

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**«МАРКШЕЙДЕРСЬКІ РОБОТИ ПРИ РОЗРОБЦІ**  
**РОДОВИЩ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ»**

для студентів освітнього рівня «бакалавр»

спеціальності 184 «Гірництво»

освітньо-професійна програма «Гірництво»

факультет гірничо-екологічний

кафедра маркшейдерії

Схвалено на засіданні кафедри  
маркшейдерії  
протокол від 18 жовтня  
2022 р. № 09

В.о. завідувача  
кафедри  
маркшейдерії  
\_\_\_\_\_ШЛАПАК  
Володимир

Житомир  
2022 – 2023 н.р.

# **ЛЕКЦІЯ 1. СТВОРЕННЯ МЕРЕЖІ ОПОРНИХ І ЗЙОМОЧНИХ ПУНКТІВ ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ**

## **1.1. Створення опорних мереж**

Сучасна організація маркшейдерських робіт на кар'єрах характеризується тим, що роботи виконуються з послідовним переходом від загального до конкретного; всі вимірювання виконують з необхідною точністю, встановленою для кожного конкретного виду робіт; всі види робіт виконуються з обов'язковим контролем.

При послідовному переході маркшейдерських робіт від загального до конкретного на території виробничо-економічної зацікавленості підприємства першочергово створюють основну мережу, яка складається з відносно невеликого числа опорних пунктів, положення яких визначають з високою відносною точністю. На цій основі будують мережі з більшим числом пунктів, з меншими відстанями між цими пунктами і меншою відносною точністю.

Маркшейдерська зйомка, як правило, виконується в крупних масштабах (від 1:1000 до 1:5000), а тому вона потребує створення густих мереж опорних пунктів, положення яких надійно закріплюють центрами і знаками в натурі і точно визначають їх як в плані, так і по висоті. Разом з тим, всі опорні пункти таких мереж на протязі тривалого терміну експлуатації підприємства із-за підробки гірничими роботами, завалювання породними відвалами і забудови практично зберегти неможливо.

З метою збереження стабільності мереж опорних пунктів вони будуються не тільки з урахуванням існуючого рельєфу місцевості, як це прийнято при проведенні звичайних топографічних робіт, але і з врахуванням форми розроблюваного покладу, послідовного спрямування і кінцевого розвитку гірничих робіт і породних відвалів, а також проекта і термінів спорудження основних технічних приміщень, споруд та транспортних комунікацій.

Багаторічний досвід показав, що основні опорні пункти, які складають основний каркас опорної мережі, необхідно розміщувати за межами границь контура технологічної діяльності підприємства. На базі основної геодезичної мережі послідовно створюють відносно розсосереджену заповнюючу мережу опорних пунктів. Подальше згущення мережі здійснюється по мірі розвитку гірничих,

будівельно-монтажних і відвальних робіт.

Така організація робіт по створенню мереж опорних пунктів дозволяє:

- зберігати на протязі всього терміну експлуатації підприємства стійкість і стабільність мереж опорних пунктів;
- легко відновлювати втрачені (підроблені, завалені і забудовані) пункти мережі на неробочих бортах кар'єра, на невідпрацьованих безрудних або безвугільних ділянках, ущільнених породних відвалах і, нарешті, на дахах капітальних приміщень і споруд;
- послаблювати вплив і накопичення похибок в якій-небудь одній частині робіт і всього поля кар'єру.

На рис. 1.1 представлена схема опорної мережі кар'єра, побудована за викладеним вище принципом. Координати пунктів *A*, *B*, *C* і *D*, які складають геодезичний чотирикутник, винесені за межі небезпечної зони підробки і завалювання. На основі мережі вказаних пунктів

визначені координати  $X, Y$  заповнюючої мережі, тобто пунктів  $M, N, O, P, R, F$  і  $U$ , а на їх основі координати точок  $a, b, c, d, e, g, h, l$ .

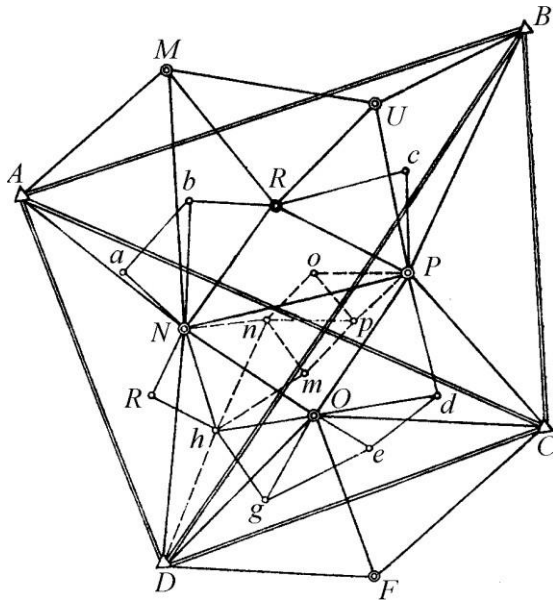


Рис. 1.1. Схема опорної мережі кар'єра

В свою чергу між пунктом  $h$  в трикутнику  $DNO$  і пунктом  $P$  можна прокласти ланцюг трикутників або полігонометричний хід і визначити координати опорних пунктів  $m, n, o, p$ . На основі такої або подібної мережі опорних пунктів розвивають мережу зйомочної основи і здійснюють детальну маркшейдерську зйомку всіх подробиць в кар'єрі і на прилеглий до нього території, охоплюючи і породні відвали, а також виконують перенесення в натуру гірничих, розвідувальних і дренажних виробок, технічних приміщень, споруд, транспортних та інших комунікацій.

Маркшейдерська зйомка на кар'єрах повинна виконуватись на основі опорної геодезичної мережі, координати пунктів якої визначені в загальнодержавній системі координат. В якості такої опорної мережі може бути використана триангуляція I, II, III, і IV класів, а також полігонометрія і трилатерація

відповідної точності і геодезичні мережі місцевого значення. В якості висотної основи зйомок кар'єра можуть бути використанні репери нівелірних ходів I, II, III і IV класів.

Геодезичні опорні мережі згущення слугують планово-висотним обґрунтуванням для виконання топографічних і геодезичних зйомок в масштабах 1:5000÷1:500, а також для виконання всіх видів маркшейдерських робіт. Мережі згущення розвивають в доповнення державних мереж опорних пунктів і як самостійні. Вони охоплюють аналітичні мережі 1<sup>го</sup> і 2<sup>го</sup> розрядів, полігонометричні мережі 1<sup>го</sup> і 2<sup>го</sup> розрядів, технічне нівелювання.

Маркшейдерські опорні мережі відкритих розробок, як правило, складаються із пунктів 4<sup>го</sup> класу і аналітичних або полігонометричних мереж згущення 1<sup>го</sup> і 2<sup>го</sup> розрядів. Для відносно невеликих за площею кар'єрів можна обмежитись мережами пунктів 1<sup>го</sup> і 2<sup>го</sup> розрядів (таблиця 1.1).

