

## Лекція 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, зворотною 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.

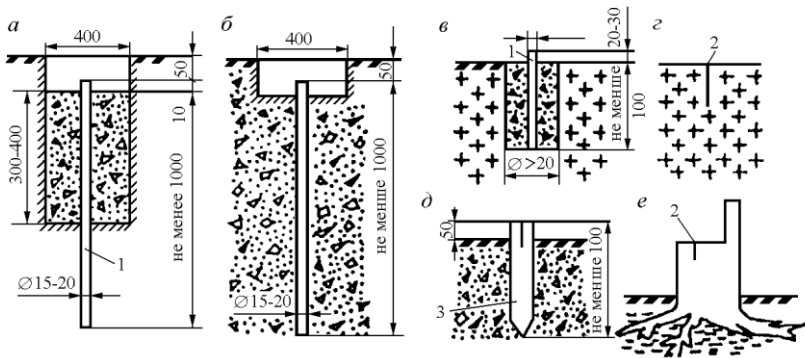


Рис. 1.6. Типи центрів пунктів зйомочної мережі:

- a, б* – постійні пункти в рихлих породах;
  - в, г* – постійні пункти в скельних породах;
  - д* – тимчасовий пункт в рихлих породах;
  - е* – тимчасовий пункт на місцевому предметі (пеньку);
- 1 – металевий стержень, труба або бурова штанга від перфоратора;  
2 – металевий клин; 3 – дерев'яний клин;

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.

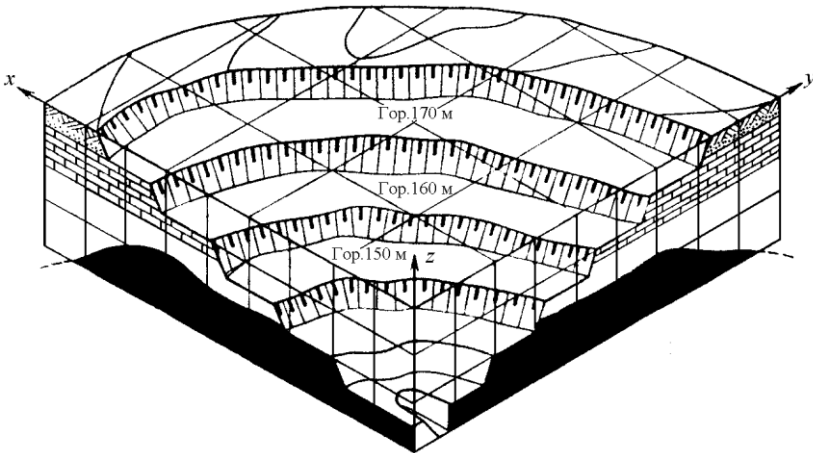


Рис. 1.7. Блок-діаграма ділянки кар'єра

**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.**

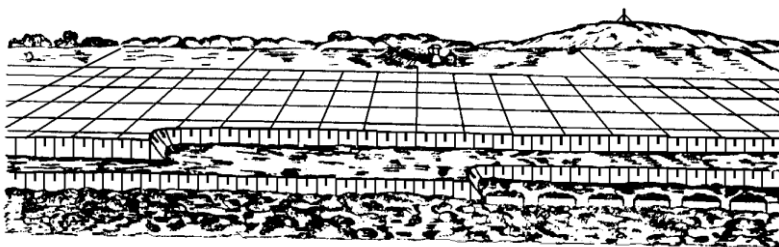


Рис. 1.8. Уявний фрагмент експлуатаційної сітки

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 100×100 або 200×200 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 простими перехід від природи до плану і зворотно, дозволяють успішно вирішувати питання розвідки, проектування, розробки і рекультиваци 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 створених 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 рекультивациї.

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 плаstopодібних 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 перепорою 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 вершини (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 остальних 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.

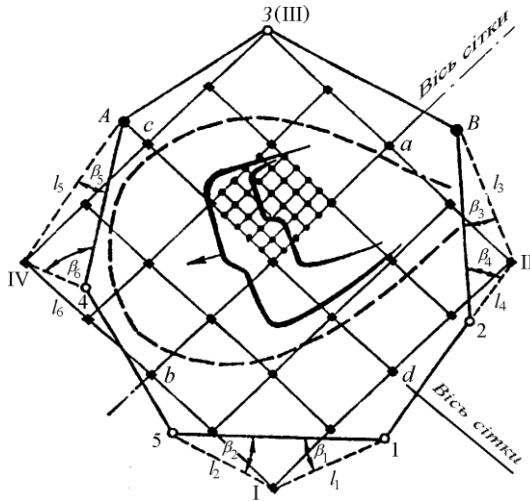


Рис. 1.9. Схема зйомочної мережі кар'єра способом експлуатаційної сітки

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 тригонометричним 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 любой 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  $\gamma_2$ .

