допомогою бурових механізмів для закладання маркшейдерських пунктів виконується бурильниками. Забороняється доручати цю роботу робітникам маркшейдерської групи, що не мають на це відповідного права.

РОЗДІЛ 4

Аналіз погрішностей підземних маркшейдерських планових мереж

4.1 Загальні відомості про вимірювання і їхню точність

Відомо, що будь-які вимірювання, як би ретельно вони ні виконувалися, завжди супроводжуються помилками, тобто відхиленнями обмірюваних значень від дійсних. Удосконалювання методики вимірювань і конструкцій вимірювальних інструментів і приладів, підвищення кваліфікації спостерігача може підвищити точність вимірювань, тобто зменшити відхилення одержуваних результатів від їхніх істинних значень. Одержати безпомилкові результати вимірювань неможливо. Тому в практиці вимірювання роблять таким чином, щоб результати вийшли з деякою заданою точністю. Поняття «задана точність» повинне супроводжуватися певними чисельними критеріями, що являють собою ймовірнісну характеристику можливих відхилень отриманих результатів обробки вимірювань від їхніх дійсних значень [4].

Установлення зазначених критеріїв, розробка способів їхнього одержання й оцінки входять у число задач теорії помилок вимірювань.

Основні питання і ряд окремих питань, що розглядаються у теорії помилок вимірювань, можна сформулювати в такий спосіб:

- 1) вивчення законів виникнення і розподілу помилок вимірювань і обчислень;
- 2) установлення допусків, тобто критеріїв, що вказують на наявність неприпустимих відхилень результатів вимірювань (грубих помилок);

3) відшукування найбільш точного за ймовірністю значення величини, що визначається, з результатів її багаторазових вимірювань;

4) передобчислення очікуваної точності й оцінка точності отриманих результатів вимірювань;

5) характеристика точності остаточних значень величин, що визначаються, за результатами математичної обробки вимірювань.

4.2 Класифікація вимірювань

Усі величини, з якими мають справу в маркшейдерській справі, можна розділити на обмірювані, наближені значення яких одержують у результаті вимірювань, і обчислені, тобто знайдені шляхом обчислень як функції обмірюваних величин [3].

Під вимірюванням якої-небудь величини розуміють порівняння її з однорідною з нею величиною, прийнятою як одиниця міри. Це порівняння зазвичай здійснюється шляхом виконання ряду операцій, найчастіше досить складних. До такого ряду операцій відносяться: еталонування мірного приладу, візування, сполучення індексів, виконання відліків і т. д. Під результатом вимірювання розуміють кінцевий результат, отриманий в результаті всіх операцій.

Для виявлення промахів, а також підвищення точності результатів, вимірювання в маркшейдерській справі завжди бувають багаторазовими.

За точністю результати вимірювань розділяють на рівноточні і нерівноточні.

Під рівноточними розуміють однорідні результати, отримані при вимірюваннях тим самим інструментом (або різними інструментами, але того самого класу точності), тим самим або рівноцінними методами, однаковою кількістю прийомів і в однакових умовах.

Нерівноточними називають результати вимірювань, якщо зазначені умови рівноточності не дотримані.

Приклади рівноточних вимірювань:

1) вимірювання горизонтальних або вертикальних кутів теодолітами однакової точності, однаковим способом і тим самим числом прийомів; рівноточно вимірюють кути в полігонометричних ходах того самого класу;

2) вимір довжини лінії тим самим мірним приладом, однаковим способом;

3) вимір температури повітря або мірного приладу термометром однієї і тієї ж конструкції і точності.

Приклади нерівноточних вимірювань:

1) вимірювання кутів тим самим способом і числом прийомів, але інструментами різної точності;

2) вимірювання кутів однаковим способом, однаковими інструментами, але різним числом прийомів;

3) вимірювання довжини лінії мірними приладами різної точності, наприклад, 10-тиметровою тесьмяною рулеткою і 30-тиметровою сталевую рулеткою.

Очевидно, у відношенні точності порівнювати між собою можна вимірювання тільки однорідних величин, тобто однаково іменованих.

Важливе значення в питаннях математичної обробки вимірювань мають поняття необхідних і надлишкових обмірюваних величин.

Для вирішення маркшейдерських завдань зазвичай необхідно вимірюваннями кілька величин. Наприклад, для рішення задачі з виносу в натуру осей ствола або іншої інженерної споруди на місцевості потрібно вимірюваннями деякий мінімум величин.

Число мінімально необхідних для рішення поставленої задачі обмірюваних величин будемо називати числом необхідних величин; часто його називають числом необхідних вимірювань [4].

Різниця числа всіх обмірюваних і числа необхідних величин називають числом надлишкових величин або числом надлишкових вимірювань.

У маркшейдерських роботах надлишкові обмірювані величини обов'язкові: вони дозволяють виявляти промахи у вимірах і обчисленнях і підвищують точність результатів визначень шуканих величин. При визначенні однієї величини необхідно один вимір, інші – надлишкові.

4.3 Помилки вимірювань і їх класифікація

Як зазначено вище, будь-які вимірювання супроводжуються помилками, тобто відхиленнями результатів вимірювань від дійсних значень обмірюваних величин [4].

У чому причина появи цих помилок?

У процесі вимірювання, крім об'єкта вимірювання, беруть участь спостерігач, інструменти і прилади, зовнішнє середовище. Весь цей комплекс умов безперестанно змінюється і врахувати ці зміни безпомилково не представляється можливим. Тому результати вимірювань відрізняються від дійсних значень, причому щораз по-різному.

Називаючи сукупність факторів, що впливають на результати вимірювань, тобто об'єкт вимірювань, спостерігача, інструменти і прилади, зовнішнє середовище, умовами вимірювань, можна сказати, що коливання результатів вимірювань відбивають безперестанні зміни умов вимірювань.

Для вивчення властивостей (закономірностей появи) помилок вимірювань доцільніше за все скористатися істинними значеннями вимірюваних величин. У якості істинного можемо прийняти відоме нам з високою точністю значення вимірюваної величини, тобто з такою малою помилкою, якою в порівнянні з помилками самих вимірі можна знехтувати. Деякі функції обмірюваних величин можуть бути нам відомі і безпомилково визначені

(наприклад, сума кутів у трикутнику). Позначимо дійсне значення вимірюваної величини через X , результат вимірювання через x_i . Різниця результатів вимірювань і дійсних значень, у розумінні «обмірюване мінус істинне» або «те, що є, мінус те, що повинно бути», називають істинними помилками вимірювань Δ , тобто [4]:

$$\Delta = x_i - X.$$

Маючи істинні помилки у великій кількості, можна вивчати закономірності їхнього виникнення. Однак у практиці у більшості випадків, якщо не вважати рідких випадків спеціальних досліджень, істинне значення вимірюваної величини, а, отже, і істинні помилки залишаються невідомими. Тому для вивчення властивостей помилок вимірювань частіше застосовують непрямі методи досліджень, наприклад, вивчення законів розподілу результатів вимірювань і законів розподілу нев'язок.

Кожний окремий впливовий фактор мало впливає на результат вимірювання в порівнянні із сумарним впливом усіх факторів. Так, наприклад, на результат вимірювання горизонтального напрямку в гірничий виробці діють наступні джерела помилок: багаторазове переломлення променів, що йдуть від візирного сигналу до ока спостерігача, недостатнє і нерівномірне освітлення об'єкта візування, нестійкість сигналу, нестійкість теодоліта на штативі й у піднімальних гвинтах, температурні й інші зміни в інструменті, помилки юстировки інструмента, помилки поділу горизонтального кола, помилки відлікового пристрою, особисті помилки спостерігача при візуванні і відлічуванні по колу та ін. Кожне із зазначених джерел помилок, як правило, незначно впливає на остаточний результат у порівнянні із сумарним впливом усіх джерел і змінює свою дію від прийому до прийому [3].

У свою чергу, кожне з перелічених джерел помилок може бути підрозділено на ряд більш дрібних джерел. Наприклад, помилка юстировки інструмента підрозділяється на колімаційну помилку, помилку нахилу горизонтальної осі, помилку нахилу вертикальної осі, помилку нівелювання інструмента та ін.

Таким чином, відхилення обмірюваного значення від істинного є результат впливу великого числа причин, кожна з яких, якщо мати на увазі високоточні вимірювання, позначається так мало на результаті окремого вимірювання, що нею можна знехтувати в порівнянні із сумарним впливом усіх причин.

Залежно від джерела виникнення помилки вимірювань підрозділяють на інструментальні, зовнішні, або помилки середовища, і особисті.

Ця класифікація має велике значення для дисциплін, що вивчають прилади і методи вимірювань. Для теорії помилок вона має другорядне значення. Значна ж роль у теорії помилок належить класифікації помилок по закономірностях їхньої появи.

Грубі помилки. Теорія математичної обробки вимірювань не розглядає грубих помилок, що викликані промахами або прорaxунками спостерігача, несправностями інструментів і приладів, різким погіршенням зовнішніх умов і ін. Результати вимірювань, що містять грубі помилки, необхідно виявляти і відкидати [3].

Випадкові і систематичні помилки. З безлічі елементарних помилок, що складають у сумі загальну помилку вимірювання, виділяють дві основні категорії помилок: випадкові і систематичні. Елементарні помилки при повторенні вимірювань, як правило, змінюють свою величину, тому їх можна розглядати як значення випадкових величин.

Випадковими називають елементарні помилки, що представляють собою значення випадкових величин з математичним очікуванням, яке нехтовно мало відрізняється від нуля.

Систематичними називають елементарні помилки, що представляють собою значення випадкових величин, що мають математичні очікування, яке помітно відрізняється від нуля.

Систематичні помилки можуть бути постійними, тобто такими, що зберігають при вимірюваннях і знак (напрямок), і величину.

Джерел випадкових помилок завжди значно більше, ніж систематичних, але дія кожного з них, як правило, незначна.

При високоточних вимірюваннях головна увага повинна бути приділена боротьбі з впливом систематичних помилок. Приведемо для ілюстрації кілька прикладів систематичних помилок.

1. Помилки в обмірюваному значенні довжини лінії на місцевості через відхилення мірної стрічки від створу.

2. Помилка у визначенні довжини мірної стрічки (помилка компарування). Ця помилка постійна і діє пропорційно обмірюваній відстані.

3. Систематичні помилки нанесення штрихів лімба теодоліта. При перестановках лімба ці помилки здобувають періодичний характер і їхній вплив на середнє значення з прийомів вимірювання кута значною мірою послабляється.

4. Помилки визначення поправок за температуру мірної сталеві стрічки, розташованої на землі. Звичайно вимірюють температуру повітря і приймають її за температуру стрічки, при цьому виникає систематична за знаком помилка у поправці за температуру стрічки. Такі помилки називають одnobічними.

Як приклад випадкових помилок можна привести помилку відліку по кутомірному колу теодоліта; частка помилки візування, що обумовлена коливаннями зображення; випадкові помилки нанесення штрихів лімба; вплив вібрації сигналу; помилки відлічування по нівелірній рейці; помилки за округлення чисел при обчисленнях і при відлічуванні по шкалах і т. п.

4.4 Загальні положення аналізу точності маркшейдерських мереж

Аналіз точності виконують на різних стадіях побудови і використання маркшейдерських мереж, а саме:

- при проектуванні мереж з метою вибору приладів і методів вимірювань;
- при створенні мереж або їх окремих ділянок для контролю якості виконаних вимірювань;

– в процесі експлуатації побудованих мереж для вирішення питань про можливості їх використання при виконанні інженерних робіт з заданою точністю.

На стадії проектування маркшейдерських мереж здійснюється попередній аналіз точності, на основі якого оцінюється правильність вибору приладів і методів для побудови мереж. Часто такий аналіз виконується одночасно з обґрунтуванням точності маркшейдерських робіт по забезпеченню проведення гірничих виробок зустрічними вибоями. Параметром, що контролюється, у даному випадку є вектор зміщення (незамикання) вісей зустрічних виробок після їх проходження. Фактичне значення цього параметра не повинно перевищувати деякого граничного значення заданого наперед з виробничої доцільності. Числове значення такої граничної величини прийнято називати граничною допустимою похибкою M_d [4].

Вибір приладів і методів вимірювання рахується оптимальним, якщо виконується нерівність:

$$M_d \geq K \cdot M_{cp}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт нормального розподілу, який залежить від довірливої ймовірності p_o ;

M_{cp} – очікувана середня похибка контролюемого параметра мережі з заданою граничною допустимою похибкою M_d .

Значення середньої похибки M_{cp} визначається відомими з теорії математичної обробки вимірів способами, які ґрунтуються на використанні формули середньої похибки деякої функції $F = F(l_1, l_2, \dots, l_n)$ незалежних аргументів l_i , точність кожного з яких характеризується середньою похибкою m_i . У загальному вигляді формула похибки функції має вигляд:

$$M_F^2 = f_1^2 m_1^2 + f_2^2 m_2^2 + \dots + f_n^2 m_n^2, \quad (2)$$

де f_i – похідні від функції F за аргументом l_i .

У свою чергу середні похибки m_i залежать від точності вибраних приладів і методів вимірювань.

Критерій (1) математичної статистики пов'язаний з аналізом статистичних похибок другого роду, при наявності яких помилкова гіпотеза може бути сприйнята як правильна. Наприклад у випадку проведення виробок зустрічними вибоями це може призвести до фактичного розходження вісей цих виробок, яке буде перевищувати встановлений допуск M_d , з усіма наслідками, які з цього випливають. При виборі коефіцієнта k необхідно враховувати, що перебільшене значення призведе до необхідності підвищення точності вимірювань, головним чином за рахунок використання більш складних приладів і трудомістких методів, а надто зменшене значення призведе до підвищення ступеню ризику. В маркшейдерській практиці при попередньому аналізі точності проєктуємих мереж переважно приймають $k = 3$, що відповідає довірливій ймовірності $p_o = 0,9972$. При такому значенні коефіцієнта ймовірність фактичного недотримання критерію (1) оцінюється одним випадком з 350 випробувань. Для особливо відповідальних робіт встановлюють $K = 4$, що відповідає довірливій ймовірності $p_o = 0,99994$ або ступінь ризику – один несприятливий випадок з 15 тисяч випробувань [4].

Контроль якості виконаних вимірювань здійснюється шляхом аналізу нев'язок, отриманих за результатами вимірювань. При цьому перевіряється гіпотеза відсутності у вимірах грубих промахів. Ця гіпотеза приймається, якщо дотримується критерій:

$$M_\phi \leq KM_{cp}, \quad (3)$$

де M_ϕ – фактичне значення оцінюваної нев'язки, отримане за результатами вимірювань;

k – коефіцієнт нормального розподілу, який залежить від довірливої ймовірності p_o ;

M_{cp} – очікуване середнє квадратичне значення оцінюваної нев'язки, обчислене за формулою (2) з використанням середніх похибок m_i , які характеризують точність виконаних вимірів. Переважно в якості похибок m_i приймають нормативне значення

похибок вимірювань, яке відповідає класу точності створюваної мережі.

В математичній статистиці застосування критерію (3) супроводжується появою статистичних похибок першого роду, при наявності яких може бути відхилена вірна гіпотеза. При контролі якості вимірювань з використанням цього критерію у ряді випадків може бути зроблений висновок про необхідність повторення правильно виконаних без грубих похибок вимірювань, які приймали участь в утворенні нев'язки M_ϕ . Для зменшення таких випадків можна збільшити коефіцієнт K . Але при цьому буде зменшуватися чутливість критерію (3) до грубих промахів. В маркшейдерській практиці приймають коефіцієнт $K = 2$, що відповідає довірливій ймовірності $\rho_o = \pm 0,954$. А значить, одночасно з нев'язками, які містять грубі промахи, може бути забраковано до 5 % нев'язок, сформованих правильно виконаними вимірюваннями. В геодезичній практиці інколи приймають $K = 2,5$, що відповідає довірливій ймовірності $\rho_o = \pm 0,988$. У цьому випадку бракується тільки 1 % нев'язок, отриманих з використанням правильно виконаних вимірювань, але дещо підвищується ризик наявності грубих промахів [3].

Простішим, найбільш зручним і поширеним видом контролю є виконання кожного виміру мінімум два рази. У цьому випадку фактична нев'язка M_ϕ обчислюється за формулою:

$$M_\phi = \ell' - \ell'',$$

де ℓ' і ℓ'' – значення двох вимірів однієї і тієї ж величини. За формулою (2) для цього випадку знайдемо:

$$M_\phi = m_\ell \sqrt{2},$$

де m_ℓ – похибка одного вимірювання. Таким чином (3) при $K = 2$ буде мати вигляд:

$$M_\phi \leq 2m_\ell \sqrt{2} \approx 3m_\ell.$$

Таким чином в якості допустимого значення різниці двох будь-яких вимірів деякої величини потрібно приймати потрібну середню похибку одного вимірювання.

При вирішенні питання про можливість використання існуючої мережі для виконання інженерних робіт з заданою точністю також використовують критерій (1), з тими ж значеннями коефіцієнту K . Але у цьому випадку значення M_{cp} повинно визначатися з урахуванням того, що мережа урівняна [3].

Для цього контролюємий параметр виражають через урівнені елементи мережі і за відомими формулами оцінки точності функції урівнених величин отримують значення M_{cp} . Якщо в результаті аналізу точності існуючої мережі критерій (1) не виконується, створюють мережу підвищеної точності, призначену для вирішення даної задачі.

4.5 Інструментальні погрішності горизонтальних кутів, що вимірюються способами прийомів і повторень

Спосіб прийомів. Значення кута β , обмірюваного n прийомами, визначають за формулою:

$$\beta = \frac{\sum (b_n - a_n) + \sum (b_n - a_n)}{2n},$$

де a_n і a_n – відліки по лімбу горизонтального кола теодоліта на задню точку кута при «коло ліворуч» і «коло праворуч»;

b_n і b_n – те ж саме, на передню точку кута.

Кожне наведення і відлік супроводжуються погрішностями, що впливають на точність кінцевого результату.

Приймемо наступні позначення:

m_v – середня квадратична погрішність візування одного напрямку;

m_o – середня квадратична погрішність відліку одного напрямку;

m_i – середня квадратична погрішність вимірювання кута;

n – число прийомів.

Визначення кожного напрямку супроводжується середньою погрішністю:

$$m_i^2 = m_v^2 + m_o^2.$$

З огляду на, що при вимірюванні кута β прийомами виконується спостереження $4n$ напрямків, знаходимо середню погрішність:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_v^2}{n} + \frac{m_o^2}{n}}.$$

Спосіб повторень. Величину кута, що обмірюється способом повторень, визначають за формулою:

$$\beta = \frac{a_3 - a_1 + k \cdot 360^\circ}{2n},$$

де a_1 – відлік по горизонтальному колу при першому наведенні на задню точку;

a_3 – те ж саме, при останньому наведенні на передню точку;

k – число повних кіл, що пройшов нульовий штрих відлікового пристрою відносно нульової поділки лімба;

n – число повторень.

Позначимо через m'_i середню погрішність кута, що обумовлена погрішністю відліку m_o [4].

При вимірі кута n повтореннями береться два відліки. Звідси слідує:

$$m'_i = \pm \sqrt{\frac{1}{4n^2} (m_o^2 + m_o^2)} = \pm \frac{m_o}{\sqrt{2n^2}}.$$

З огляду на те, що при n повтореннях робиться $4n$ візувань, знайдемо m''_i – середню погрішність вимірювання кута β , що обумовлена погрішністю візування m_v .

$$m''_i = \pm \sqrt{\frac{4nm_v^2}{4n^2}} = \pm \frac{m_v}{\sqrt{n}}.$$

Загальна погрішність вимірювання горизонтального кута буде:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_v^2}{n} + \frac{m_o^2}{2n^2}}.$$

4.6 Погрішність візування

При наведенні труби на сигнал її візирна вісь не буде точно збігатися з вимірюваним напрямком, а складе з ним деякий малий кут m_v , що називається *погрішністю візування*. Величина погрішності візування залежить від трьох факторів: чутливості людського ока; оптичних властивостей труби і конструкції сітки ниток; зовнішніх умов – яскравості освітлення сигналу, прозорості атмосфери й ін. Середня погрішність візування може бути визначена двома способами [4].

Перший спосіб ґрунтується на понятті про найменший кут зору ока людини, що у різних людей коливається в межах від 50 до 124". Середнє значення кута $\alpha_{\min}$ складає 60".

При застосуванні труби, що має збільшення v , кут, що спостерігається, буде в v раз більше кута, який видно неозброєним оком. Будемо вважати, що середня погрішність візування дорівнює найменшому куту зору ока, озброєного трубою, тобто

$$m_v = \frac{\alpha_{\min}}{v}.$$

Так для теодоліта Т15, що має трубу з двадцятиразовим збільшенням, середня квадратична погрішність візування складе:

$$m_v = \pm \frac{60''}{20} = \pm 3''.$$

Другий спосіб. В усіх сучасних теодолітах сітка ниток має дві вертикальні нитки або, як говорять, бісектор ниток.

При здійснюванні візування спостерігач прагне розміщати зображення сигналу посередині між нитками. Дослідженнями встановлено, що людське око уловлює несиметричність подібної установки тільки в тому випадку, якщо відстань від однієї нитки бісектора до сигналу вдвічі перевищує відстань до іншої нитки. Приймаючи таке співвідношення за межу несиметрії, що уловлюється оком, і зневажаючи шириною зображення сигналу, одержуємо таке значення погрішності візування:

$$m_{v_{\max}} = \pm \frac{d}{6},$$

де d – кутова відстань між нитками бісектора.

Середню погрішність візування приймають у два рази меншою від максимальної, тобто

$$m_v = \pm \frac{d}{12}.$$

4.7 Погрішність відліку

Відлік по лімбу теодоліта виражає деякий центральний кут або дугу лімба, раховані від нульової поділки останнього. При обертанні алідади цей кут або дуга змінюються від 0° до 360° . Однак фіксувати візуально кут повороту алідади ми можемо тільки через визначені інтервали, що відповідають точності відлікового пристрою. Справді, якщо горизонтальний кут вимірюють тридцятисекундним теодолітом, те всі відліки по лімбі будуть кратні $30''$. Дійсні ж кути повороту алідади можуть приймати інші значення, тому що при відліку по лімбі завжди допускається округлення значення кута до величини, кратної точності відлічування. Таким чином, погрішність відліку є погрішність округлення [4].

Середня погрішність округлення m_o визначається за формулою:

$$m_o = \pm \frac{\alpha}{\sqrt{3}},$$

де α – гранична погрішність округлення.

Величина граничної погрішності округлення відліку по лімбі буде:

$$\alpha = \pm \frac{t}{2},$$

де t – точність узяття відліку по горизонтальному кругу.

