Тема 2.1: Геодезичні зйомки. Геодезичні вимірювання на місцевості. Горизонтальна геодезична зйомка місцевості. Нівелювання.

1. Види геодезичних зйомок. Поняття про геодезичні вимірювання.
2. Вимірювання довжин ліній механічним способом.
3. Вимірювання довжини ліній оптичними віддалемірами. Вимірювання довжини ліній радіофізичними засобами.
4. Методи нівелювання. Будова нівеліра і рейок.
5. Способи вимірювання перевищень методом геометричного нівелювання. Послідовне нівелювання.
6. Порядок роботи на станції геометричного нівелювання. Висотні ходи зйомочної основи.

1. Види геодезичних зйомок

Геодезичні зйомки поділяються на декілька видів залежно від цілей, точності та методів виконання. Основні види геодезичних зйомок включають:

1. Топографічна зйомка:
Мета: Створення топографічних планів і карт місцевості.
Масштаби: Від 1:500 до 1:10 000.
Застосування: Проектування будівель, доріг, інженерних мереж, землевпорядкування тощо.
Точність: Висока, зазвичай застосовуються тахеометри, електронні тахеометри та GPS.

2. Інженерно-геодезична зйомка:
Мета: Створення детальних планів для проектування та будівництва інженерних споруд.
Види: Будівельна зйомка, контроль осадок, деформаційна зйомка.
Точність: Дуже висока. Застосовуються електронні тахеометри, нівеліри, лазерні прилади.

3. Кадастрова зйомка:
Мета: Визначення меж земельних ділянок для реєстрації прав на землю.
Застосування: Землевпорядкування, оцінка земель, юридичне оформлення прав на землю.
Точність: Висока. Використовуються тахеометри, GPS-приймачі високої точності.

4. Аерофотозйомка:
Мета: Створення планів та карт місцевості з допомогою аерофотознімків.
Застосування: Створення карт, топографічних планів, моніторинг природних ресурсів.
Методи: Використовуються літальні апарати (літаки, дрони) та спеціалізовані камери.

5. Гідрографічна зйомка:
Мета: Вивчення водних об'єктів (річок, озер, морів).
Застосування: Проектування гідротехнічних споруд, моніторинг стану водних об'єктів.
Методи: Використовуються ехолоти, гідролокатори та спеціальні прилади для вимірювання глибин.

6. Маркірувальна (або контрольна) зйомка:

Мета: Контроль точності будівництва або монтажу конструкцій.

Застосування: Контроль якості, визначення відхилень від проектних положень.

Точність: Висока, застосовуються точні електронні тахеометри.

7. Нівелірна зйомка:

Мета: Визначення висот точок місцевості.

Застосування: Створення горизонтальних і вертикальних профілів, будівництво інженерних споруд.

Методи: Використовуються нівеліри, GPS-обладнання.

Кожен вид геодезичної зйомки має свої особливості та застосовується залежно від конкретних завдань і вимог до точності.

Поняття про геодезичні вимірювання

Вимірюванням називають процес порівняння даної фізичної величини з іншою фізичною величиною, прийнятою за одиницю вимірювання. Будь-яке вимірювання виконують при наявності таких факторів:

1. об’єкт вимірювання;
2. суб’єкт вимірювання;
3. прилад для вимірювання;
4. метод вимірювання;
5. зовнішнє середовище.

Вимірювання поділяють за фізичним виконанням на: прямі й непрямі; за кількістю вимірів: на необхідні і надлишкові; за точністю: на рівноточні й нерівноточні.

Геодезичні вимірювання виконуються на земній поверхні, під землею, на морі й з космосу. При цьому, в більшості випадків, вимірюються кути між лініями, відстань між точками, перевищення.

Геодезичні вимірювання в обов’язковому порядку супроводжує надійний контроль. Контроль – це невід’ємна частина геодезичних вимірювань. На основі контролю геодезист переконується в тому, що отримані результати відповідають вимогам і нормам точності.

В нашій країні основною одиницею вимірювання кутів є градус. Крім цього, кути можуть вимірюватись в градах і радіанах. Град дорівнює сотій частині прямого кута. Радіан – центральний кут, який спирається на дугу окружності, що дорівнює радіусу. Один радіан дорівнює $\rho = 57.296° = 3438’ = 206265”$.

За одиницю вимірювання довжини прийнятий метр. Нині за еталон метра беруть відстань, яку долає світло у вакуумі за 1:299792458 с.

2. Вимірювання довжин ліній механічним способом

До механічних засобів відносять мірні стрічки, рулетки різної довжини.

Вимірювання виконують або на поверхні землі, або підвішуючи прилад для вимірювання на невеликій відстані (1 – 1.5 м) на спеціальних штативах. В будь-якому випадку замість прямої – найкоротшої відстані між кінцевими точками лінії – вимірюють деяку ламану лінію. Тому для отримання горизонтального прокладення d вимірюють кут нахилу лінії або її окремих частин (рис. 1).

Місцевість з кутами нахилу до 2° вважають рівнинною.

На рисунку видно, що горизонтальне прокладення між точками A і B буде дорівнювати сумі відрізків d_1, d_2, d_3, довжина яких обчислюється за формулою:

$$d = D \cdot \cos \nu$$

де D – похила відстань, виміряна на місцевості;

ν – кут нахилу.

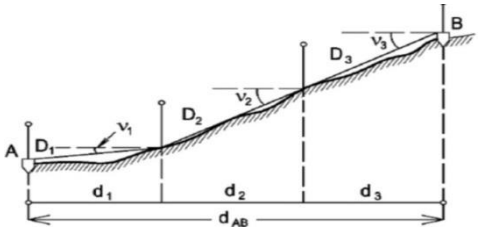


Рис.1. Вимірювання довжини лінії мірною стрічкою

Перевагами механічних засобів вимірювання довжин ліній є:

1. висока точність вимірювання ліній, довжина яких не перевищує довжини приладу для вимірювання;
2. простота будови та експлуатації;
3. невисока вартість.

Суттєвим недоліком є велика трудоємність при вимірюванні довжин ліній, обумовлена необхідністю розчищування наземної траси і вимірювання кутів нахилу окремих ділянок лінії.

Довжина лінії може бути виміряна шляхом укладання вимірювального приладу безпосередньо між закріпленими точками на поверхні землі. Для вимірювання на поверхні землі, використовують землемірні стрічки, рулетки, дроти.

Землемірні стрічки – виготовляють довжиною 20, 24, 50 м і називають ЛЗ–20, ЛЗ–24, ЛЗ–50. Землемірні стрічки виготовляють з сталевої смуги з ручками на кінцях. Кожний метр стрічки, з обох сторін позначають пластинами з вибитими на них цифрами, півметрові відрізки позначають круглими заклепками, дециметрові – отворами. До комплекту стрічки входять: стрічка, кільце для її намотування, комплект, 6 чи 11 шпильок, для фіксації кінців стрічки.

Відстань між штрихами на кінцях стрічки, які позначають центр шпильки, є довжиною стрічки. Така стрічка називається штриховою.

Для підвищення точності вимірювання застосовують стрічки з шкалами на кінцях ЛЗШ – 20, ЛЗШ – 24, ЛЗШ – 50. Відстань між нульовими штрихами на кінцях стрічки є її довжиною. Така стрічка називається шкаловою.

Рулетки виготовляють у відповідності з ГОСТ7502-80 в металевому корпусі, на вилці, на хрестовині довжиною: 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 м з пласкою вимірювальною стрічкою.