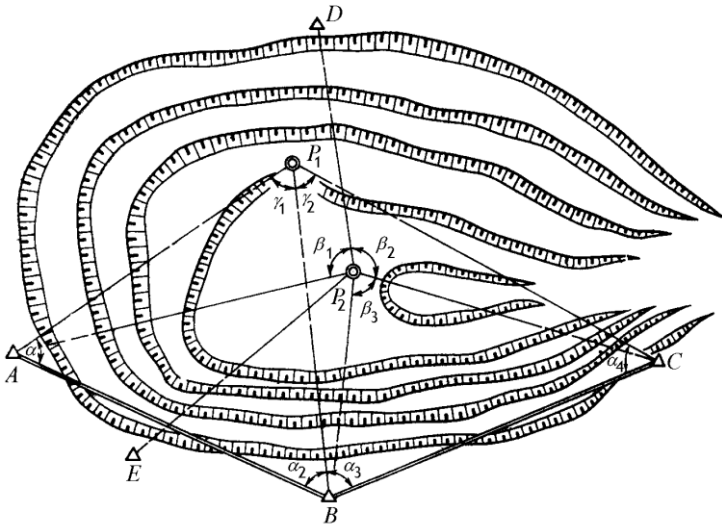


Рис. 1.10. Схема побудови зйомочної мережі прямою і зворотною геодезичними засічками

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  $r_1$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $r_2$ , визначають як різницю відповідних дирекційних кутів. Трикутники розв'язують звичайним шляхом.

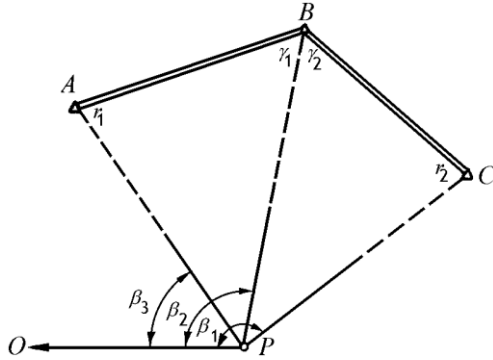


Рис. 1.11. Схема азимутальної засічки

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  $ik$ .

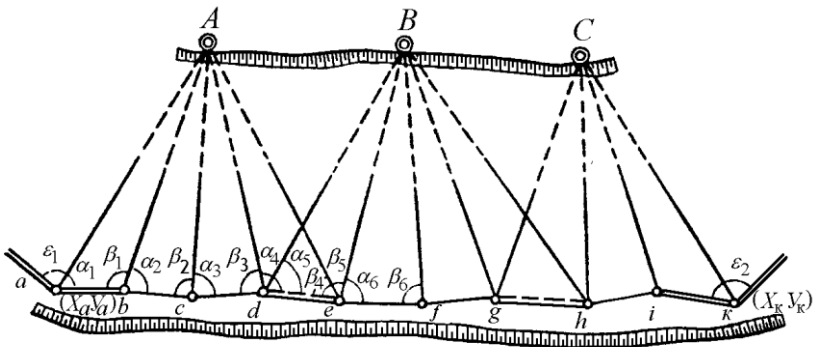


Рис. 1.12. Схема теодолітного ходу, довжини сторін якого визначаються за способом проф. О.І. Дурнева

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

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

Визначивши сторону  $A\beta$ , можна обчислити сторони  $вс$  і  $Ac$

$$вс = A\beta \cdot \frac{\sin(\alpha_2 + \beta_2)}{\sin \beta_2}, \quad (1.6)$$

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

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.

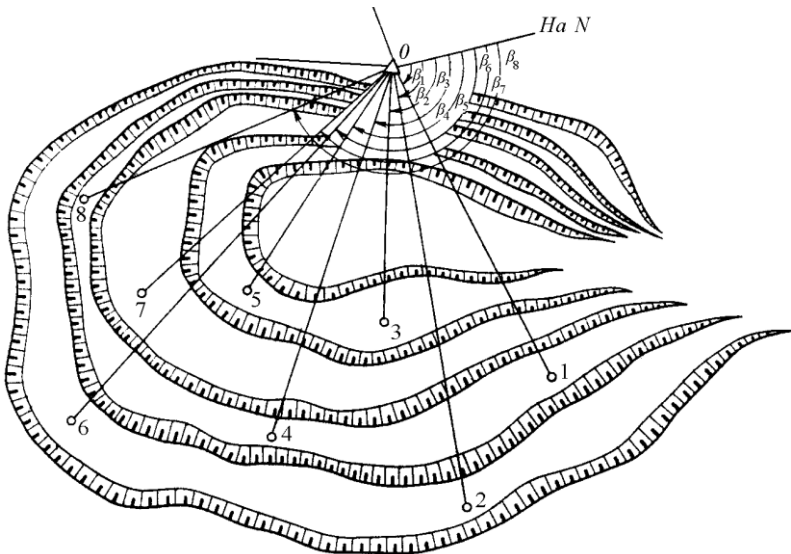


Рис. 1.13. Полярний спосіб створення зйомочної основи



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-полюс 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 перешкодою, наприклад поворотом фронту гірничих робіт, то полюсних пунктів може бути 2–3 і більше.