Таким чином, формула для визначення середньої погрішності відліку буде мати вигляд:

$$m_o = \pm \frac{t}{3,5}.$$

Для прикладу, середня погрішність відліку по горизонтальному кругу теодоліта, що має $t = 15''$, буде:

$$m_o = \pm \frac{15''}{3,5} = \pm 4,3''.$$

4.8 Порівняння способів прийомів і повторень

Для вибору способу вимірювання горизонтальних кутів підземних полігонометричних ходів варто зробити порівняння способів прийомів і повторень за кількістю праці, що затрачується на вимірювання, і точністю. Насамперед, установлюємо, що число візувань, які виконуються при вимірюванні кута прийомами і повтореннями однаково. В обох випадках необхідно зробити $4n$ наведень труби теодоліта. Однак при способі повторень необхідно зробити два відліки, а при способі прийомів $4n$. Таким чином, при способі повторень різко скорочується число відліків.

Це особливо важливо для підземних зйомок, де зовнішні умови нерідко створюють значні труднощі для відлічування по горизонтальному колу теодоліта. Поряд з цим зменшення числа відліків приводить до зменшення середньої погрішності вимірювання кута.

Зазначені переваги способу повторень виступають ще різкіше, якщо врахувати, що погрішність візування складає $4-5''$, у той час як для тридцятисекундних теодолітів середня погрішність відліку дорівнює $\pm 8''$.

Переваги способу повторень зменшуються при вимірюванні кутів високоточними теодолітами ($t < 10''$), що наочно видно на графіку рис. 9, який побудований для $n = 3$.

У зв'язку з цим при застосуванні теодолітів із точністю відлікового пристрою $20-30''$ у підземних полігонометричних ходах кути, у яких число вимірюваних напрямків не більш двох, слід вимірювати способом повторень.

При вимірюванні кутів оптичними теодолітами з точністю відліку по горизонтальному колу $t = 10-12''$ спосіб прийомів і спосіб повторень за точністю практично рівноцінні.

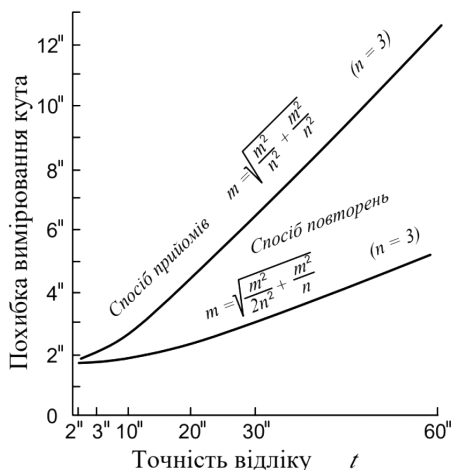


Рисунок 9 – Графік зміни середніх погрішностей вимірювання кута способами прийомів і повторень (при $n = 3$)

4.9 Погрішність вимірювання горизонтального кута, обумовлена неточністю центрування теодоліта і сигналів

Середня погрішність вимірювання горизонтального кута, обумовлена неточністю центрування теодоліта і сигналів m_{u_i} складається з трьох окремих погрішностей:

m_{c_A} – середньої погрішності вимірювання кута через неточність центрування сигналу A ;

m_{c_B} – середньої погрішності вимірювання кута через неточність центрування сигналу B ;

m_e – середньої погрішності вимірювання кута через неточність центрування теодоліта.

Загальна погрішність вимірювання кута:

$$m_{u_i} = \pm \sqrt{m_{c_A}^2 + m_{c_B}^2 + m_e^2}.$$

Знайдемо формули, що дозволяють визначити кожну з трьох перерахованих погрішностей.

Нехай потрібно виміряти кут $A_0C_0B_0$, тобто β_0 (рис. 10). Покладемо, що сигнал B і теодоліт C відцентровані безпомилково

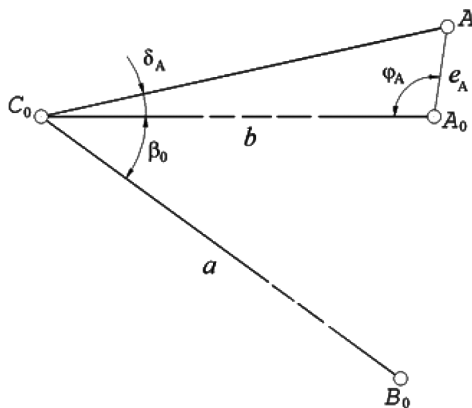


Рисунок 10 – Погрішність вимірювання горизонтального кута через погрішність центрування сигналу A

відповідно в точках B_0 і C_0 , у той час як другий сигнал установлений не в точці A_0 , а в точці A . Відстань $AA_0 = e_A$ називається лінійною погрішністю центрування сигналу (e_c). Величина цієї погрішності залежить від прийнятого способу й умов центрування.

На погрішність вимірювання горизонтального кута впливає не тільки величина лінійної погрішності центрування сигналу, але і її напрямок, тобто кут φ_A . Так, якщо φ_A дорівнює нулеві або 180° , тобто, якщо лінійна погрішність центрування сигналу спрямована вздовж сторони вимірюваного кута, то неточність центрування сигналу ніяк не вплине на точність вимірювання горизонтального кута.

При φ_A рівному 90° або 270° , погрішність вимірювання буде максимальною. З причини того, що лінійна погрішність центрування сигналу може бути спрямована в будь-яку сторону від точки, то кут φ_A може приймати будь-як значення від 0° до 360° . Геометричним місцем випадкових положень точки A буде коло радіуса e_A з центром у точці A_0 .

Оскільки випадкових положень точки A може бути нескінченно багато і кожне з них буде особливо впливати на погрішність вимірювання горизонтального кута, необхідно знайти її середнє квадратичне значення. З рис. 2 випливає:

$$\sin \delta_A = \frac{e_A}{b} \sin \varphi_A.$$

З огляду на мале значення кута δ_A можна записати:

$$\delta_A'' = \rho'' \frac{e_A}{b} \sin \varphi_A.$$

Після відповідних перетворень одержимо:

$$m_{e_A}^2 = \rho^2 \frac{e_A^2}{2b^2}.$$

Аналогічно можна знайти вираз погрішності вимірювання горизонтального кута через неточність центрування сигналу в точці B :

$$m_{c_B}^2 = \rho^2 \frac{e_B^2}{2a^2}.$$

Знайдемо вираз погрішності m_e . Для цього припустимо, що сигнали A і B (рис. 11) відцентровані безпомилково відповідно в точках A_0 і B_0 , а теодоліт відцентрований не в точці C_0 , а в точці C . У даному випадку має місце лінійна погрішність центрування теодоліта e , що складає зі стороною C_0A_0 кут θ . Очевидно, що при цьому буде обмірюваний не шуканий кут β_0 , а якийсь інший, тобто β .

Формула для обчислення погрішності m_e буде мати вигляд:

$$m_e^2 = \frac{\rho^2 e^2}{2a^2 b^2} (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta).$$

В остаточному виді з огляду на те, що способи, а, отже, і погрішності центрування обох сигналів однакові, погрішність

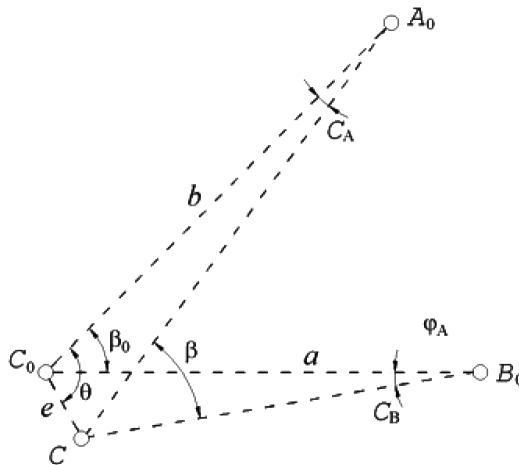


Рисунок 11 – Погрішність вимірювання горизонтального кута через погрішність центрування теодоліта

вимірювання горизонтального кута, обумовлена неточністю центрування теодоліта і сигналів може бути обчислена за формулою:

$$m_{\alpha_i} = \pm \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_c^2(a^2 + b^2) + e^2(a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta)]}.$$

Аналіз приведеної формули дозволяє зробити такі основні висновки:

1. Вплив погрішності центрування сигналів на погрішність вимірювання кута не залежить від його величини і обернено пропорційний довжині сторін, що утворюють кут.

2. Вплив погрішності центрування теодоліта на погрішність вимірювання кута залежить від його величини. Найбільший вплив погрішність центрування теодоліта (за інших рівних умов) буде мати при вимірюванні кутів, близьких до 180° .

3. Вплив погрішності центрування теодоліта обернено пропорційний довжині сторін, що утворюють кут.

4. Вплив погрішності центрування теодоліта і сигналів тим більше, чим більше відрізняються між собою довжини сторін вимірюваного кута.

У підземних зйомках мають місце несприятливі умови вимірювання горизонтального кута, тому що більшість кутів підземних полігонів близькі до 180° , а сторони кутів не великі і часто різко відрізняються між собою за довжиною. Це вимагає відноситися до центрування теодолітів і сигналів з особливою увагою.

4.10 Загальна середня квадратична погрішність вимірювання горизонтального кута

Загальна середня квадратична погрішність вимірювання горизонтального кута визначається за формулою:

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{m_i^2 + m_{\alpha_i}^2}.$$

У формулу середньої погрішності горизонтального кута входять погрішності m_i , e_c і e , що називають елементарними погрішностями вимірювання горизонтального кута.

За результатами багатьох досліджень отримані оцінки лінійних погрішностей центрування теодоліта і сигналу (e і e_c), що використовують для оцінки результатів кутових вимірювань:

- однократне центрування шнуровим виском 1,2–2,0 мм;
- оптичне центрування 0,8–1,2 мм;
- автоматичне центрування 0,5–0,8 мм.

Для пояснення порядку визначення погрішності вимірювання горизонтального кута вирішимо наступний приклад.

Приклад.

У шахті горизонтальний кут обмірюваний теодолітом ТЗ0 одним повторенням. Визначити середню погрішність вимірювання кута, якщо відомо: $a = 21$ м, $b = 28$ м, $\beta = 175^\circ$, $e_c = 0,001$ м, $e = 0,002$ м.

Рішення. Визначаємо величини погрішності відліку m_o і погрішності візування m_v :

$$m_o = \pm \frac{t}{3,5} = \pm \frac{30''}{3,5} \approx \pm 9'';$$

$$m_v = \pm \frac{60''}{v} = \pm \frac{60''}{18} \approx \pm 3''.$$

Знаходимо величину інструментальної погрішності:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_o^2}{2n^2} + \frac{m_v^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{81}{2} + 9} \approx \pm 7''.$$

Підраховуємо загальну середню квадратичну погрішність вимірювання горизонтального кута:

$$m_\beta = \sqrt{\left\{ 7^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{206\,265}{21 \cdot 28} \right)^2 [0,001^2 (21^2 + 28^2) + 0,002^2 (21^2 + 28^2 - 2 \cdot 21 \cdot 28 \cos 175^\circ)] \right\}} \approx \pm 27''.$$

Наведений приклад відповідає звичайним умовам підземної зйомки. Він показує, що розглянута погрішність досягає значної величини ($\pm 27''$), це ще раз підкреслює велике значення точності центрування теодоліта і сигналів.

4.11 Похибка визначення дирекційного кута гіроприладами

Маркшейдерські гіроприлади являють собою складні пристрої з великою кількістю взаємопов'язаних оптичних і механічних вісей. Порушення зв'язків між цими вісями призводить до похибок дирекційних кутів гіросторін, тобто до похибок гіроскопічного орієнтування. Крім звичайних для кутомірних геодезичних приладів похибок, таких як похибки відліків, візирования, центрування на точність визначення дирекційного кута впливають специфічні похибки, джерелами основних з яких слугують:

- тертя в підшипниках гіромотора;
- зовнішні сили, які виникають в системі підвішування;
- неточність балансування гіромотору і коливання його вісі обертання;
- неточність центрування чутливого елемента;
- температурні зміни в процесі роботи, які приводять до порушення оптико-механічних зв'язків;
- нестабільність режиму електроживлення;
- вплив магнітних полів;
- зміна взаємного співвідношення оптико-механічних вісей в часі, неunikних при транспортуванні, ремонтних та юстировочних роботах.

Остання обставина є принципово важливою, яка суттєво впливає на методику гіровимірювань, так як необхідно ретельно слідкувати за зміною поправки приладу шляхом періодичного

еталонування приладу на стороні мережі з відомим дирекційним кутом.

Сумарний вплив на точність гіроскопічного орієнтування перерахованих факторів внаслідок їх складної взаємозалежності не піддається суворому математичному опису. А тому, як і в інших випадках, приходится застосовувати емпіричне визначення загальної середньої похибки гіроскопічного орієнтування. Так багаточисельними дослідженнями, виконаними різними авторами, встановлено, що точність гіроскопічного орієнтування найбільш поширеними маркшейдерськими гірокомпасами МВТ2 та МВТ4 в залежності від конкретного приладу змінюється в межах від 10" до 25".

Для попереднього аналізу планових мереж середню похибку гіроскопічного орієнтування можна прийняти 20". Експериментальними роботами встановлено, що точність малогабаритного маркшейдерського гіроприладу – гіробусолі МВБ4 характеризується похибкою $m_{\alpha} = 45''$. Необхідно також враховувати, що якщо при визначенні дирекційних кутів декількох гіросторін одним приладом, в них введена одна і та ж поправка гірокомпаса, то величини цих кутів залежні, а дія похибок набуває систематичного характеру. Це потрібно враховувати при урівнюванні і оцінці точності мереж з гіросторонами, особливо підвищеної точності.

4.12 Похибка вимірювання довжин сторін підземних полігонів

Частіше всього лінійні вимірювання в підземних ходах здійснюють стальними рулетками. Але у ряді випадків, особливо при створенні мереж підвищеної точності, для цих цілей використовуються світловідалеміри. А тому необхідно оцінювати похибки вимірювання довжин сторін обома способами.

Основними джерелами похибок вимірювань довжин сторін підземних полігонів рулетками слугують:

- неточність компарування рулетки;
- неспівпадання сили натягу рулетки при компаруванні і вимірюванні;
- відмінність фактичного провисання полотна рулетки від значення, яке приймається при обчисленні поправки за провисання;
- неточність визначення температури;
- відхилення рулетки від вимірюваної лінії;
- похибка вимірювання кута нахилу лінії;
- похибка відліку;
- вплив зовнішніх умов вимірювань.

Перераховані джерела можуть бути причиною випадкових і систематичних похибок вимірювання довжини лінії.

Неточність компарування є систематичною похибкою. Після введення поправки за компарування отримане значення довжини буде відрізнятися від дійсного на величину похибки компарування ε_k . Якщо рулетку укладають n разів, то загальна похибка компарування буде дорівнювати $n \cdot \varepsilon_k$. Відносна похибка компарування рулетки не повинна перевищувати 1:15 000 її довжини. У цьому випадку систематичний зсув точки, віддаленої від вихідних пунктів на 5 км, не перевищить 0,33 м.

Неспівпадання сили натягу рулетки при компаруванні і вимірюваннях обумовить у відповідності з законом Гука зміну довжини рулетки l на величину, яку можна визначити за формулою:

$$\Delta_1 = \frac{\ell}{EF} \Delta P,$$

в якій E – модуль Юнга (для сталі $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па); F – площа поперечного перерізу полотна рулетки, м²; ΔP – різниця між силою натягу рулетки при компаруванні і вимірюванні, Н.

Якщо перейти до відносної похибки, то отримаємо:

$$\frac{\Delta_1}{\ell} = \frac{\Delta P}{EF}.$$

Якщо в якості граничної випадкової допустимої похибки одного фактору прийняти 1/20 000 (5 мм на 100 м), то з цієї формули отримаємо умову:

$$\Delta \leq \frac{1}{20\,000} \cdot EF,$$

за допомогою якої можна встановити максимально допустиму похибку натягу рулетки ΔP (в н). Для тонкої рулетки ($F = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$) отримаємо:

$$\Delta p \leq \frac{2 \cdot 10^{11} \text{ Н} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{2 \cdot 10^4 \text{ м}^2} = 30 \text{ Н}.$$

Для рулеток з великим перерізом цей допуск буде зростати пропорційно площі поперечного перерізу. Таким чином, це практично не надає суттєвого впливу на точність вимірювання довжини.

Поправка за провисання рулетки деякої довжини ℓ залежить від сили її натягу P і ваги полотна рулетки Q . Цей зв'язок виражається формулою:

$$\Delta \ell = \frac{Q^2 \ell}{24P^2}.$$

У процесі вимірювання може бути допущена похибка в натязі рулетки. Крім того, вага її полотна внаслідок забруднення буде відрізнятися від ваги чистої рулетки. Похибку вимірювання довжини m_{ℓ_1} , пов'язану зі зміною натягу ΔP , знайдемо, продиференціювавши вказану формулу за аргументом P . Внаслідок цього отримаємо відносну похибку:

$$\frac{m_{\ell_1}}{\ell} = \frac{Q^2}{12P^3} \cdot \Delta P.$$

Відповідно, умова, при якій відносна похибка, вимірювання довжини, що обумовлена різницею натягів ΔP , не перевершить допустимої відносної похибки 1:20 000, буде мати вигляд:

$$\Delta P \leq \frac{12P^3}{20\,000Q^2}.$$

До точності натягу рулетки при визначенні стріли провисання пред'являються високі вимоги. Наприклад, при похибці в натязі рулетки довжиною 50 м ($Q = 14,4$ Н = 1,5 кгс), що дорівнює $\Delta p = 9,8$ Н (1 кгс), похибка вимірювання одного прольоту складає $m_{t_1} = 9,4$ мм.

Забруднення полотна рулетки збільшує її вагу, що відбивається на величині похибки за провисання. Результати досліджень підтверджують, що доцільним є використання коротких рулеток. Оптимальними з практичних позицій слід рахувати рулетки довжиною 30 м.

Похибка за неточного обліку температури рулетки може бути отримана диференціюванням формули поправки за температуру, що має вигляд:

$$\Delta l = \alpha l(t - t_0),$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення полотна рулетки, $1\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (для сталі $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$);

l – виміряна довжина, в яку уводиться поправка;

t – температура полотна рулетки при вимірюванні;

t_0 – температура полотна рулетки при компаруванні.

За результатами диференціювання отримаємо відносну похибку, обумовлену неточністю врахування температури Δt у вигляді:

$$\frac{m_{lt}}{l} = \alpha \Delta t.$$

Таким чином, для забезпечення точності вимірювання довжини з відносною похибкою 1:20 000, похибка врахування температури Δt (в $^\circ\text{C}$) повинна задовольняти умові:

$$\Delta t \leq \frac{1}{20\,000\alpha} \leq 4.4.$$

При цьому температура повітря повинна враховуватись з похибкою не більше 5 °С.

Похибка внаслідок відхилення рулетки від створу вимірюваної лінії має систематичний характер. В горизонтальних виробках незалежно від того, в яку сторону (в плані чи по висоті) відхиляється проміжна (створна) точка, похибка вимірювання довжини завжди плюсова. Якщо один кінець рулетки суміщений зі створом вимірюваної лінії, а другий відхилений від створу на величину p то похибка вимірювання прольоту довжиною l буде дорівнювати [4]:

$$m_{lp} = \frac{p^2}{2l}.$$

Якщо обидва кінці рулетки відхиляються в різні сторони від створу, то похибка m_{lp} максимальна:

$$m_{lp} = \frac{(p_1 + p_2)^2}{2l}.$$

При $p_1 = p_2 = p$:

$$m_{lp} = \frac{2p^2}{l},$$

відповідно, відносна похибка:

$$\frac{m_{lp}}{l} = \frac{2p^2}{l^2}.$$

Щоб забезпечити відносну похибку вимірювання довжини, що дорівнює 1:20 000, повинна виконуватись умова:

$$\frac{p}{l} \leq \frac{1}{200} \quad \text{або} \quad p \leq \frac{l}{200}.$$

А тому при вимірюванні коротких ліній потрібно точніше встановлювати в створі проміжні точки. Наприклад, при $l = 10$ м $p \leq 0,05$ м.

Похибка внаслідок неточності вимірювання кута нахилу.
 Горизонтальне прокладення ℓ виміряної похилої довжини ℓ_n обчислюють за формулою:

$$\ell = \ell_n \cos \delta,$$

де d – кут нахилу лінії. Звідси похибку m_{ℓ_δ} горизонтального прокладення за неточність вимірювання кута нахилу δ можна визначити наступним чином:

$$m_{\ell_\delta} = \frac{\ell_n \sin \delta m_\delta}{\rho}.$$

Після переходу до відносної похибки, отримаємо:

$$\frac{m_{\ell_\delta}}{\ell} = \operatorname{tg} \frac{m_\delta}{\rho}.$$

Для забезпечення граничної відносної похибки 1:20 000 повинна витримуватись нерівність:

$$m_\delta \leq \frac{10''}{\operatorname{tg} \delta}.$$

Відповідно, зі збільшенням кута нахилу δ точність його вимірювання повинна підвищуватись, тобто зменшуватись похибка m_δ виміряного вертикального кута, як це показано в таблиці 6.

У похилих виробках похибка вимірювання довжини m_i обумовлюється неспівпаданням виміряного кута δ' з кутом δ лінії AB (рис. 12), що обумовлює зміщення точки по висоті на деяку величину Δh . З трикутника BCD знаходимо:

$$m_i = \Delta h \sin \delta \cos \delta.$$

Якщо прийняти $\Delta h = 10$ мм, то можна обчислити похибку горизонтального прокладення m_i для різних кутів нахилу δ .

Таким чином, необхідно ретельно суміщувати рулетку з лінією візування, зафіксованою при вимірюванні вертикального кута, особливо у виробках, нахил яких близький до 45° .

Таблиця 6 – Залежність похибок вимірювання довжин від кута нахилу

Кут нахилу δ , градуси	Допустима похибка m_δ , кутові секунди	Похибка m , мм	Кут нахилу δ , градуси	Допустима похибка δ , кутові секунди	Похибка m , мм
0	∞	0,0	45	10	5,0
10	57	1,7	60	6	4,3
20	27	3,2	70	4	3,2
30	17	4,3	80	2	1,7
40	12	4,9	90	0	0

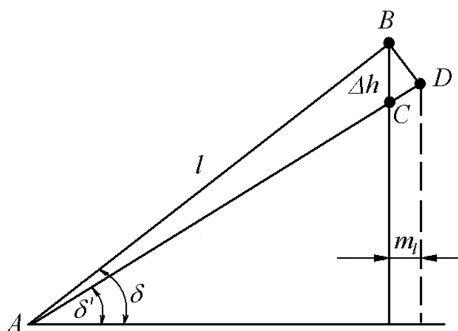


Рисунок 12 – Кут нахилу δ вимірюваної лінії

Вказані вище причини приводять також до виникнення похибки визначення перевищень m_h при тригонометричному нівелюванні. В цьому випадку:

$$m_h = \Delta h \sin^2 \delta.$$

Похибку відліку складають похибки відліку по рулетці і похибки, обумовлені проєктуванням висками, закріпленими в поточині точок на рівень рулетки. Останні є превалюючими, особливо у випадках довгих висків і при сильному русі повітря. Величина похибки для одного прольоту в залежності від умов вимірювання може значно коливатися (від 1 до 5 мм). При

вимірюванні n інтервалів похибка всієї довжини, яка залежить від неточності відліку визначається з виразу [4]:

$$m\ell_0 = m_0 \sqrt{n},$$

де m_0 – похибка відліку при вимірюванні одного інтервалу.

