Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Інженерна геодезія

Конспект лекцій
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Архітектура та містобудування»
галузі знань 19 Архітектура та будівництво
спеціальності 191 Архітектура та містобудування
денної форми навчання

Луцьк 2023

УДК 528.4 (07)
І-62

До друку
Голова вченої ради
факультету архітектури, будівництва та дизайну_____ О. АНДРІЙЧУК

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозиторій ЛНТУ
Директор бібліотеки _ _____ С. БАКУМЕНКО

Затверджено вченою радою факультету архітектури, будівництва та дизайну ЛНТУ, протокол № ___ від «___»_____2023 р.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ, протокол № ___ від «___»_____2023 р.

Завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії _____ О. УЖЕГОВА

Укладач: _____ О. ВЕРЕШКО, старший викладач кафедри будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ

Рецензент: _____ О.ШИМЧУК, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ

Відповідальна за випуск: _____ О. УЖЕГОВА, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ

І-62 **Інженерна геодезія [Текст] :** Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Архітектура та містобудування» галузі знань 19 Архітектура та будівництво спеціальності 191 Архітектура та містобудування денної форми навчання / уклад. О.В. Верешко. – Луцьк : ЛНТУ, 2023. – 112 с.

Призначене для студентів спеціальності 191 " Архітектура та містобудування " денної та заочної форм навчання

© О.В. Верешко, 2023

1. ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДЕЗІЇ.

Предмет, задачі курсу інженерної геодезії

В перекладі з грецької геодезія – землерозподіл.

Геодезія – *наука, що вивчає фігуру і розміри Землі, її внутрішнє гравітаційне поле, розміщення об'єктів земної поверхні, форми її рельєфу. Це наука, що займається вимірюваннями в натурі, необхідними для вирішення різноманітних виробничо-технічних задач народного господарства і оборони країни.*

Геодезія поділяється на такі галузі: геодезія, вища геодезія, аерофотогеодезія, інженерна геодезія.

Інженерна геодезія – наукова дисципліна, яка вивчає і розробляє теорію, методи і прилади для проведення вимірювань на поверхні землі з метою вишукувань, вимірювання деформацій інженерних споруд, проектування і будівництва інженерних споруд (доріг), аеродромів, мостів, тунелів, трубопроводів, каналів тощо.

Термін «інженерна» в назві дисципліни вказує на те, що ця гілка геодезії є невід'ємною частиною комплексу робіт, пов'язаних із вишукуванням, проектуванням, будівництвом, реконструкцією, експлуатацією інженерних споруд.

В інженерній геодезії використовуються методи вимірювань і математичної обробки результатів , а також прилади, що застосовуються в геодезії для створення державної геодезичної основи і картографування країни. Однак при вирішенні особливих задач в будівельно-монтажних роботах, при спостереженнях за деформаціями, вивірці споруд застосовуються спеціальні високоточні методи. До них відносяться створні, струнно-оптичні і оптичні, мікронівелювання, вертикальне проектування і ін.

Основними видами інженерно-геодезичних робіт є:

- топографо-геодезичні вишукування;
- інженерно-геодезичне проектування;
- геодезичні розбивочні роботи і виконавчі зйомки;
- вивірка конструкцій і агрегатів;
- спостереження за деформаціями основ і споруд.

Кожен з цих видів робіт пов'язаний з певними етапами інженерно-будівельного процесу і відрізняється від інших задачами, що вирішуються і точністю вимірів.

Топографо-геодезичні вишукування – вирішують наступні задачі:

1) отримання геодезичних матеріалів, необхідних для створення проекту робіт будівництва споруд, шляхом виконання геодезичних вимірів і обчислювально-графічних робіт;
2) трасування лінійних споруд;
3) геодезичну прив'язку геологічних виробіток, гідрологічних створів, точок геофізичної розвідки і ін.

Топографо-геодезичні вишукування є основою для проектування споруд і проведення інших видів вишукувань і досліджень.

Інженерно-геодезичне проектування входить в комплекс проектування споруд і включає:

1) складання для проектування споруд топографічної основи в необхідних масштабах: планів, профілів, топографічних карт;
2) визначення на місцевості положення основних осей і меж споруд, інших характерних для них точок у відповідності до проекту будівництва;
3) вирішення задач горизонтального і вертикального планування, підрахування площ затоплення і об'єму водосховищ і ін.;

Розбивка споруд є основним видом геодезичних робіт при перенесенні проекту в натуру. Вимагає високої точності геодезичної основи ідетельних геодезичних вимірів. До складу розбивочних робіт входить:

1) побудова розбивочної основи у вигляді будівельної сітки, тріангуляції, трилатерації, полігонометрії;
2) винесення в натуру головних осей, детальна розбивка споруд;
3) визначення відхилень об'єкта , що будується від його проекту (виконавчі зйомки).

Встановлення в проектне положення конструкцій і агрегатів і їх вивірка в плані, по висоті і по вертикалі, що здійснюється спеціально розробленими методами і приладами.

Спостереження за деформаціями споруд виконується високоточними геодезичними методами і включає:

1) вимірювання осадки основ і фундаментів;
2) визначення планових зміщень споруд;
3) встановлення кренів (нахилів) висотних будівель, башт, труб.

Основними науково-технічними задачами інженерної геодезії є:

– створення загальної теорії топографо-геодезичних вишукувань і перенесення проектів в натуру, що ґрунтується на найновіших досягненнях в галузі науки і техніки стосовно високих вимог проектно-вишукувальних і будівельно-монтажних робіт;
– розробка науково обґрунтованих схем і програм побудови геодезичної розбивочної основи для основних типів інженерних споруд;
– узагальнення вітчизняного і закордонного досвіду геодезичних робіт, набутого при побудові найважливіших інженерних споруд.

Зв'язок курсу інженерної геодезії з іншими дисциплінами.

Методи вирішення наукових і практичних задач геодезії ґрунтуються на законах математики і фізики. За допомогою *математики* розробляються науково обґрунтовані схеми постановки і виконання геодезичних вимірів, встановлюється залежність між результатами вимірів і величинами, що досліджуються (наприклад, значеннями відстаней, кутів і координатами точок земної поверхні).

Знання з *фізики*, особливо розділів оптики, електроніки, радіотехніки, необхідні для створення геодезичних приладів і правильної їх експлуатації. На основі законів механіки вирішується задача вивчення форми Землі і її гравітаційного поля.

Геодезія зв'язана з астрономією, геологією, геофізикою, геоморфологією і ін. науками. Відомості з *астрономії* необхідні для розробки і застосування астрономічних способів визначення координат точок земної поверхні; навпаки, діаметр Землі, що визначається геодезією, використовується астрономією в як одиниця довжини при визначення відстаней між планетами Сонячної системи. *Геоморфологія* – наука про походження і розвиток рельєфу земної поверхні необхідна геодезії для правильного зображення форм рельєфу на планах і картах. Відповідно, можна легко побачити зворотний зв'язок між геоморфологією і геодезією.

Існує нерозривний зв'язок між геодезією і картографією, фотограмметрією гідрографією, військовою справою.