*Таблиця 1.1*

### **Вимоги до опорних маркшейдерських мереж**

Найменування мережі і її показники	4 <sup>й</sup> клас	1 <sup>й</sup> розряд	2 <sup>й</sup> розряд
<b>Тріангуляція</b> Довжина сторони трикутника, км	1–5,0	0,5–5,0	0,25–3,0
Гранична відносна похибка базисної (вихідної) сторони	1:100000	1:50000	1:20000
Гранична відносна	1:50000	1:20000	1:10000

похибка сторони в найбільш слабкому місці			
Найменше значення кута трикутника між напрямками даного класу (розряду)	20°	20°	20°
Граничне значення нев'язки в трикутнику	± 8"	± 20"	± 40"
Середня похибка вимірювання кута за нев'язками трикутників	± 2"	± 5"	± 10"

*Продовження таблиці 1.1*

Гранична довжина ланцюга трикутників, км	10	5	3
<b>Трилатерація</b> Довжина сторони трикутника, км	1–5	0,5–5,0	0,25–3,0
Гранична відносна похибка вимірювання сторони	1:50000	1:20000	1:10000

Найменше значення кута трикутника	20°	20°	20°
Найменування мережі і її показники	4-й клас	1-й розряд	2-й розряд
Гранична довжина ланцюга трикутників, км	10	5	3
<b>Полігонометрія</b>			
Гранична довжина хода, км	10	5	3
Гранична величина периметра полігонометричного ходу у вільних мережах, км	30	15	9
Довжина сторони хода, км	0,25–0,8	0,12–0,60	0,08–0,30
Гранична довжина хода від вузлової точки до пункту вищого класу або розряду, км	7	3	2
Граничне число сторін хода	15	15	15
Гранична відносна нев'язка ходу	1:25000	1:10000	1:5000
Середня похибка	± 2"	± 5"	± 10"

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет
------	---

вимірювання кута (за нев'язки в полігонах)			
--	--	--	--

Маркшейдерські мережі опорних пунктів груп кар'єрів і окремих кар'єрів, розміщених в розвинених гірничопромислових регіонах, а також в прилеглих до міст великих промислових, гідротехнічних і сільськогосподарських будовах, розвиваються на основі існуючих мереж пунктів триангуляції вищих класів. При відсутності пунктів триангуляції вищих класів опорні мережі відкритих розробок створюються самостійними. Створення опорних маркшейдерських мереж здійснюється на основі спеціального проекту. При проектуванні основного каркасу опорної мережі необхідно, щоб пункти зберігались тривалий час і не потрапляли в зони розвитку гірничих робіт та завалювання відвалами, а проектні схеми опорних маркшейдерських мереж мають бути простими.

Важливою умовою при створенні маркшейдерської опорної мережі є прив'язка її до державної мережі пунктів. В технічному відношенні цією прив'язкою вирішуються наступні три задачі: орієнтування маркшейдерської мережі опорних пунктів по вісьовому меридіану даної зони; забезпечення можливості визначення координат пунктів маркшейдерської мережі в державній системі; масштабування, тобто можливість визначення довжин лінійних елементів триангуляційної мережі.

В найпростішому випадку повна прив'язка, в тому числі і масштабування, здійснюється шляхом включення в маркшейдерську триангуляційну мережу двох суміжних пунктів державної мережі. Але така можливість випадає рідко. Найчастіше всього прив'язка здійснюється шляхом включення в маркшейдерську мережу одного пункта державної мережі і одного-двох напрямків на суміжні пункти, тобто забезпечується орієнтування і центрування мережі. Якщо можливості прив'язки до державної мережі відсутні, то опорна



маркшейдерська мережа виконується самостійною з умовним початком координат  $X$ ,  $Y$ . Орієнтування мережі здійснюється гірокомпасом або спостереженням астрономічного азимута.

Закріплення пунктів маркшейдерських опорних мереж здійснюється спеціальними центрами, конструкція і глибина закладення яких передбачається діючою інструкцією. Конструкції найбільш поширених центрів наведені на рис.

**1.2.** Для забезпечення видимості при вимірюванні кутів над центрами пунктів опорної мережі будують візирні знаки (піраміди або сигнали), які завершуються візирними циліндрами. Так як вісі візирного циліндра і центра пункту повинні знаходитись на одній висковій лінії, то центр необхідно закладати після побудови триангуляційного знаку.

Конструкція опорних мереж повністю залежить від форми кар'єра і системи його розкриття. На кар'єрах нагірного типу постійні опорні маркшейдерські пункти утворюють ланцюг трикутників і розміщуються на вершинах околичних гір. На кар'єрах з концентричною системою відпрацювання опорні пункти розміщуються по периметру граничного контура кар'єра, утворюючи найпростіші центральні системи, як це показано на рис. 1.3.

Центральний пункт такої системи, внаслідок труднощі його збереження, є тимчасовим і використовується тільки при спостереженнях і урівнюваннях мережі. Мережа триангуляції або полігонометрії в районі кар'єра згущується вставкою додаткових пунктів, які закладаються на бортах кар'єра і всередині його в місцях де забезпечується найбільш тривале їх збереження.

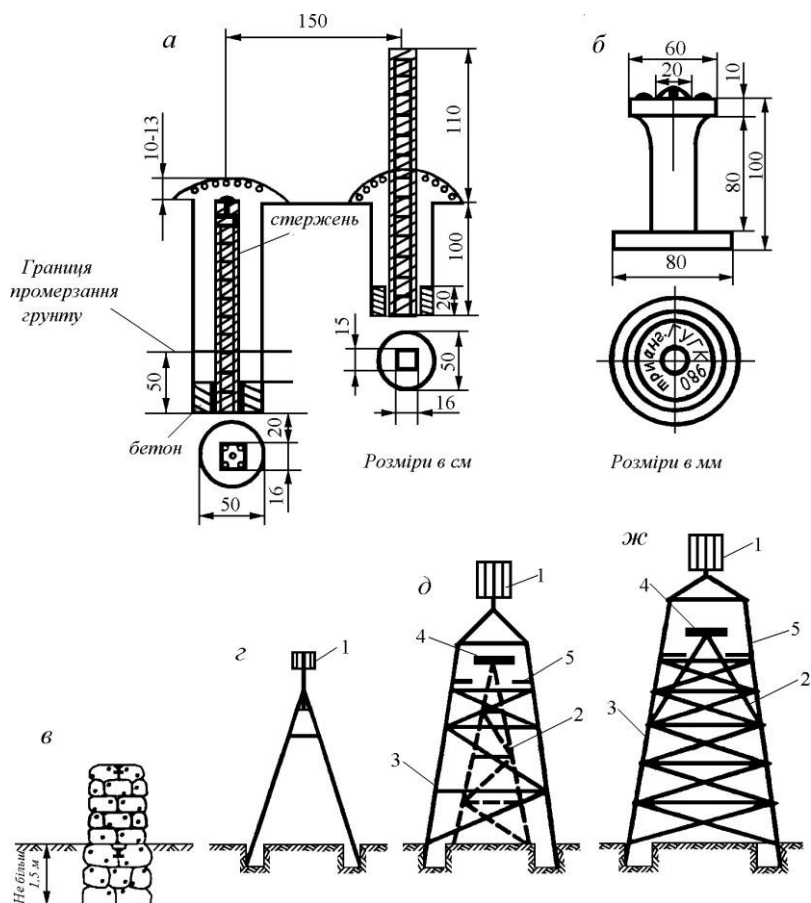


Рис. 1.2. Конструкції найбільш поширених центрів і сигналів державних геодезичних та опорних маркшейдерських мереж:

а) загальний вигляд центру; б) марка; в) тур; г) піраміда;

д) простий сигнал; ж) складний сигнал;

1 – візирний циліндр; 2 – внутрішня ізольована піраміда;

3 – зовнішня піраміда; 4 – столик; 5 – площадка для спостерігача

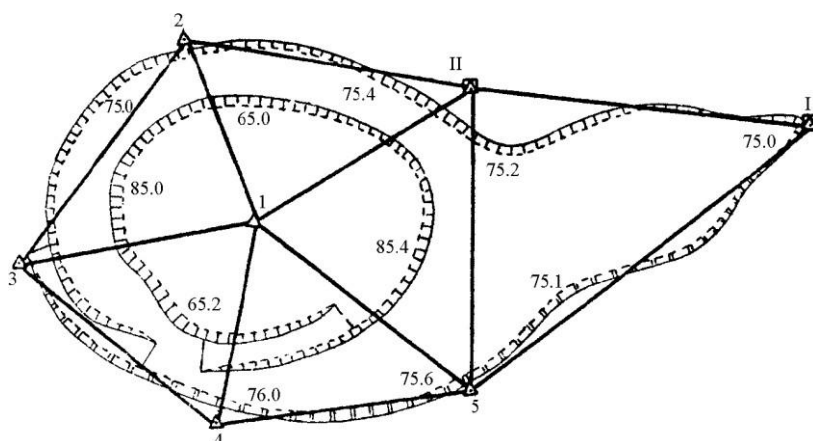


Рис. 1.3. Конструкція опорної мережі кар'єра при концентричному розвитку гірничих робіт

Пункти маркшейдерської опорної мережі з плином певного часу використовуються для вставки точок внутрішньокар'єрної зйомочної основи. Досить часте використання одних і тих же пунктів опорної мережі вимагає розміщення їх на борту кар'єра у вигляді поєднання правильних геометричних фігур, що дає змогу в подальшому вирішувати зворотні засічки за допомогою простого апарату математичних формул. Найбільш простими будуть вирахування, коли три пункти опорної мережі розміщуються, як це показано на рис. 1.4., точно в створі і на однаковій відстані один від одного. Така схема розміщення опорних мереж називається створною тріадою.

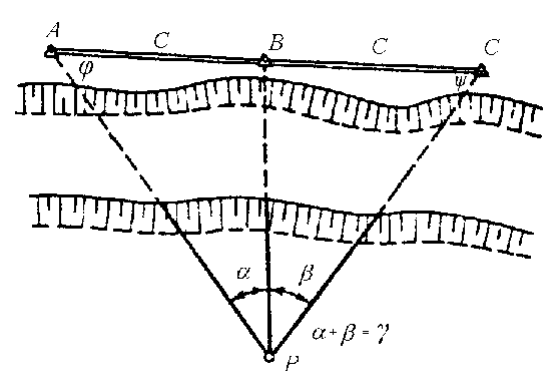


Рис. 1.4. Ствірна тріада опорних пунктів

В цьому випадку кути  $\varphi$  і  $\psi$  вираховують за формулами:

$$\operatorname{ctg}\varphi = \operatorname{ctg}\alpha - 2\operatorname{ctg}\gamma, \quad (1.1)$$

$$\operatorname{ctg}\psi = \operatorname{ctg}\beta - 2\operatorname{ctg}\gamma. \quad (1.2)$$

Потім рішенням двох прямих засічок визначають координати  $X$  і  $Y$  точки  $P$ .

Крім створних тріад опорних пунктів можуть бути використанні прямокутні тріади (рис. 1.5).

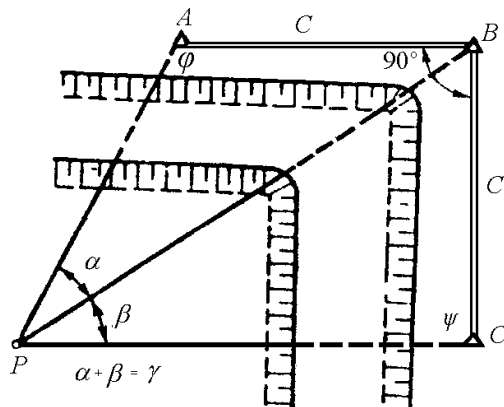


Рис. 1.5. Прямокутна тріада опорних пунктів

В цьому випадку пункти опорної мережі утворюють прямокутний трикутник з двома рівними катетами. Кути  $\varphi$  і  $\psi$  при цьому визначають за формулами:

$$\operatorname{ctg}\varphi = \frac{1 + \operatorname{ctg}\gamma - \operatorname{ctg}\alpha}{\operatorname{ctg}\gamma}, \quad (1.3)$$

$$ctg\psi = \frac{1 + ctg\gamma - ctg\beta}{ctg\gamma}. \quad (1.4)$$

На основі опорних мереж на всій площі кар'єра додатково закладають і визначають пункти зйомочної основи, з яких виконують безпосередню зйомку бортів, буровибухових свердловин, та інших об'єктів, які підлягають нанесенню на план.

## 1.2. Зйомочна основа кар'єрів

Пункти зйомочної основи в кар'єрі існують недовго, а тому їх потрібно розглядати як тимчасові. Планове положення цих пунктів має бути визначеним з похибкою не більше 0,2 м, а висотне з похибкою  $\pm 0,1$  м по відношенню до пунктів опорної маркшейдерської мережі.

Планове положення пунктів зйомочної основи визначають прямою, зворотньою засічками, прокладанням теодолітних ходів та іншими способами. Пункти робочої маркшейдерської основи на місцевості закріплюються постійними або тимчасовими центрами. Найбільш поширені конструкції центрів приведені на рис. 1.6.