Для зменшення впливу цього джерела похибок довжини вимірюють по штативам, встановленим на проміжних точках. Вплив похибок відліку можна зменшити багатократними вимірюваннями кожного інтервалу.

Вплив зовнішніх умов вимірювання. Несприятливі умови (капання воді, забруднення полотна рулетки, погане освітлення, рух транспорту і перешкоди працюючих механізмів, вимушена поспішність в роботі тощо) знижують точність вимірювання і є основою причиною грубих промахів. Для їх усунення сторони маркшейдерських мереж повинні вимірюватися два рази, як правило, в прямому і зворотному напрямках.

У відповідності з інструкцією по виконанню маркшейдерських робіт лінії можуть вимірюватися два рази і в одному напрямку наступними способами:

- 1) зі зміщенням проміжних висків;
- 2) при різних кутах нахилу вимірюваної лінії;
- 3) зі зміщенням рулетки при повторному вимірюванні.

Найбільш надійним є перший спосіб. А тому якщо при вимірюванні довжини сторони використовують проміжні виски, то при повторних вимірюваннях їх доцільно зміщувати на 2–3 м по створу. Якщо довжина ходу менша довжини рулетки необхідно застосовувати другий спосіб з вимірюванням вертикального кута два рази.

Проміжні виски при цьому розміщують по можливості в середині вимірюваної сторони. При створенні опорних мереж розходження між двома значеннями не повинні перевищувати $1/3000$ вимірюваної довжини.

РОЗДІЛ 5

Накопичення погрішностей у підземних полігонометричних ходах

5.1 Накопичування погрішностей при вимірюванні довжини сторін підземних полігонометричних ходів

Для визначення вигляду загальної формули середньої погрішності вимірювання довжини, обумовленої впливом випадкових, систематичних погрішностей і погрішностей, що є випадковими за величиною, але постійними за знаком, скористаємося положеннями, відомими з теорії погрішностей.

Позначимо: L – довжина вимірюваної лінії; l – довжина рулетки; n – число укладень рулетки у вимірюваній відстані; m – випадкова погрішність одного відкладання рулетки; m'_L – середня квадратична погрішність вимірюваної довжини, обумовлена впливом випадкових погрішностей.

Зробивши вимірювання, одержуємо:

$$L = l + l + \dots + l \text{ (} n \text{ разів)}.$$

Середня квадратична погрішність вимірюваної довжини:

$$M'_L = \pm \sqrt{m^2 + m^2 + \dots + m^2 (n \text{ раз})}$$

або

$$M'_L = \pm m \sqrt{n}.$$

Однак

$$n = \frac{L}{l}.$$

Тоді

$$m'_L = \frac{m}{\sqrt{L}} \sqrt{L} = \mu \sqrt{L},$$

де $\mu = \frac{m}{\sqrt{L}}$ – коефіцієнт, що виражає вплив випадкових погрішностей на одиницю вимірюваної довжини.

Таким чином, вплив випадкових погрішностей при вимірюванні довжин зростає пропорційно кореневі квадратному з величини цих довжин.

Тепер розглянемо вплив систематичних погрішностей на погрішність вимірювання довжини L .

Нехай σ – систематична погрішність одного відкладання рулетки, а σ_L – систематична погрішність вимірюваної довжини. Тоді

$$m''_L = \sigma + \sigma + \dots + \sigma (n \text{ раз})$$

або

$$m''_L = n\sigma.$$

Прийнявши $n = \frac{L}{l}$, одержимо:

$$m''_L = \frac{\sigma}{l} L = \lambda L,$$

де $\lambda = \frac{\sigma}{l}$ – коефіцієнт, що виражає вплив систематичних погрішностей на одиницю довжини.

Отримана формула показує, що вплив систематичних погрішностей при вимірюванні довжин пропорційний величині цих довжин.

Що стосується третьої категорії погрішностей, випадкових за величиною, але постійних за знаком, то вона цілком враховується при визначенні систематичних погрішностей.

Сумарна погрішність вимірювання довжини, що обумовлена впливом випадкових і систематичних погрішностей:

$$m_L = \pm \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2}.$$

Ця формул є емпіричною, тому що коефіцієнти μ , λ , що входять у неї, визначаються дослідним шляхом.

Рекомендується середні погрішності вимірювання довжин сторін підземних опорних полігонометричних ходів визначати за приведеною формулою, використовуючи наступні значення коефіцієнтів μ і λ :

- у виробках з кутом нахилу $<15^\circ$ $\mu = 0,001$; $\lambda = 0,00005$;
- у виробках з кутом нахилу $>15^\circ$ $\mu = 0,0015$; $\lambda = 0,0001$.

5.2 Погрішності координат вершин вільного полігонометричного ходу

Загальний вираз середніх погрішностей координат вершин ходу. Нехай від твердої точки 1 і вихідного напрямку прокладений вільний полігонометричний хід 1, 2, 3, ..., K (рис. 13). Погрішності вимірювання кутів і довжин сторін цього ходу призведуть до неправильного визначення координат його вершин.

Позначимо:

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ – обмірювані кути ходу;

$m_{\beta_1}, m_{\beta_2}, m_{\beta_3}, \dots, m_{\beta_n}$ – середні погрішності обмірюваних кутів;

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ – обмірювана довжина сторін ходу;

$m_{l_1}, m_{l_2}, m_{l_3}, \dots, m_{l_n}$ – середні погрішності обмірюваної довжини сторін;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ – дирекційні кути сторін ходу.

Координати точки K ходу обчислюють за формулами:

$$x_k = x_1 + l_1 \cos \alpha_1 + l_2 \cos \alpha_2 + l_3 \cos \alpha_3 + \dots + l_n \cos \alpha_n;$$

$$y_k = y_1 + l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin \alpha_2 + l_3 \sin \alpha_3 + \dots + l_n \sin \alpha_n.$$

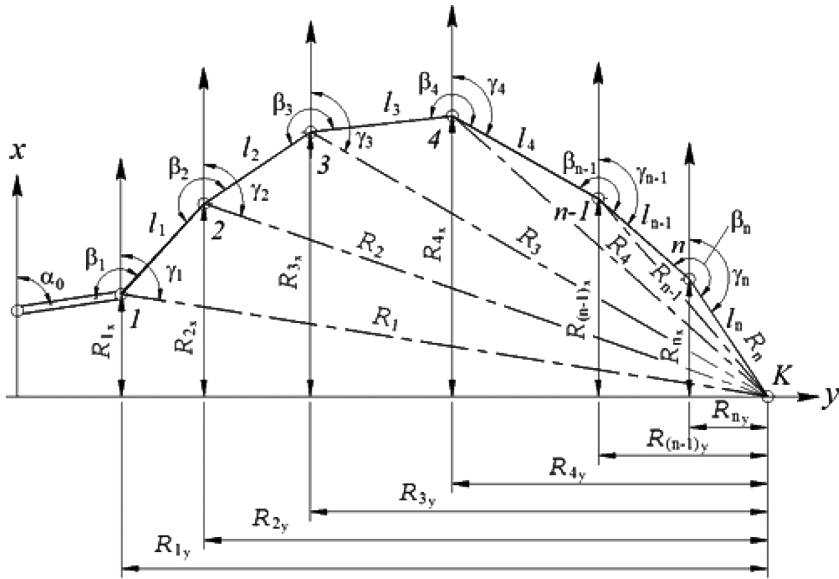


Рисунок 13 – Вільний полігонометричний хід із зазначенням найкоротших відстаней R від останньої точки ходу до попередніх точок

Середні погрішності координат точки K ходу будуть:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_K}^2 &= M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2 \\ M_{y_K}^2 &= M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2 \end{aligned} \right\}.$$

У цих формулах перший доданок являє собою квадрат середньої погрішності координат точки K , що залежить від середніх погрішностей вимірювання кутів. Другий доданок виражає квадрат середньої погрішності координат, яка обумовлена середніми погрішностями вимірювання довжини.

Середня погрішність координат точки K ходу, обумовлена середніми погрішностями вимірювання його кутів. Позначимо через $R_1, R_2, \dots, R_n$ – найкоротші відстані від точки K полігона

до відповідних точок ходу, а через $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – дирекційні кути цих напрямків.

Тоді вираз для середньої погрішності ординати x точки K ходу знайдеться з виразу:

$$M_{x_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{i_y}^2 m_{\beta_i}^2;$$

аналогічно, вираз для середньої погрішності ординати y точки K ходу:

$$M_{y_\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{i_x}^2 m_{\beta_i}^2,$$

де R_{i_y} – проекції відстаней R_i на вісь ординат;

R_{i_x} – проекції відстаней R_i на вісь абсцис.

Якщо кути ходу обмірювані рівноточно, тобто

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = m_{\beta_3} = \dots = m_{\beta_n} = m_\beta,$$

тоді приведені вище вирази будуть мати вигляд:

$$M_{x_\beta}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{i_y}^2;$$

$$M_{y_\beta}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{i_x}^2.$$

Середня погрішність координат точки K ходу, обумовлена погрішностями вимірювання довжини сторін. Вимірювання довжини сторін підземних полігонометричних ходів супроводжується випадковими і систематичними погрішностями, кожна з яких відповідно буде впливати на погрішність M_{x_l}, M_{y_l} точки K ходу. Відповідно до цього прийемо:

$$M_{x_l}^2 = M_{x'_l}^2 + M_{x''_l}^2;$$

$$M_{y_l}^2 = M_{y'_l}^2 + M_{y''_l}^2,$$

де $M_{x'_i}$, $M_{y'_i}$ – погрішності координат точки K , обумовлені впливом випадкових погрішностей вимірювання довжини;

$M_{x'_i}$, $M_{y'_i}$ – погрішності координат точки K , обумовлені впливом систематичних погрішностей вимірювання довжини.

З огляду на те, що випадкова погрішність вимірювання кожної довжини:

$$m_{l_i} = \pm \mu \sqrt{l_i}$$

одержимо:

$$M_{x'_i}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} \cos^2 \alpha_i.$$

Систематична погрішність вимірювання довжини кожної сторони ходу:

$$M_{y'_i}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i \sin^2 \alpha_i;$$

$$m'_{l_i} = \lambda l_i.$$

Оскільки систематичні погрішності зберігають свою сталість за величиною і знаком, вони будуть змінювати довжину

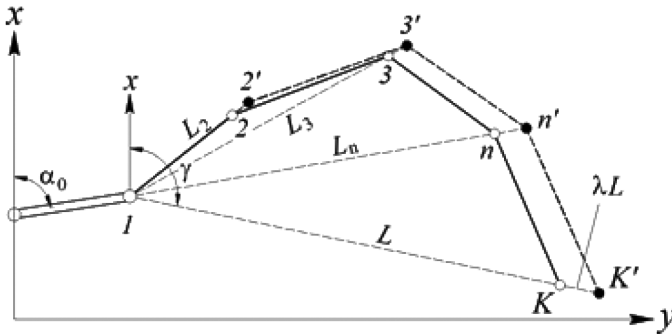


Рисунок 14 – До визначення середніх погрішностей координат точок вільного полігонометричного ходу, обумовлених систематичними погрішностями вимірювання довжин його сторін

кожної лінії пропорційно коефіцієнтові λ . У зв'язку з цим усі вершини полігонометричного ходу (рис. 14) перемістяться вздовж напрямків ліній L_i , що з'єднують першу точку з кожною вершиною ходу, на величину λL_i .

Позначимо довжину замикаючої, що з'єднує першу й останню точки ходу, через L ; дирекційний кут замикаючої через γ , тоді погрішності $M_{x_i'}$, $M_{y_i'}$ останньої точки K ходу по координатних осях будуть:

$$M_{x_i'} = \lambda L \cos \lambda;$$

$$M_{y_i'} = \lambda L \sin \lambda.$$

Остаточні середні погрішності координат точки K , обумовлені погрішностями вимірювання довжини сторін ходу, будуть:

$$M_{x_i}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i^2 \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2 \gamma;$$

$$M_{y_i}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i^2 \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2 \gamma.$$

Загальні середні погрішності координат точки K . Середні погрішності координат точки K вільного полігонометричного ходу, обумовлені впливом середніх погрішностей вимірювання його кутів і довжини сторін, визначають за формулами:

$$M_{x_K}^2 = M_{x_\beta}^2 + M_{x_i}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{i_y}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i^2 \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \cos^2 \gamma;$$

$$M_{y_K}^2 = M_{y_\beta}^2 + M_{y_i}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_{i_x}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i^2 \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 \sin^2 \gamma.$$

При практичному застосуванні наведених формул значення m_β визначається за формулами, що приведені вище, або приймаються відповідно до вимог маркшейдерської інструкції для відповідного розряду полігонометричного ходу. Значення R_{i_y} , R_{i_x} знаходяться графічно на плані гірничих робіт масштабу 1:1000 або 1:2000.

5.3 Погрішність дирекційних кутів сторін вільного полігонометричного ходу

Середня погрішність дирекційного кута будь-якої сторони вільного полігонометричного ходу. Дирекційний кут n -ї сторони полігонометричного ходу:

$$\alpha_n = \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n \pm n \cdot 180^\circ,$$

де α_0 – дирекційний кут вихідної сторони ходу;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – обмірювані кути ходу.

Позначимо:

$m_{\beta_1}, m_{\beta_2}, \dots, m_{\beta_n}$ – середні погрішності обмірюваних кутів;

m_{α_0} – середня погрішність дирекційного кута вихідної сторони;

m_{α_n} – середня погрішність дирекційного кута n -ї сторони ходу.

З урахуванням середньої погрішності дирекційного кута вихідної сторони при рівноточно обмірюваних кутах полігонометричного ходу середня квадратична погрішність дирекційного кута будь-якої сторони ходу обчислюється за формулою:

$$m_{\alpha_n} = \pm \sqrt{m_{\alpha_0}^2 + nm_{\beta}^2}.$$

5.4 Середня погрішність положення точки K вільного полігонометричного ходу

Середня погрішність положення точки K вільного полігонометричного ходу:

$$M_K = \pm \sqrt{M_{x_K}^2 + M_{y_K}^2},$$

де

$$M_{x_K}^2 = M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2;$$

$$M_{y_K}^2 = M_{y_\beta}^2 + M_{y_l}^2.$$

Якщо позначити

$$M_{x_\beta}^2 = M_{y_\beta}^2 + M_{\beta_l}^2;$$

$$M_{x_l}^2 = M_{y_l}^2 + M_l^2,$$

тоді формула для обчислення M_K прийме вигляд:

$$M_K^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n} R_i^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i + \lambda^2 L^2.$$

5.5 Погрішність положення останньої точки вільного витягнутого рівностороннього полігонометричного ходу

Нехай від точки 1 і напрямку $(A1) = \alpha_0$ до точки K прокладений витягнутий рівносторонній вільний полігонометричний хід (рис. 15), для якого

$$\beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n = 180^\circ;$$

$$l_1 = l_2 = \dots = l_n = l.$$

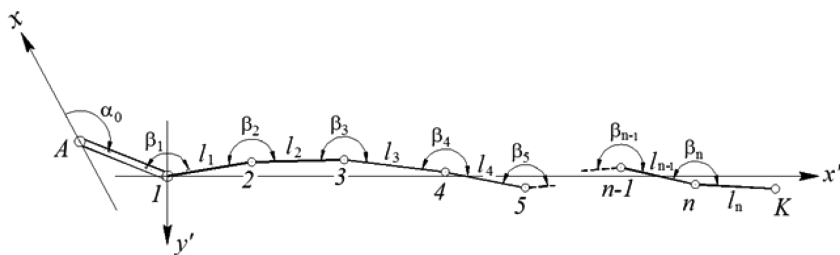


Рисунок 15 – Вільний витягнутий рівносторонній полігонометричний хід

Погрішність положення останньої точки такого ходу прийнято характеризувати поперечною і подовжньою погрішностями. Позначимо через q – поперечну погрішність, тобто погрішність положення точки K в напрямку, перпендикулярному до напрямку ходу, через s – подовжню погрішність, тобто погрішність положення точки K в напрямку ходу.

Якщо L – уся довжина ходу від точки 1 до точки K і при цьому $nl = L$, то формули для обчислення q і s будуть мати вигляд:

$$q = \pm L \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\frac{n}{3}};$$
$$s = \pm \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2}.$$

З цих формул можна установити, що погрішності вимірювання кутів вільного витягнутого ходу впливають лише на поперечну погрішність положення його кінцевої точки і не роблять впливу на подовжню, тоді як погрішності вимірювання довжини сторін вільного витягнутого ходу впливають лише на подовжню погрішність і не роблять впливу на поперечну.

З отриманих формул випливає також, що середні погрішності кутів, що лежать ближче до початку ходу, роблять на поперечну середню погрішність значно більший вплив, ніж середні погрішності кутів, що лежать ближче до кінця ходу.

У практиці строго витягнуті рівносторонні ходи зустрічаються рідко, тому важливо знати, до яких полігонів можуть бути застосовані розглянуті вище формули.

Теоретичне дослідження меж застосовності цих формул було зроблено А. С. Чеботарьовим і И. М. Бахуріним. Вони довели наступне:

- 1) хід можна вважати витягнутим, якщо напрямки сторін ходу мало відрізняються від напрямку замикаючої (не більш 24°);
- 2) нерівність довжин сторін ходу не робить істотного впливу на величину подовжньої погрішності ходу.

5.6 Середні погрішності координат кінцевого пункту полігонометричного ходу при попередньо зрівняних кутах [4]

Координати x_0, y_0 центра ваги O вершин невідного полігонометричного ходу (рис. 16) визначаються з виразів:

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n+1} \text{ и } y_0 = \frac{\sum y_i}{n+1},$$

де x_i і y_i – координати вершин ходу;
 n – число сторін ходу.

Позначимо відстані від центра ваги O до відповідних вершин ходу через R_{O_i} .

Формула для визначення середніх квадратичних погрішностей координат кінцевого пункту ходу при попередньо зрівняних кутах:

$$M_B^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=n} l_i + \lambda^2 L^2 + \frac{m_B^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=n+1} R_{O_i}^2.$$

Формула справедлива і для замкнутих полігонометричних ходів, у яких зроблене попереднє зрівнювання кутів, тільки в цьому випадку $L = 0$.

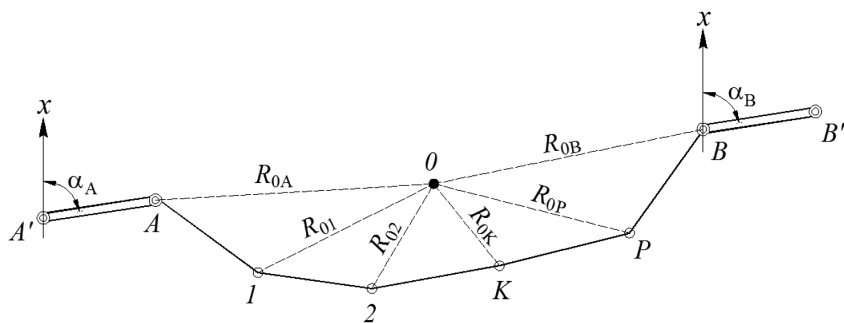


Рисунок 16 – До визначення середньої погрішності координат кінцевого пункту невідного полігонометричного ходу

5.7 Середня погрішність дирекційного кута будь-якої сторони невідного полігонометричного ходу при попередньо зрівняних кутах [4]

У полігонометричному ході, який показано на рис. 17, значення дирекційного кута сторони cd може бути отримане двічі: α' – від вихідної сторони AA' з вагою p_1 ; α'' – від кінцевої сторони BB' з вагою p_2 .

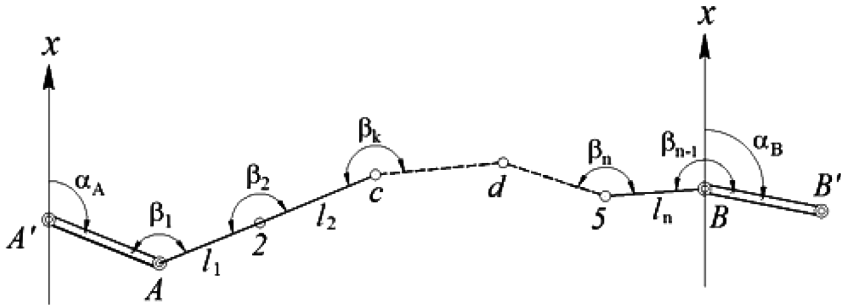


Рисунок 17 – Полігонометричний хід, прокладений між двома твердими сторонами

Приймаючи число кутів ходу Ac рівним k , загальне число кутів ходу AB рівним $n + 1$, вважаючи кути ходу обмірюваними рівноточно із середньою погрішністю m_β і використовуючи вираз $m_{\alpha_n} = \pm m_\beta \sqrt{n}$, знаходимо:

$$m_{\alpha'} = \pm m_\beta \sqrt{k};$$

$$m_{\alpha''} = \pm m_\beta \sqrt{(n+1) - k}.$$

З огляду на те, що остаточний дирекційний кут лінії знаходиться як середнє зважене, одержуємо середню погрішність зрівняного значення кута:

$$m_\alpha = \pm \frac{m_\beta}{\sqrt{P_\alpha}},$$

де

$$P_{\alpha} = p_1 + p_2 = \frac{n+1}{k[(n+1)-k]}.$$

Підставивши значення P_{α} , одержимо:

$$m_{\alpha} = \pm m_{\beta} \sqrt{\frac{k[(n+1)-k]}{n+1}}.$$

Формула показує, що урівноважені значення дирекційних кутів сторін полігонометричного ходи визначаються з різними погрішностями. З найбільшою погрішністю визначається зрівняне значення дирекційного кута середньої сторони ходу.

5.8 Середні погрішності координат будь-якої вершини полігонометричного ходи, зрівняного в кутах і координатах

У полігонометричному ході (див. рис. 17) зроблене повне зрівнювання кутів і збільшень координат. Потрібно визначити погрішності координат точки c . Ця задача може бути вирішена строгим або наближеним способом. З огляду на те, що строге визначення погрішності координат точок зрівняного полігонометричного ходу унаслідок своєї складності в маркшейдерській практиці не застосовується, розглянемо наближений спосіб.