Значення інженерної геодезії в господарстві

Інженерну геодезію використовують під час розв'язання багатьох важливих завдань народного господарства, науки, промисловості. Будівництво будь-якого об'єкта розпочинається з розмічування робіт на місцевості й виконується під постійним контролем інженерно-геодезичної служби. До початку будівництва геодезисти здійснюють знімання ділянки місцевості, щоб мати топографічні плани, профілі, систему опорних точок та інші вихідні дані для проектування.

Одним із напрямків сучасних наукових досліджень є вивчення внутрішньої будови Землі і процесів, що відбуваються на її поверхні і в надрах. Геодезичні методи дозволяють фіксувати кількісні характеристики таких явищ, як горизонтальні так і вертикальні тектонічні рухи земної кори, переміщення берегових ліній океанів та морів, визначення ухилів і різниць рівнів морів і ін..

Геодезичні вимірювання забезпечують дотримання геометричних форм і елементів проекту споруди як у відношенні її розташування на місцевості, так і у відношенні її внутрішньої і зовнішньої конфігурації. Навіть після закінчення будівництва виконуються спеціальні геодезичні вимірювання, які мають за мету перевірку стійкості споруди і виявлення можливих деформацій в часі під дією різних сил і причин.

Сучасне будівництво неможливе без широкого використання геодезичних методів розмічування інженерних споруд на місцевості, що забезпечують високу точність і виключають грубі похибки; методів оперативного контролю будівельних робіт і геодезичного керування роботою будівельних машин і механізмів. Із цією метою при будівництві інженерних об'єктів широко застосовують лазерну техніку.

Виняткове значення має інженерна геодезія для оборони країни. Будівництво оборонних споруд, стрільба по невидимих цілях, використання військової ракетної техніки, планування військових операцій і ін. вимагають геодезичних даних, карт, планів.

У процесі будівництва об'єктів інженерам-геодезистам і будівельникам доводиться вирішувати ряд задач, щоб забезпечити реалізацію проекту на місцевості з потрібною точністю.

Наприклад:

1) в 1986р. побудований транспортний тунель Сейкан під протокою Цугару на півночі Японії між островами Хонсю й Хоккайдо. Загальна довжина тунелю – 53,8км, з них під протокою – 23,3км. Для здійснення проекту фахівці виконали комплекс високоточних інженерно-геодезичних робіт, які забезпечили прокладку тунелю по обидва боки під дном протоки;

2) Сімплонський тунель в Альпах між Швейцарією й Італією довжиною 20 км. Його також прокладали по обидва боки. Геодезисти повинні були визначити координати початкової й кінцевої точок тунелю у Швейцарії й Італії в єдиній системі координат з високою точністю;

3) на Байкало-Амурській магістралі в Росії побудовано кілька тунелів, кожний з яких рівняється Сімплонському;

4) в 1994р. побудовано три 50-км паралельних тунелі: два – для руху поїздів, один – для технічних цілей під протокою Ла-Манш між Францією й Великобританією.

Глибина проходження тунелів – 100м нижче рівня моря й 40 м нижче дна протоки. Залізничні тунелі під протокою Ла-Манш – це видатне інженерне спорудження 20-ого сторіччя.

5) в 1981р. у Вірменії побудовано найбільш довгий у світі гідравлічний тунель «ріка Арна – озеро Севан» довжиною 48 км, зі значним перепадом висот. Це також приклад складного інженерного спорудження, що будували 18 років під систематичним геодезичним контролем.

6) Готтардський базисний тунель (нім. Gotthard-Basistunnel) – залізничний тунель у Швейцарії. Відкрито 1 червня 2016. 15 жовтня 2010 року було завершено буріння тунелю і він став найдовшим у світі (57 км, а включно зі службовими та пішохідними ходами — 153,4 км).

Сучасні автомобільні магістралі є досить складними інженерними спорудами. Щоб збудувати дорогу, потрібно виконати великий комплекс інженерно-геодезичних робіт, починаючи з вишукувань і розмічування траси дороги і закінчуючи зведенням інженерних споруд, пов’язаних з її експлуатацією (мостів, шляхопроводів, автовокзалів, кемпінгів, тунелів тощо). У процесі будівництва дороги здійснюється постійний геодезичний контроль усіх операцій дорожньо-будівельних робіт. Особливо велике значення мають геодезичні роботи, які забезпечують на натурі проектні розміри

головних геометричних параметрів дороги в плані, поздовжньому і поперечному профілях, оскільки геометрія дороги визначає її основні транспортно-експлуатаційні характеристики.

Високоточні інженерно-геодезичні роботи виконуються під час будівництва висотних будинків, телебашт, метрополітенів, спостереження за деформаціями інженерних споруд під дією різних зовнішніх і внутрішніх сил і факторів, при вирішенні інших будівельних, виробничих і дослідних завдань.

2. ФІЗИЧНА ФІГУРА ТА ПОВЕРХНЯ ЗЕМЛІ

Поверхня Землі, яку прийнято називати фізичною, або топографічною, є поєднанням поверхні океанів і материків із складними геометричними формами. Океани займають майже три чверті площі планети, а нерівності суші незначні порівняно з її площею, тому форма Землі визначається поверхнею Світового океану. Це підтверджують і зйомки Землі з космічних літальних апаратів.

Поверхня океану в стані повного спокою і рівноваги є ***рівневою поверхнею****, тобто поверхнею, на якій потенціал сили тяжіння Землі має однакове значення.* Напрямки прямовисних ліній (ліній, які збігаються з напрямком дії сили тяжіння) перпендикулярні до рівневої поверхні в будь-якій її точці. Форма Землі, утворена рівневою поверхнею, збігається з поверхнею Світового океану в стані цілковитого спокою і рівноваги й продовжена під материками, називається **геоїдом.**

Рівнева поверхня може бути проведена через будь-яку точку фізичної поверхні Землі, а також над або під поверхнею (рис. 2.1). Поверхня, що визначає форму планети й збігається з поверхнею Світового океану, називається основною.

Поверхня геоїда не є правильною фігурою в геометричному відношенні,



Рис. 2.1. Рівневі поверхні.

оскільки внутрішня будова Землі неоднорідна і напрямки її сил тяжіння не збігаються з напрямками, які вони мали б у разі однорідної будови планети. Внаслідок цього рівнева поверхня, залишаючись у кожній точці перпендикулярною до прямовисних ліній, набуває складної і неправильної форми. Найближчою до геоїда математично визначеною геометричною фігурою, що характеризує форму і розміри Землі, є земний еліпсоїд (рис. 2.2), мала вісь якого збігається з полярною віссю Землі PP' (еліпсоїдом називається фігура, утворена обертанням еліпса довкола малої осі).

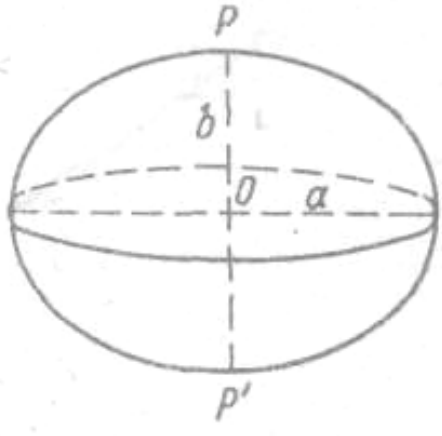


Рис. 2.2. Земний еліпсоїд та його елементи.