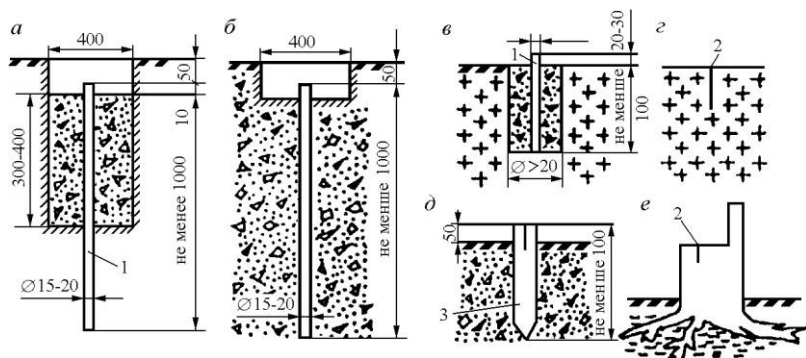


Рис. 1.6. Типи центрів пунктів зйомочної мережі:

$a, b$  – постійні пункти в рихлих породах;  $v, z$  – постійні пункти в скельних породах;

$d$  – тимчасовий пункт в рихлих породах;  $e$  – тимчасовий пункт на місцевому предметі (пеньку); 1 – металевий стержень, труба або бурова штанга від перфоратора;

2 – металевий костиль або клин; 3 – дерев'яний кілок;

В кожному конкретному випадку при виборі способу створення зйомочної мережі необхідно враховувати:

- необхідну точність визначення положення окремих пунктів зйомочної мережі відносно опорних пунктів на всіх без виключення ділянках і горизонтах кар'єра;

- зручність користування опорними пунктами і пунктами зйомочної мережі, при проведенні детальної маркшейдерської зйомки в кар'єрі;

- необхідну продуктивність і простоту польових і обчислюваних робіт;

- по можливості більш тривале збереження пунктів зйомочної основи.

В залежності від оточуючого рельєфу, гірничо-геологічних умов, глибини, розмірів і конфігурації кар'єру, а також способу детальної маркшейдерської зйомки плановою зйомочною основою можуть бути:

- експлуатаційні квадратні і прямокутні сітки;

- теодолітні ходи з безпосереднім вимірюванням довжин ліній;

- азимутальні теодолітні ходи з визначенням довжин ліній опосередкованими способами;

- полярний спосіб;

- геодезичні засічки;

В ряді випадків застосовуються різні комбінації з перерахованих способів створення зйомочної мережі.

Всі види планової зйомочної мережі розвивають на основі маркшейдерських мереж опорних пунктів в єдиній системі координат (X, Y, Z), яка прийнята на даному гірничому підприємстві або групі підприємств.

Висотні позначки пунктів зйомочної основи з потрібною точністю визначають від постійних реперів і нівелірних марок геометричним нівелюванням або відносно опорних пунктів одночасно з передачею планових координат – тригонометричним нівелюванням.

Загальну уяву про кар'єр формує фрагмент, приведений на рис. 1.7.

Якість, продуктивність, точність зйомки, кар'єру безпосередньо залежить від розвитку в кар'єрі і на його бортах пунктів зйомочної мережі.

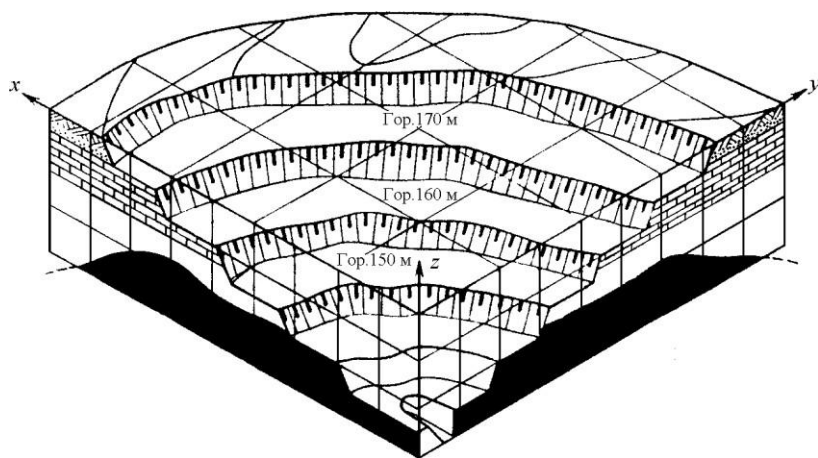


Рис. 1.7. Блок-діаграма ділянки кар'єра

**Зйомочна мережа досить часто виконується у вигляді експлуатаційної сітки, яка являє собою умовну систему прямокутних координат, розбиту на поверхні кар'єрного поля. Зйомочними пунктами сітки є точки перетину**

координатних вісей її, закріплених постійними центрами в натурі. Загальний вигляд такої сітки показаний на рис. 1.8.

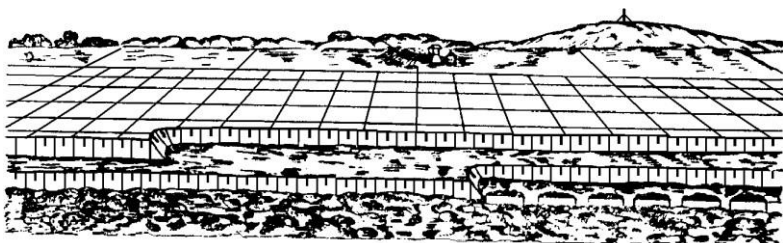


Рис. 1.8. Уявний фрагмент експлуатаційної сітки

Одну з взаємоперпендикулярних вісей сітки розміщують приблизно по простяганню розроблюваного покладу, тобто паралельно фронту гірничих робіт, або паралельно вісям  $X$ ,  $Y$ , відповідної системи координат, якщо фронт робіт має веєрне переміщення або криволінійну конфігурацію.

Елементарні фігури сіток роблять у вигляді квадратів або прямокутників з розмірами сторін вхрест простягання фронту кар'єра в 20, 40 або 50 м. Розбивку сіток доцільно виконувати в два прийоми. Першопочатково розбивають основні квадрати  $100 \times 100$  або  $200 \times 200$  м. Розбивку заповнюючих квадратів або прямокутників всередині основних квадратів зручніше виконувати при наближенні фронту гірничих робіт кар'єра.

При розбивці і використанні сіток потрібно розуміти, що розміри сторони квадратів або прямокутників прийняті в проекції на горизонтальну площину.

Експлуатаційні сітки, характеризуючись сильним стабільним геометричним зв'язком пунктів сітки з геологічною структурою і гірничими роботами розроблюваного родовища, роблять простим перехід від природи до плану і зворотно, дозволяють успішно вирішувати питання розвідки, проектування, розробки і рекультивациі від початку до кінця експлуатації



родовища. Достатньо густа і геометрично правильна сітка пунктів дозволяє використовувати елементарно прості, але в той же час достатньо точні способи зйомок без складних обчислювальних робіт, виключає можливість накопичення систематичних похибок при зйомках і обліку об'ємів.