Визначимо середні погрішності координат точки c два рази: з полігонометричних ходів Ac і Bc .

У першому випадку з ходу Ac , що має k сторін, середні погрішності координат точки c M_{x_1} , M_{y_1} знайдемо за формулами:

$$M_{x_1}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=k} l_i^2 \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L_1^2 \cos^2 \gamma_1 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=k+1} R_{O_y}^2;$$

$$M_{y_1}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^{i=k} l_i^2 \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L_1^2 \sin^2 \gamma_1 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^{i=k+1} R_{O_x}^2.$$

У другому випадку з ходу Bc , що має $n-k$ сторін, середні погрішності координат точки c будуть:

$$M_{x_2}^2 = \mu^2 \sum_{i=n}^{i=n-k} l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L_2^2 \cos^2 \gamma_2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=n+1}^{i=n+1-k} R_{O_y}^2;$$

$$M_{y_2}^2 = \mu^2 \sum_{i=n}^{i=n-k} l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L_2^2 \sin^2 \gamma_2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=n+1}^{i=n+1-k} R_{O_x}^2.$$

Загальні середні погрішності координат точки c будуть:

$$M_{x_c}^2 = \frac{M_{x_1}^2 M_{x_2}^2}{M_{x_1}^2 + M_{x_2}^2};$$

$$M_{y_c}^2 = \frac{M_{y_1}^2 M_{y_2}^2}{M_{y_1}^2 + M_{y_2}^2}.$$

Загальна середня погрішність положення точки c :

$$M_c = \pm \sqrt{M_{x_c}^2 + M_{y_c}^2}.$$

Отримані формули дозволяють визначити середні погрішності координат і середню погрішність положення будь-якої точки розглянутого полігонометричного ходу. При використанні зазначених формул варто пам'ятати, що вони є наближеними, тому що в них не враховані середні погрішності вихідних даних.

5.9 Середні погрішності координат кінцевого пункту полігонометричного ходу, що має твердий дирекційний кут проміжної сторони

У маркшейдерській практиці для зменшення впливу погрішностей кутових вимірювань при проведенні полігонометричних ходів значної довжини визначають дирекційні кути проміжних сторін гіроскопічним способом.

РОЗДІЛ 6

Спрощені способи аналізу погрішностей підземних планових маркшейдерських мереж

6.1 Окремі полігонометричні ходи

У багатьох випадках помилки положення пунктів полігонометричних ходів можуть бути визначені на основі типових розрахункових схем, що дозволяють у першому наближенні швидко одержувати необхідні числові характеристики.

Для розрахунків використовується емпірична формула:

$$M_{yp} = \omega \cdot M_e,$$

у якій M_{yp} – середньоквадратична помилка положення пункту зрівняного ходу (мережі); M_e – середньоквадратична помилка положення пункту висячого ходу, який є найкоротшим від вихідного пункту; ω – коефіцієнт еквівалентності, що характеризує відношення зазначених помилок.

Значення коефіцієнтів ω , обчислених для замкнутих і розімкнутих ходів різної форми з досить великим числом сторін, зазначені безпосередньо на їхніх типових схемах, що зображені на рис. 19.

При використанні приведеної вище формули помилки положення пунктів у висячих ходах ламаної форми зручно визначати за приблизною формулою:

$$M_B^2 = \frac{m_B^2}{\rho^2} \cdot \frac{(\sum l + L)^2 n}{12} + \frac{m_{a_r}^2}{\rho^2} L^2 + \mu^2 \sum l + \lambda^2 L^2.$$

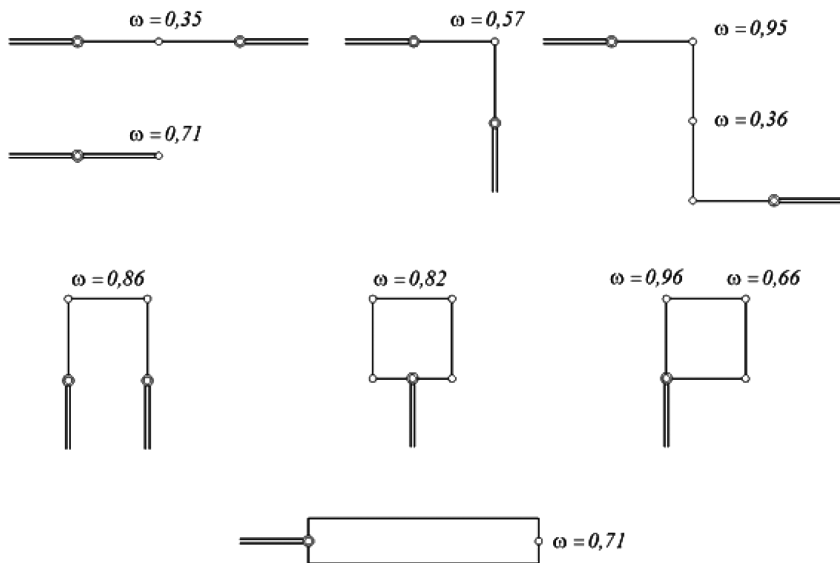


Рисунок 19 – Типові схеми окремих полігонів

Погрішність розрахунку полігонометрії за наведеною формулою складає близько 20 %.

Збільшення точності положення пунктів полігонометричних ходів, що досягається в результаті зрівняльних обчислень, залежить від характеру надлишкових даних і конфігурації полігонів. Так, при обчисленні витягнутого ходу по кутах, попередньо виправлених за кутове нев'язання, поперечна помилка останнього пункту, що обумовлена помилками кутових вимірювань (які є головними джерелами погрішностей у підземній полігонометрії) зменшується приблизно до двох разів. У розімкнутому витягнутому ході, зрівняному за умови дирекційних кутів і координат, поперечна помилка в середньої, найбільш слабкої частини ходу буде приблизно в разів менше, ніж у висячому ході. Звідси стає очевидною необхідність використання при побудові мереж усіх можливостей для замикання ходів, а також для прив'язки їх до пунктів геодезичної основи на земній поверхні.

Для наочності дії погрешностей у витягнутих ходах з досить великим числом сторін на рис. 20 приведені нормовані значення поперечних помилок q , що обчислені відносно поперечної помилки останнього пункту висячого ходу.

У витягнутому розімкнутому ході точність положення середнього пункту приблизно на 50 % вище порівняно з розімкнутим ходом, який складається з двох прямолінійних ділянок, що перетинаються під прямим кутом. Таким же показником точності характеризуються зрівняні в дирекційних кутах і координатах вигнуті ходи, у яких середній пункт збігається з центром ваги x_0, y_0 . У цих ходах, як і у прямолінійних, точність визначення положення середнього пункту в два рази вище, ніж у подвійних висячих.

За наявності проміжних гірсторін, що поділяють хід на кілька секцій, локалізується вплив помилок кутових вимірювань,

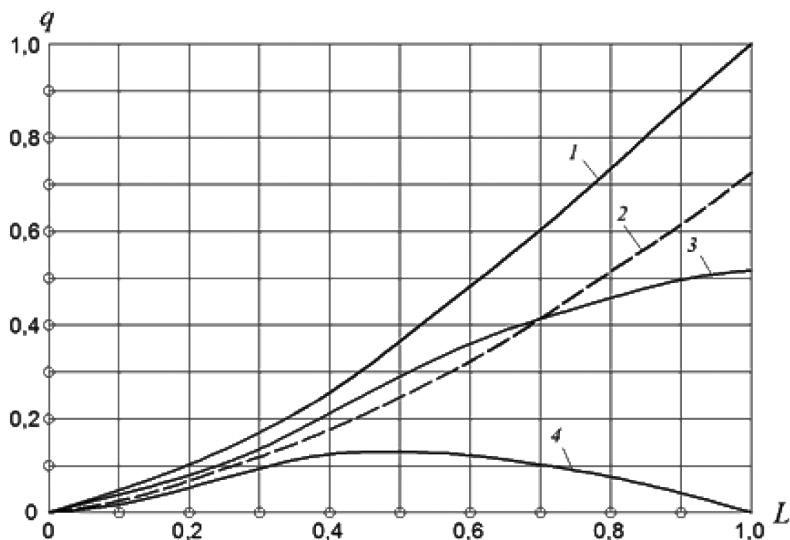


Рисунок 20 – Графік поперечних помилок витягнутих ходів:

1 – висячого; 2 – подвійного висячого; 3 – висячого, що примикає до гірсторони; 4 – розімкнутого

унаслідок чого з'являється можливість варіювати точністю одержуваних результатів. Завдяки цьому можна забезпечити необхідну точність положення пунктів підземної полігонометрії без зміни методики кутових і лінійних вимірювань, прийнятої в полігонометричних ходах опорних мереж.

При проектуванні полігонометричних ходів важливо знати умови, при яких дотримується вимога $M \leq 0,8$ м.

Оскільки накопичення помилок у ходах істотно залежить від їхньої довжини і числа кутів (середніх довжин ліній), то при визначенні необхідного числа гірсторін варто більш строго враховувати ці фактори. Вибір найбільш раціональних схем побудови полігонометричних ходів, близьких за своєю формою до витягнутих, зручно робити за допомогою спеціальної номограми, що зображена на рис. 21. Вона представлена системою ізолій рівних погрішностей, що задовольняють умові $M \leq 0,8$ м, побудованих для різних значень L і s_{cp} стосовно до різних схем прокладання полігонометричних ходів.

Зазначеною номограмою користуються в такий спосіб. Наприклад, потрібно визначити число секцій у ході за умови $L = 4,5$ км і $s_{cp} = 75$ м. Відповідно заданим параметрам на номограмі відзначається точка a , від якої вниз проводиться лінія $a-b$, рівнобіжна осі номограми. Необхідна точність

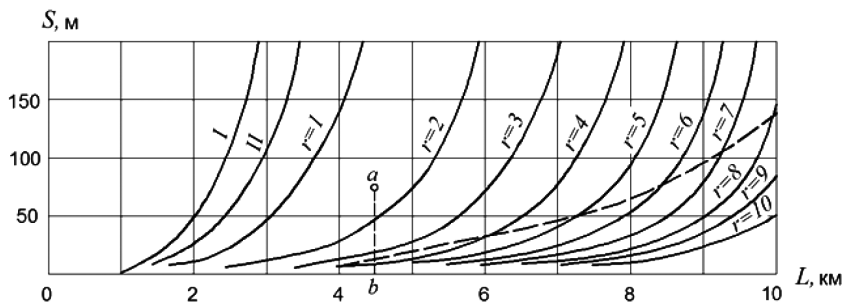


Рисунок 21 – Номограма погрішностей:

I – висячі ходи; II – подвійні висячі ходи; III – розімкнуті ходи; $r = 1, 2, \dots, 10$ – висячі ходи, що розділені гірсторонами на r секцій

положення пунктів ($M \leq 0,8$ м) буде забезпечена всіма типами ходів, ізоляції яких перетинають лінію $a-b$. У розглянутому випадку висячий полігонометричний хід варто розділити гірсторонами на дві секції із тридцятьма кутами в кожній з них ($4500/(2 \cdot 75) = 30$).

З номограми видно, що при наявності в ході координатних умов (крива III) різко підвищується точність визначення пунктів. Наприклад, якщо в розімкнутому полігонометричному ході, зрівняному за умову дирекційних кутів і координат, середня довжина ліній дорівнює 50 м, то необхідна точність планової основи забезпечується при довжині ходу до 7 км.

Крім того, номограма наочно показує, що в практично можливих діапазонах зміни значень $L = 2-10$ км і $s = 30-150$ м параметри секцій підземних полігонів можуть коливатися в досить широких межах: число кутів у секціях – від 8 до 80, а довжина секцій – від 1 до 4 км. За інших рівних умов зі збільшенням довжини ходів довжини секцій скорочуються.

6.2 Дія помилок у системах полігонометричних ходів

Аналітичні формули для розрахунку точності систем полігонометричних ходів вимагають трудомістких обчислювальних операцій. Тому при рішенні практичних задач по оцінці мереж слід використовувати закономірності накопичення помилок у типових схемах побудови підземної полігонометрії, для яких визначені коефіцієнти еквівалентності ω , що дозволяють підраховувати помилки положення пунктів. Оцінку точності полігонометричних мереж складної конфігурації, у тому числі і при наявності гірсторон, виконують за допомогою спеціалізованих програм.

У даному розділі розглянуті тільки особливості дії помилок у типових схемах побудови систем полігонометричних ходів (рис. 22).

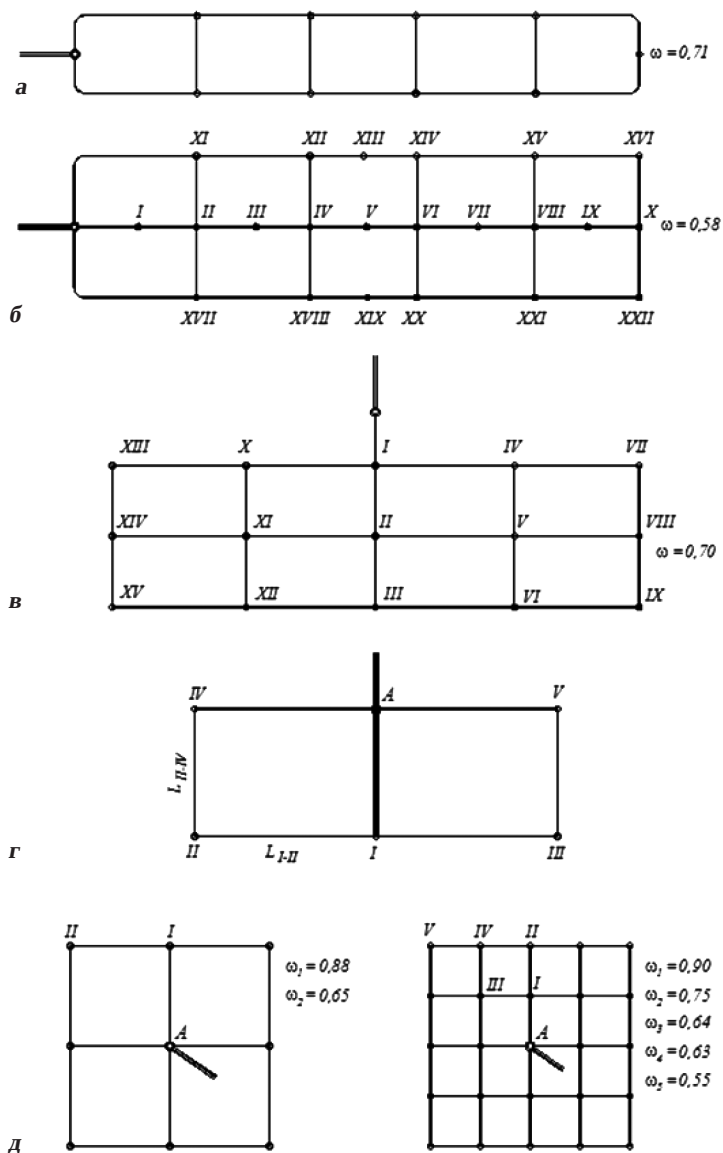


Рисунок 22 – Типові схеми вільних систем полігонів

6.3 Вільні системи полігонів

При розкритті родовищ корисних копалин центрально здвоєними вертикальними шахтними стволами підземні опорні мережі формуються, головним чином, у вигляді систем вільних полігонометричних ходів.

Найбільш характерним видом вільних мереж є системи «нанизаних» полігонів, що утворені шляхом послідовного нарощування ходів у міру просування гірничих виробок (рис. 22, а).

Дослідженнями точності цих систем встановлено:

- Perezivnyuvannya merежі nablizhenimi sposobami ne vnosyt istsotnykh zmin u rezul'taty poperednyoho zrivnyuvannya, yake vykonano v protsesi naroshchuvannya poligoniv, a tomu nablizheni sposoby spil'nogo zrivnyuvannya nanyzanykh poligoniv ne mozhna rozglyadaty yak metod pidvyshchennya tochnosti planovoi osnovy pidzemnykh zhyomok;

- peremichky merежі malo vplyvayut na tochnist' zrivnyuvanykh velychyn, u naslidok chogo konturnyy poligon za svoeyu tochnist'yu praktично ekvivalentnyy systemi nanyzanykh poligoniv (zvychayno, cya obstavyna ne znyzhuє roli peremichok yak zasobu kontroly pidzemnykh merеж);

- u rezul'tatі viznachennya na flanzі merежі giristorony dosyagayetsya zbylshennya tochnosti polozhennya punktiv takoyu zh mіroyu, yak i v okremykh poligonometrichnykh khodakh.

Як показав аналіз вільних мереж, точність визначення координат віддалених пунктів залежить від числа магістральних ходів, що мають прямий зв'язок між віддаленими і вихідними пунктами. Так, система з двома магістральними ходами (рис. 22, а) за своєю точністю еквівалентна подвійному висячому ходові, а систему з трьома магістральними ходами (рис. 22, б) оцінюють за аналогією з тричі прокладеним висячим ходом.

Погрішність положення віддалених пунктів у вільних мережах, що мають фланговий розвиток (рис. 22, в), практично однакова у випадках, коли зрівнюється полігонометрія всього шахтного

поля (XIII–VII–IX–XV) або ж окремо кожного крила шахтного поля (I–VII–IX–III й I–III–XV–XIII). Тому у випадку, коли вільну мережу можна поділити на ділянки, немає необхідності спільного зрівнювання ходів мережі.

У вільній полігонометричній мережі, що утворена центральними магістральними і контурними ходами (рис. 22, з), точність положення пункту I при спільному зрівнюванні вимірювань істотно залежить від співвідношення відстаней: $\alpha = \frac{L_{I-II}}{L_{II-IV}}$.

Аналіз показує, що при наближених способах зрівнювання точність положення пункту I знижується зі збільшенням коефіцієнта α і при співвідношеннях $\alpha \geq 2,5$ починається пере-кручування координат, хоча точність визначення вузлового дирекційного кута мережі в цих випадках вище приблизно на 5 % у порівнянні з подвійним висячим ходом А-I. Цю особливість дії помилок необхідно враховувати при реконструкції мереж, коли для подальшого розвитку полігонометрії в якості вихідного використовується вузловий пункт I, що нерідко зустрічається в маркшейдерській практиці при поглибленні горизонтів пластів похилого падіння.

У ряді випадків при розробці пластів горизонтального залягання конструкція маркшейдерської опорної мережі може мати вигляд суцільної системи полігонів. Розрахунки показують, що вільна суцільна мережа з одним ступенем побудови (рис. 22, д) за точністю положення найбільш віддалених пунктів приблизно відповідає двічі прокладеному висячому ходові А-I-II, а мережа з двома ступіннями побудови (рис. 22, е) – тричі прокладеному висячому ходові А-I-II-IV-V.

У випадках, коли погіршеність положення пунктів не відповідає заданому допускові, найбільш ефективним способом підвищення точності мереж є включення в технологію їхньої побудови додатково визначених гіросторон. Технічно обґрунтоване рішення цієї задачі повинне відповідати принципам мінімуму робіт, умова якого буде задовольнятися тільки при правильному визначенні

обсягу необхідних гіроскопічних вимірювань і раціональному розміщенні гіросторон у мережі.

Необхідна кількість гіросторон у першому наближенні може бути знайдене шляхом заміни мережі еквівалентним висячим ходом з наступним визначенням числа секцій, а, отже, і числа сторін, що орієнтуються, за номограмою рис. 21. Довжину ліній еквівалентного ходу приймають такою, що дорівнює:

$$S_{\text{экв}} \approx N \cdot S_{\text{ср}},$$

де N – число магістральних ходів, що сходяться в оцінюваному (найбільш віддаленому) пункті мережі.

Розрахунки за зазначеною методикою виконують для всіх ділянок опорної мережі, що мають самостійний напрямок розвитку. Як правило, це зводиться до еквівалентної заміни систем полігонів, що служать плановою основою зйомок кожного крила шахтного поля.

Важливе практичне значення має також вибір найбільш вигідних варіантів місця розташування гіросторон у мережі. Спеціальні дослідження різних варіантів розміщення додатково визначених гіросторон виконані для вільної мережі, що представлена на рис. 22, б. Аналізовані розрахункові схеми мережі і точність положення віддаленого пункту X характеризуються даними, що приведені в табл. 7.

З цієї таблиці видно, що максимальне підвищення точності (більш трьох разів) визначення координат віддалених пунктів досягається у випадках, коли гіросторони розміщені рівномірно по всій мережі, як це передбачено варіантом 1, або ж при орієнтуванні сторін контурних магістральних ходів – варіант 4. Крім того, досить високим показником точності буде характеризуватися мережа і при орієнтуванні сторін тільки центральних магістральних ходів (варіант 5). Суто теоретичний варіант схеми побудови мережі з багаторазовим визначенням гіросторони при віддаленому пункті X (варіант 6) вказує, що утрата точності відносно варіантів 1 і 4 складає близько 100 %.

Таблиця 7

Номер варіанта	Число гірсторін	Номера пунктів з гірсторонами	m_{α_r} , секунда	ω
1	10	II, V, VIII, X, XI, XIII, XV, XVII, XIX, XXI	30	0,174
2	10	Те же	20	0,158
3	10	Те же	10	0,148
4	10	XI, XII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XX, XXI, XXII	30	0,176
5	10	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X	30	0,195
6	1	X	30	0,354
7	—	—	—	0,620

Таким чином, при гіроскопічному орієнтуванні сторін у вільних мережах варто прагнути до рівномірного їхнього розміщення або ж визначати гірсторони в контурних полігонах, що дозволить істотно підвищити точність положення віддалених пунктів. У залежності від конкретних умов вибирають один із зазначених варіантів орієнтування сторін мережі, найбільш зручний в організаційному відношенні.

Як показав аналіз, збільшення точності вимірювання дирекційних кутів мережі (варіанти 2 і 3) не робить істотного впливу на точність одержуваних результатів.

6.4 Невільні системи полігонів

Підземні опорні мережі формуються у вигляді невірних систем полігонів, коли підземні зйомки мають додаткові зв'язки з геодезичною основою на земній поверхні через стволи, шурфи й інші гірничі виробки.

Невірні мережі часто утворюються в результаті додаткового центрування й орієнтування вільних мереж, що розвиваються

від головного ствола шахти. Завдяки наявності в цих мережах умов координат розімкнутих ходів істотно підвищується точність полігонометрії. Для мереж витягнутої форми (рис. 22, а, б), що примикають на фланзі до твердого пункту і твердої сторони, точність зрівняних координат у середній, найбільш слабкій частини мережі збільшується до двох разів.

При centruванні підземних зйомок через три гірничі виробки опорна мережа може являти собою систему з трьох ходів, що перетинаються і з одною вузловою точкою. Схематичні моделі цих мереж представлені на рис. 23, а, б, в.