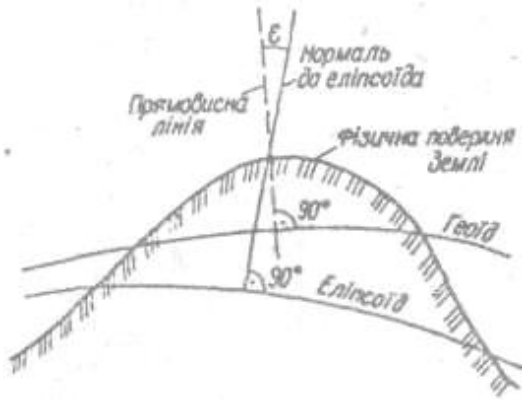


Рис. 2.3. Відхилення прямовисної лінії.

Напрямки прямовисної лінії і нормалі (лінії, перпендикулярної до поверхні еліпсоїда) в точках земної поверхні не збігаються (рис. 2.3) і утворюють **кут**

відхилення прямовисної лінії ε. В середньому його значення становить 3 – 4", а в місцях аномалій досягає десятків секунд.

Розміри земного еліпсоїда характеризуються довжинами півосей *a*, і *b* та величиною відносного стиску $\alpha = \frac{|a-b|}{a}$. Для визначення *a*, *b* і α на поверхні Землі вимірюють геодезичними методами довжину дуги меридіана. Ці роботи називають *градусними вимірюваннями*. За даними градусних вимірювань вчені Деламбр (1800), Бессель (1841), Хейфорд (1909) та ін. розрахували розміри земних еліпсоїдів. Параметри еліпсоїда, обчислені вченими ЦНДІГАіК під керівництвом Ф. Н. Красовського (1940), такі: *a*=6378245м, *b*=6356863м, α =1:298,3. В 1942 р. ці розміри затверджені як обов'язкові для проведення геодезичних робіт в СРСР.

Земний еліпсоїд, прийнятий для обробки геодезичних вимірювань і встановлення системи геодезичних координат, називають ***референц-еліпсоїдом***. В Україні таким референц-еліпсоїдом є еліпсоїд Ф. Н. Красовського. Відхилення його поверхні від геоїда не перевищує 100 – 150 м, що підтверджує доцільність прийняття еліпсоїда як фігури, найбільш близької до геоїда.

Використання державами планети різних референц-еліпсоїдів призводить до відмінностей координат одних і тих самих пунктів, визначених відносно різних вихідних поверхонь.

При вирішенні багатьох практичних завдань досить прийняти форму Землі за кулю, площа поверхні якої дорівнює площі еліпсоїда, а радіус – 6371,1 км (6400 км після округлення).

Поняття про методи визначення форми та розмірів Землі.

Астрономо-геодезичний метод. Визначення форми та розмірів Землі будується на використанні градусних вимірів, які зводяться до визначення лінійної довжини одного градуса дуги меридіана та паралелі на різних широтах. Щоб це зробити, потрібно мати дані про положення певних точок на земній поверхні (їх одержують з астрономічних спостережень) та знати відстань між ними (її визначають за допомогою геодезичних вимірювань). Однак лінійні

вимірювання земної поверхні здійснити досить важко, тому що її нерівності знижують точність робіт. Вихід було знайдено голландським вченим В.Снелліусом (1580 – 1628), який запропонував використовувати для цього *метод тріангуляції*. Цей метод передбачає обчислення значних відстаней на основі кутових та обмежених лінійних вимірів на місцевості. Наслідком впровадження тріангуляції було те, що довжина меридіанів і паралелей стала визначатися значно точніше, ніж це робилося до того.

Тріангуляційні роботи для визначення дуг меридіанів та паралелей проводилися вченими багатьох країн. Ще в XVIII ст. було встановлено, що один градус дуги меридіана біля полюса довший, ніж біля екватора. Цим підтверджувалася ідея І.Ньютона (1643 –1727) про те, що Земля повинна мати форму еліпсоїда обертання, сплюснутого біля полюсів. У результаті градусних вимірювань за участю Ж. Деламбра одержано довжину 1/1 000 000 частини паризького меридіана, яку було прийнято за одиницю довжини метричної системи – метр.

*Геофізичний (гравіметричний) мето*д. В основу методу покладено вимірювання величин, що характеризують поле тяжіння Землі та його зміни. Цей метод можна застосувати й на акваторіях морів та океанів, де вимірювання астрономо-геодезичним методом неможливі.

Початок гравіметричним вимірам було покладено в 1743 р. французьким вченим А. Клеро. Він припустив, що поверхня Землі має вигляд сфероїда, тобто фігури, якої набула б наша планета в стані гідростатичної рівноваги під впливом тільки сил взаємного тяжіння її частин та центробіжної сили обертання навколо незмінної осі.

Космічний метод. Розвиток космічного методу вивчення Землі пов'язаний з освоєнням космічного простору, яке почалося з виведенням на орбіту першого штучного супутника Землі (ШСЗ) у жовтні 1957 р. Перед геодезією постали нові завдання, зокрема спостереження за ШСЗ на орбіті та визначення їх просторових координат. Встановлення відхилень реальних орбіт ШСЗ від теоретичних, викликаних нерівномірним розподілом мас у земній корі, дозволяє уточнити уявлення про гравітаційне поле Землі та її форму.

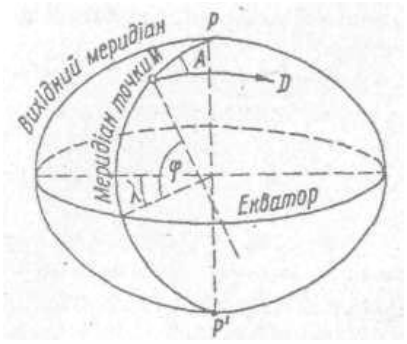
3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЩО ДЛЯ ЦЬОГО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ. СИСТЕМИ ВИСОТ В ГЕОДЕЗІЇ

КООРДИНАТИ – *це величини, що визначають положення будь-якої точки на поверхні або в просторі відносно прийнятої системи координат.*

Система координат встановлює початкові (вихідні) точки поверхні або лінії відліку потрібних величин – початок відліку координат та одиниці їх обчислення.

У геодезії найбільшого застосування набули системи географічних, плоских прямокутних та полярних координат.

Система **географічних координат** (географічні координати) застосовується для визначення положення точок Землі відносно екватора і початкового меридіана. Координатами є кутові величини: довгота і широта точки. Координатна (картографічна) сітка створюється лініями меридіанів і паралелей.



М е р и д і а н о м називають лінію перерізу еліпсоїда площиною, що проходить через дану точку і полярну вісь обертання Землі PP′ (рис. 3.1).