Поперечні напрямки сіток одночасно слугують профільними лініями кар'єру, по яким будуються геологічні розрізи і профілі гірничих робіт. Можливе їх використання в якості створних ліній для відновлення і закладки пунктів на горизонтах уступів кар'єру.

По квадратах (прямокутникам) сіток є можливість планування розкривних і видобувних робіт в кар'єрах, а також контролю виконаних робіт: обсягів розкриття, погашених запасів корисної копалини і рекультивації.

Експлуатаційні сітки, як спосіб зйомочної основи, доцільно застосовувати в умовах:

- відносно спокійного рельєфу поверхні поля кар'єру ;
- наявності не більше 2–3 уступів в кар'єрі, тобто в основному при розробці горизонтальних пластових і пластоподібних покладів та при дражних і гідравлічних розробках;
- достатньо широких робочих площадках другого уступу.

Разом з тим необхідно відмітити, що великий обсяг першопочаткових робіт, пов'язаних з розбивкою сіток, часто є суттєвою перешкодою для більш широкого застосування цього способу зйомочної основи навіть на тих кар'єрах, де він без сумніву є раціональним.

Розбивка сіток здійснюється на основі спеціально розробленого проекту. В залежності від розмірів площі і рельєфу поверхні розробка експлуатаційних сіток може здійснюватися різними варіантами.

Розвиток зйомочної основи способом експлуатаційної сітки, яка показана на рис. 1.9, здійснюють в три етапи.

Від пунктів опорної мережі  $A$  і  $B$  прокладають полігонометричний або теодолітний ход  $A, 3, B, 2, 1, 5, 4, A$  (1<sup>й</sup> етап). Потім використовуючи генеральний план гірничих робіт, складають проект квадратної (прямокутної) сітки з вершинами I, II, III, IV, яка покриває поверхню кар'єрного поля. При цьому слідкують, щоб одна з вершин (наприклад, III) експлуатаційної сітки співпадала з пунктом ходу (пункт 3).

Вершини сітки виносять в натуру за значеннями кутів  $\beta_i$  і відстанями  $l_i$ . Після цього виносять точки, закріплюючи вісі сітки  $a, b, c, d$ , потім розбивають вершини остальных квадратів (2<sup>й</sup> етап). Потім в квадратах основної сітки розбивають сітку квадратів з меншою за розміром стороною (3<sup>й</sup> етап), пункти якої і слугують для виконання зйомочних робіт.

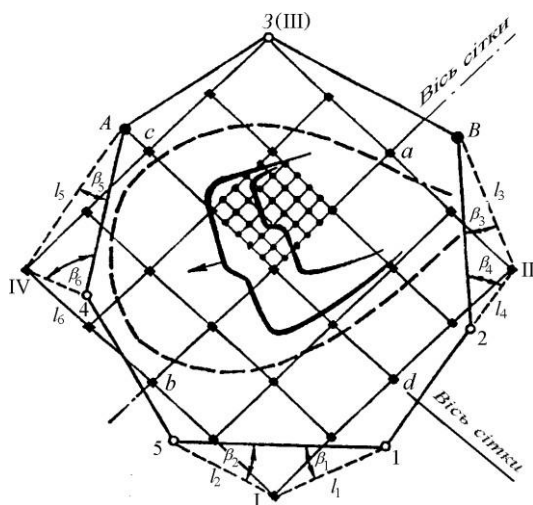


Рис. 1.9. Схема зйомочної мережі кар'єра способом експлуатаційної сітки

В залежності від розмірів кар'єрного поля і прийнятого масштабу зйомки сторони основної квадратної сітки приймають довжиною від 50 до 200 м. Сторони робочої сітки мають довжину від 5 до 40 м. Висоти зйомочної мережі

визначають технічним або тригоно-метричним нівелюванням з похибкою не більше 0,2 м. Планове положення пунктів зйомочної основи може бути визначеним **прямою, зворотною і азимутальною засічками**. Необхідно відмітити, що на багатьох кар'єрах, при малій ширині робочих площадок розкривних і видобувних уступів досить широке застосування отримав спосіб побудови зйомочної основи у вигляді вставок окремих пунктів в опорну мережу прямими і зворотними геодезичними засічками. При цьому способі необхідно, щоб на бортах або поблизу бортів кар'єра була достатня кількість опорних пунктів і не менше 3–4 пунктів, які добре видно з любої ділянки кар'єру.

Сутність способу полягає в тому, що визначаючи положення пункту  $P_1$  (рис. 1.10) прямою геодезичною засічкою, у вихідних пунктах  $A$  і  $B$  вимірюють кути  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ . Крім того для контролю в пунктах  $B$  і  $C$  додатково вимірюють кути  $\alpha_3$  і  $\alpha_4$ , а для підвищення точності положення пункту  $P_1$ , який визначається, вимірюють кути  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$ .

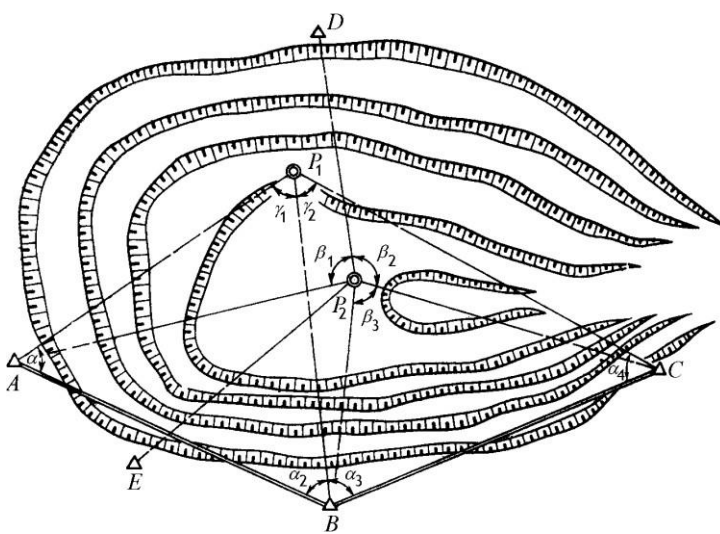


Рис. 1.10. Схема побудови зйомочної мережі прямою і зворотною геодезичними засічками

При визначенні положення пункту  $P_2$  зворотною засічкою з нього вимірюють кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  між напрямками на вихідні пункти  $A$ ,  $D$  і  $C$ , а для контролю, візируванням на пункт  $B$  – додатковий кут  $\beta_3$ . При визначенні координат  $X$  і  $Y$  пунктів  $P_1$  і  $P_2$  з додатковими (контрольними) напрямками пряма засічка пункту може бути вирішена в трьох варіантах, а зворотна в чотирьох. Це безумовно гарантує від грубих помилок, допущених при кутових вимірюваннях і обчисленнях. Крім того дає змогу зробити вибір і скористатися найбільш вигідним варіантом рішення конкретної засічки.