Результати розрахунків показують, що точність визначення координат точок мережі в значній мірі залежить від її форми. Найбільш вигідною конструкцією мережі є система, у якій вузловий пункт знаходиться в центрі рівностороннього трикутника, утвореного вихідними пунктами (рис. 23, а). У цьому випадку мережа за точністю визначення координат вузлового пункту еквівалентна 12-кратному висячому ходові. Із зменшенням кутів перетинання ланок помилка положення вузла збільшується й у граничному випадку, коли напрямки ланок збігаються між собою (рис. 23, г), буде в два рази більше, ніж у мережі вигідної конфігурації.

Якщо ходи мережі зрівнюються спільно з дирекційним кутом гіросторони, що додатково визначена при вузловому пункті, точність одержуваних координат також залежить від кутів перетинання ланок мережі. Помилка положення вузлового пункту мережі в різних схемах її побудови, аналізованих при $m_{\alpha_r} = 30''$ характеризується коефіцієнтами еквівалентності: $\omega_a = 0,29$, $\omega_b = 0,30$, $\omega_c = 0,35$, $\omega_d = 0,38$. Отже, точність положення вузлового пункту для схеми «а» залишається на попередньому рівні, для схеми «б» збільшується на 14 %, для схеми «в» – на 44 % і для «г» – на 55 %.

Для досягнення збільшення точності координат вузла у мережах, що відносяться за своєю формою до схеми «а», необхідно гіросторони розміщати усередині ланок. Для трьох

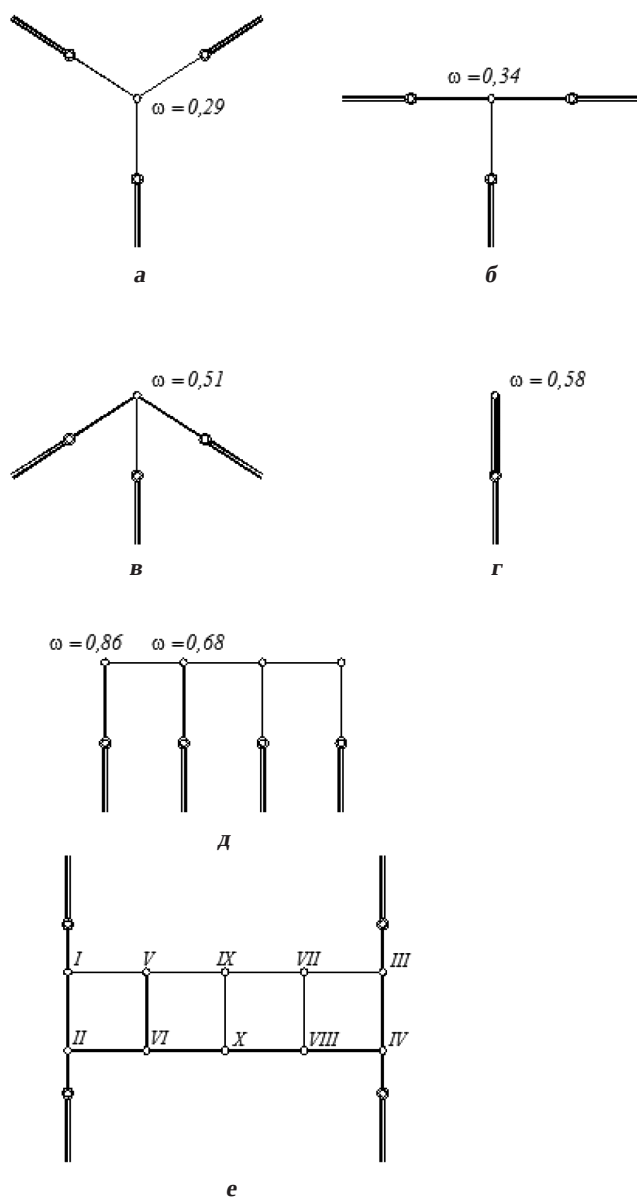


Рисунок 23 – Типові схеми невідкритих систем полігонів

гіроскопічних визначень, узятих за числом ланок мережі, найбільший ефект спостерігається при орієнтуванні середньої сторони кожної ланки: $\omega = 0,19$.

При розробці верхніх частин горизонтів похилих пластів підземні опорні мережі часто являють собою системи дотичних розімкнутих полігонометричних ходів (рис. 23, д). У мережах зазначеної конструкції точність визначення координат віддалених пунктів збільшується на 20–30 % відносно висячих ходів. Порівняно незначне підвищення точності цих мереж пояснюється однобічним розташуванням вихідних пунктів.

У невірній мережі, що спирається на симетрично розташовані відносно її центра вихідні пункти (рис. 23, е), положення вузлових пунктів у найбільш слабкому місці оцінюється точністю, що відповідає 12-кратним висячим ходам. Дія помилок при наявності в мережі додатково визначених гіросторон характеризується даними, що приведені в табл. 8. Розрахунки виконані для центральних вузлових пунктів мережі IX і X.

Таблиця 8

Номер варіанта	Число гіросторін	Номера пунктів з гіросторонами	m_{a_1} , секунда	ω
1	10	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X	30	0,171
2	10	Те же	20	0,154
3	10	Те же	10	0,138
4	4	V, VI, VII, VIII	30	0,198
5	2	IX, X	30	0,265
6	—	—	—	0,289

З таблиці видно, що додаткові гіросторони доцільно розміщати рівномірно по всій мережі або ж між вихідними і центральними вузловими пунктами (варіанти 1 і 4). Орієнтування ліній у середній частині мережі, як це показано на прикладі варіанта 5, не дає істотного ефекту. Відповідно до розрахунків, що виконані

для варіантів 2 і 3, збільшення точності орієнтування в 1,5–3 рази приводить до підвищення точності визначення координат тільки на 10–20 %.

Невільні мережі з проміжними гіросторонами мають найвищі показники точності побудови планової основи підземних зйомок, мають найбільш тверду конструкцію і, крім того, у центральних ділянках практично рівноточно визначаються координати вузлових пунктів.

РОЗДІЛ 7

Висотні мережі

7.1 Загальні положення

Висотне обґрунтування в підземних гірничих виробках використовують:

- для зображення гірничих виробок у вертикальній площині і вивчення форми залягання корисної копалини;
- для надання виробкам ухилів, що забезпечують нормальну роботу підземного транспорту і стік підземних вод;
- для задавання напрямку у вертикальній площині виробкам, що проходяться зустрічними вибоями;
- для безпечного ведення гірничих робіт при підході до старих виробок, небезпечних зон і запобіжних ціликів;
- для забезпечення проєктного положення у вертикальній площині гірничих виробок, стаціонарних механізмів і машин;
- для вивчення зрушення гірських порід у підземних виробках і усунення його шкідливого впливу.

Висотні мережі прокладають:

- між двома вихідними реперами;
- замкнуті;
- висячі, у прямому і зворотному напрямках.

Висотна опорна мережа являє собою систему пунктів з відомими позначками. Висотні позначки обчислюють у єдиній загальнодержавній системі. Вихідними пунктами для побудов висотної мережі служать пункти нівелювання III–IV класів.

Висотна мережа складається з груп реперів і постійних пунктів підземної опорної мережі. Групи реперів закладають

у місцях, що забезпечують їх нерухомість протягом тривалого часу. У групі повинне бути не менш двох реперів.

Відстані між групами реперів або постійних пунктів повинні бути не більш 1 км. У разі потреби і наявності сприятливих умов для збереження пунктів відстань може бути зменшено.

Висоти в підземні виробки передають різними методами залежно від роду виробки, методів вимірювань і приладів, що застосовуються:

- методом лінійних вимірювань у вертикальних виробках;
- методом тригонометричного нівелювання в похилих виробках;
- методом геометричного нівелювання в горизонтальних виробках і близьких до горизонтального.

Передачу позначки через вертикальні гірничі виробки здійснюють далекоміром, довгою стрічкою або іншими приладами, що забезпечують необхідну точність. При розкритті родовища похилими стволами передачу позначки здійснюють тригонометричним нівелюванням одночасно з прокладкою полігонометричного ходу.

При передачі позначки через вертикальні виробки розбіжність між двома незалежними передачами позначки ΔH у міліметрах повинна бути не більш величини:

$$\Delta H = 10 + 0,2H,$$

де H – глибина ствола, м.

Передачу позначки по виробках з кутом нахилу не більш 5° необхідно здійснювати геометричним нівелюванням.

Нев'язання ходу геометричного нівелювання повинне бути не більш величини 50 у міліметрах, де L – довжина ходу, у кілометрах.

Тригонометричне нівелювання виконують теодолітами з точністю відліку по вертикальному кругу $\pm 15''$.

Кожне перевищення визначають у прямому і зворотному напрямку. Різниця прямого і зворотного перевищення повинна бути не більш 1:2500 довжини сторони, а при довжині сторони менш 20 м – не більш 8 мм.

Ходи тригонометричного нівелювання прокладають у прямому і зворотному напрямках або двічі в одному напрямку. Нев'язання повинне бути не більш величини $75\sqrt{L}$ у міліметрах, де L – сумарна довжина обох ходів у кілометрах.

7.2 Середня квадратична погрішність геометричного нівелювання

Загальна формула погрішності геометричного нівелювання.

Координата z кінцевого пункту вільного ходу геометричного нівелювання обчислюється за формулою:

$$z_B = z_A + \sum_{i=1}^{i=n} \Delta z_i,$$

де Δz_i – перевищення; $\Delta z_i = a_i - b_i$;

a_i и b_i – відліки по задній і передній рейкам.

Якщо через $m_1, m_2, \dots, m_n$ позначити середні погрішності визначення перевищень, то

$$m_B^2 = m_A^2 + m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2.$$

При рівності відстаней між пунктами можна покласти:

$$m_1 = m_2 = \dots = m_n = m_{\Delta z}.$$

Тоді

$$m_B^2 = m_A^2 + nm_{\Delta z}^2.$$

Середня погрішність перевищення за умови рівності середніх погрішностей відліку по кожній з рейок складає:

$$m_{\Delta z}^2 = m_o^2 + m_o^2 = 2m_o^2.$$

З огляду, що погрішність m не залежить від погрішностей ходу, то маючи у на увазі тільки їх, одержуємо:

$$m_B = \pm\sqrt{2n}.$$

7.3 Середня квадратична погрішність відліку по рейці

Середня погрішність відліку по рейці залежить від чотирьох факторів:

- якості нівеліра (розв'язувальної здатності і збільшення труби, ціни розподілу рівня);
- зовнішніх умов нівелювання (прозорості повітря, яскравості освітлення рейки);
- відстані рейки від нівеліра;
- правильності нанесення поділок на рейці.

Через високу точність сучасного виготовлення і перевірки нівелірних рейок у практиці маркшейдерських робіт варто враховувати лише перші три фактори. Їхній вплив виражається у виникненні:

- 1) погрішності відліку по рейці через погрішність візування m_v ;
- 2) погрішності відліку по рейці через неточну установку осі рівня в горизонтальне положення m_τ .

Отже

$$m_o = \pm \sqrt{m_v^2 + m_\tau^2}.$$

Кутова погрішність візування для шахти виражається формулою $\frac{100''}{v}$, де v – збільшення труби нівеліра.

Звідси погрішність відліку по рейці, що відстоїть від нівеліра на відстані l , складе:

$$m_v = \frac{100''}{\rho'' v} l.$$

Якщо через τ позначити ціну поділки рівня і вважати, що його вісь установлюється із середньою погрішністю $\pm 0,1\tau$, то

$$m_\tau = \frac{0,1\tau}{\rho''} l.$$

Підставимо отримані значення m_v і m_τ у формулу для m_o :

$$m_o = \pm \frac{l}{2060} \sqrt{\frac{1\,000\,000}{v^2} + \tau^2},$$

де l виражено в метрах, а m_o – у міліметрах.

Відомо, що в кожному нівелірі повинна бути дотримана відповідність між ціною поділки рівня і збільшенням труби, тобто

$$0,1\tau \leq \frac{100''}{v}.$$

Якщо замінити останню нерівність відповідною рівністю і підставити отримані значення τ і v у формулу для m_o , одержимо два вирази:

$$m_o = \pm 0,7 \frac{l}{v};$$

$$m_o = \pm 0,0007 \cdot l \cdot \tau.$$

У цих формулах m_o виражено в міліметрах, l – у метрах, τ – у секундах.

Обчислена за наведеними формулами середня погрішність відліку по рейці має зменшене значення, тому що тут не враховується вплив умов нівелювання [4].

7.4 Середня квадратична погрішність тригонометричного нівелювання

У тригонометричному нівелюванні перевищення одного пункту над іншим визначається за формулою [4]:

$$\Delta z = L \sin \delta + i - v.$$

Середня погрішність одного визначення Δz складе:

$$m_{\Delta z} = \pm \sqrt{\left(\frac{m_\delta}{\rho} L \cos \delta\right)^2 + (m_L \sin \delta)^2 + m_i^2 + m_v^2}.$$

Перевищення кінцевого пункту над початковим знаходять як суму перевищень проміжних точок:

$$\Delta z_{AB} = \Delta z_1 + \Delta z_2 + \dots + \Delta z_n.$$

Звідси погрішність усього ходу тригонометричного нівелювання:

$$M_{\Delta z}^2 = m_{\Delta z_1}^2 + m_{\Delta z_2}^2 + \dots + m_{\Delta z_n}^2.$$

У випадку приблизної рівності довжин і кутів нахилу сторін ходу тригонометричного нівелювання при підставленні значення $m_{\Delta z}$ до останньої формули маємо:

$$m_L^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2,$$

звідси

$$M_{\Delta z} = \pm m_{\Delta z} \sqrt{n}.$$

При визначенні кожного перевищення двічі (вперед і назад):

$$M'_{\Delta z} = \pm m_{\Delta z} \sqrt{\frac{n}{2}}.$$

Середні погрішності вимірювання довжини сторін і кутів нахилу визначають за відповідними формулами, що розглянуті вище. Відносно погрішностей m_v і m_i слід прийняти:

$$m_v = m_i = \pm(2 \div 3) \text{ мм.}$$

Погрішності вимірювання відрізків i та v цілком входять у погрішність перевищення і складають значну її частину. Небезпечний вплив погрішностей m_i і m_v часто враховується недостатньо. Вимірюючи достатньо точно кути нахилу і довжину сторін, маркшейдери нерідко обмежуються грубим вимірюванням відрізків i і v , що зовсім неприпустимо.

РОЗДІЛ 8

Аналіз точності орієнтувально-з'єднувальних зйомок

8.1 Загальні відомості

Не дивлячись на великі досягнення передачі дирекційного кута в підземні виробки гіроскопічним орієнтуванням, геометричне орієнтування має велике практичне значення.

До того ж тільки шахтний висок слугує основним засобом центрування та передачі координат підземних мереж. Необхідно також відмітити, що геометричні способи з'єднувальної зйомки більш прості і доступні для отримання високої точності орієнтування. Вони є найбільш поширеними при будівництві метро і тунелів, де потребується точність орієнтування всього 5"–10" [4].

Найбільш простим і доступним засобом проектування точки з поверхні на горизонт гірничих робіт є проволочний шахтний висок, за допомогою якого можна отримати достатньо високу точність. Оптичні і лазерні центрири із-за цілого ряду причин поки що не знайшли широкого застосування.

Основна задача проектування полягає в переносі по вертикалі верхньої точки виска на нижній горизонт.

При цьому часто вимагається точність порядку декількох долей міліметра, особливо при орієнтуванні через один вертикальний ствол. Для отримання такої високої точності використовують властивості вільно висячого в стволі шахтного виска. Найбільший вплив на проволочний висок надає рух повітря в стволі. В залежності від поведінки шахтного повітряного потоку у вертикальному стволі пропонується багато способів підвищення точності

проектування. Проектування здійснюють переважно або нерухомим виском, або виском, що вільно коливається. В останньому випадку для точного отримання вертикальної проєкції верхньої точки виска на робочому горизонті виконують спостереження по двом взаємоперпендикулярним шкалам.

8.2 Фактори, що впливають на точність проектування

Вільно висячий шахтний висок рідко знаходиться в спокійному стані. Під впливом різних факторів він здійснює неупорядковані коливання, середнє значення яких не завжди співпадає з вертикальною проєкцією верхньої точки виска. До збуджуючих факторів належать: рух повітря у стволі і на перетині ствола з горизонтальною виробкою; падіння підземних вод; притягування вантажу виска оточуючими породами різної щільності; залишкова деформація проволки виска, яка впливає на його прямолінійність; фактори, які обумовлюють нерегулярність коливань виска [4].

Рух повітря в стволі – основний фактор, який відхиляє висок від вертикального положення і обумовлює неупорядковані його коливання. При цьому на перетині ствола з горизонтальною виробкою потік повітря діє на висок напрямлено, відхиляючи його в одну сторону.

Для зменшення впливу повітряного потоку на висок рекомендується:

- а) зменшити при можливості або навіть зупинити вентиляцію на період проектування;
- б) поміщати вантаж виска в посудини з в'язкою рідиною, оберігаючи його тим самим від впливу повітряного потоку;
- в) застосовувати проволку з великим опором на розрив, навантажуючи висок максимально допустимим вантажом;
- г) оберігати нижню частину виска від спрямованого впливу повітряного потоку, закриваючи її спеціальним коробом або футляром;

д) застосовувати при проєктуванні спеціальні проєктувальні тарілочки зі шкалами для спостереження за коливаннями для фіксації крайніх та середнього положення виска.

У кожному випадку розроблюється і реалізується комплекс заходів по усуненню або зменшенню впливу факторів, які впливають на точність проєктування.

Крім основних перерахованих вище факторів впливу на точність проєктування, мають місце ще так звані побічні фактори, які негативно впливають на поведінку виска у стволі, але точно оцінити їх вплив дуже важко, або взагалі неможливо. До них можна віднести: нерівномірність (пульсацію) руху повітря; коливання дроту як струни; перешкоди в стволі, які обмежують вільне коливання виска; нестабільність місць закріплення блочків і центрировочних пластин; доторкання вантажів висків до стінок посудини з демпфуючою рідиною; несиметричне розміщення центру тяжіння вантажу відносно вісі дроту. До цих же факторів необхідно віднести: нестійке положення полків, на яких закріплені проєктувальні тарілочки; нежорстке закріплення проєктувальних тарілочок на полках, а шкал і дзеркал на тарілочках; зміщення теодоліта в процесі спостережень за коливаннями виска. А тому крім рекомендацій по усуненню цих недоліків, виконавцям необхідно ретельно контролювати умови виконання проєктування та звертати особливу увагу на усунення можливих перешкод [4].

8.3 Кутова похибка проєктування

При геометричних способах проєктування за допомогою двох висків створюється вертикальна площина. Вирішуючи задачу примикання на поверхні, визначають координати висків і дирекційний кут лінії, яка їх з'єднує. Якщо вважати площину висків ідеально вертикальною, то отримані на поверхні координати і дирекційний кут присвоюють лінії, яка з'єднує проєкції висків на орієнтованому горизонті. Потім, вирішуючи задачу примикання в шахті,

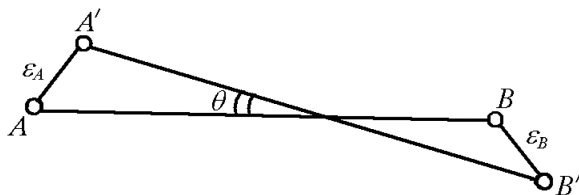


Рисунок 24 – Лінійні зміщення висків та кутова похибка проектування

визначають координати і дирекційний кут закріплених у виробках сторін, які приймаються в якості вихідних при розвитку підземних мереж. Але внаслідок впливу охарактеризованих вище факторів створити ідеально вертикальну площину неможливо. Появляються, як показано на рис. 24, лінійні зміщення ε_A і ε_B та як наслідок цього розворот лінії висків $A'B'$ на орієнтованому горизонті відносно лінії висків AB на поверхні [4].

Цей розворот називають кутовою похибкою проектування і позначають θ . Значення θ залежить від лінійних зміщень ε_A і ε_B та від їх орієнтації відносно створу висків.

Ймовірно, що максимальне значення похибки θ буде при зміщенні висків перпендикулярно до лінії AB в різні сторони. Якщо ж ці зміщення направлені по лінії AB , то похибка θ буде дорівнювати нулю.

Щоб встановити зв'язок між θ і кутами орієнтації зміщення ε_A і ε_B відносно лінії висків AB можна рахувати, що ε_A і ε_B є середніми квадратичними лінійними похибками проектування висків A і B . Так як вектори ε_A і ε_B незалежні між собою, необхідно визначити вплив на розворот θ кожного з цих векторів окремо, а потім отримані результати скласти. Уявимо, що висок B спроектований безпомилково, тобто $\varepsilon_B = 0$. тоді зв'язок між відхиленням ε_A (рис. 25) і кутом θ встановлюється за допомогою формули синусів:

$$\frac{\varepsilon_A}{\sin \theta_{Ai}} = \frac{c'}{\sin \varphi_i},$$

де c' – відстань $A'B$.

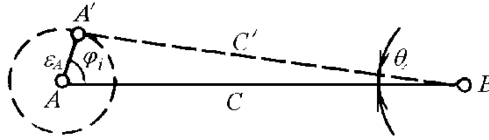


Рисунок 25 – Схема визначення кутової похибки проєктування

Внаслідок малості кута θ_{A_i} можна прийняти $\theta_{A_i} = \frac{\theta_{A_i}}{\rho}$, а із-за малості зміщення ε_A рахувати, що $C' = C$, тоді отримаємо:

$$\theta_{A_i} = \rho \frac{\varepsilon_A \sin \varphi_i}{C}.$$

При дослідженнях внаслідок ряду перетворень встановлено, що

$$\theta_A = \rho \cdot \frac{\varepsilon_A}{C\sqrt{2}}.$$

Аналогічно можна отримати середнє квадратичне значення кутової похибки проєктування, обумовлене лінійною похибкою проєктування виска B .

$$\theta_B = \rho \frac{\varepsilon_B}{C\sqrt{2}}.$$

Загальна кутова похибка проєктування буде дорівнювати:

$$\theta = \sqrt{\theta_A^2 + \theta_B^2} = \frac{\rho}{C} \sqrt{\frac{\varepsilon_A^2 + \varepsilon_B^2}{2}}.$$

Так як виски A і B знаходяться в однакових умовах, можна прийняти, $\varepsilon_A = \varepsilon_B = \varepsilon$. Тоді кінцева формула буде мати вигляд:

$$\theta = \rho \frac{\varepsilon}{C}. \quad (4)$$

Інструкція по виконанню маркшейдерських робіт встановлює, що розходження результатів двойного незалежного орієнтування однієї і тієї ж вихідної сторони опорної мережі не повинно

перевищувати 120". Звідси середня квадратична похибка одного орієнтування повинна дорівнювати:

$$M_o = \frac{120}{2\sqrt{2}} = 64''.$$

Ця похибка складається з похибок примикання на поверхні m_n і в шахті $m_{ш}$, а також кутової похибки проектування θ :

$$M_o^2 = m_n^2 + m_{ш}^2 + \theta^2.$$

Застосовуючи принцип рівного впливу, тобто $m_n = m_{ш} = \theta$ знайдемо:

$$\theta = \frac{M_o}{\sqrt{3}} = 37''.$$

З формули (4) можна отримати середні квадратичні похибки ε проектування висків A і B в залежності від відстані між висками c (табл. 9)

Таблиця 9 – Залежність лінійних похибок проектування від відстані між висками

Відстань c , м	Похибка ε , мм	Відстань c , м	Похибка ε , мм
1	0,18	6	1,08
2	0,36	50	9,0
4	0,72	100	18,0

З таблиці видно, що при орієнтуванні через один вертикальний ствол ($C < 6$ м) необхідно забезпечувати високу точність проектування висків. В той же час при орієнтуванні через два вертикальних стволи ($C > 50$ м) вимоги до точності проектування значно нижчі. Тому при проектуванні через два ствола дозволяється здійснювати в шахті примикання без застосування проектувальних тарілочок, помістивши при цьому вантаж виска в посудину з водою та заспокоївши його коливання [4].