П а р а л е л ь – це лінія перерізу еліпсоїда площиною, що проходить через дану точку і перпендикулярна до земної осі, PP′. Паралель, що проходить через центр еліпсоїда, називають *екватором*. За початковий (нульовий) прийнято Гринвіцький меридіан, тобто меридіан, який проходить через центр головного залу Гринвіцької обсерваторії на околиці Лондона.

Географічні координати визначають в результаті астрономічних спостережень відносно земної поверхні або шляхом геодезичних вимірювань поверхні референц-еліпсоїда. У першому випадку їх називають *астрономічними,* у другому – *геодезичними.* При астрономічних спостереженнях проектування точок на відповідну поверхню здійснюється прямовисними лініями, при геодезичних – нормалями, тому значення астрономічних і геодезичних координат дещо відрізняються.

Астрономічні координати обчислюють відносно площини, перпендикулярної до осі обертання Землі (площини екватора) і площини початкового астрономічного меридіана. Площиною астрономічного меридіана є площина, що проходить через прямовисну лінію в даній точці і паралельна осі обертання Землі. Початковою точкою відліку координат є точка перетину початкового меридіана і екватора, для якої широта і довгота дорівнюють 0°.

Астрономічна широта **(**φ**)** – це кут, утворений прямовисною лінією в даній точці і площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі.

Астрономічна довгота **(**λ**)** – це двогранний кут між площинами астрономічного меридіана даної точки та початкового астрономічного меридіана (див. рис. 3.1).

Геодезичні координати – це координати, які показують положення точок відносно площини початкового геодезичного меридіана і площини екватора земного еліпсоїда. Площиною геодезичного меридіана є площина, що проходить через нормаль до поверхні земного еліпсоїда в даній точці і паралельна до його малої осі.

Геодезична широта (B) – це кут, утворений нормаллю до поверхні земного еліпсоїда в даній точці і площиною його екватора.

Геодезична довгота (L) – двогранний кут між площинами геодезичного меридіана даної точки і початкового геодезичного меридіана.

За початок відліку координат у геодезичній системі (на референц-еліпсоїді) беруть певну точку з відомими геодезичними координатами або вихідними даними. Відносно неї визначають всі інші координати пунктів геодезичної сітки.

Широта є північна і південна, змінюється вона від 0° (на екваторі), до 90° (на земних полюсах). Довгота є східна та західна і змінюється від 0° (на початковому, Гринвіцькому меридіані) до 180° на схід і на захід від нульового меридіана. Довгота і широта можуть бути також визначені, відповідно довжиною дуги меридіана і паралелі на поверхні еліпсоїда.

Плоскими прямокутними геодезичними координатами (прямокутними координатами) називають лінійні величини – абсцису і ординату, що визначають положення точки на площині відносно вихідних напрямків. Вихідними напрямками служать дві взаємно перпендикулярні лінії (рис. 3.2) з початком

відліку в точці їх перетину *O*. Пряма *XX* є віссю абсцис, а пряма *YY* – віссю ординат. У цій системі положення будь-якої точки на площині визначається найкоротшою відстанню до неї від осей координат. Так, положення точки *A* визначається довжиною перпендикулярів x_a та y_a. Відрізок x_a називають абсцисою, а y_a, – ординатою точки *A*. Відображаються абсциси і ординати в лінійних величинах (найчастіше в метрах).

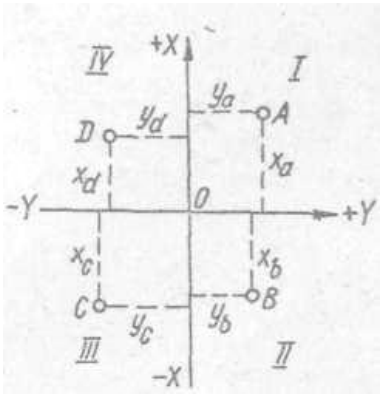


Рис. 3.2. Система плоских прямокутних координат.

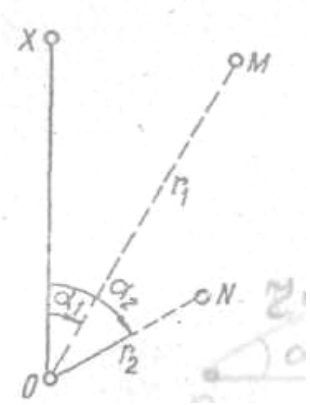


Рис. 3.3. Система полярних координат.

У геодезії прийнято праву систему прямокутних координат: це відрізняє її від лівої системи координат, яка використовується в математиці. Чверті системи координат, назви яких відповідають назвам сторін світу, нумеруються за годинниковою стрілкою (див. рис. 3.2).У такій системі спрощується вимірювання кутів орієнтування. Абсциси точок, розташованих вверх від початку координат, вважають додатними, а вниз – від'ємними; ординати точок, розташованих праворуч від початку координат, вважають додатними, а ліворуч – від'ємними (табл. 3.1).

Систему плоских прямокутних координат застосовують на обмежених ділянках земної поверхні, що можуть бути прийняті за плоскі.

У державній системі координат за вісь ординат приймають лінію екватора, за вісь абсцис – напрямок меридіана, який називають осьовим (він збігається з напрямком однієї з осей системи прямокутних координат).

Таблиця 3.1

Чвертні системи	Координати

	X	Y
I – північний схід (ПнСх)	+	+
II – південний схід (ПдСх)	–	+
III – південний захід (ПдЗх)	–	–
IV – північний захід (ПнЗх)	+	–

При виконанні робіт на значних за розмірами територіях осьовими вибирають кілька меридіанів. Для невеликих ділянок початок відліку координат може бути в будь-якій точці ділянки (це так звана *система з умовним початком координат).*

Координати, початком відліку яких є певна точка на місцевості, називають *топоцентричними.* Якщо на горизонтальній площині через довільно вибрану точку *О* провести пряму *ОХ* (так звана *полярна вісь)*, то положення будь-якої точки, наприклад *М*, визначатиметься радіусом- вектором r_1 та кутом напрямку α_1 а точка *N* – відповідно r_2 і α_2 (рис. 3.3). Такі координати називають **полярними**. Кути α_1 і α_2 вимірюють від полярної осі за ходом годинникової стрілки до радіуса-вектора. Полярна вісь на площині може розташовуватись довільно або збігатися з напрямком меридіана, що проходить через полюс (точка *О*).

Для визначення положення точок фізичної поверхні Землі не досить знати лише дві координати на поверхні (наприклад, *х* і *у).* Потрібна третя координата – висота точки *Н,* тобто відстань за прямовисним напрямком від даної точки (або від рівневої поверхні, що проходить через неї) до рівневої поверхні, яку взято за початок відліку висот. У геодезії висота визначається відносно поверхні земного еліпсоїда. Числове значення висоти точки називають *позначкою висоти,* або *позначкою.* Висоту точки, яку обчислюють від основної рівневої поверхні, називають *абсолютною*, а визначену відносно довільно обраної рівневої поверхні – *умовною*. Різницю висоти між двома точками (або відстань за прямовисним напрямком між рівневими поверхнями, що проходять через дві будь-які точки на Землі) називають *відносною висотою,* або *перевищенням* Δh (або h) цих точок.