Сутність азимутальної засічки полягає в наступному. З точки  $P$ , яка визначається (рис. 1.11) спостерігаються три опорних пункти  $A$ ,  $B$ ,  $C$  і, крім того, відомий напрямок на пункт  $O$ . Використовуючи дирекційний кут ( $OP$ ), за виміряними горизонтальними кутами  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  визначають дирекційні кути напрямків  $PA$ ,  $PB$ ,  $PC$ . Враховуючи, що дирекційні кути між твердими пунктами ( $AB$ ) і ( $BC$ ) відомі, кути  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$  визначають як різницю відповідних дирекційних кутів. Трикутники розв'язують звичайним шляхом.

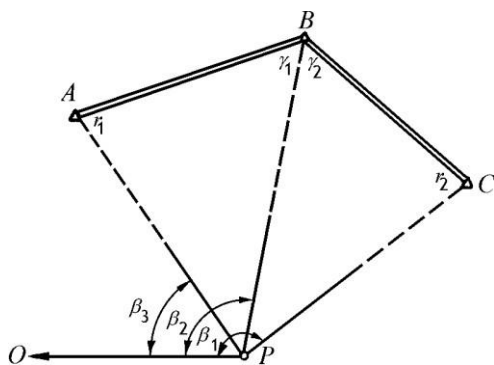


Рис. 1.11. Схема азимутальної засічки

Вставку точок за допомогою азимутальних засічок вигідно виконувати в тому випадку, коли одночасно вставляють декілька точок. Цей спосіб запропонований проф. О.І. Дурневим, а принципова схема цього способу приведена на рис. 1.12. Сутність способу полягає в наступному. На уступі кар'єра закріплюють тимчасові пункти зйомочної основи  $a, b, c, \dots, i, k$ , з яких має бути видно пункти опорної мережі  $A, B, C$ , які знаходяться на борту кар'єра (рис. 1.12). Теодолітом вимірюють горизонтальні кути  $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$  і т.д., а також довжини першої і останньої сторони ходу  $av$  та  $ik$ .

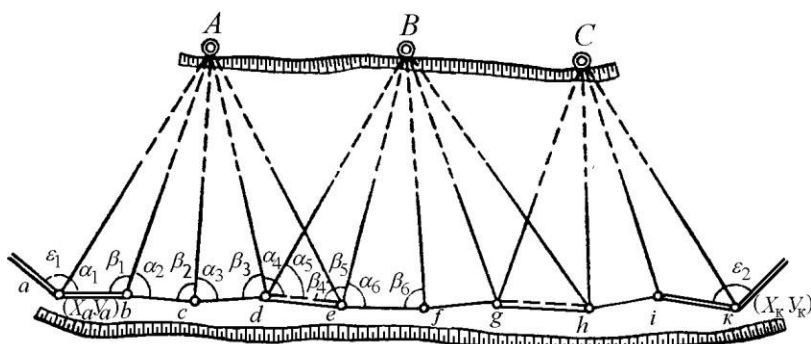


Рис. 1.12. Схема теодолітного ходу, довжини сторін якого визначаються за способом проф. О.І. Дурнева

В першому трикутнику відомі сторона  $av$  і два кути  $\alpha_1, \beta_1$ , що дає змогу обчислити сторону  $Av$ , скориставшись формулою

$$Av = av \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_1)}. \quad (1.5)$$

Визначивши сторону  $Av$ , можна обчислити сторони  $vc$  і  $Ac$

$$bc = Ab \cdot \frac{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}{\sin \beta_2}, \quad (1.6)$$

$$Ac = Ab \cdot \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2}. \quad (1.7)$$

Таким чином можуть бути обчислені довжини всіх сторін теодолітного ходу, а відповідно і координати всіх пунктів зйомочної основи.

На крупних кар'єрах зі значним віддаленням ділянок гірничих робіт від пунктів опорної мережі досить ефективним є полярний спосіб, принципова схема якого представлена на рис. 1.13.

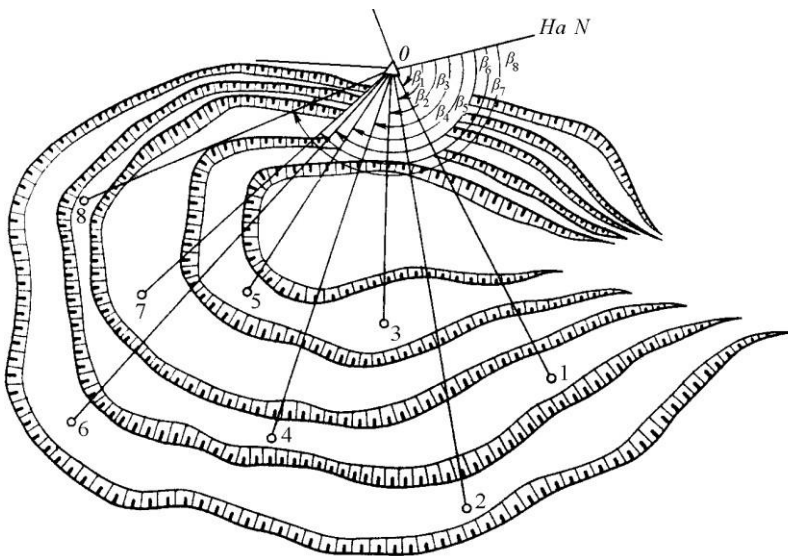


Рис. 1.13. Полярний спосіб створення зйомочної основи

При цьому способі полярні кути і кути нахилу вимірюють точними теодолітами (Т1, Т2), а похилі відстані до внутрішньокар'єрних зйомочних пунктів визначаються, світловіддалеміром. Для цього, як показано на рис. 1.13, на неробочому борту кар'єра вибирають, або вставляють опорний пункт-поліус з таким розрахунком, щоб з нього в межах досяжності відстаней забезпечувалась

хороша видимість всіх рухомих ділянок кар'єру. З метою запобігання надлишковим переміщенням з віддалемірною апаратурою і теодолітом схема полярної мережі зйомочної основи повинна бути по можливості простою і довготривалою.

Якщо розміри кар'єра по простяганню розроблюваного родовища виходять за межі досяжних відстаней, які забезпечують необхідну точність кутових і лінійних вимірів, або обмежені якою-небудь перепорою, наприклад поворотом фронту гірничих робіт, то полюсних пунктів може бути 2–3 і більше.

Визначення положення окремих зйомочних пунктів  $1, 2, 3, \dots, n$ , відносно напрямку  $NO$  і полюса  $O$  (рис. 1.13) полягає у вимірюванні на місцевості горизонтальних  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ , а також вертикальних  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$  кутів теодолітом і похилих відстаней  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$  за допомогою світловіддалеміра.