Найновіші рулетки виготовляють на основі скловолокна.

Щоб зменшити вплив похибки за нерівномірне натягування стрічки, при вимірюваннях відстаней застосовують гирі або динамометри.

Дроти застосовують для більш точного вимірювання ліній і виготовляють, як стальні так і інварні. Дроти на кінцях мають шкали довжиною 100 мм з ціною поділки 1 мм.

Для вимірювання довжин застосовують також – довжиноміри, нутрометри, катетометри та ін.

Вимірювання проводять безпосередньо або непрямими методами.

При безпосередніх (прямих) способах вимірювань, вимірювальний прилад (землемірну стрічку, рулетку, дріт і т. ін.) послідовно вкладають у створі відрізка, що

вимірюється.

При непрямому методі вимірювань вимірюють допоміжні параметри (кути, базиси, фізичні параметри), а довжину відрізка обчислюють за формулами.

Точність вимірювання залежить від методу вимірювань, приладу, умов вимірювань і коливається в межах 1/300 – 1/1000000.

Кожна лінія, яка вимірюється, в своїх кінцевих точках повинна бути закріплена знаками. Типи і конструкції цих знаків залежать від призначення точок. Якщо точки призначені для тимчасового користування, то їх позначають дерев'яними кілками довжиною 25–30см і товщиною 5 – 6см (рис. 2), металевими штирями та трубками, помітками фарбою, дерев'яними чи залізобетонними стовпами, кернуванням на металевих пластинах, дюбель-цвяхами.

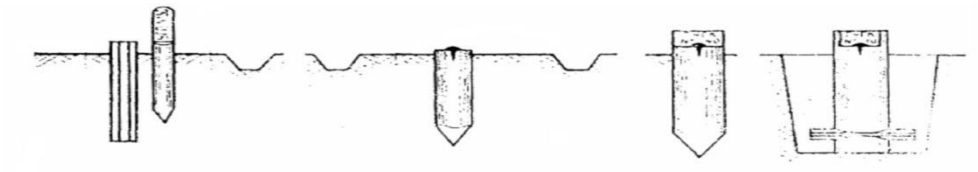


Рис.2. Закріплення точок тимчасовими знаками

Для більш надійного закріплення і збереження точок використовують дерев'яні стовпи, куски металевих труб і т.п.

Для довготривалого збереження точок, їх закріплюють спеціально виготовленими залізобетонними центрами (рис. 3).

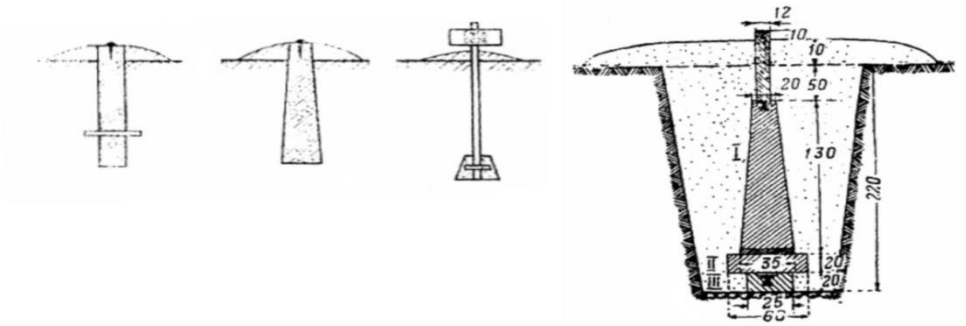


Рис.3. Закріплення точок постійними знаками

Щоб закріплені точки можна було побачити здалека, з інших точок, над ними ставлять постійні або переносні (тимчасові) знаки (рис. 4).

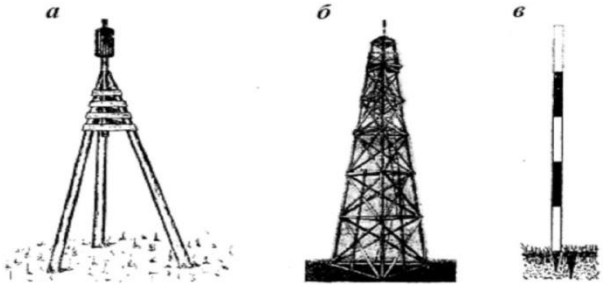


Рис.4. Позначення точок зовнішніми знаками

а – піраміди; б – сигнали; в – віхи

Вимірювання ліній виконується в такій послідовності: рекогносцирування, провішування, вимірювання.

*Рекогносцирування (*від латинського recognosco) оглядаю – огляд та обстеження місцевості з метою уточнення проекту проведення геодезичних робіт, уточнення місцезнаходження пунктів геодезичного забезпечення, перевірка взаємної видимості між сусідніми пунктами і умов для проведення вимірювань.

Провішування – встановлення у створі лінії, що вимірюється, додаткових віх (рис. 5). Для цього на кінцях лінії в точках *A* і *B* встановлюють віхи.

Спостерігач стає на відстані 2–3 метри від однієї з них і вказує робочому місце, куди слід ставити допоміжні віхи так, щоб вони знаходились у створі лінії.

Створом називають вертикальну площину, яка проходить через дві точки місцевості. При вимірюванні довгих ліній віха, встановлена в кінці лінії, може бути погано видна або зовсім не видна з початкової точки. В таких випадках виникає необхідність у встановленні додаткових віх.

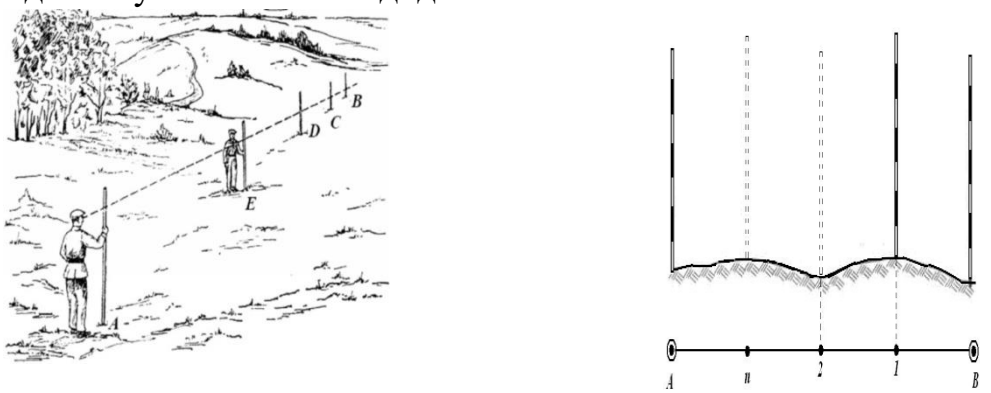


Рис.5. Провішування ліній (права позиція – провішування ліній “ на себе ”)

Провішування ліній можна виконувати в напрямку “ на себе ” і “ від себе ”.

При провішенні ліній на себе спочатку встановлюють віху *C* потім віхи *D, E* і т. п. (рис. 5).

При провішуванні ліній “ від себе ” спочатку встановлюють близьку віху *E,* а потім віхи *D, C* і т. п.

Провішування ліній “ на себе ” точніше, ніж способом “ від себе ”.

На практиці, інколи зустрічаються особливі випадки провішування ліній, які викликані характером місцевості і іншими причинами:

1. Якщо є взаємна видимість віх в точках *A* і *B*, але безпосередньо стати в цих точках неможливо (рис. 6, *а)*, то спостерігач вибирає близько до створу лінії *AB* точку с*1* так, щоб з неї було видно віхи в точках *A* і *B*.