У нашій країні прийнято Балтійську систему висот. Відлік висот за цією системою ведуть від рівневої поверхні, що проходить через нуль Кронштадтського

футштока біля Санкт-Петербурга. Футшток – рейка, яку встановлюють на берегах океанів і морів для спостережень за рівнем води.

4. ВИМІРЮВАННЯ ЗА КАРТОЮ ДОВЖИН І ПЛОЩ. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ. АЗИМУТИ ТА ДИРЕКЦІЙНІ КУТИ, РУМБИ.

4.1. Вимірювання довжин ліній за топографічними картами і планами.

При вимірюванні довжин за картами слід пам'ятати, що в результаті отримують довжини горизонтальних проекцій, а не довжини ліній на земній поверхні. Однак, при невеликих кутах нахилу різниця в довжині похилої лінії і її горизонтальної проекції дуже мала і може не враховуватися.

При вимірюванні за картами відстаней в гірських районах дійсну відстань на похилій площині можна обчислити за формулою

$$S = d \cdot \cos\alpha,$$

де S – дійсна відстань на похилій площині, d – довжина горизонтальної проекції лінії S, α – кут нахилу.

Для визначення довжини відрізка прямої між двома точками в розхил циркуля вимірника беруть з карти заданий відрізок, переносять на лінійний масштаб карти і отримують довжину лінії в метрах чи кілометрах. Аналогічно вимірюють довжину ломаних ліній, беручи в розхил циркуля довжину кожного відрізка, і потім сумуючи їх довжини. Вимірювання довжин кривих ліній (доріг, кордонів, річок і ін.) більш складні і точні. Дуже плавні криві вимірюють як ломані, розбиваючи попередньо на ломані відрізки. Звивисті відрізки вимірюють малим постійним розхилом циркуля, переставляючи його («крокуючи») всіма вигинами ліній. Очевидно, що дрібнозвивисті лінії слід вимірювати дуже малим розхилом циркуля (2-4 мм). Знаючи, якій довжині на місцевості відповідає розхил циркуля, і підрахувавши їх загальну кількість, визначають загальну довжину відрізка.

Для вимірювання кривих ліній користуються також курвіметром. Коліщатко, що розташовується в нижній частині приладу, котять по вимірювальній кривій. Рух коліщатка передається стрілці. За поділками шкали на циферблаті визначають, яку

відстань пройшло коліщатко по карті. Отриману довжину в сантиметрах перетворюють в натуральну величину.

Дійсне значення вимірюваної величини через вплив похибок вимірювання залишається невідомим. Тому визначають її ***ймовірне значення***. Таким значенням є середнє арифметичне всіх окремих вимірів

$$x = (a_1 + a_2 + a_3 + ... + a_n) : n = \frac{\sum a}{n},$$

де x – ймовірне значення вимірюваної величини; $a_1, a_2, a_3 ... a_n$ – результати окремих вимірювань; n – кількість вимірювань. Чим більше вимірів, тим ймовірне значення вимірювань ближче до істинної величини A. Якщо припустити, що значення дійсної величини A відоме, то різниця між цією величиною і виміром a дасть дійсну похибку вимірювання $\Delta = A - a$. Відношення похибки вимірювання будь-якої величини A до її значення називається ***відносною похибкою*** $\frac{\Delta}{A}$. Ця похибка виражається у вигляді правильного дробу, в якого в знаменнику – частка похибки від величини, що вимірюється, тобто $\frac{\Delta}{A} = \frac{1}{A : \Delta}$.

4.2. Визначення за картами площі ділянки.

Визначити площу ділянки на карті – це значить провести вимірювальні та обчислювальні роботи, в результаті яких площу ділянки одержують у *земельній мірі*: квадратних метрах, гектарах тощо. При цьому визначається площа не фізичної поверхні ділянки місцевості $P_ф$, а її проекції на горизонтальну площину P (рис. 4.1):

$$P = P_ф \cos\gamma, \text{ а } P = P_ф : \cos\gamma.$$

Залежно від потрібної точності результатів застосовують різні способи визначення площі:

- за допомогою палетки;
- графічний;
- аналітичний;
- механічний;
- фотоелектронний.
- зважування;

Кожний з них застосовують самостійно або разом з іншими.

Визначення площі за допомогою палетки. Палетка – це нанесена на прозору основу сітка квадратів, точок, паралельних рівновіддалених ліній тощо (рис. 3.2).

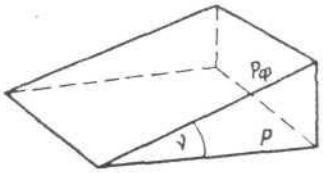


Рис. 4.1. Взаємне положення фізичної поверхні ділянки місцевості і горизонтальної площини

а *б*

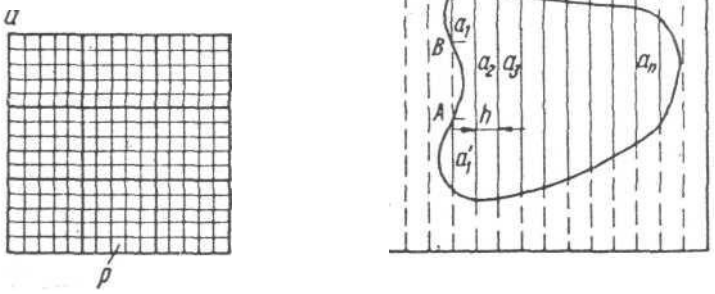


Рис. 4.2. Палетка:
а–сітчаста;
б – паралельна

Робота з квадратною (сітчастою) палеткою починається з визначення величини її поділки p в мм^2 або см^2. Відомо, що $p = a^2$, де a – сторона поділки палетки в міліметрах або сантиметрах.

Потім визначають ціну поділки палетки c_p, тобто число одиниць земельної міри, яке відповідає одній поділці палетки для карти певного масштабу: $c_p = (ac)^2$, де a – ціна 1 мм (1 см) в масштабі карти.

Площа P, визначена за допомогою палетки, обчислюється за формулою

$$P = n_p \cdot c_p,$$

де n_p – кількість поділок палетки, що обмежені контуром ділянки.

Для підрахування поділок палетки n_p її накладають на ділянку, що вимірюється, і лічать кількість повних n та неповних n' поділок (тих, що розсічені контуром ділянки). Доведено, що $n_p = n + (n' : 2)$.

Вимірювання повторюють, змінивши положення палетки відносно початкового. Палетку слід накладати так, щоб контур розсікав якомога менше поділок палетки.

Квадратні палетки рекомендується застосовувати для визначення площ малих ділянок (до 3 см^2) з криволінійними обрисами. Їх використовують також для

приблизного визначення площ великих ділянок. Основний недолік цих палеток – імовірність грубої помилки під час підрахунку кількості поділок.

Крім квадратних палеток використовують паралельні (лінійчасті) палетки, крапкові палетки.