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

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

прирошень координат та координат за формулами

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

$$Yp_n = y_o + \overline{OP}_{on} \cdot \sin \alpha_n. \quad (1.11)$$

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.

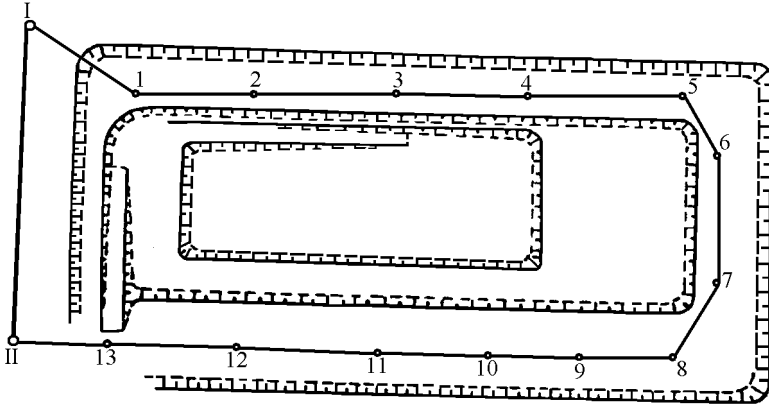


Рис. 1.14. Замкнений теодолітний хід для визначення пунктів зйомочної основи кар'єра

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.

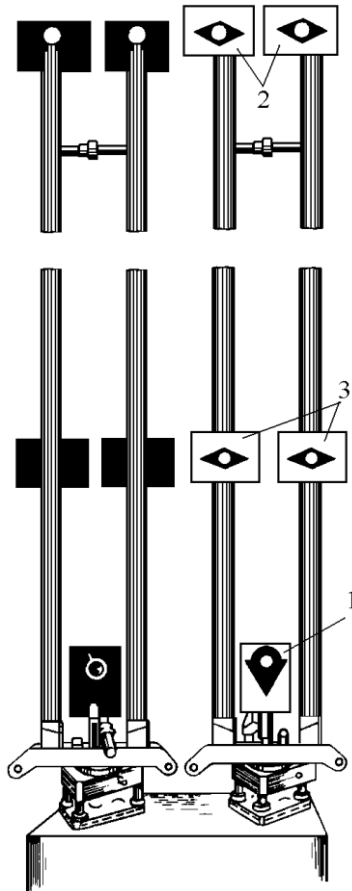


Рис. 1.15. Горизонтальна базисна рейка:  
1 – візирна марка; 2 – крайні щитки; 3 – середні щитки.

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

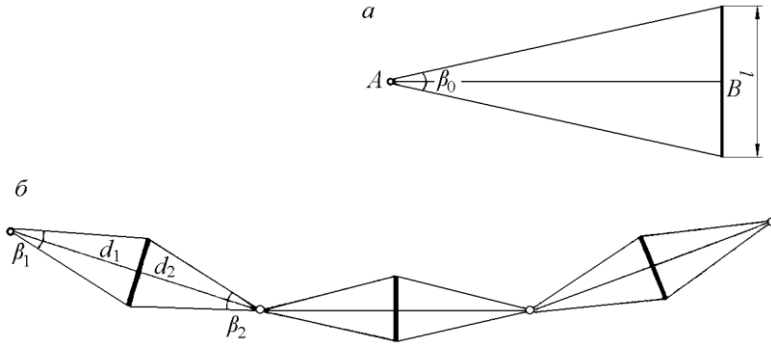


Рис. 1.16. Схема паралактичного віддалеміра (*a*) і полігона (*б*)

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 хода 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  $\beta$ .

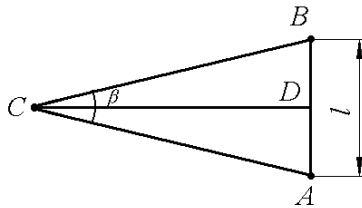


Рис. 1.17. Принцип вимірювання довжини лінії оптичним віддалеміром

Вищукувана 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 будь-якої поверхні (дифузне відбиття), що дуже зручно при зйомці бортів кар'єру.

**Фазовий** метод вимірювання відстані ґрунтується на принципі визначення кількості  $N$  довжин хвиль випромінювання  $\lambda$ , 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 візирування. При цьому перевищення отримують шляхом обчислення за формулами, аргументами яких є кут нахилу і довжина візирного променя, висота установки приладу і висота точки візирування. 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?