За вказівкою спостерігача помічник переходить в точку *d1* в створі лінії *c1B* і звідтіля встановлює віх у спостерігача в створі лінії *d1A* в точці *c 2* і т.п. (рис. 6, *а*).

Переміщення спостерігача і помічника з віхами проводиться до тих пір, доки їхні віхи не опиняться в створі лінії *AB*.

2. Якщо взаємної видимості між точками *A* і *B* на місцевості немає, то спостерігач вибирає точку *c1* так, щоб з неї було видно точки *A* і *B* та виставляє в створі ліній *c1A* і *c1B* віхи помічників в точках *d1* і *e1*. Після цього один з помічників виставляє віху спостерігача в точку *c2* і попередні дії спостерігача повторюються знову (рис. 6, б).

Переміщення спостерігача і помічників з віхами проводиться до тих пір, доки їхні віхи не опиняться в створі лінії *AB*.

Вимірюють лінію два виконавці (один називається переднім, а другий заднім), вкладаючи вимірювальний прилад у створі лінії. В кінці лінії вимірюють залишок *r*.

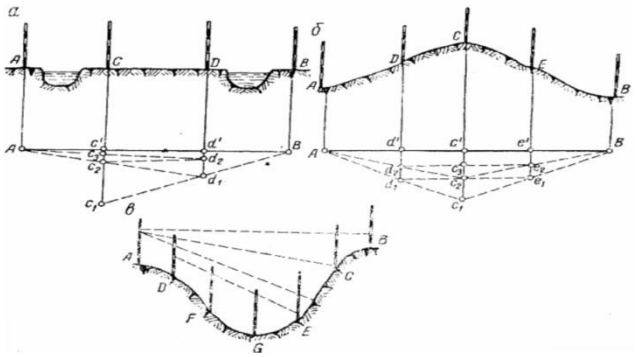


Рис. 6. Особливі випадки провішування

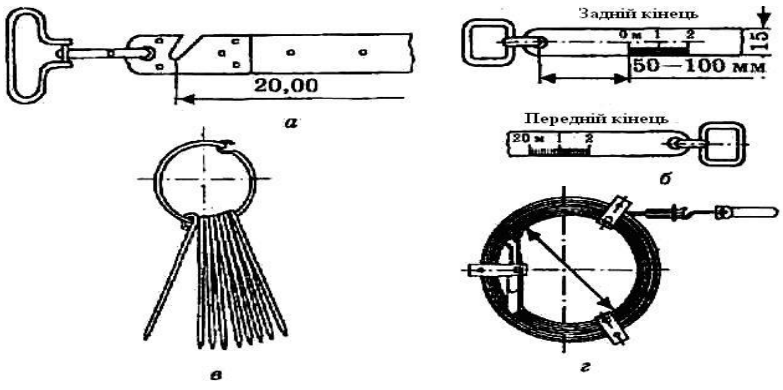
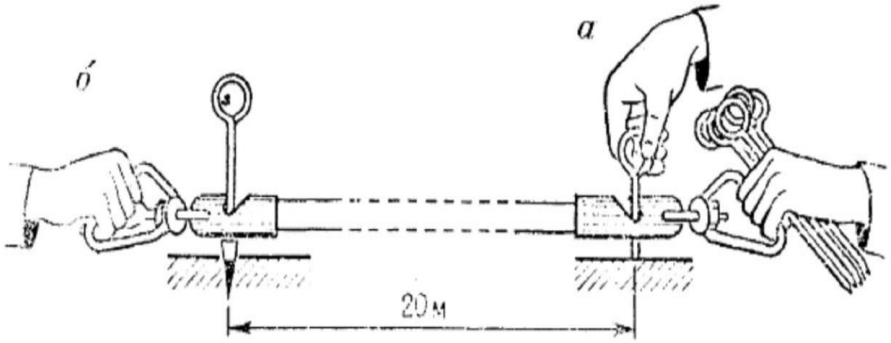


Рис.7а. Вимірювання ліній мірною стрічкою



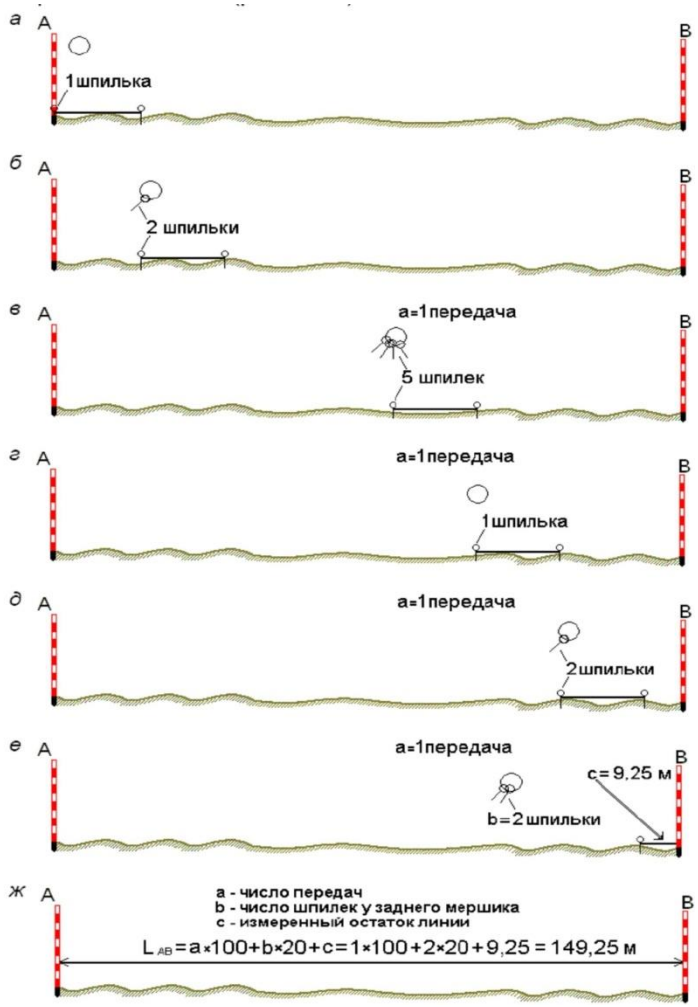


Рис.7б. Етапність вимірювання ліній мірною стрічкою

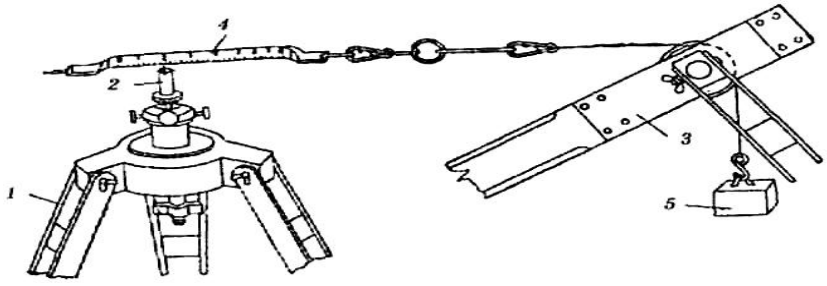


Рис. 8. Вимірювання довжини ліній за допомогою мірного дроту:
1 – штатив; 2 – целік; 3 – блок; 4 – шкали відліків; 5 – тягар

На місцевості вимірюють як горизонтальні, так і нахилені лінії. Під час складання карт, розпланування та зведення споруд треба знайти їх горизонтальні прокладання. Для цього за допомогою теодоліта чи екліметра вимірюють кут нахилу (рис. 9) лінії місцевості АВ. При використанні теодоліта з точки А візують на мітку віхи М так, щоб її висота від поверхні землі дорівнювала висоті встановленого теодоліта. Можна виміряти кут нахилу зворотного напрямку лінії .