Графічний спосіб. Застосовувати цей спосіб доцільно для визначення площ ділянок розміром до 15 см^2 з відносно прямолінійними межами (звивисті відрізки меж замінюють на прямі). Ділянку, що має форму многокутника, розбивають на прості фігури, площу яких можна вирахувати за відомими формулами. Доведено, що найбільш точні результати одержують при розбивці ділянки на трикутники, особливо на такі, що мають однакові основу a і висоту h. Результати обчислень переводять у масштаб карти. Формула площі ділянки має вигляд

$$P = \left(\sum_{1}^{n} \frac{a_i h_i}{2} \right) c_p .$$

Точність графічного способу дорівнює 1/100 – 1/200 площі, що вимірюється.

Механічний спосіб базується на застосуванні *планіметра* – приладу, що дозволяє порівняно швидко і точно виміряти площу ділянки будь-якої конфігурації (рис.4.3).



Рис. 4.3. Планіметр

Точність визначення площі планіметром залежить від багатьох причин. Встановлено, що за його допомогою доцільно вимірювати ділянки понад 20 см^2. Малі ділянки, а також лінійно витягнуті об’єкти (дороги, річки тощо) краще вимірювати палеткою або графічним способом. За сприятливих умов роботи точність результатів близька до 1/200 – 1/400 площі, що вимірюється.

Визначення площі зважуванням. Для застосування цього способу необхідні аналітичні ваги. Ділянку, площа якої визначається, викреслюють на прозорому пластику, що не деформується, потім вирізують її за контуром і зважують. З площі контуру вирізують еталонну фігуру (квадрат, коло) і теж зважують. Площу еталонної фігури визначають за відомими формулами. Тоді $P = B_k \cdot P_e : B_e$,

де B_k – маса цілого контуру, B_e – маса еталона; P_e – площа еталона.

Точність визначення площі зважуванням близька до точності механічного способу, але продуктивність його вища.

Аналітичний спосіб. Цей спосіб потребує попереднього визначення координат точок контуру.

Точність аналітичного способу залежить від точності визначення координат.

Розвиток техніки сприяє дослідженням у галузі автоматизації обчислювальних робіт у топографії. Застосування ПК спрощує і прискорює визначення площ аналітичним способом. Розробляються нові прилади, що підвищують продуктивність праці при обчисленні площ. Добрі результати дає застосування стандартної фототелеграфної апаратури, фотоелектронних планіметрів, що прискорюють роботу у 8 – 10 разів.

4.3. Орієнтування ліній. Азимути та дирекційні кути, румби.

При роботі з топографічною картою доводиться визначати напрямки. Напрями ліній на місцевості чи на карті може бути визначений відносно якихось ***початкових напрямів***. Таким напрямами можуть бути **географічний** (на топографічній карті він має назву **істинного меридіана**) **меридіан**, **магнітний меридіан** (збігається з напрямом вільно підвішеної магнітної стрілки), **осьовий меридіан зони Гауса** чи лінії до нього паралельні – **вертикальні лінії кілометрової сітки**. Через будь-яку точку земної поверхні чи точку на карті можна провести географічний меридіан, магнітна стрілка приладів дасть магнітний меридіан, а також можна провести лінію, паралельну до осьового меридіана зони Гауса.

Залежно від прийнятого початкового напряму розрізняють азимут географічний (дійсний, істинний), азимут магнітний, дирекційний кут (рис. 4.4). У зв'язку із цим кути на місцевості та на карті визначаються відносно цих названих вихідних напрямів, а відлік їх ведеться від 0° до 360° за ходом годинникової стрілки, тобто від вихідного напряму до напряму на даний предмет (до напряму даної лінії).

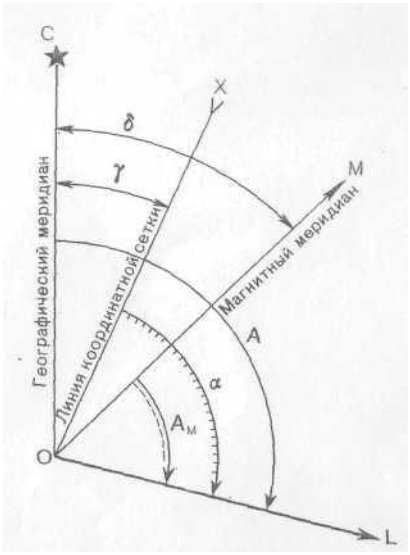


Рис. 4.41. Кути орієнтування*:*

А – азимут істинний; $А_м$ – Магнітний; *а* – дирекційний кут; γ – зближення меридіанів; δ – магнітне схилення.

Географічним (істинним, дійсним) азимутом А *називається кут, який відраховують від північного напряму географічного (істинного) меридіана за ходом годинникової стрілки до напряму на даний предмет в межах від 0° до 360°.* Для вимірювання на карті географічних азимутів заданого напряму в початковій точці лінії проводять за лінійкою географічний меридіан і транспортиром вимірюють кут між меридіаном і заданим напрямом.

Магнітним азимутом $А_м$ *називається кут, який відраховують від північного напряму магнітного меридіана до напряму на даний предмет за ходом годинникової стрілки в межах від 0° до 360°.* Магнітні азимути напрямів вимірюються на місцевості за допомогою приладів, що мають магнітну стрілку (компаси, бусолі). На карті магнітні азимути можуть бути обчислені за зміряним істинним азимутом А. і величиною магнітного схилення, яке вказується на полях карти, зліва від записів масштабів.

Магнітне схилення δ ***(схилення магнітної стрілки) – кут між істинним (географічним) та магнітним меридіанами в даній точці***. Схилення від істинного меридіана на схід називається східним (додатнім), а на захід – західним (від□ємним). Зв'язок між магнітними та істинними азимутами можна представити так:

$$A_м = A \pm \delta .$$

Дирекційним кутом напряму ***α.*** *називається кут, який вимірюють від північного напряму осьового меридіана зони Гауса або від вертикальних ліній сітки до напряму на даний предмет за ходом годинникової стрілки в межах від 0 ° до 360 °.* Як правило, α вимірюється на карті від вертикальних ліній кілометрової сітки. Використання вертикальних ліній сітки дає можливість швидко і точно зміряти кути за допомогою транспортира.

Дирекційний кут можна обрахувати, знаючи зміряний на місцевості магнітний азимут та ***поправку на зближення меридіанів γ*** *– кут між північним напрямом вертикальної лінії кілометрової сітки та північним напрямом географічного (істинного) меридіана*. Для точок, які розташовуються у східній частині координатної зони (на схід від осьового меридіана), величина зближення меридіанів додатна, а для точок, розташованих у західній частині зони, – від□ємна. Зв'язок між кутами напрямів можна записати так:

$$A_м = \alpha + (\pm\gamma); \qquad \alpha = A_м - (\pm\gamma);$$

$$A_м = \alpha - \delta + \gamma; \qquad \alpha = A_м + \delta - \gamma.$$

Алгебраїчна різниця δ-γ=ПН називається ***поправкою напряму***. Дані про величини γ і δ даються на графіку під південною рамкою карти. На карті Снов масштабу 1:25 000 γ=-2°24′, δ=+6°12′. Поправка напряму Пн = 8°36′.