При створенні внутрішньокар'єрної мережі зйомочних пунктів полярним способом камеральні роботи полягають в обробці результатів польових спостережень (визначення середніх напрямків полярних кутів, кутів нахилу і довжин ліній, які вимірюються віддалеміром) і в обчисленні: горизонтальних проложень від полюса  $O$  до зйомочних пунктів  $P$  користуючись формулою

$$\overline{OP}_{on} = d_n = \overline{OP}_n \cdot \cos \delta_n, \quad (1.8)$$

дирекційних кутів за формулою

$$(\overline{OP}_n) = \alpha_n = (NO) + \beta_n \pm 180^\circ, \quad (1.9)$$

прирощень координат та координат за формулами

$$Xp_n = X_o + \overline{OP}_{on} \cdot \cos \alpha_n, \quad (1.10)$$

$$y p_n = y_o + \overline{OP_{on}} \cdot \sin \alpha_n . \quad (1.11)$$

Визначаються також висотні позначки зйомочних пунктів загальноприйнятими методами.

Пункти зйомочної основи можуть бути побудовані шляхом прокладання між пунктами опорної мережі **теодолітного ходу**, як це показано на рис .1.14. Теодолітний хід може бути замкненим (рис. 1.14) і розімкненим.

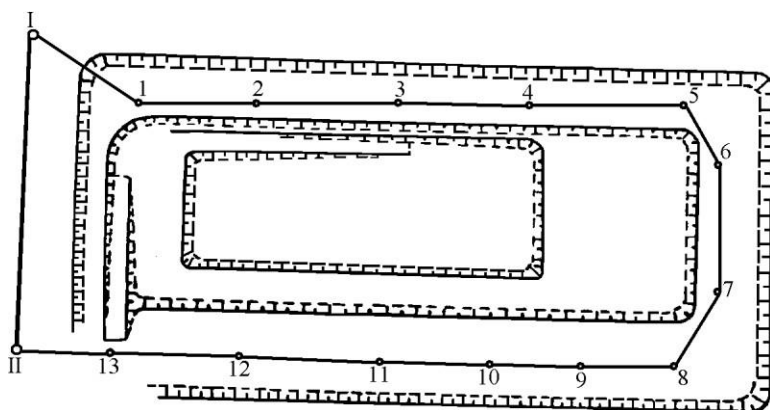


Рис. 1.14. Замкнений теодолітний хід для визначення пунктів зйомочної основи кар'єра

Кращим і більш надійним за точністю є замкнений теодолітний хід. Кути ходу виміряють теодолітом не нижче  $30''$  точності одним прийомом. Довжини сторін вимірюють рулетками або віддалеміром в прямому і зворотному напрямках. Допустимі розходження у вимірних відстанях 1:1000. Кутова нев'язка ходу не повинна перевищувати величини  $\pm 30' \sqrt{n}$ , де  $n$  – число вимірних кутів, а лінійна нев'язка ходу не повинна бути більшою ніж 1:3000.

При прокладанні теодолітних ходів для вимірювання довжин сторін використовують 20 метрові сталеві стрічки з шпильками або сталеві рулетки. В



нормальних умовах, якщо ними виконувати вимірювання з дотриманням поправок за компарування і температуру, відносна похибка при вимірюваннях переважно не перевищує 1:2000 і навіть 1:3000. Разом з тим, враховуючи трудомісткість і умови кар'єрів для безпосереднього вимірювання відстаней по поверхні ґрунту, необхідно віддавати перевагу віддалемірам та опосередкованим способам визначення довжин ліній полігонів.

Існує багато віддалемірів: світловіддалеміри, радіовіддалеміри, лазерні та оптичні віддалеміри, але ці прилади є досить вартісними, а тому невеликі кар'єри їх мати просто не можуть.

Для середніх кліматичних умов можуть бути використані віддалеміри з постійним позаінструментальним базисом (рейкою) і виміром теодолітом горизонтального паралактичного кута. Можуть також застосовуватись віддалеміри подвійного зображення у вигляді насадок на трубу теодоліта.

Віддалемір з постійним позаінструментальним базисом складається з горизонтальної базисної (Bahla 2m) і розкладної рейок довжиною 3 м в комплекті з точним оптичним теодолітом (Т1, Т2), трьох штативів і підставок для візирних марок. Такий віддалемір показаний на рис. 1.15. Є також віддалеміри цього типу з довжиною рейки 2 м.

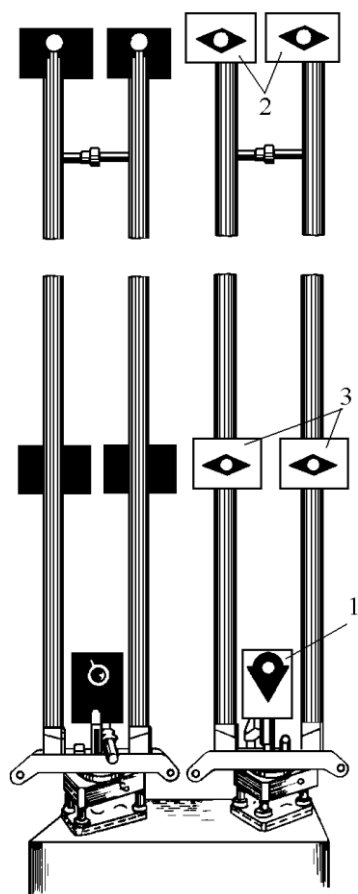


Рис. 1.15. Горизонтальна базисна рейка:

1 – візирна марка; 2 – крайні щитки; 3 – середні щитки.

Для вимірювання горизонтальної відстані (рис. 1.16, *a*) в точці *A* встановлюють теодоліт, а в точці *B* на штативі і підставці – горизонтальну базисну рейку.

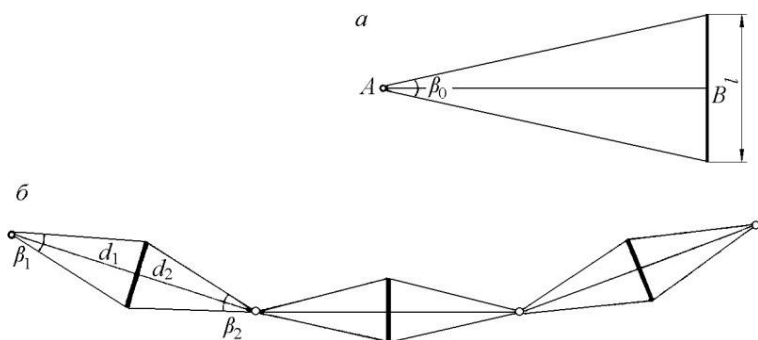


Рис. 1.16. Схема паралактичного віддалеміра (а) і полігона (б)

Вимірявши між двома напрямками на кінцеві марки паралактичний кут  $\beta_0$  теодолітом, горизонтальну відстань  $AB$  визначають за формулою

$$AB = d = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta_0}{2}, \quad (1.12)$$

де  $l$  – довжина базисної рейки, в яку вносяться поправки;  $\Delta l$  – за компарування і  $\Delta t$  – за температуру.