Кут нахилу (рис. 9) можна виміряти за аналогічною методикою за допомогою екліметра.

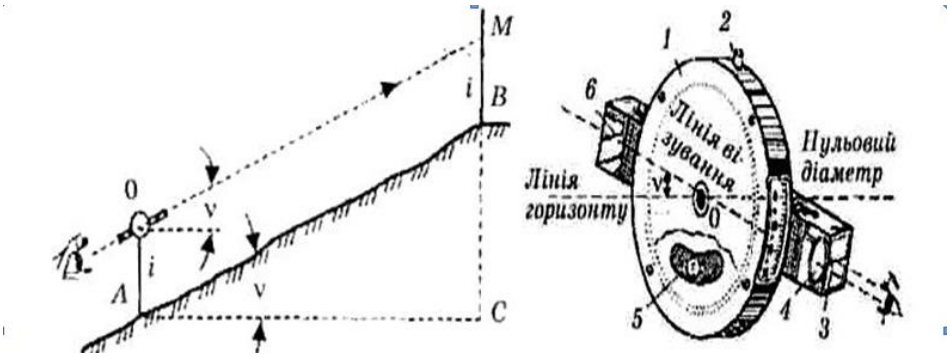


Рис. 9. Вимірювання кутів нахилу лінії за допомогою екліметра

Коли маємо лінію місцевості, яка розділена перешкодою (річкою, болотом, яром і т.д.), то використовують непрямий (посередній) спосіб вимірювань (рис.10). для цього біля точки А (чи В) на рівній поверхні місцевості розмічають і вимірюють базис b1. У трикутнику АВС теодолітом вимірюють кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3$

Довжину неприступної лінії d обчислюють за формулою: $$d = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_3}$$

Де b,d – горизонтальні прокладання базису та шуканої лінії АВ.

Для контролю так само визначають довжину лінії АВ з трикутника ABD за допомогою базису b2 та виміряних горизонтальних кутів $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

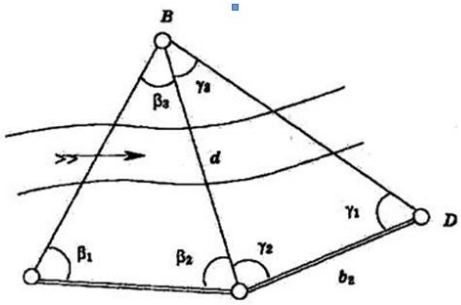


Рис. 10. Посередній спосіб визначення неприступної відстані

3. Вимірювання довжини ліній оптичними віддалемірами

Віддалеміри – це геодезичні прилади, призначені для непрямого визначення довжини лінії. Оптичні віддалеміри за конструкцією поділяють на ниткові й віддалеміри подвійного зображення. Віддалеміри подвійного зображення сьогодні практично не використовують. Ниткові віддалеміри застосовують частіше, конструктивно вони виконані у вигляді зорової труби теодоліта чи нівеліра, на сітку якої нанесені два віддалемірних штриха *p* і *q* (рис. 11). Для визначення відстані в точці А встановлюють теодоліт і візують на рейку, встановлену в точці *B*.

Промені від віддалемірних штрихів p і q проходять через об’єктив, фокус *F* і утворюють паралактичний кут *β*. На рейці відповідно отримуємо проекції променів у точках *P* і *Q*. За кількістю поділок між ними можна визначити довжину *l*.

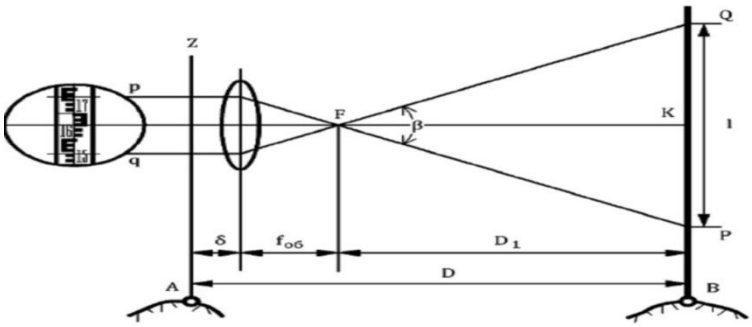


Рис.11. Принципова схема ниткового віддалеміра

Згідно з рисунком відстань *D* визначається за формулою

$$D = D_1 + f_{об} + \delta$$

Де $f_{об}$ – фокусна відстань об'єктива;

δ – стала відстань від осі обертання теодоліта *ZZ* до осі симетрії об'єктива.

Складові $f_{об}$ і δ конструктивно сталі, отже їх позначають як

$$c = f_{об} + \delta.$$

ВеличинуD_1визначаютьзаформулою

$$D_1 = \frac{1}{2} l \cdot ctg \frac{\beta}{2}.$$

Кут β сталий, тому позначимо

$$\frac{1}{2} ctg \frac{\beta}{2} = K.$$

Тоді

$$D = K \cdot l + c.$$

Для зручності відстань між штрихами сітки ниток обирають таку, щоб коефіцієнт *K* = 100. Таким чином, один сантиметр на рейці дорівнює 1 м довжини лінії на місцевості. Відносна точність визначення довжини лінії на місцевості становить 1:300.

Вимірювання довжини ліній радіофізичними засобами

Під радіофізичними засобами розуміють прилади для вимірювання довжин ліній за часом розповсюдження електромагнітних коливань між кінцевими точками лінії. Залежно від виду електромагнітних коливань радіофізичні засоби поділяють на світловіддалеміри і радіовіддалеміри.

Під час вимірювання довжини лінії в початковій точці встановлюють прийомопередавач, який випромінює електромагнітні хвилі, а в кінцевій точці – віддзеркалювач, який відбиває хвилі в зворотному напрямку. В такому випадку шукана відстань *D* визначається за формулою

$$D = \frac{1}{2} V \cdot t$$

Де *V*– швидкість поширення електромагнітних хвиль;

t– інтервал часу проходження електромагнітних хвиль.

Обробка сигналу виконується безпосередньо в світловіддалемірі, а результат вимірювання виводиться на табло.

При виконанні інженерно-будівельних робіт застосовують електронні тахеометри, які дозволяють вимірювати відстані до декількох кілометрів з точністю 1 – 10 мм.

Для вимірювання відстаней до 150 м з похибкою 2 – 3 мм на будівельних майданчиках і в приміщеннях використовують лазерні рулетки, які не потребують віддзеркалювача.

Перевагами радіофізичних засобів вимірювань є:

1. висока швидкість вимірювань;
2. висока точність;
3. можливість вимірювання великих відстаней без підготовки траси.

До недоліків можна віднести – високу вартість і відносно складну будову.

В інженерній геодезії використовують фазовий метод, що забезпечує значно вищу точність вимірювання.

Сучасні фазові світловіддалеміри використовують електромагнітне випромінювання оптичного діапазону – видиме світло чи інфрачервоне випромінювання.