У навігації, метеорології, лісо- та землеустрої використовують румби. **Румб *r* –** *кут між напрямом даної лінії та найближчим напрямом меридіана (північним чи південним) в межах від 0 до 90 °.* Румби є географічні, магнітні та ті, що відраховують від вертикальних ліній сітки. Кожен румб характеризується вказівкою чверті горизонту, в якій розташований даний напрям, і величиною кута. Наприклад, ***r*** =Пн.Зх.:16°57′, якщо А=343°03′; ***r*** =Пн.Сх.:36°21′, якщо А=36°21′; ***r*** = Пд.Зх.:37°45′, якщо А=217°45′; ***r*** =Пд.Сх.:76°28′, якщо А=103°32′.

У практиці вимірювань використовують прямі й обернені (зворотні) кути. *Кути, зміряні у початковій точці, називаються* **прямими**, а *кути, зміряні в протилежному напрямі (чи в кінцевій точці лінії), називають* **оберненими**. Зв'язок між прямими й оберненими істинними азимутами виражається формулою: $A_{об.}=A_{пр.}\pm180°+(\pm\gamma)$; якщо точки розміщені близько (на карті У-34-37-В-в масштабу 1:25 000), то $A_{об.}=A_{пр.}\pm180°$. Дирекційний кут прямої лінії постійний у всіх точках (в межах однієї зони), тому $\alpha_{об.}=\alpha_{пр.}\pm180°$. Наприклад: $A_{пр.}=145°15'$, $A_{об.}=145°15'+180°=325°15'$; $A_{пр.}=271°21'$, $A_{об.}=271°21'-180°=91°21'$; $A_{пр.}=28°53'$, $\gamma=-2°04'$, $A_{об.}=28°53'-2°04'+180°=26°49'+180°=206°49'$; $A_{пр.}=295°32'$, $\gamma=+1°42'$, $A_{об.}=295°32'+1°42'=298°14'-180°=19°14'$.

5. РОЗГРАФЛЕННЯ Й НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ

Топографічні карти дуже проводити широкий спектр точні, що дозволяє вимірювальних робіт. Топографічні карти повинні мати мінімальні спотворення довжин і площ, які неминуче виникають при переході від еліпсоїдальної поверхні до площини. При картографуванні великих територій кривизна Землі буде впливати на величину спотворень. Тому для побудови топографічних карт в Україні та інших країнах Східної Європи застосовується **поперечна циліндрична рівнокутна проекція Гауса-Крюгера** (Гаус – німецький вчений, який розробив загальну теорію рівнокутних проекцій, а Крюгер – німецький вчений, який розробив робочі формули даної проекції). Застосування цієї проекції дає можливість практично без суттєвих спотворень зобразити досить значні ділянки земної поверхні, і. що дуже важливо, побудувати на цій території систему плоских прямокутних координат. Ця система є найбільш простою і зручною при проведенні інженерних та топографо-геодезичних роботах.

Зображення земного еліпсоїда в проекції Гаусса-Крюгера можна отримати таким чином. Еліпсоїд вписують в циліндр так, щоб один із меридіанів дотикався до його бічної поверхні, а площина екватора співпадала із віссю циліндра (була перпендикулярною до осі обертання Землі). Проектування поверхні земного еліпсоїда

на бічну поверхню циліндра відбувається так, щоб нескінченно мала фігура еліпсоїда зберігала свою форму на проекції (бічній поверхні циліндра). Цим досягається рівність кутів на місцевості і на карті (площині). Після проектування поверхню циліндра розгортають в площину, розрізавши її по дотичних на полюсах. На отриманому зображенні земної півкулі дотичний меридіан та екватор зобразяться прямими, всі інші – кривими лініями. Масштаб зображення буде зберігатися на дотичному меридіані. В місцях, що прилягають до цього меридіана, спотворення будуть мінімальними, а при віддаленні від нього будуть швидко зростати.

В результаті досліджень було встановлено, що оптимальні розміри території зображення повинні обмежуватися меридіанами, віддаленими один від одного на 6□. Ця фігура отримала назву *сфероїдального двокутника*. Його розміри: 180□ по широті (від полюса до полюса), і 6□ по довготі. Не дивлячись на те, що площа зони в проекції (зони Гауса) буде збільшеною, відносні спотворення довжин у найбільш віддалених від середнього меридіана точках екватора на межі зони складатиме 1/800. Максимальні спотворення довжин в межах зони складає +0,14%, а площ – +0,27%, а в межах України – ще менші. Таким чином, спотворення довжин та площ в межах зони менші, ніж спотворення, що виникають при друці карти за рахунок деформації паперу. ***Зображення зони в проекції Гауса практично не має спотворень і допускає будь-які карто- та морфометричні роботи.***

Кожна шестиградусна зона будується на окремому дотичному циліндрі. Границями зон є меридіани, які одночасно є границями колон, що використовуються при розграфленні аркушів карт. Границі зон на поверхні земного еліпсоїда проводяться в системі географічних координат. Нульовий (Гринвіцький) меридіан є західною границею першої зони, 6º сх.д. – 2-ої, 12º сх.д. – 3-ої. Всього є 60 зон. Їх нумерують із заходу на схід проти годинникової стрілки. Територія України розташовується в 4-7 зонах Гауса. для визначення довготи меридіанів, що обмежують зону, та середнього (осьового) меридіана зони застосовують такі формули:

для східної півкулі: $L_{зах.}$=6º (n-1); $L_{ос.}$=6º n – 3 ; $L_{сх.}$=6º n;

для західної півкулі: $L_{зах.}$=180º – 6º (n – 30 – 1); $L_{ос.}$=180º – 6º(n –- 30)+3º; $L_{сх.}$=180º – 6º(n – 30), де n – номер зони Гауса.

Нумерація колон і і зон пов’язані між собою і різняться на 30 одиниць. У східній півкулі $N_{колони}=N_{зони}+30$.

Топографічні карти на великі території видаються багатоаркушевими серіями. Земна поверхня (поверхня земного еліпсоїда) зображується на топокарті невеликими ділянками. Поділ карти на окремі аркуші називають **розграфленням**. Під час розграфлення межі окремих аркушів проводять строго за напрямками меридіанів та паралелей.

Кожен аркуш топографічної карти обмежується відрізками меридіанів та паралелей і є трапецією. Рамки аркушів точно вказують положення зображеної на карті території на поверхні земного еліпсоїда. Розмір аркушів та їхня кількість залежать від масштабу карти: чим крупніший масштаб, тим меншу територію на ньому можна показати, тим більша кількість аркушів необхідна для її зображення.

Для встановлення адреси аркуша застосовується особлива система позначень – **номенклатура аркушів карт**. Вона залежить від масштабу карти та географічного положення зображеної території.

Основними принципами розграфлення і складання номенклатури карт є: 1) зв’язок із географічним положенням зображеної на карті території; це забезпечує можливість швидко підібрати аркуші карти на будь-які ділянки земної поверхні; 2) залежність від масштабу зображення, яка дозволяє переходити від карт одного масштабу до карт іншого.