8.4 Аналіз точності при примиканні з'єднувальними трикутниками

Найбільш поширеним способом примикання до двох висків, опущених через один вертикальний ствол, є спосіб з'єднувальних трикутників.

Другий спосіб примикання при орієнтуванні через один ствол – спосіб з'єднувального чотирикутника, який при певних умовах володіє перевагами перед способом з'єднувального трикутника, – використовується досить рідко.

Точність геометричних способів орієнтування суттєво залежить від форми фігур примикання [4].

Виборемо оптимальну форму з'єднувальних трикутників, як це показано на рис. 26.

У цьому способі на поверхні і в шахті вимірюються по три кути і три сторони: $\gamma, \varphi, \delta, a, b$ і c на поверхні $\gamma', \varphi', \delta', a', b', c'$ в шахті. Рішаючи трикутники, обчислюємо кути α і β на поверхні і α', β' в шахті. Оптимальною формою з'єднувальних трикутників будемо рахувати таку, при якій забезпечується максимальна точність передачі дирекційного кута при одних і тих же похибках вимірювань. Кути α і β є функціями виміряних величин і обчислюються за формулами синусів:

$$\sin \beta = \frac{b}{c} \sin \gamma; \quad \sin \alpha = \frac{a}{c} \cdot \sin \gamma.$$

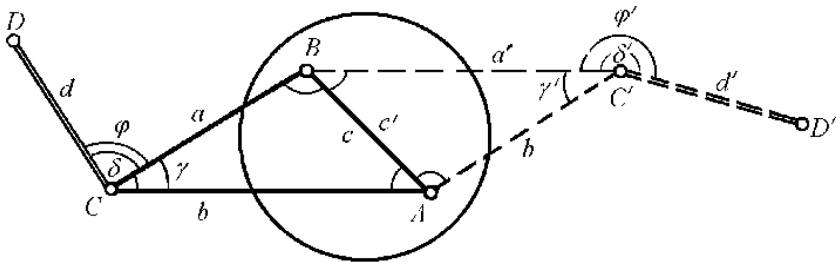


Рисунок 26 – Схема примикання способом з'єднувальних трикутників

Так як в ці формули входять тригонометричні функції, похибки обчислених кутів α і β будуть залежати не тільки від похибок вимірювань, але і від значень кутів і сторін трикутника, тобто від його форми. Позначимо середні квадратичні похибки вимірювань через m_γ , m_a , m_b і m_c , потім користуючись формулою:

$$M_F^2 = f_1^2 m_1^2 + f_2^2 m_2^2 + \dots + f_n^2 m_n^2, \quad (5)$$

обчислюємо похибки M_α і M_β . Необхідні для отримання похибки M_α похідні від a за виміряними величинами будуть дорівнювати:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \gamma} = \frac{a \cdot \cos \gamma}{c \cdot \cos \alpha}; \quad \frac{\partial \alpha}{\partial a} = \frac{\sin \gamma}{c \cdot \cos \alpha}; \quad \frac{\partial \alpha}{\partial c} = -\frac{a \sin \gamma}{c^2 \cos \alpha}.$$

Якщо отримані похідні звести у квадрат, та враховуючи, що $\frac{\sin \gamma}{c} = \frac{\sin \alpha}{a}$ запишемо:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial \gamma} \right)^2 &= \frac{a^2 \cdot \cos^2 \gamma}{c^2 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{a^2 (1 - \sin^2 \gamma)}{c^2 \cdot \cos^2 \alpha} = \\ &= \frac{a^2}{c^2 \cos^2 \alpha} - \frac{a^2 \cdot \sin^2 \alpha}{a^2 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{a^2}{c^2 \cdot \cos^2 \alpha} - \operatorname{tg}^2 \alpha. \end{aligned}$$

Так як кутові величини дані в градусній мірі за формулою (5) запишемо:

$$M_\alpha^2 = \left(\frac{a^2}{c^2 \cdot \cos^2 \alpha} - \operatorname{tg}^2 \alpha \right) m_\gamma^2 + \rho^2 \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{a^2} \cdot m_a^2 + \rho^2 \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{c^2} m_c^2.$$

Після перетворень будемо мати наступний кінцевий вигляд:

$$M_\alpha = \sqrt{\frac{a^2}{c^2 \cdot \cos^2 \alpha} m_\gamma^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha \left(\rho^2 \frac{m_a^2}{a^2} + \rho^2 \frac{m_c^2}{c^2} - m_\gamma^2 \right)}. \quad (6)$$

Таким же чином можна показати, що

$$M_\beta = \sqrt{\frac{b^2}{c^2 \cdot \cos^2 \beta} m_\gamma^2 + \operatorname{tg}^2 \beta \left(\rho^2 \frac{m_b^2}{b^2} + \rho^2 \frac{m_c^2}{c^2} - m_\gamma^2 \right)}.$$

Аналогічними є формули і для похибок кутів α' і β' підземного з'єднувального трикутника. Так як в ці формули входять тригонометричні функції кутів з'єднувального трикутника, то значення M_α і M_β залежать від його форми. Аналізуючи формулу (6) помітимо, що похибка M_α буде мінімальною при $\alpha \rightarrow 0$. У цьому випадку:

$$M_\alpha = \frac{a}{c} \cdot m_\gamma. \quad (7)$$

Похибка M_β буде мінімальною при $\beta \rightarrow 180^\circ$. Тоді

$$M_\beta = \frac{b}{c} \cdot m_\gamma. \quad (8)$$

А це умови, при яких з'єднувальний трикутник переходить в лінію. При цьому похибки вимірювання довжин сторін трикутника не впливають на точність обчислених кутів α і β .

Оптимальною буде витягнута форма з'єднувальних трикутників, за яких гострі кути не перевищують 3° . Крім того з формул (7) і (8) можна зробити висновок що:

а) з зменшенням сторін a і b похибка обчислених кутів зменшується, а звідси виходить висновок, що примичну точку C (рис. 26) потрібно розміщувати ближче до висків;

б) з збільшенням відстані між висками зменшується похибка обчислених кутів;

в) при рівних умовах похибка обчисленого кута пропорційна похибці виміряного;

г) похибка обчисленого гострого кута менша похибки тупого.

Існує також наступна формула обчислення похибки примикання M_{np} , яка являє собою середню квадратичну похибку орієнтування, що залежить від похибки примикання на поверхні і в шахті способом з'єднувальних трикутників [4]:

$$M_{np}^2 = \frac{2m_\gamma^2}{3} \left(2 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \gamma} + \frac{\operatorname{tg} \beta'}{\operatorname{tg} \gamma'} + \frac{\operatorname{tg}^2 \beta'}{\operatorname{tg}^2 \gamma'} \right). \quad (9)$$

За результатами досліджень примикання способом з'єднувальних трикутників отримані наступні висновки:

1) похибка передачі дирекційного кута навіть для з'єднувальних трикутників оптимальної форми суттєво залежить від віддалення примичних точок від висків;

2) при неурівняних кутах, виміряних на примичних точках, похибка відшукованого дирекційного кута залежить від того, які комбінації з обчислених кутів α , β , α' і β' використанні для отримання дирекційного кута;

3) точність дирекційних кутів, отриманих за урівняними на примичних точках кутами і за гострими кутами без урівнювання, приблизно одна і та ж.

Разом з тим, хоча урівнювання кутів в порівнянні з обчисленнями за гострими кутами без урівнювання не призводить до підвищення точності, його потрібно виконувати, щоб усунути неоднозначність значень відшукованих дирекційних кутів, визначених різними способами. При урівняних кутах значення дирекційного кута є однаково незалежним від способу обчислень. Це використовується для контролю обчислень [4].

Наявність надлишкових виміряних величин дозволяє контролювати правильність виконаних вимірів і обчислень.

Суму кутів кожного з'єднувального трикутника можна проконтролювати за формулою:

$$S = \alpha + \beta + \gamma - 180^\circ = 0, \quad (10)$$

де γ – виміряний кут; α і β – кути, обчислені за формулою синусів.

Щоб знайти похибку функції S в залежності від сторін a , b і c необхідно взяти похідні, отримані при встановленні оптимальної форми з'єднувальних трикутників. Так

$$\frac{\partial S}{\partial \gamma} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma}.$$

Але так як для кутів трикутника відома рівність:

$$\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \gamma,$$

то кінцеве значення похідної буде мати вигляд:

$$\frac{\partial S}{\partial \gamma} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Похідні S за сторонами a , b і c , враховуючи приведені вище співвідношення, дорівнюють:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \frac{\partial \alpha}{\partial a} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{a};$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \frac{\partial \beta}{\partial b} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{b};$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = \frac{\partial \alpha}{\partial c} = \frac{\partial \beta}{\partial c} = -\frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{c}.$$

Середня квадратична похибка суми S описується наступною формулою, отриманою при умові, що похибки вимірювання сторін $m_a = m_b = m_c = m_\ell$:

$$M_s^2 = \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \cdot m_\gamma^2 + \rho^2 \left\{ \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{a^2} + \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{b^2} + \frac{(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)^2}{c^2} \right\} \cdot m_\ell^2. \quad (11)$$

З формули (11) видно, що при кутах α і β , близьких відповідно 0 і 180° , тобто в трикутниках витягнутої форми, похибки вимірювання кута γ і сторін трикутника a , b і c не надають суттєвого впливу на похибку суми кутів S .

Другими словами, контроль, який здійснюється за формулою (10) не дозволяє оцінити якість вимірювань, які виконуються при примиканні способом з'єднувальних трикутників. А тому контроль суми кутів з'єднувальних трикутників витягнутої форми є просто контролем обчислень. Так, для трикутника з кутом $\alpha = 2^\circ$, $\gamma = 2^\circ$ і $\beta = 176^\circ$ та сторонами $\alpha = c = 3$ м, $b = 6$ м, прийнявши $m_\gamma = \pm 5' = \pm 300''$ і $m_\ell = \pm 2$ мм, знаходимо $m_s = 8''$. при цьому похибка $m_\gamma = \pm 300''$ призводить до зміни суми S на $0,7''$. Таким чином, навіть грубі неточності, які допущені при вимірюванні

кута γ між висками, не можливо виявити за допомогою контролю за формулою (10).

Невідповідність контролю (10) при правильно виконаних обчисленнях в трикутниках витягнутої форми – це наслідок впливу похибок вимірювання лінійних елементів трикутника. Обчислення можна проконтролювати також за формулою:

$$d = C - C_{\text{вич}} = C - \sqrt{a^2 - b^2 - 2ab \cos \gamma} = 0. \quad (12)$$

Після ряду перетворень можна стверджувати, що середня квадратична похибка різниці d , що залежить від похибок вимірювань, при умові, що $m_a = m_b = m_c = m_\ell$, буде дорівнювати:

$$M_d^2 = 3m_\ell^2 + b^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{m_\gamma^2}{\rho^2}.$$

Через причину малості кута α в трикутниках оптимальної форми навіть значні похибки кута γ не впливають на різницю d . Зміна ж довжини будь-якої з сторін трикутника приводить до зміни різниці d на таку ж величину. іншими словами, контроль за формулою (12) перевіряє лише якість лінійних вимірювань [4].

Таким чином, розглянуті формули для контролю вимірювань не відображають в трикутниках витягнутої форми навіть грубі (до 10') неточності, допущені при вимірюваннях γ і γ' . Єдиним надійним контролем якості кутових вимірювань можуть служити вимірювання на примічних точках C і C' всіх трьох кутів при способі повторень, або всіх напрямків на цих точках способом прийомів.

Під загальною похибкою орієнтування розуміють похибку визначення дирекційного кута сторони $C'D'$ (рис. 26), яка приймається за вихідну при розвитку підземних планових мереж. Середнє квадратичне значення загальної похибки при примиканні до висків способом з'єднувальних трикутників визначається за формулою:

$$M_o^2 = M_{\text{вих}}^2 + M_{\text{цп}}^2 + M_{\text{пр}}^2 + M_{\text{цш}}^2 + \theta^2, \quad (13)$$

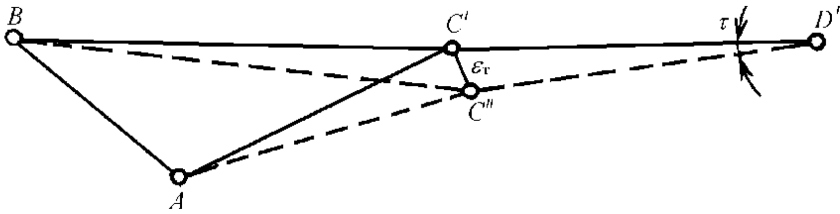


Рисунок 27 – Схема визначення похибки орієнтування

де $M_{\text{вих}}$ – середня квадратична похибка вихідного дирекційного кута на поверхні; $M_{\text{цп}}$, $M_{\text{цш}}$ – похибки орієнтування, обумовлені неточністю центрування теодоліта і сигналів при примиканні на поверхні і в шахті, обчислена за формулою (9); θ – кутова похибка проєктування, яка обчислюється за формулою (4); $M_{\text{пр}}$ – середня квадратична похибка примикання.

У формулі (13) невизначеними є похибки $M_{\text{цп}}$ і $M_{\text{цш}}$. Нехай теодоліт встановлений замість точки C' на точці C'' зі зміщенням ε_{τ} , як це показано на рис. 27.

Якщо всі вимірювання виконати відносно керна на трубі теодоліта, то як наслідок дирекційний кут буде переданий на лінію $C''D'$, а не на лінію $C'D'$. Випадкова похибка, внаслідок цього, буде дорівнювати куту τ .

Вектор зміщення ε_{τ} може бути з однаковою ймовірністю напрямленим в любую сторону. У цьому випадку середню квадратичну кутову похибку m_{τ} , яка залежить від позацентричності теодоліта, можна виразити формулою:

$$m_{\tau} = \rho \cdot \frac{\varepsilon_{\tau}}{d' \sqrt{2}},$$

в якій d' – довжина примичної сторони $C'D'$.

Якщо відбувається зміщення сигналу ε_c на точці D' , то за аналогією можна отримати середню квадратичну похибку кута:

$$m_c = \rho \cdot \frac{\varepsilon_c}{d' \sqrt{2}}.$$

Звідси середня квадратична похибка орієнтування, обумовлена похибкою центрування теодоліта і сигналу, буде дорівнювати:

$$M_{\text{цш}} = \frac{\rho}{d'} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{д}}^2 + \varepsilon_{\text{н}}^2}{2}}. \quad (14)$$

При $\varepsilon_{\text{т}} = \varepsilon_{\text{с}} = \varepsilon$:

$$M_{\text{цш}} = \rho \frac{\varepsilon}{d'}.$$

Аналогічно можна отримати:

$$M_{\text{цш}} = \rho \frac{\varepsilon}{d}. \quad (15)$$

З аналізу формул (14) і (15) отримуємо висновок, що для зменшення впливу похибок центрування теодоліта і сигналів примичні сторони $СД$ і $С'Д'$ на поверхні і в шахті необхідно робити по можливості довгими. Звідси ж видно, що зменшення відстаней теодоліта до висків не впливає на похибку орієнтування, пов'язану з позacentреністю приладу [4].

8.5 Аналіз точності орієнтування через два вертикальних шахтних ствола

Найбільший вплив на точність передачі дирекційного кута при геометричних способах орієнтування через один вертикальний ствол надає кутова похибка орієнтування θ . у випадку орієнтування через два стволи необхідна для з'єднувальної зйомки вертикальна площина створюється двома висками, які розміщені один від одного на значній відстані. Кутова похибка проектування, у відповідності з формулою (4), буде незначною, що є основною перевагою орієнтування через два ствола, особливо для глибоких стволів. Ця відстань дає змогу здійснювати проектування висків менш точно.

В окреmostі, при відстанях між висками більше 50 м дозволяється здійснювати проєктування висків без проєктувальних тарілочок. Але в цьому випадку бажано застосовувати посудини-заспокоювачі. При орієнтуванні через два стола з'являється одне надлишкове вимірювання і, відповідно, виникає одна умова виду $L - L' = 0$, де L і L' – відстані між висками, отримані з вимірювань на поверхні і в шахті відповідно. Із-за похибок вимірювань в правій частині умовного рівняння замість нуля буде нев'язка f_L . Перед обчисленням цієї нев'язки потрібно за формулою:

$$\Delta L = L - L' = L \cdot \frac{H}{R}$$

увести у відстань L' поправку за приведення до рівневої поверхні, приймаючи в якості H – висотну позначку Z – горизонту орієнтування. R – радіус Землі (в розрахунках можна приймати $R = 6370$ км).

При цьому лінійні вимірювання на поверхні повинні бути редуційованими на рівневу поверхню. Отриману нев'язку f_L порівнюють з допустимою, обчисленою за формулою:

$$f_{\text{доп}} = 2\sqrt{M_{\beta}^2 + M_{\ell}^2}, \quad (16)$$

в якій M_{β} , M_{ℓ} – середні квадратичні похибки відстані між висками, обумовлені похибками вимірювання кутів і відстаней на поверхні і в шахті. Так як вимірювання на поверхні виконуються з більш високою точністю, то для отримання правої частини формули (16) можна враховувати похибки вимірювань тільки в підземному з'єднувальному полігоні. Для цього візьмемо умовну систему координат, помістивши її початок в точку B , як це показано на рис. 28, вісь абсцис напрямлена вподовж створу висків AB .

Використовуючи формули накопичення похибок у вільному полігоні можна записати, що

$$M_{\beta}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \cdot \sum_{i=1}^n R_{yi}^2,$$

$$M_{\ell}^2 = \mu^2 \cdot \sum_{i=1}^{n+1} \ell_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 \cdot L^2, \quad (17)$$

в яких R_{yi} – відстань від точок з'єднувального полігону до створу висків;

ℓ_i – довжина сторони полігону;

α_i – дирекційний кут сторони полігону;

μ і λ – коефіцієнти випадкового систематичного впливу похибок вимірювання довжин сторін. Величини $\ell_i \cos^2 \alpha_i$

для кожної сторони з'єднувального полігону доцільно отримувати графічно шляхом подвійного проектування.

Якщо отримана нев'язка f_L допустима, то у всі довжини сторін підземного з'єднувального полігону вводиться поправка:

$$\delta_{\ell_i} = \frac{f_L}{L} \cdot r_i. \quad (18)$$

Обчислені за виправленими довжинами кінцеві значення координат висків підземного полігону повинні співпадати з координатами висків, отриманими з обчислення на поверхні в межах заданої точності.

Середня квадратична похибка дирекційного кута i -сторони підземного з'єднувального полігону обчислюється в загальному вигляді за формулою:

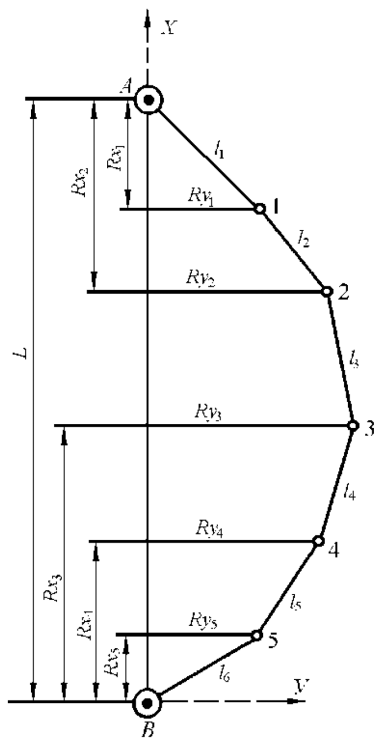


Рисунок 28 – Підземний з'єднувальний полігон

$$M_{oi} = \sqrt{\theta^2 + M_n^2 + M_{ши}^2}, \quad (19)$$

в якій θ – кутова похибка проєктування, що обчислюється з формулою (4);

M_n – похибка примикання на поверхні, тобто похибка дирекційного кута створу висків AB , яка залежить від похибок вимірювання кутів і довжин в підхідних полігонах на поверхні;

$M_{ши}$ – похибка примикання в шахті тобто похибка дирекційного кута i – сторони підземного полігону, яка залежить від похибок вимірювання кутів і довжин з'єднувального полігону в шахті.

Необхідно відмітити, що похибки θ і M_n однакові при оцінці точності дирекційних кутів всіх сторін з'єднувального полігону, а $M_{ши}$ – буде різною для кожної оцінюваної сторони. При визначенні похибок M_n і $M_{ши}$ необхідно користуватися формулами накопичення похибок у вільних ходах. Щоб визначити похибку примикання на поверхні M_n скористаємося схемою, що приведена на рис. 29 [4].

Ця похибка залежить від зміщення A і B по вісі $У$, обумовленого похибками вимірювання кутів і довжин примичних полігонів CA і CB . Зміщення можна визначити окремо для кожного виска за формулою:

$$M_y^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_A R_{xi}^2 + \sum_A m_\ell^2 \cdot \sin^2 \alpha_i,$$

в якій похибка m_β – середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута в полігонометрії на поверхні; R_i – проєкції на створ висків AB відстаней від точок полігону CA до виска A і від точок полігону CB до виска B ; m_ℓ – середня квадратична похибка вимірювання довжин підхідних полігонів на поверхні; α_i – дирекційні кути цих полігонів.