Відповідно до ДСТ19223-90 світловіддалеміри мають буквені позначення:

– СГ – геодезичні, для вимірювання відстаней до 15- 20 км з точністю ± (10 мм + 2 мм на 1 км відстані);

– СТ– топографічні, для вимірювання відстаней до15 км з похибкою до 2 см;

– СТД– топографічні, що працюють за дифузним відбиттям і вимірюють відстані до предметів без відбивача, використовуючи відбивні властивості самих предметів;

– СП– підвищеної та найвищої точності для вимірювання відстані 0,3-5 км з похибкою 2 мм і менше.

Після цих букв додаються цифри, що вказують на дальність дії приладу. В Україні широко використовують світловіддалеміри СТ-5 “Блеск” (рис.12) з точністю вимірювання відстаней ± (10 мм + 5 мм/км); 2СТ-10 – з точністю вимірювання ліній ± (5 + 3Д) мм, де Д – відстань у км.

В інженерній геодезії використовують високоточні світловіддалеміри “Топаз СП-22”, СП-03 (ДК-001) з точністю вимірювань (1+Д км) мм і (0,8 + 1,5Д км) мм відповідно.

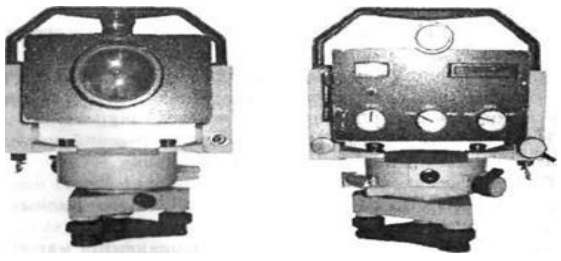


Рис.12. Світловіддалемір СТ-5“Блеск”

Принцип дії світловіддаленіра полягає в тому, що джерело світла передавачем подається на відбивач, встановлений у кінцевій точці лінії. Від відбивача світло повертається до приймального пристрою, вмонтованого в передавач. Отримані сигнали через підсилювач і демодулятор після обробки сигналу подаються на табло індикатора, де і висвічується результат вимірювання.

Виготовляють також світловіддалемірні насадки до електронних теодолітів. Наприклад, насадка Wild DISTOMAT (Швейцарія) (рис. 13 а), яка дає змогу вимірювати відстані від 1,5 м до 7000 м із точністю ± (3 мм + +2Д) мм, де Д – відстань у км).





Рис.13 а. Світловіддалемірна насадка на теодоліт Wild DISTOMAT

Рис.13 б. Лазерна рулетка

Для вимірювання відстаней до 50-150 м з похибкою 2-3 мм на будівельних майданчиках у приміщеннях споруд використовують лазерні рулетки (рис. 13, б), які не потребують відбивача. Ними досить зручно і високо ефективно виконувати виконавчі зйомки приміщень, вимірювати відстані між змонтованими елементами конструкцій тощо.

Довжини ліній ефективно вимірювати сучасними електронними тахеометрами. Вони забезпечують вимірювання відстаней від декількох до сотень метрів і декількох кілометрів з високою точністю. В інженерно-будівельній справі застосовують електронні тахеометри, які забезпечують точність лінійних вимірювань у межах1–10 мм.

4. Методи нівелювання

Нівелюванням називають вид геодезичних робіт, при яких вимірюють перевищення між точками земної поверхні або будівельних конструкцій.

Розрізняють такі види нівелювання:

- *геометричне* – виконується за допомогою нівеліра і базується на принципі горизонтального променя візування (рис. 14, а);
- *тригонометричне* – виконується за допомогою теодоліта і базується на принципі похилого променя візування (рис. 14, б);
- *гідростатичне* – базується на властивості поверхні рідини знаходитися на одному рівні в сполучених посудинах (рис. 14, в);
- *барометричне* – базується на залежності зміни атмосферного тиску від зміни висоти точки;
- *стереофотограметричне* – базується на вимірюванні перевищень за аерофотознімками земної поверхні.

У основу барометричного нівелювання покладена залежність атмосферного тиску від висоти над рівнем моря.

Ця залежність у строгому вигляді досить складна і враховує багато факторів фізичного стану атмосфери: атмосферний тиск, температуру і вологість повітря, широту місця спостереження. Вона носить назву повної формули барометричного нівелювання. На практиці застосовують простіший і зручніший для використання вираз:

$$h = 18423\,(1+\alpha\bar{t})(1+0.378\frac{\bar{e}}{\bar{p}})\lg\frac{p_1}{p_2},$$

де 1/273–температурний коефіцієнт об’ємного розширення повітря;

t – середня температура повітря;

e – середній парціальний тиск водяного пару, який знаходиться у повітрі;

p – середній атмосферний тиск;

p_1,p_2–величини атмосферного тиску на точках які спостерігаються.

Якщо знехтувати впливом вологості повітря, то барометрична формула буде мати простіший вигляд:

$$h = 16000 \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}(1 + \alpha\bar{t}) .$$

Ця формула носить назву *формули Бабіне,* за ім'ям французького вченого, який її вивів.

При виконанні геодезичних робіт найчастіше в агрономії застосовують геометричне, тригонометричне нівелювання.

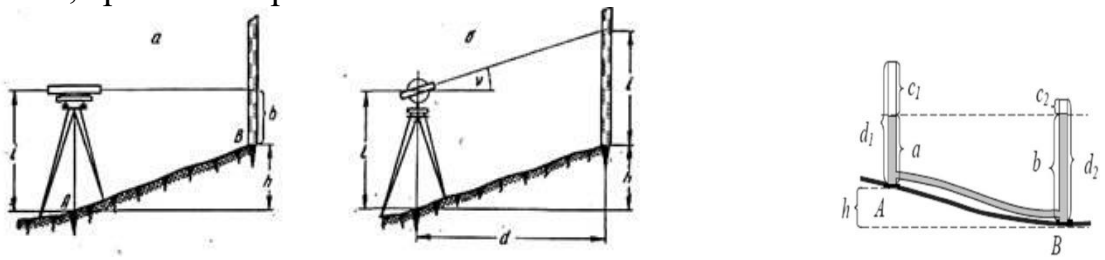
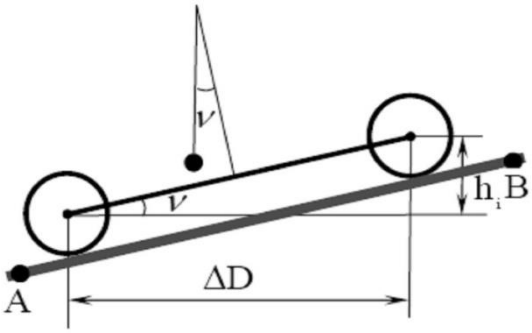


Рис.14.Методи нівелювання:

а – геометричний, б – тригонометричний; в – гідростатичне; г – механічне



Будова нівеліра і рейок

Нівелір – оптико-механічний прилад, призначений для вимірювання перевищень між точками геометричним методом (табл. 1).

За будовою розрізняють:

• нівеліри з циліндричним рівнем на зоровій трубі;

• нівеліри з компенсатором;

• електронні нівеліри.

За точністю нівеліри поділяють на:

• високоточні(Н-05,Н-1,Н-2);

• точні(Н-3);

• технічні(Н-10).

Буква Н означає нівелір, цифри – середню квадратичну похибку вимірювання перевищення на 1 км відстані, буква Л – нівелір з лімбом, К – з компенсатором, КЛ – з компенсатором і лімбом.