При малій величині паралактичного кута

$$d = \frac{P'}{\beta_0''} \cdot l, \quad (1.13)$$

При допомозі горизонтальної базисної рейки і теодоліта можна вимірювати відстані між пунктами теодолітного ходу на значних відстанях, як це показано на рис. 1.16. б. Для створення кар'єрної зйомочної мережі широко застосовуються також оптичні віддалеміри.

Оптичний віддалемір – це прилад для вимірювання відстаней опосередкованим методом, тобто без безпосереднього відкладання мір довжини вповдовж вимірювальної лінії.

Принцип вимірювання довжин ліній оптичними віддалемірами базується на рішенні витягнутого паралактичного трикутника. В оптичних віддалемірах геометричного типу визначення віддалей виконується розв'язанням

рівнобедреного трикутника (рис. 1.17), в якому вимірювана лінія  $CD$  є висотою, а сторона  $AB$  – основою, а точка  $C$  – вершиною кута  $\beta$ .

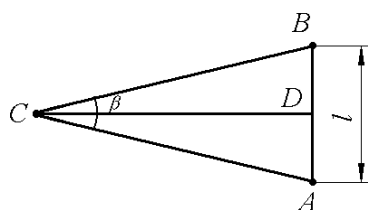


Рис. 1.17. Принцип вимірювання довжини лінії оптичним віддалеміром

Вишукувана відстань  $CD$  може бути визначена за формулою

$$CD = \frac{1}{2} B \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}, \quad (1.14)$$

Конструктивно ця ідея реалізується оптичними віддалемірами двох типів: з постійним паралактичним кутом і постійним базисом.

Найпростішим представником оптичних віддалемірів першого типу є нитяний віддалемір. Постійність паралактичного кута в ньому забезпечується спеціальними віддалемірними нитями, які знаходяться в полі зору труби теодоліта або нівеліра.

Роль перемінного базиса при цьому виконує нівелірна рейка. Оптичні параметри віддалеміра підібрані таким чином, щоб різниця відліків по віддалемірним нитям в сантиметрах відповідала відстані від приладу до нівелірної рейки в метрах. Точність нитяного віддалеміру невисока і складає, як правило, близько 1:300 вимірюваної довжини.

Крім вищеперерахованих оптичних віддалемірів, існують і інші конструкції, які виконані у вигляді насадок до стандартних теодолітів, або як спеціалізовані

прилади. Діапазон вимірюваних ними відстаней від десятків метрів до півкілометра з відносними похибками від 1:100 до 1:5000 довжини лінії.

В даний час все більше поширення отримують віддалеміри, які вимірюють відстані за допомогою електромагнітного випромінювання. В залежності від довжини хвилі і характеру випромінювання їх поділяють на радіовіддалеміри, світловіддалеміри і квантові віддалеміри. По методу вимірів електромагнітні віддалеміри ділять на імпульсні і фазові.

**Імпульсний** метод вимірювання відстаней ґрунтується на знанні швидкості поширення електромагнітного випромінювання  $c$  і вимірі часу  $t$  проходження імпульса випромінювання між двома точками вимірюваної лінії  $S$ .

Якщо в одній точці вимірюваної лінії встановити прийомопередавач, а в другій – відбивач, а потім направити електромагнітний імпульс з передавача на відбивач і зафіксувати приймачем час повернення сигналу, то вишукувана лінія  $S$  може бути визначена з виразу

$$s = \frac{ct}{2}, \quad (1.15)$$

При цьому необхідно враховувати, що швидкість випромінювання в реальній атмосфері відрізняється від швидкості випромінювання у вакуумі. Цю обставину враховують при вимірах шляхом введення поправок за метеоумови (температура, тиск, вологість). Точність вимірювання часу проходження має бути виключно високою.

**Квантові** віддалеміри можуть працювати без спеціального відбивача. Їх лазерне випромінювання здатне відбиватися від οποї поверхні (дифузне відбиття), що дуже зручно при зйомці бортів кар'єру.

**Фазовий** метод вимірювання відстані ґрунтується на принципі визначення кількості  $N$  довжини хвиль випромінення  $\lambda$ , які вміщуються у вимірюваній відстані  $S$ , тобто

$$S = \frac{N\lambda}{2}, \quad (1.16)$$

Якщо у вимірюваній довжині вмістилось не ціле число довжин хвиль, а з залишком  $\Delta N$ , то рівняння для визначення відстані буде мати вигляд

$$S = (N + \Delta N) \frac{\lambda}{2}, \quad (1.17)$$

Результат досягається шляхом виконання вимірів на декількох стабільних частотах і рішення системи рівнянь типу (1.17) для кожної частоти відносно вишукуваної довжини. Сучасні електромагнітні віддалеміри дозволяють вимірювати відстані від сотен метрів до десятків кілометрів з дуже високою точністю.

Висотні позначки пунктів зйомочної основи визначається шляхом геометричного або тригонометричного нівелювання.

Геометричне нівелювання базується на використанні горизонтального візирного променя і двох рейок, встановлених в точках вертикально. Максимальна точність геометричного нівелювання може досягати десятих долей міліметра. Існують схеми нівелювання вперед і з середини.

Тригонометричне нівелювання виконують похилим променем візірування. При цьому перевищення отримують шляхом обчислення за формулами, аргументами яких є кут нахилу і довжина візирного променя, висота установки

приладу і висота точки візирівання. Точність тригонометричного нівелювання нижча, ніж геометричного, і характеризується похибкою визначення перевищень 3–10 см.

### Контрольні запитання для самоперевірки

1. Як створюються опорні маркшейдерські мережі?
2. Які існують вимоги до опорних маркшейдерських мереж?
3. Які ви знаєте конструкції найбільш поширених центрів і сигналів опорної маркшейдерської мережі?
4. Що таке ствірна і прямокутна тріада опорних маркшейдерських мереж?
5. Які вимоги ставляться до пунктів зйомочної основи кар'єра?
6. Які Ви знаєте типи центрів пунктів зйомочної мережі?
7. Які існують способи побудови та розвитку опорних маркшейдерських мереж?
8. Як будується зйомочна мережа у вигляді експлуатаційної сітки?
9. Як визначається планове положення пунктів зйомочної мережі прямою і зворотною азимутальними засічками?
10. Як здійснюється прокладання теодолітного ходу по способу проф. О.І. Дурнева?
11. В чому полягає сутність полярного способу створення зйомочної основи?
12. Як прокладаються теодолітні ходи для визначення пунктів зйомочної мережі?
13. В чому полягає сутність створення мережі зйомочної основи з використанням паралактичного віддалеміра?
14. Як забезпечується вимірювання довжини ліній оптичним віддалеміром?

15. На чому ґрунтується імпульсний та фазовий метод вимірювання відстаней?