Так як для полігонометрії на поверхні точність вимірювання довжин приводиться у вигляді відносної похибки $\left(m_\ell = \frac{\ell_i}{T}, \text{ де } T - \text{знаменник відносної похибки} \right)$, то

$$m_\ell \cdot \sin \alpha_i = \frac{\Delta y_i}{T}.$$

Похибка примикання на поверхні визначається за формулою:

$$M_n = \frac{\rho}{L} \sqrt{M_{yA}^2 + M_{yB}^2}.$$

Підставивши у цю формулу вирази з формул (17), (18) та (19) отримаємо:

$$M_n = \sqrt{\frac{m_\beta^2}{L^2} \cdot \sum R_{xi}^2 + \frac{\rho^2}{L^2 T^2} \cdot \sum \Delta y_i^2}, \quad (20)$$

причому значення R_{xi} визначається графічно.

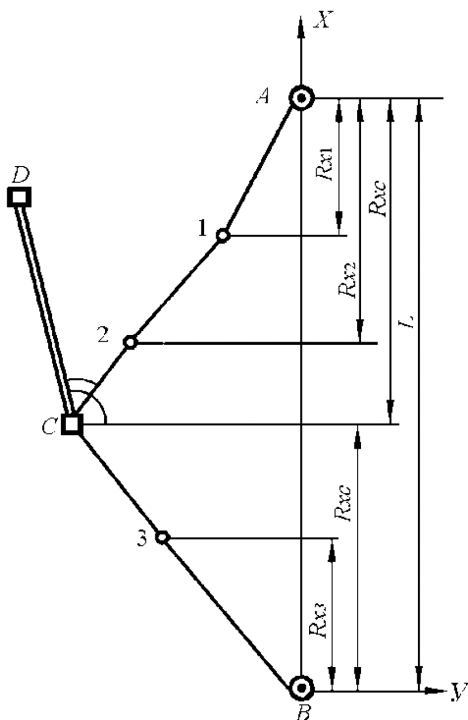


Рисунок 29 – Схема примикання до висків на поверхні

Якщо від вузлової точки C до вихідної сторони прокладений ход з n – кутами, то

$$M_n = \sqrt{\frac{m_\beta^2}{L^2} \cdot \sum R_{xi}^2 + \frac{\rho^2}{L^2 T^2} \cdot \sum \Delta y_i^2 + nm_\beta^2}, \quad (21)$$

де $M_n \leq 20''$.

Похибку примикання в шахті $M_{ши}$, яка залежить від похибок вимірювання кутів і довжин сторін в підземному з'єднувальному полігоні, отримаємо стосовно до оцінки точності дирекційного кута сторони 2–3 полігону (див. рис. 28).

На підставі виконаних дослідницьких робіт встановлена наступна формула похибки примикання в шахті:

$$M_{ши} = \frac{1}{L} \cdot \sqrt{m_\beta^2 \cdot \sum R_{xi}^2 + \rho^2 \cdot \mu^2 \sum \ell_i \cdot \sin^2 \alpha_i}, \quad (22)$$

в якій величини R_{xi} визначаються графічно (рис. 28), а значення $\ell_i \sin^2 \alpha_i$ відшуковуються для всіх сторін підземного з'єднувального полігону. Як свідчить аналіз формули (22), перший член підкорінного виразу буде для кожної оцінюваної сторони різним, а другий залишається без зміни.

Аналіз формул (20, 21) показує, що похибка орієнтування через два стволи залежить від форми полігонів на поверхні і в шахті. Так як вимірювання в шахті менш точні, особливу увагу потрібно звертати на формулу підземного з'єднувального полігону. З формули (22) можна зробити висновок, що для з'єднувального полігону, прокладеного вдовж створу висків, похибки вимірювання довжин не впливають на точність орієнтування. В цьому випадку для полігонів з приблизно рівними довжинами сторін похибка примикання в шахті може бути обчислена за формулою:

$$M_{ши} = m_\beta K = m_\beta \sqrt{\frac{(n-1)(2n-1) - 6(i-1)(n-i)}{6n}}, \quad (23)$$

в якій n – число сторін з'єднувального полігону;
 i – порядковий номер сторони, для якої визначається похибка.

Для прикладу приведемо отримані за формулою (23) значення коефіцієнта K для різних полігонів, що наведені в таблиці 10.

Аналізуючи приведені формули та дані таблиці, можна зробити наступні висновки [4]:

1) похибка орієнтування залежить від форми полігонів на поверхні і в шахті;

2) для підвищення точності краще використовувати витягнуті полігони, наближені до створу висків;

3) в з'єднувальних полігонах витягнутої форми похибка примикання в шахті залежить, в основному, від середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтального кута, числа сторін полігону і номера оцінюваної сторони;

4) в таких полігонах похибки дирекційних кутів сторін, розташованих в середині, менші похибок крайніх сторін, а похибки дирекційних кутів сторін, однаково віддалених від висків, рівні між собою;

Таблиця 10 – Значення коефіцієнтів K

Номер сторони	Значення коефіцієнта K для різних полігонів з числом n – сторін з'єднувального полігону									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	0,471	0,612	0,775	0,928	1,069	1,199	1,319	1,432	1,537	1,637
3		0,612	0,632	0,726	0,845	0,968	1,087	1,204	1,314	1,419
4			0,775	0,726	0,756	0,829	0,923	1,025	1,128	1,230
5				0,928	0,845	0,829	0,860	0,922	1,000	1,087
6					1,069	0,968	0,923	0,922	0,953	1,007
7						1,199	1,089	1,025	1,000	1,007
8							1,319	1,204	1,128	1,087
9								1,432	1,314	1,230
10									1,537	1,419
11										1,637

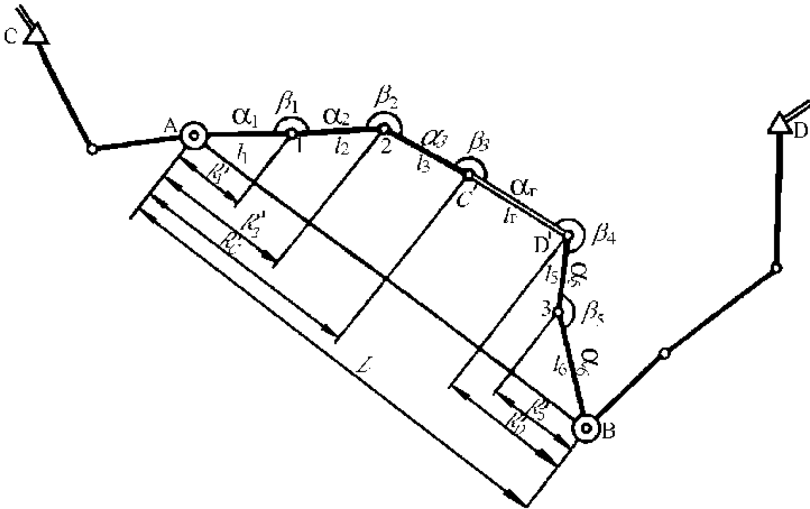


Рисунок 30 – Схема взаємозв'язку орієнтування через два ствола з гіроскопічним орієнтуванням

5) похибки дирекційних кутів з'єднувального полігону зростають при збільшенні числа його сторін, але при їх числі менше 12 похибки дирекційних кутів середніх сторін не перевищують похибок вимірювання горизонтального кута.

Орієнтування через два стволи доцільно поєднувати з гіроскопічним орієнтуванням хоча б однієї сторони підземного з'єднувального полігону (рис. 30).

Отримана при цьому різниця дирекційних кутів f_{α} (абсолютна) однієї і тієї ж сторони не повинна перевищувати значення, визначеного за формулою:

$$f_{\alpha \text{ доп}} = 2\sqrt{m_{\alpha}^2 + M_{0i}^2}, \quad (24)$$

в якій m_{α} – середня квадратична похибка гіроскопічного орієнтування; M_{0i} – середня квадратична похибка геометричного орієнтування, обчислена в загальному випадку за формулою (19).

Якщо різниця f_α допустима, то за кінцеве значення дирекційного кута доцільно прийняти середнє виважене значення, що обчислюється за формулою:

$$\alpha_{cp} = \alpha_1 + \frac{f_\alpha}{q+1},$$

в якій α_1 – значення дирекційного кута, визначеного гіроскопічним способом;

f_α , q – значення, обчислені за формулами:

$$f_\alpha = \alpha_2 - \alpha_1,$$

$$q = \frac{M_{0i}^2}{m_\alpha^2},$$

де α_2 – значення дирекційного кута, визначеного з геометричного орієнтування.

Якщо різниця f_α більша величини, обчисленої за формулою (24), але менша $3'$, то за кінцеве значення доцільно приймати результати гіроскопічного орієнтування. Якщо ж f_α перевищує $3'$, то необхідно провести додаткове орієнтування [4].

Контрольні запитання

1. Які існують способи орієнтувально-з'єднувальних зйомок?
2. Назвіть фактори, які впливають на точність проектування точки з поверхні в шахту при орієнтувально-з'єднувальних зйомках.
3. Які існують способи зменшення впливу повітряного потоку на висок при виконанні орієнтувально-з'єднувальної зйомки через вертикальні стволи?
4. Які побічні фактори негативно впливають на поведінку виска в стволі при виконанні орієнтувально-з'єднувальної зйомки?
5. Охарактеризуйте кутову похибку проектування.
6. Охарактеризуйте загальну схему примикання способом з'єднувальних трикутників та обґрунтуйте їх оптимальні форму і розміри.
7. Які можна зробити висновки за результатами досліджень примикання способом з'єднувальних трикутників?

8. Що потрібно розуміти під загальною похибкою орієнтування та як визначається її середнє квадратичне значення при примиканні до висків способом з'єднувальних трикутників?

9. Охарактеризуйте особливості виконання орієнтувально-з'єднувальної зйомки через два стволи.

10. Від чого залежить точність орієнтування через два вертикальних шахтних стволи?

11. Як обчислюється середня квадратична похибка дирекційного кута i -сторони підземного з'єднувального полігону?

12. Охарактеризуйте схему примикання до висків на поверхні та точність цього примикання.

13. Напишіть формулу похибки примикання в шахті та охарактеризуйте її при виконанні орієнтувально-з'єднувальної зйомки через два ствола.

14. Дайте загальні висновки точності орієнтувально-з'єднувальної зйомки через два ствола.

15. Охарактеризуйте в загальних рисах сутність взаємозв'язку орієнтування через два ствола з гіроскопічним орієнтуванням та дайте оцінку точності робіт за даною схемою.

РОЗДІЛ 9

Аналіз точності маркшейдерських робіт при проведенні гірничих виробок зустрічними вибоями

9.1 Загальні відомості

Проведення гірничих виробок зустрічними або наздоганяючими вибоями – збійками – дозволяє розширити фронт прохідницьких робіт, що сприяє прискоренню введення в експлуатацію цих виробок. Цей спосіб широко застосовується при проведенні гірничих виробок різного призначення, в тому числі і при будівництві метро та тунелів.

Крім того, при спорудженні тунелі значної протяжності часто створюють декілька зустрічних вибоїв, підхід до яких забезпечується через спеціально споруджені вертикальні стволи.

На маркшейдерські роботи при проведенні виробок зустрічними вибоями потрібно звертати особливу увагу. Головною задачею маркшейдерської служби є забезпечення необхідної точності змикання вісей виробок, що збиваються. В свою чергу необхідна точність змикання встановлюється в залежності від призначення виробки і технології її проведення. Очевидно, що вимоги до точності змикання вибоїв вентиляційної виробки повинні бути нижчими ніж до точності змикання вибоїв відкатних виробок, особливо обладнаних конвеєрним транспортом.

Підвищені вимоги пред'являються до якості спорудження метро і залізничних тунелів. Якщо при проведенні гірничих виробок шахти або рудника допустима похибка змикання вісей

зустрічних виробок знаходиться в діапазоні 0,3–0,7 м, то аналогічна похибка змикання вісей тунелів не повинна перевищувати 0,05–0,10 м.

Розходження вісей виробок, які проводяться зустрічними вибоями, є наслідком похибок вимірювань, які виконуються при створенні планової і висотної маркшейдерської основи, яка використовується для задання напрямків цим виробкам. Тобто, точність проведення виробок в основному залежать від якості маркшейдерського забезпечення. Неякісна збійка може призвести до значних матеріальних збитків. Точність, обсяг і види маркшейдерських робіт по забезпеченню збіжок залежать від типу збиваємих виробок, їх протяжності і конфігурації. В кожному конкретному випадку маркшейдерські задачі проведення збоєк вирішуються по різному.

Але у всіх випадках точність маркшейдерських вимірювань повинна забезпечувати отримання потрібної точності змикання вибоїв. При цьому необхідно розуміти, що надмірна точність потребує надлишкових витрат праці і часу, а в багатьох випадках – більш складних приладів і методів. Щоб усунути небажані наслідки всі маркшейдерські роботи по забезпеченню збіжок повинні виконуватись з надійним контролем, який виключає можливі грубі неточності. Це призводить до необхідності дублювання кожного виміру і не менше ніж подвійного виконання всіх робіт по створенню робочої основи для проведення збійки. При відповідальних випадках цикл маркшейдерських робіт виконують більше двох разів і по можливості різними виконавцями і методами [4].

При проведенні виробок зустрічними вибоями маркшейдерські роботи ведуть в наступній послідовності:

- 1) встановлюють місце зустрічі виробок і допустиму похибку змикання вибоїв, числове значення якої повинно бути документально оформлено;

- 2) складають проєкт маркшейдерських робіт по створенню планової і висотної основи збійки;

3) намічають прилади і методи виконання необхідних вимірювань і встановлюють середні квадратичні похибки окремих видів вимірювань, які відповідають прийнятим методам і приладам;

4) здійснюють розрахунок очікуваної похибки змикання вісей виробок, що збиваються;

5) отриману з розрахунку очікувану похибку змикання порівнюють з допустимою і в залежності від результату порівняння вибрану методику або приймають, або переглядають; в останньому випадку розрахунок очікуваної похибки змикання повторюють з новими параметрами точності;

6) за прийнятою на основі розрахунку методикою виконують вимірювання, необхідні для отримання з надійним контролем координат і висотних позначок точок, які будуть використовуватися для задання напрямків обома зустрічними виробками;

7) визначають величини, які необхідні для безпосереднього виносу в натуру вісей виробок, що проводяться;

8) використовуючи отримані величини, виносять у натуру і закріплюють напрямки в плані і по висоті;

9) у процесі проведення виробок здійснюють оперативне маркшейдерське забезпечення: контроль дотримання заданого напрямку і паспорта кріплення виробок, перенесення напрямків, поповнення робочої планової і висотної основи по мірі посування вибоїв, попередження про зближення вибоїв тощо;

10) після здійснення збійки визначають фактичне розходження вісей збитих виробок шляхом змикання ходів в плані і за висотою з послідовним проектуванням (графічно або аналітично) лінійної нев'язки на вісь виробки і на перпендикулярний до неї напрямок.

Необхідність складання проекту маркшейдерських робіт по забезпеченню проведення виробок зустрічними вибоями залежить від ступеню відповідальності вказаних робіт, необхідної точної збійки, протяжності ходів робочої основи, яка використовується при заданні напрямків. Доцільність в проекті закладувати методику і точність вимірювань, передбачена Інструкцією

по виконанню маркшейдерських робіт для опорних мереж. Якщо за розрахунком ця методика не забезпечує необхідної точності, то необхідно або підвищувати точність вимірювання окремих елементів мережі, або збільшити число гірсторін. Збільшення числа гірсторін, паралельно з підвищенням точності, дає додатковий незалежний контроль кутових вимірів і робить планову мережу більш надійною [4].

При проведенні виробок зустрічними вибоями за типовими схемами, які повторюються, розрахунок очікуваної похибки змикання можна зробити один раз, так як можна використати попередні обчислення.

9.2 Основні типи збіжок

Очевидно, що точність маркшейдерських робіт при веденні гірничих робіт зустрічними вибоями залежить від кута нахилу виробок, що збиваються. А тому розрізняють горизонтальні, похилі і вертикальні збіжки.

За методами маркшейдерських робіт збіжки виробок однієї шахти відрізняють від збіжок виробок, які здійснюються з різних шахт.

У першому випадку маркшейдерська основа створюється тільки в підземних виробках, які з'єднують обидва вибої. При збіжках, які проводяться з різних шахт, координати точок, розміщених поблизу вибоїв, необхідно з високою точністю визначати в єдиній для обох шахт системі координат. Для цього від загальних вихідних пунктів на поверхні прокладаються підхідні полігони, здійснюється з'єднувальна зйомка, а в підземних виробках створюється планово-висотна основа [4].

Розрізняють також збіжки за провідником і збіжки без провідника. Провідниками переважно слугують пласти, жили, контакти між шарами гірських порід. Сліди провідника безпосередньо у вибої суттєво спрощують маркшейдерське забезпечення збіжки.

При розрахунку точності проведення виробок зустрічними вибоями для зручності використовують умовну систему координатних вісей, суміщуючи вісь U' цієї системи з віссю виробок, що збиваються, в місці їх зустрічі. Тоді напрямок, який лежить в горизонтальній площині і перпендикулярний вісі U' , буде віссю абсцис X' , а вертикальний напрямок – віссю Z' .

За цими напрямками можна розрахувати очікуване зміщення, вибоїв при їх збійці. Очевидно, що зміщення вибоїв горизонтальних виробок в площині, перпендикулярній вісі U' , тобто в горизонтальному (вподовж X') і вертикальному (вподовж Z') напрямках, несприятливі. Значні зміщення вибоїв по цим напрямкам можуть визвати суттєві матеріальні втрати на виправлення виробок. А тому ці напрямки називають відповідальними.

Невідповідальний (вільний) напрямок – це напрямок вподовж вісі виробок, що збиваються: подовж вісі U' при збійці горизонтальних і похилих виробок і вподовж вісі Z при збійці вертикальних виробок. Наявність провідника приводить до утворення ще одного вільного напрямку. При цьому приймається передумова, що між вибоями провідник не має розривів. Для прикладу розглянемо декілька випадків ведення виробок по провіднику:

1) пласт (провідник) горизонтальний. При проведенні по ньому горизонтальної виробки вільним буде напрямок по висоті, тобто по вісі Z ;

2) пласт має круте падіння. При проведенні горизонтальної виробки по пласту вільним стає напрямок по вісі X' ;

3) проведення виробки по похилому пласту вхрест простягання.

Вільним буде напрямок по висоті.

Відмітимо, що при збійках вертикальних виробок застосовувати умовну систему координат недоцільно, необхідно використовувати систему, яка існує на даному гірничому підприємстві.

9.3 Визначення очікуваної похибки змикання вісей збійки, яка проводиться в межах однієї шахти

При визначенні очікуваних похибок змикання вісей виробок, які проводяться зустрічними вибоями, використовуються формули, отриманні при аналізі накопичення похибок в полігонометричних і висотних ходах. Як правило, похибки змикання визначаються по відповідальним напрямкам в точці запланованої зустрічі вибоїв. Ця точка розглядається як кінцева точка двох ходів, прокладених від вихідних пунктів по виробкам, що збиваються, до точки зустрічі вибоїв [4].

По кожному ходу визначають очікувану середню квадратичну похибку положення кінцевої точки по кожному відповідальному напрямку. Наприклад, для вісі X' отримують дві похибки M'_x і M''_x . загальна квадратична очікувана похибка змикання вибоїв по вісі X' в цьому випадку визначається за формулою:

$$M_x = \sqrt{(M'_x)^2 + (M''_x)^2}. \quad (25)$$

Так же поступають при визначенні похибок змикання по вісі Z . Послідовність і методику визначення середньої квадратичної очікуваної похибки змикання вісей збійки розглянемо на прикладах.

Приклад 1. Потрібно визначити очікувані похибки змикання вибоїв виробок по вісях X' і Z (рис. 31).

Щоб задати напрямки виробкам, що збиваються потрібно прокласти теодолітний хід по точкам 1, 2, ..., 11, 12 і здійснити геометричне нівелювання по горизонтальним виробкам і тригонометричне по похилим виробкам. Прийнята умовна система координатних вісей. Для отримання середніх квадратичних похибок за відповідними напрямками любую з точок ходу, наприклад точку 4, і любую сторону, наприклад 4–5, можна прийняти в якості вихідних і по двом ходам обчислити похибки

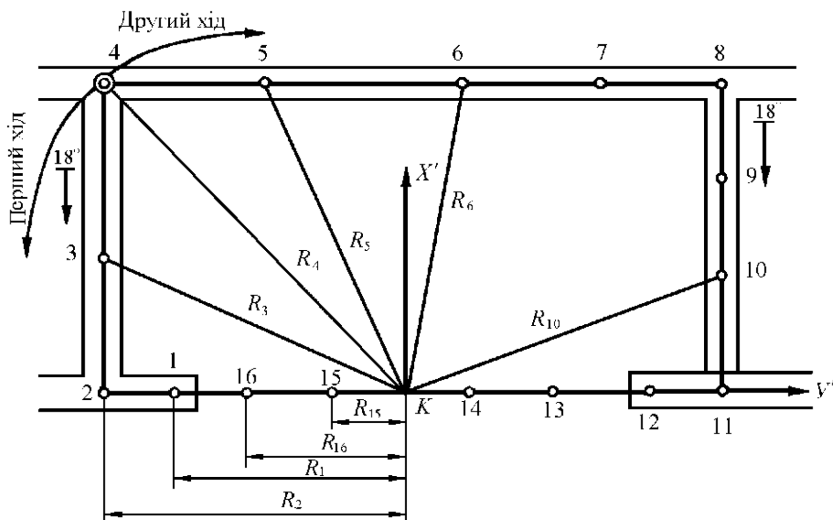


Рисунок 31 – Схема збіжки в межах однієї шахти без включення гіросторін

M'_x , M''_x , M'_z , M''_z , а потім за формулою (25) визначити кінцеве значення очікуваних середніх квадратичних похибок змикання вибоїв [4].

Використовуючи формули похибок положення кінцевої точки вільного полігону довільної форми, для відповідального напрямку X' першого ходу будемо мати:

$$(M'_x)^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum R_{yi}^2 + \mu^2 \sum l_i \cos^2 \alpha_i,$$

в якій R_{yi} проєкції на вісь Y' відстаней від оцінюваної точки K до всіх вершин першого ходу, в тому числі і до точок, які будуть створюватися по ходу посування вибою, в даному випадку до точок 15 і 16; l_i довжина сторін першого ходу; в умовній координат; α_i – дирекційний кут сторін першого ходу в умовній системі координат; μ – коефіцієнт впливу випадкових похибок вимірювання довжин сторін.

Формулу для відповідального напрямку X' другого ходу отримаємо аналогічно. Виконавши складання у відповідності з формулою (25), отримаємо кінцеве значення очікуваної середньої похибки змикання вибоїв в точці K за відповідальним напрямком X' :

$$M_x = \sqrt{\frac{m_p^2}{\rho^2} \sum R_{yi}^2 + \mu^2 \sum l_i \cdot \cos^2 \alpha'_i}. \quad (26)$$

Відмітимо, що якщо в якості вихідної прийняти іншу точку і іншу сторону, в підсумку отримаємо формулу аналогічну (26).