Нівелір будь-якої конструкції складається з трьох основних частин: зорової труби, з сіткою ниток для зняття відліків по рейці; пристрою, що забезпечує

горизонтальне положення лінії візування і підставки з пристроєм для приведення приладу в робоче положення.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики нівелірів

Показники	Нівеліри		
	Н-05, Н-5К	Н-3, Н3К	Н-10, Н-10К
1. Збільшення зорової труби	40*	30*	20*
2. Ціна поділки круглого рівня	5'	10'	10'
3. Ціна поділки циліндричного рівня	10"	15"	45"
4. Середня квадратична похибка отримання перевищення на 1 км. ходу	0,5 мм	3 мм	10 мм
5. Діапазон роботи компенсатора	±8'	±15'	±20'
6. Маса, кг	6	3	3

На рис. 15 показано точний нівелір Н-3 з циліндричним рівнем на зоровій трубі.



Рис.15. Нівелір Н-3

Нівелір Н-3 дає перевернуте зображення, відноситься до класу точних нівелірів і забезпечує збільшення зорової труби – 31.5х, найменшу відстань візування –1м, ціну поділки рівнів: круглого -10', контактного циліндричного – 15". Маса приладу у футлярі 1.8 кг. Прилад призначений для виконання нівелювання III і IV класів, а також для інженерно-геодезичних робіт при вишукуваннях в будівництві.

На рис. 16 зображений технічний нівелір Н-10КЛ з компенсатором і лімбом. Оптична система даного нівеліра після попереднього приведення за допомогою круглого рівня осі обертання у вертикальне положення автоматично встановлює візирну вісь зорової труби в горизонтальне положення. Лімб призначений для вимірювання горизонтальних кутів.

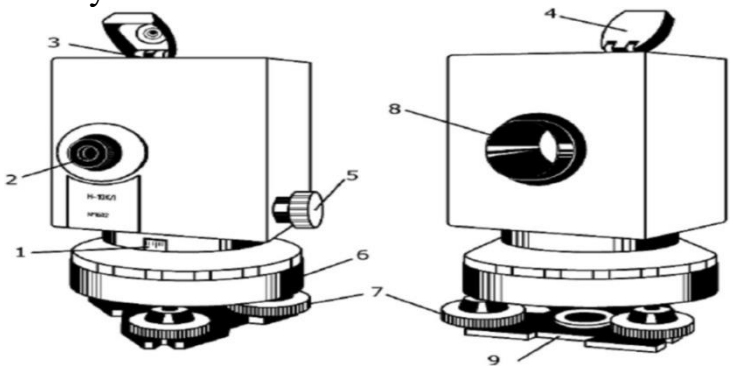


Рис.16а. Нівелір Н-10КЛ

1– лімб; 2 – окуляр; 3 – круглий рівень; 4 – кришка-дзеркало;
5 – гвинт механізму перефокусування; 6 – підставка; 7 – підйомні гвинти;
8 – об'єктив; 9 – пружиниста пластина;



Рис. 16 б. Точний нівелір Н- 3 з циліндричним рівнем при зоровій трубі:

1 - підйомні гвинти; 2 - круглий рівень; 3 - елеваційний гвинт; 4 - окуляр зорової труби з діоптрійним кільцем; 5 - візир; 6 - кремальєра; 7 - об'єктив зорової труби; 8 - закріпний гвинт; 9 – навідний гвинт; 10 - контактний циліндричний рівень; 11 - юстировочні гвинти циліндричного рівня.



Рис.16 в. Точний нівелір ЗН3КЛ з компенсатором і лімбом:

1 - лімб; 2 - навідний гвинт; 3 - кремальєра; 4 – візир



Рис.16 г. Технічний нівелір 2Н–10КЛ.

Нівелір прикріплюють до штатива за допомогою станового гвинта і пружної пластини (рис. 17). Вісь обертання нівеліра у вертикальне положення встановлюють за круглим рівнем з допомогою підйомних гвинтів, гвинтова нарізка яких входить в гнізда підставки (тригера). Для наближеного наведення труби на рейку використовують мушку над об’єктивом зорової труби нівеліра, для точного – навідний гвинт, який працює, коли труба зафіксована закріплювальним гвинтом. Гвинт кремальєри призначений для фокусування труби, а різкість зображення сітки ниток досягається обертанням діоптрійного кільця окуляра. Перед кожним відліком по рейці візирну вісь нівеліра встановлюють в горизонтальне положення елеваційним гвинтом. Зображення половинок кінців бульбашки контактного циліндричного рівня через систему призм передаються в поле зору труби. Якщо центр бульбашки рівня сумістити з нуль-пунктом ампули, то виникне оптичний контакт – зображення половинок кінців бульбашки рівня будуть рівними за довжиною і утворять у верхній частині суцільну дугу. При нахилі осі рівня контакт порушується.

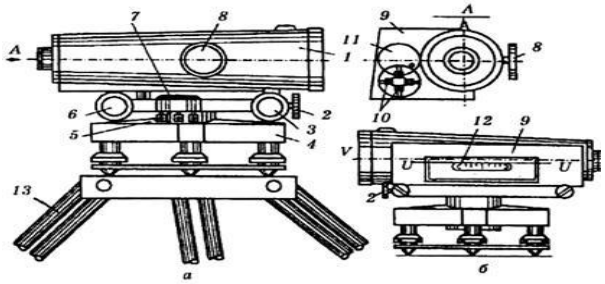


Рис. 17. Нівелір Н-3:

а – загальний вигляд; б – вигляд з боку камери циліндричного рівня;
1 – зорова труба; 2 – закріпний гвинт труби; 3 – навідний гвинт труби;
4 – підставка нівеліра з підйомними гвинтами; 5 – виправні гвинти круглого рівня; 6 – еліваційний гвинт труби; 7 – круглий рівень; 8 – гвинт фокусування (кремальєрний) труби; 9 – камера циліндричного рівня; 10 – виправні гвинти циліндричного рівня; 11 – заслінка циліндричного рівня; 12 – циліндричний рівень; 13 – штатив.

Нівелір 4Н3КЛ з компенсатором і лімбом (рис. 18) має оптичну систему, яка після попереднього приведення осі обертання нівеліра у вертикальне положення за допомогою круглого рівня автоматично встановлює зорову вісь труби в горизонтальне положення. Лімб призначений для вимірювання горизонтальних кутів і напрямків.



Рис.18. Нівелір 4Н3КЛ

Цифровий електронний нівелір – це економічно ефективна вимірювальна система збору та обробки даних у цифровому вигляді, що забезпечує ефективне виконання робіт завдяки використанню сучасних технологій (рис. 19).



Рис.19. Цифровий електронний нівелір LS150 M

Універсальний лазерний нівелір широкого застосування – дозволяє будувати горизонтальну або вертикальну площини з автоматичним вирівнюванням, а також будувати вручну похилу площину з відхиленням до 5 ° від горизонталі (вертикалі), нівелір має видимий лазерний промінь для завдання напряму при розбитті, різні функції сканування, дистанційне керування і приймач.

Для встановлення нівеліра на зручну для спостерігача висоту використовують нівелірний штатив. Нівелір кріпиться до штатива за допомогою станового гвинта. Для вимірювання перевищень використовують рейки. Нівелірні рейки можуть виготовлятись з дерев'яних брусків або з алюмінію, можуть бути суцільними або складаними.

Для точного нівелювання, а також при виконанні всіх видів геодезичних і розміточних робіт у будівництві застосовують рейку РН-3 (рис. 7).

Нівелірні рейки виготовляють із витриманих, спеціально оброблених ялинових або соснових брусків, пластмасу, металу або інших матеріалів, які відповідають вимогам до рейок (рис. 20). Поділки на рейках нанесені у вигляді сантиметрових

шашечок, які оцифровані через сантиметр. Рейки, як правило, трьохметрові, двосторонні: основна шкала – чорна, додаткова – червона.

Рейка РН-3–дерев'яна, довжиною 3метри. Для контролю відліків поділки на рейці нанесені з обох боків. Поділки на шашечці з інтервалом 1 см. З одного боку чергуються чорні та білі поділки (основна шкала), з іншого – червоні та білі (допоміжна шкала). На основній шкалі відлік поділок починається з нуля, на допоміжній – з довільного числа.

На рис. 20 наведено поле зору нівеліра Н-10КЛ в момент взяття відліку.

Вертикальний штрих сітки ниток наводять на центр рейки і беруть відлік за горизонтальним штрихом. Спочатку беруть кількість підписаних дециметрів (16), потім повних сантиметрових поділок (5) і на око оцінюють десяті частки сантиметрової поділки (4). Повний відлік складає 1600+50+4=1654мм.

При нівелюванні рейки встановлюють на кілки, металічні костилі або башмаки. Нівелірні башмаки являють собою металічні злитки (рис. 21) у вигляді пластинок зі сферичними головками посередині. Під час нівелювання, попередньо знявши дерн, башмаки кладуть на ґрунт і встановлюють на них рейки п'яткою донизу.

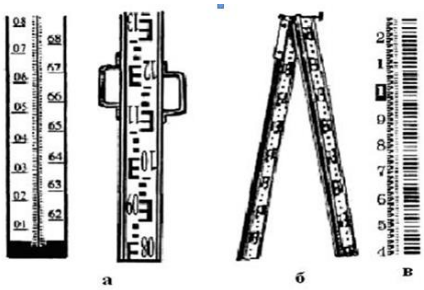
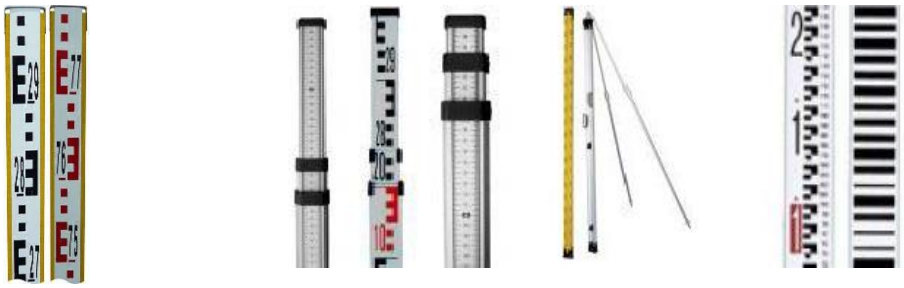


Рис.20. Нівелірні рейки:
а – фрагменти суцільних рейок; б – складна рейка; в – кодова рейка



а б в г

а, б – нівелірні рейки для оптичних нівелірів; в – нівелірні рейки для оптичних нівелірів; г – нівелірні рейки для цифрових/електронних нівелірів

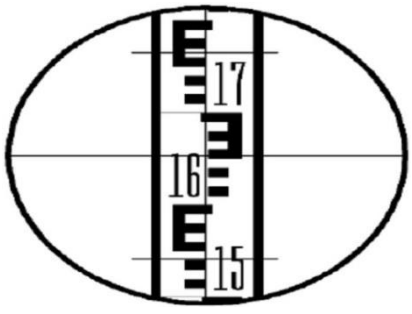


Рис.21. Поле зору нівеліра Н-10КЛ
Відлік по рейці дорівнює 1654 мм

Костиль – металевий стержень зі сферичним виступом зверху та загостреним кінцем.

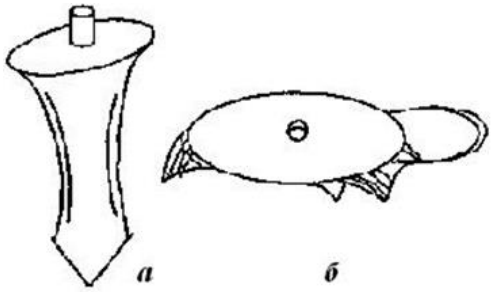


Рис.22. а – нівелірний костиль; б – башмак

5. Способи вимірювання перевищень методом геометричного нівелювання

Розрізняють два способи геометричного нівелювання:

- із середини;
- вперед.

Нівелювання із середини. Між закріпленими точками місцевості *A* і *B* встановлюють нівелір (місце установки нівеліра називають станцією). В точках *A* і *B* вертикально встановлюють рейки. Нівелір приводять в робоче положення.

Візують на задню рейку і беруть відлік U_A (рис.23).

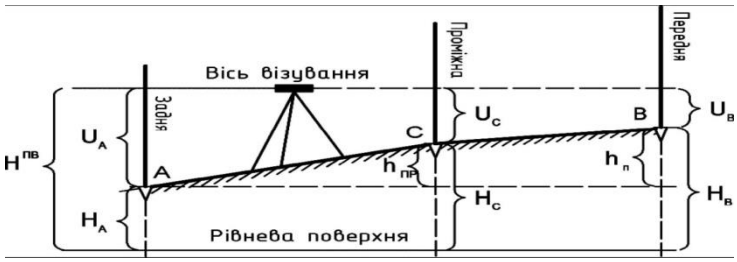


Рис.23. Схема геометричного нівелювання із середини

Повертають зорову трубу на точку точками h_{AB} обчислюють за формулою

$$h_{AB} = U_A - U_B.$$

Якщо відома відмітка H_A точки *A*, то відмітка точки *B* буде дорівнювати

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

Тобто відмітка наступної точки дорівнює відмітці попередньої точки плюс перевищення. Відмітку наступної точки можна також обчислити через висоту променя візування.

Відповідно до рисунка, висота променя візування $H^{ПВ}$ буде дорівнювати

$$H^{ПВ} = H_A + U_A$$

Тоді

$$H_C = H^{ПВ} - U_C$$

Тобто відмітка точки дорівнює висоті променя візування мінус відлік по рейці, встановленій на цій точці.

Нівелювання вперед. При нівелюванні вперед в точці *A* встановлюють нівелір, а в точці *B* – рейку (рис. 24).

Приводять нівелір в робоче положення і вимірюють його висоту *i*.
Беруть відлік U_B по рейці, встановленій в точці *B*.



Рис.24. Схема геометричного нівелювання вперед

Шукане перевищення h_{AB} обчислюють за формулою

$$h_{AB} = i - U_B.$$

Послідовне нівелювання

Послідовне нівелювання виконують з метою передачі відміток на значні відстані, а також для побудови профілю місцевості.