Гранична очікувана похибка змикання вибоїв обчислюється за формулою:

$$M_{\text{хгр.}} = \frac{K \cdot M_x}{\sqrt{2}}. \quad (27)$$

Значення $\sqrt{2}$ свідчать про те, що кінцеві координати точок 1, 2, 11 і 12, які використовуються для того щоб задати напрямок виробкам, що збиваються, отримуються як середнє значення з двократного прокладання полігону.

Раніше відмічалось, що для маркшейдерського забезпечення збіжок, які проводяться на гірничодобувних підприємствах, як правило, приймають коефіцієнт $K = 3$, що відповідає довірливій ймовірності $p_o = 0,9973$. У відповідальних випадках інколи приймають $K = 4$, при цьому ймовірна довірливість $p_o = 0,999937$. Отримана за формулою (27) гранична очікувана похибка порівнюється з допустимою, яка визначається технічним завданням [4].

При обчисленні похибки змикання вибоїв по висоті, як правило, використовують допустимі значення Δh , які приводяться в Інструкції по виконанню маркшейдерських робіт. Для різниці отриманої між двома передачами висоти, Δh (мм) визначаються за формулами:

при передачі через вертикальні виробки:

$$\Delta h = 10 + 0,2H,$$

де H – глибина ствола, м.

При передачі по гірничим виробкам геометричним або тригонометричним нівелюванням:

$$\Delta h = d\sqrt{L}, \quad (28)$$

де L – довжина висотного ходу, км; d – коефіцієнт, який дорівнює 50 для геометричного нівелювання і 100 для тригонометричного.

На поверхні коефіцієнт d дорівнює 10 для геометричного нівелювання III класу і 20 – для нівелювання IV класу.

У розглянутому прикладі передача висоти здійснюється тригонометричним нівелюванням по двом похилим виробкам. Для оцінки точності кожної передачі необхідно використовувати формулу (28), при цьому в якості L потрібно приймати довжину похилої виробки. Потім, враховуючи, що допустимі похибки дорівнюють подвоєним середнім квадратичним, можна визначати середню квадратичну похибку однієї передачі за формулою:

$$M_z = \frac{\Delta h}{2\sqrt{2}}. \quad (29)$$

Тут величина $\sqrt{2}$ використовується для отримання середньої квадратичної похибки однієї передачі висоти із значення середньої квадратичної похибки різниці двох передач.

У випадку геометричного нівелювання призначається не допустима різниця двох передач висоти, а допустима нев'язка, при обчисленні якої використовується сумарна довжина ходу [4].

Середню квадратичну похибку однієї передачі висоти геометричним нівелюванням можна отримати за формулою:

$$M_z = \frac{\Delta h}{2}.$$

Загальна середня квадратична очікувана похибка змикання вибоїв по висоті для нашого прикладу визначається за формулою:

$$M_z = \sqrt{M_{z\text{геом.}}^2 + M_{z\text{триг.}}^2},$$

де $M_{\text{згеом.}}$ середня квадратична похибка передачі висоти геометричним нівелюванням, при її обчисленні значення L можна отримати як суму довжин всіх горизонтальних ділянок, у тому числі довжин ділянок між точками 1 і 12;

$M_{\text{зтриг.}}$ середня квадратична похибка передачі висоти тригонометричним нівелюванням, яке обчислюється за формулою:

$$M_{\text{зтриг}}^2 = M_{z_1}^2 + M_{z_2}^2,$$

в якій $M_{z_1}^2$ і $M_{z_2}^2$ отримані за формулою (29) значення середніх квадратичних похибок передачі висоти по похилим ділянкам 2–4 і 8–11. Гранична очікувана похибка змикання вибоїв по висоті обчислюється за формулою, аналогічно (27), тобто

$$M_{\text{згп}} = \frac{KM_z}{\sqrt{2}}.$$

Розглянемо приклад з використанням гірсторін для підвищення точності змикання вибоїв. Відмітимо, що при включенні однієї гірсторони в полігон, який з'єднує два вибої, збільшуються витрати на виконання гіроскопічного орієнтування, а точність змикання вибоїв не підвищується.

Приклад 2. Включимо в полігон дві гірсторони 1–2 і 7–8 (рис. 32).

Середня квадратична очікувана похибка змикання вибоїв по відповідальному напрямку X' визначається за формулою:

$$M_x^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \left(\sum r_{y_i}^2 + \frac{1}{2} \sum R_{y_i}^2 \right) + \frac{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2}{\rho^2} D_y^2 + \frac{\mu^2}{2} \sum l_i \cos^2 \alpha'_i,$$

якій r_{y_i} D_{y_i} і D_y проєкції на вісь Y' лінійних параметрів; m_{α_1} і m_{α_2} середні квадратичні похибки вимірювання дирекцій них кутів.

За цією формулою визначається середня квадратична очікувана похибка змикання вибоїв з урахуванням того, що всячі ділянки полігону 1–16–15-К і 8–9–...–14-К прокладаються для

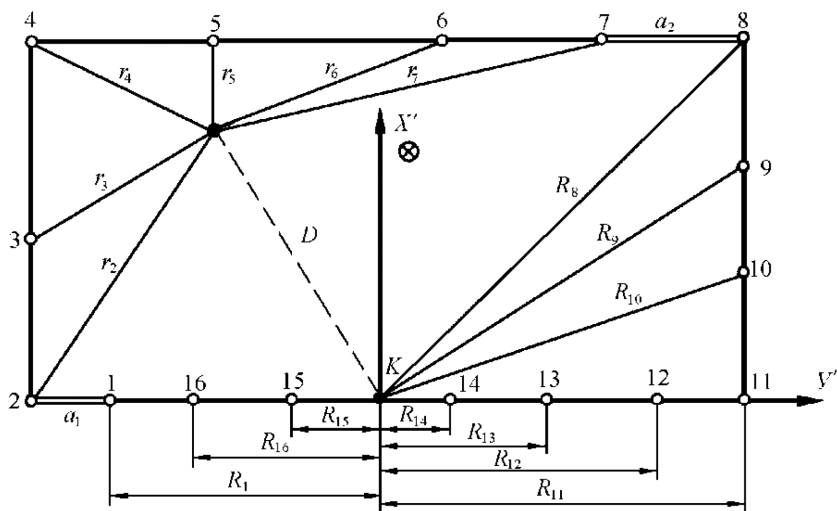


Рисунок 32 – Схема збіжки однієї шахти з двома гірсторонами

контролю два рази, а також два рази вимірюються довжини всіх сторін полігону. В цьому випадку гранична очікувана похибка змикання вибоїв обчислюється за формулою:

$$M_{хпр} = K \cdot M_x. \quad (30)$$

Відмітимо, що якщо використати дві гірсторони, то підвищення точності змикання вибоїв по вісі X' може не відбуватись, якщо гірсторони розмістити таким чином, що центр тяжіння точок секції ходу, розміщений між ними, буде поблизу вісі KX' . В ході, що розглядається це може відбутися, якщо розмістити гірсторони симетрично відносно лінії KX' .

Середня квадратична очікувана похибка змикання вибоїв по вісі X' при наявності в ході трьох і більше гірсторін визначається за формулою:

$$M_x^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \left(\sum r_{y_i}^2 + \frac{1}{2} \sum R_{y_i}^2 \right) + \frac{1}{\rho^2} \sum m_{\alpha_i}^2 D_{y_i}^2 + \frac{\mu}{2} \sum l_i \cos^2 \alpha'_i.$$

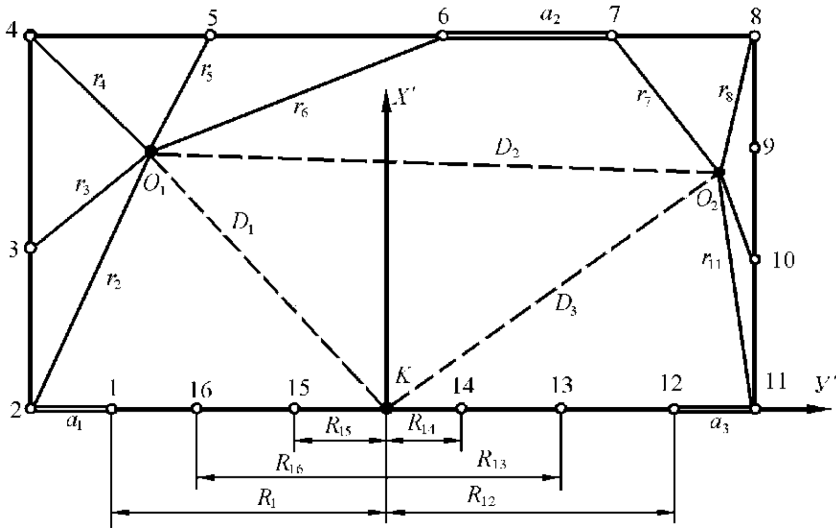


Рисунок 33 – Схема збійки в межах однієї шахти з трьома гірсторонами

Лінійні параметри, які входять в цю формулу, можна отримати графічно (рис. 33).

Гранична очікувана похибка змикання вибоїв обчислюється за формулою (30), а потім порівнюється з допустимою.

9.4 Визначення очікуваної похибки змикання вісей збійки, яка проводиться з різних шахт

При збійці, яка проводиться з різних шахт, координати точок, які використовуються для задання напрямків зустрічним виробкам, повинні бути в єдиній для обох шахт системі координат. Для цього від загальних вихідних пунктів на поверхні прокладаються підходні полігони до розкривних виробок (стволів, штолен і т.д.), виконуються з'єднувальні зйомки, а також полігонометричні і нівелірні ходи по підземним виробкам від

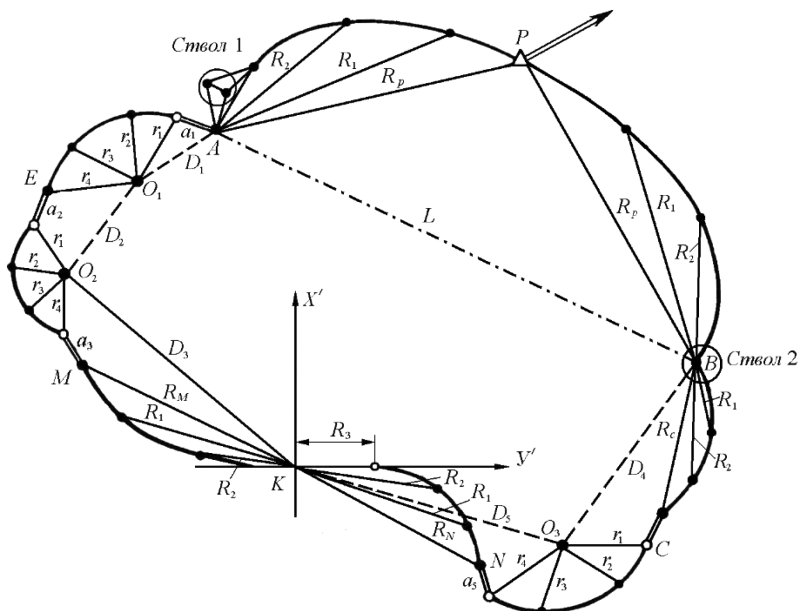


Рисунок 34 – Схема планового обґрунтування збійки, яка проводиться з різних шахт

стволів до вибоїв зустрічних виробок. Для цих цілей можна використовувати існуючі мережі, але за якістю вимірювань і збереження пунктів ці мережі повинні задовільняти умовам конкретної збійки. Як правило, у відповідальних випадках навіть при наявності таких мереж, для контролю здійснюють незалежні зйомки на поверхні і в шахті. Визначення очікуваної похибки змикання вибоїв розглянемо на прикладі одного з можливих варіантів збійки, що проводиться з різних шахт (рис. 34), при якій відповідальними будуть напрямки в плані (KX') і по висоті [4].

На земній поверхні від вихідного пункта P до стволів 1 і 2 прокладені висячі ходи полігонометрії з середніми квадратичними похибками вимірювання кутів $m_{\beta n}$ і середньою відносною похибкою вимірювання довжин сторін $1 : T$. Висотні позначки визначені геометричним нівелюванням.

Через ствол 1 виконано геометричне орієнтування, в результаті якого дирекційний кут вихідної сторони α_1 визначений з середньою квадратичною похибкою $m_{\alpha 1}$.

З'єднувальна зйомка через ствол 2 здійснена шляхом центрування виском B з вимірюванням гіроскопічним способом дирекційного кута α_4 .

Через обидва стволи передана висотна позначка, а по гірничим виробкам виконано геометричне нівелювання. В підземних полігонах гіроскопічним орієнтуванням визначені дирекційні кути гірсторін α_2 , α_3 , α_4 і α_5 кожної з середньою квадратичною похибкою m_{α} .

У результаті вся підземна полігонометрична мережа виявилася поділеною на секції: $A-E$, $E-M$, $M-K$, $B-C$, $C-N$, $N-K$. При цьому в секціях: $A-E$, $E-M$ і $C-N$, розміщених між гірсторонами, кутова нев'язка в горизонтальні кути розподілена порівну.

Після такого врівнювання вплив похибок вимірювань горизонтальних кутів секції на похибку положення будь-якої точки, розміщеної від вершин врізаних кутів до відповідного центра тяжіння O_j .

Визначення похибки змикання по вісі KX' . Середня квадратична похибка змикання вісей в точці K по відповідному напрямку KX' , яка залежить від похибок вимірювання кутів і довжин в підхідних полігонах з урахуванням їх подвійного прокладання, визначаємо за формулою:

$$M_n^2 = \frac{m_{\beta i}^2}{2\rho^2} \left(\sum R_{y_i}^2 + \frac{1}{2T^2} \cdot \sum \Delta x_i^2 \right), \quad (31)$$

де $m_{\beta i}$ – середня квадратична похибка вимірювання горизонтальних кутів на поверхні;

R_{y_i} – проєкція на вісь Y' відстаней R_i від вершин полігонів на поверхні до початку підземних полігонів;

T – знаменник середньої відносної похибки вимірювання довжин на поверхні;

Δx_i – приращення абсцис сторін полігонів на поверхні.

Середня квадратична похибка змикання вісей в точці K по відповідному напрямку KX' , обумовлена похибками вимірювання горизонтальних кутів урівняних секцій підземних полігонів $A-E$, $E-M$, $C-N$, знаходиться за формулою:

$$M_1^2 = \frac{1}{\rho^2} (m_{\beta 1}^2 \cdot \sum r_{y_i}^2 + m_{\beta 2}^2 \sum r_{y_i}^2 + m_{\beta 3}^2 \sum r_{y_i}^2), \quad (32)$$

де m_{β_i} – середні квадратичні похибки вимірювання горизонтальних кутів в секціях;

r_{y_i} – проєкції відстаней r_i кожної секції на вісь U' .

Середня квадратична похибка змикання вибоїв в точці K по вісі KX' в залежності від похибок вимірювання горизонтальних кутів висячих секцій підземних полігонів: $M-K$, $B-C$, і $N-K$ з урахуванням подвійного проложення обчислюється за формулою:

$$M_2^2 = \frac{1}{2\rho^2} (m_{\beta 1}^2 \sum R_{y_i}^2 + m_{\beta 2}^2 \sum R_{y_i}^2 + m_{\beta 3}^2 \sum R_{y_i}^2), \quad (33)$$

де m_{β_i} – середні квадратичні похибки вимірювання горизонтальних кутів в кожній висячій секції;

R_{y_i} – проєкції на вісь U' відстаней R_i кожної секції.

Вплив похибок дирекційних кутів в підземних полігонах на визначення положення кінцевої точки K пропорційний довжинам D_i фіктивного полігону, проведеного через кінцеві точки висячих секцій і центри їх тяжіння, в яких зроблений розподіл кутових нев'язок. При цьому дія похибки дирекційного кута α_1 пропорційна довжині D_1 , кута α_2 – довжині D_2 і т. д. Похибка змикання вісей в точці K обумовлена похибками дирекційних кутів, буде дорівнювати:

$$M_\alpha = \frac{1}{\rho^2} \sum m_{\alpha_i}^2 \cdot D_{y_i}^2, \quad (34)$$

де m_{α_i} – середня квадратична похибка дирекційних кутів;

D_{y_i} – проєкції на вісь U' довжин фіктивного полігону.

Вплив похибок вимірювання довжин сторін підземних полігонів на положення точки K по вісі KX' з урахуванням подвійного прокладання ходів можна виразити формулою:

$$M_{\ell}^2 = \frac{1}{2} \left(\mu^2 \sum l_i \cdot \cos^2 \alpha'_i + \lambda^2 L_x^2 \right), \quad (35)$$

де l_i – довжина сторін всіх секцій підземного полігону;

α'_i – дирекційні кути цих сторін в умовній системі координат;

L_x – проєкція замикаючої підземних полігонів L на вісь X' ;

μ і λ – коефіцієнти впливу випадкових і систематичних похибок вимірювання довжин.

Загальну середню квадратичну очікувану похибку змикання вибоїв по відповідальному напрямку KX' можна отримати шляхом додавання квадратів перерахованих вище похибок впливу окремих джерел:

$$M_x^2 = M_n^2 + M_1^2 + M_2^2 + M_{\alpha}^2 + M_c^2.$$

Всі параметри, що входять у формули (31), (32), (33), (34), (35), можна знайти графічно; для цього в зручному масштабі складається схема полігонів, які прокладаються для виконання збійних робіт. Центри тяжіння також знаходяться графічно. При виконанні попереднього аналізу за допомогою інформаційно-комп'ютерних програм, вказані параметри доцільно визначати аналітично по введеним в комп'ютер координатам точок полігонів, які прокладались на поверхні і в шахті [4].

У складних мережах підземних полігонів для розрахунку очікуваної похибки змикання можна не враховувати замкнені полігони.

9.5 Визначення похибки змикання вибоїв по висоті

Розглянемо накопичення похибок по окремим видам передачі висот. Середня квадратична похибка передачі висоти

(в мм) на поверхні за допомогою геометричного нівелювання, наприклад, IV класу визначається за формулою [4]:

$$M_{z_n} = \frac{\Delta h}{2} = \frac{20\sqrt{L}}{2} = 10\sqrt{L},$$

де L – довжина нівелірного ходу від вихідного репера на поверхні до стволів 1 і 2, км.

Середня квадратична похибка передачі висоти (в мм) через вертикальні стволи 1 і 2 обчислюється за формулами:

$$M_{z_1} = \frac{\Delta h_1}{2\sqrt{2}} = \frac{10 + 0,2H_1}{2\sqrt{2}};$$
$$M_{z_2} = \frac{\Delta h_2}{2\sqrt{2}} = \frac{10 + 0,2H_2}{2\sqrt{2}},$$

де M_{z_1} і M_{z_2} середні квадратичні похибки передачі висот через стволи 1 і 2; H_1 і H_2 глибини стволів 1 і 2 відповідно, м.

Середня квадратична похибка передачі висоти (в мм) від стволів 1 і 2 по гірничим виробкам в точці K при геометричному нівелюванні буде дорівнювати:

$$M_{z_m} = \frac{\Delta h}{2} = \frac{50\sqrt{L}}{2} = 25\sqrt{L},$$

де L – сумарна протяжність нівелірного ходу від стволів до точки K , км.

Якщо в підземних ходах є ділянки з похилими виробками, через які передача висоти здійснюється тригонометричним нівелюванням, то для розрахунку очікуваної похибки потрібно використовувати формули, приведені в прикладі 1.

Загальна середня квадратична очікувана похибка змикання вибоїв в точці K по висоті з врахуванням двократного виконання всіх робіт визначається за формулою:

$$M_z^2 = \frac{1}{2} (M_{z_n}^2 + M_{z_1}^2 + M_{z_2}^2 + M_{z_m}^2).$$

Перехід від отриманих середніх квадратичних очікуваних похибок змикання вибоїв до граничних очікуваних похибок здійснюється за формулою:

$$M_{гр} = KM_{ср}.$$

Отримані для кожного відповідального напрямку значення порівнюються з допустимими, які визначаються технічним завданням.

Контрольні запитання

1. Що ви розумієте під збійками підземних гірничих виробок?
2. Які існують види збіжок та як вони класифікуються?
3. В якій послідовності виконуються маркшейдерські роботи при проведенні виробок зустрічними вибоями?
4. Що Ви розумієте під провідниками та як проводиться збіжка виробок по провідникам?
5. Як розраховуються очікувані похибки змикання вісей збіжки за відповідальними напрямками?
6. Як обчислюються похибки змикання вибоїв по висоті при геометричному і тригонометричному нівелюванні.
7. У чому полягають особливості проведення збіжки в межах однієї шахти з гірсторонами та як у цьому випадку визначається очікувана похибка змикання вибоїв?
8. Як здійснюється визначення очікуваної похибки змикання вісей зйомки, яка проводиться з різних шахт?

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. НПАОН 74.2-1.07-21. Правила виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин. Вид. офіц. Київ, 2021. 260 с.
2. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція / редкоміс.: М. Є. Капланець (голова) та ін. Вид. офіц. Донецьк : ТОВ «АЛАН», 2001. 264 с.
3. Назаренко В. О., Бруй Г. В. Елементи теорії похибок для аналізу точності маркшейдерських вимірювань : навчальний посібник. Одеса : Олді+, 2024. 74 с.
4. Бакка М. Т., Назаренко В. О. Аналіз точності маркшейдерських мереж : навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2007. 147 с.
5. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2003. 216 с.
6. Основи математичного опрацювання геодезичних вимірів: підручник / Зазуляк П. М. та ін. Львів : Растр7, 2007. 408 с.
7. Walker J., Awange J. Surveying for Civil and Mine Engineers. Acquire the Skills in Weeks. Springer. 2020. 411 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45803-4>

Навчальне видання

НАЗАРЕНКО Валентин Олексійович
БРУЙ Ганна Валеріївна

**ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ
МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ЗЙОМОК**

Навчальний посібник

Верстка	<i>Т. Клименко</i>
Обкладинка	<i>В. Савельєва</i>
Технічне редагування	<i>О. Гринюк</i>



Підписано до друку 25.09.2026 р.
Формат 60х84/16. Папір офсет.
Цифровий друк. Гарнітура Liberation.
Ум. друк. арк. 9,18. Наклад 300.
Замовлення № 0926-045.

Видавництво та друк: Олді+
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
тел.: +38 (095) 559-45-45, e-mail: office@oldiplus.ua
Свідоцтво ДК № 7642 від 29.07.2022 р.
Замовлення книг:
тел.: +38 (050) 915-34-54, +38 (068) 517-50-33
e-mail: book@oldiplus.ua