Лінію *AB* (рис. 25) розбивають на частини, кожна з яких нівелюється з однієї станції. Встановивши нівелір на першій станції, отримують перевищення точки *A* відносно точки *1*:

$$h_1 = U_A - U_1$$

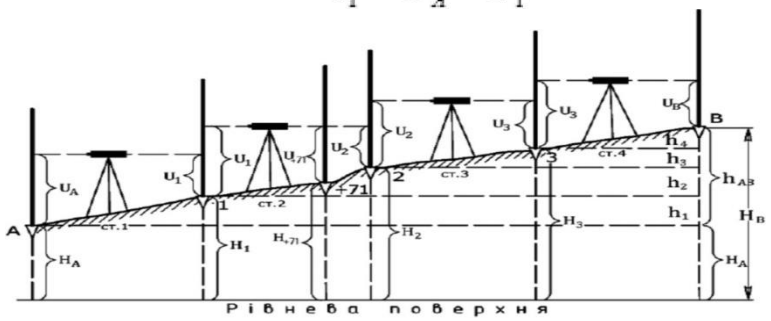


Рис.25. Схема послідовного нівелювання

Далі послідовно переставляють нівелір і рейки, аналогічно знаходять перевищення h_2, h_3, h_4 між точками *1* і *2*, *2* і *3*, *3* і *B*. Таким чином прокладають нівелірний хід. Перевищення кінцевої точки над початковою h_{AB} дорівнює сумі перевищень, отриманих з усіх станцій:

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = \sum h$$

Відмітка H_B кінцевої точки буде дорівнювати відмітці початкової точки плюс сума усіх перевищень:

$$H_B = H_A + \sum h.$$

Якщо нівелювання виконують з метою побудови профілю місцевості, то визначають висоти всіх задніх і передніх точок (*1*, *2*, …):

$$H_1 = H_A + h_1, \quad H_2 = H_1 + h_2$$

Через точки *1*, *2*, … виконують послідовну передачу відміток нівелірним ходом. Ці точки називають сполучними. Сполучні точки позначають на місцевості через певні інтервали (частіше через 100 м), тому вони можуть не співпадати з точками перегину рельєфу. Проте для побудови профілю місцевості важливо знати відмітки цих точок. Ці точки називають проміжними або плюсовими і позначають числом метрів, яке відповідає відстані від задньої точки (на рис.12 це точка *+71* на станції *2*).

Відмітки проміжних точок обчислюють через висоту променя візування.

Відліки по рейкам, встановленим на проміжних точках, в обрахунку відміток сполучних точок не приймають участі.

6. Порядок роботи на станції геометричного нівелювання

Вимірювання перевищень при технічному нівелюванні виконують у такій послідовності:

1. Нівелір встановлюють посередині між точками *A* і *B* (рис. 12) і приводять його в робоче положення.

2. В журналі технічного нівелювання (рис. 13) фіксують номер станції (*1*), задньої (*A*), передньої (*B*) і проміжної (*C*) точок.

3. Візують на задню рейку, встановлену в точці *A*, і беруть відлік за чорною шкалою (2190). Результат заносять до колонки №3.

4. Візують на передню рейку, встановлену в точці *B*, і так само беруть відлік за чорною шкалою (0550). Результат записують у колонку №4.

5. Перевертають передню рейку червоним боком і беруть відлік за шкалою (5202).

6. Візують на задню рейку, встановлену в точці *A*, і беруть відлік за червоною шкалою (6840).

7. Візують на проміжну точку (*C*) і беруть відлік тільки за чорною шкалою (1166). Результат записують в колонку №5 журналу технічного Нівелювання (рис. 26).

Дата: 15.08.1990 г. Погода: сонячна Спостерігач: Цой В.Р.

№ станції	№ точки	Відлік за шкалою, мм			Перевищення, мм		Висота променя візування-ня $H^{ПВ}$, мм	Відмітка точки *H*, мм
		задній	передній	проміжний	виміряне	середнє		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A	2190					102.190	100.000
		6840			1640	1639		
	B		0550		1638			101.639
			5202					
	C			1166				101.024

Рис.26 Журнал технічного нівелювання

Висотні ходи зйомочної основи

Висотні ходи зйомочної основи проектують за точками теодолітного ходу з прив'язкою кінцевих точок до марок і реперів державної геодезичної мережі або мережі згущення (рис. 27). Вимірювання перевищень між точками виконують методом геометричного або тригонометричного нівелювання.

1. Обчислюють суму виміряних перевищень

$$\sum h_{вим} = h_1 + h_2 + \ldots + h_n$$

2. Обчислюють теоретичну суму перевищень за формулою

$$\sum h_m = H_{Rp_K} - H_{Rp_H}$$

де H_{RpK}, H_{RpH} – відмітки кінцевого і початкового реперів.

Для замкненого ходу

$$\sum h_m = 0.$$

3. Обчислюють нев'язку в перевищеннях за формулою

$$f_h = \sum h_{вим} - \sum h_m$$

Для замкненого ходу

$$f_h = \sum h.$$

Гранично допустиму нев'язку для технічного нівелювання обчислюють за формулою

$$f_{h\partial on} = \pm 50\sqrt{L}$$

де L– довжина нівелірного ходу в кілометрах.

Якщо $fh \le f\,h\partial on$, то математичну обробку продовжують. В протилежному випадку виконують повторне вимірювання перевищень *hi*.

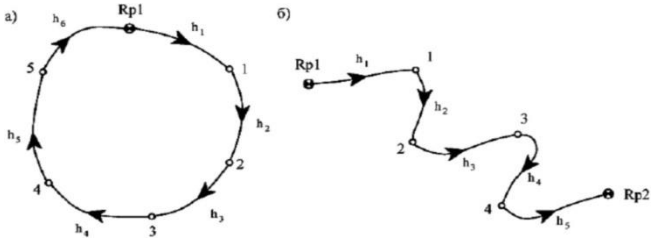


Рис.27. Нівелірний хід

а – замкнений; б - розімкнений

Камеральна обробка результатів геометричного нівелювання.

4. Обчислюють поправки до виміряних перевищень за формулою

$$v_h = -\frac{f_h}{n}$$

5. Обчислюють виправлені перевищення за формулою

$$h_{вип} = h_{вим} + v_h$$

6. Обчислюють відмітки точок за формулою

$$H_{i+1} = H_i + h_i$$

На рис. 28. наведено приклад математичної обробки замкненого нівелірного ходу.

№ станції	№ точки	Відлік за рейкою, мм		Перевищення, мм		Поправка v_h, мм	Виправлене перевищення, мм	Відмітка точки H, мм
		задньою	передньою	виміряне	середнє			
1	1	2190						100.000
		5202		1640	1639	-2	1637	
	2		0550	1638				101.637
			6840					
2	2	2045						101.637
		5098		0295	0296	-2	294	
	3		1750	0296				101.931
			5394					
3	3	1980						101.931
		4802		-0583	-0584	-2	-0586	
	4		2563	-0585				101.345
			5387					
4	4	1455						101.345
		4335		-1345	-1344	-1	-1345	
	1		2800	-1343				100.000
			5678					
	L=	348 м	f_h= 7	$\sum h_{вим}$=	7 мм			
			$f_{доп}$= 29	$\sum h_m$=	0			

Рис.28. Журнал технічного нівелювання

Контрольні питання для самоперевірки

1. Що таке вимірювання?
2. Що називають фізичною величиною?
3. На які види поділяють вимірювання за методикою?
4. Що називають комплексом умов при вимірюваннях?
5. Що таке кількісна і якісна характеристика результатів вимірювань?
6. Що прийнято в геодезії за одиницю вимірювання довжини, кутів, температури та тиску?
7. За допомогою яких приладів можна виміряти довжину лінії?
8. Що називають оптичним далекоміром? Методика вимірювань.
9. Що називають нівелюванням?
10. Які способи нівелювання ви знаєте?
11. Геометричне нівелювання.
12. Нівелювання способом ” Із середини ”.
13. Нівелювання способом “ Уперед ”.
14. Горизонт приладу.
15. Види нівелювання за точністю.
16. Типи нівелірів.
17. Конструктивні особливості виготовлення нівелірів.
18. Що називають візирною віссю нівеліра?
19. Збільшення зорової труби.
20. Межі фокусування зорової труби нівеліра.
21. Нівелірні рейки.