В основу розграфлення та номенклатури топографічних та оглядово-топографічних карт покладені розграфлення і номенклатура т. з. «міжнародної мільйонної карти» (в 1891 р. на V Міжнародному географічному конгресі було прийнято рішення про створення топографічної карти, єдиної для всього суходолу, в єдиному масштабі, в єдиній проекції, єдиній системі умовних позначень, єдиним підходом до генералізації, а Міжнародний конгрес в Лондоні в 1909 затвердив принципи розграфлення й номенклатури, зміст та інші складові цієї карти). Вітчизняну карту масштабу 1:1 000 000 розроблено з урахуванням рекомендацій Лондонського конгресу та інших міжнародних угод.

Межі аркуша карти мільйонного масштабу збігається за довготою з межами координатної зони в проекції Гаусса-Крюгера, тобто відстань між ними становить 6°. За широтою аркуш обмежується паралелями з відстанню в 4°.

Аркуш цієї карти має розміри 4° по широті та 6 по довготі. Смуги від екватора до полюсів через кожні 4° називаються **рядами** (поясами) (рис. 8.1) і позначаються великими буквами латинського алфавіту на північ та південь від екватора: 0°-4° – **A**, 4°-8° – **B**, 8°-12° – **C**..., 84°-88° – **V**. Наприклад, 12-ий ряд обмежується паралелями з широтою 44° та 48° пн. ш. і позначається літерою **L**, 15-ий 56° та 60° ш. (літера **O**), 19-ий – 72° та 76° ш. (літера **S**).

Шестиградусні двокутники називаються **колонами** і позначаються арабськими цифрами (як і зони Гаусса) із заходу на схід від 180° довготи: 180°-174° зх.д. – 1, 174°-168° зах.д. – 2, 168°-162° зх. д. – 3..., 6°зах.д.-0° д. – 30, 0° д. -6° сх. д.– 31, і т.д. Грінвіцький меридіан розділяє 30-ту і 31-шу колони. Колон всього 60.

Номенклатура будь-якого аркуша масштабу 1:1 000 000 визначається перетином рядів і колон і складається із двох позначень: буквеного позначення ряду та цифрового позначення колони, наприклад, E-34, L-36, K-45, M-32, N-36. На Міжнародній мільйонній карті, до номенклатури аркушів на північ та південь додається літери N або S, наприклад: NM-37, SK-42. На вітчизняних картах такі позначення відсутні.

До широти ±60° аркуші видаються нормальними по довготі із розмірами 4°х6°, для ділянок зони між 60° та 72° ш. аркуші подвоюються за довготою (мають розміри 4° ш. •12° д. – P-37, 38), між паралелями 72° та 84° ш. об’єднуються чотири аркуші розміром 4°ш. х 24° д., наприклад, R-33, 34, 35, 36; S-37, 38, 39, 40.

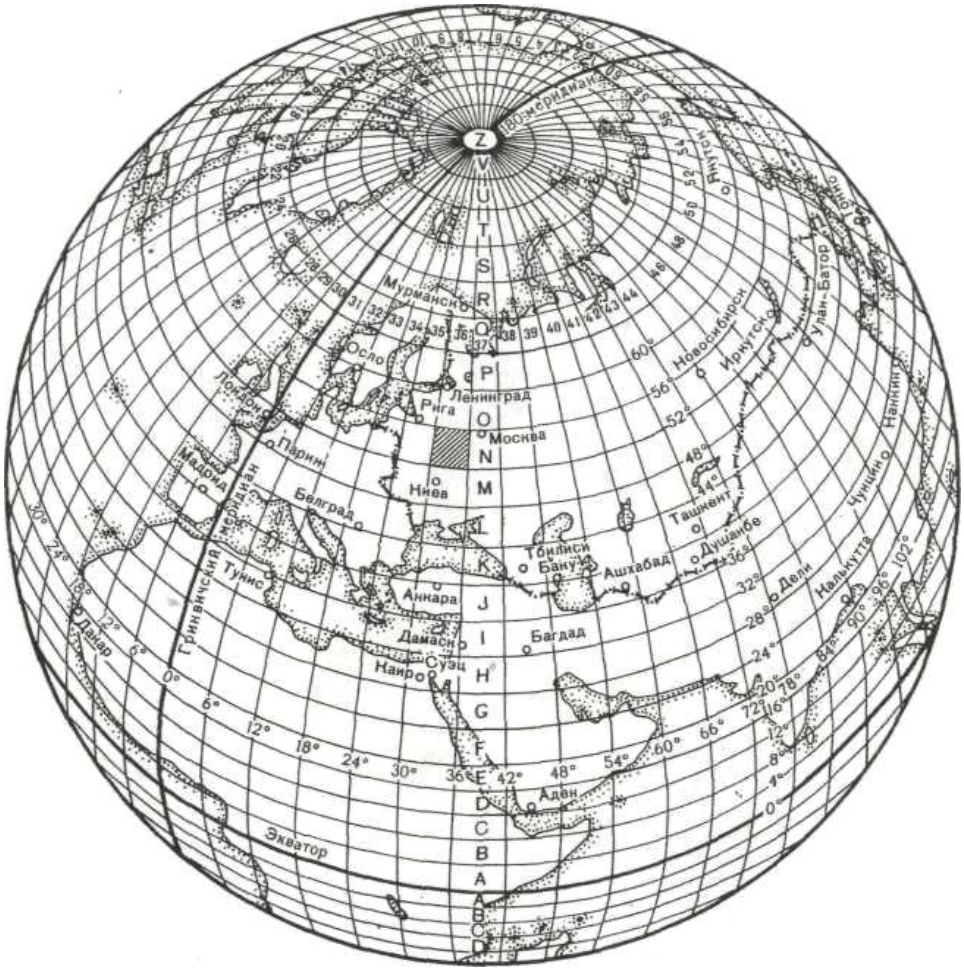


Рис. 8.1. . Схема разграфки і номенклатури листів карти масштабу 1:1 000 000 (для Північної півкулі). Заштрихований лист N – 36

На практиці застосовують не тільки карту масштабу 1:1 000 000, але й карти крупніших масштабів. Їх розграфлення виглядає таким чином.

Розграфлення аркушів карти масштабу 1 : 500 000 і крупніше проводиться поділом карти мільйонного масштабу на певну кількість часток. Межами аркушів є відрізки паралелей та меридіанів, що проведені з інтервалом, який встановлено для кожного масштабу. При цьому виконується умова: аркуші карт всього масштабного ряду повинні бути приблизно однакових розмірів, а паралелі й меридіани, що їх обмежують, мати широту або довготу, які позначаються цілим числом мінут і секунд. Кожен аркуш є трапецією, хоча аркуші великомастабних карт – прямокутники.

При збільшенні лінійного масштабу карти в 2 рази (від 1 : 1 000 000 до 1:500 000) площа аркуша зросте в чотири рази. Внаслідок цього показати цю територію на одному аркуші у масштабі 1 : 500 000 важко і незручно. Тому аркуш карти масштабу 1:500 000 (трапецію) отримують шляхом поділу вихідного мільйонного аркуша середньою паралеллю та середнім меридіаном на чотири частини. Розміри кожного

такого аркуша – 2° по широті та 3° по довготі (межами аркушів п□ятсоттисячної карти є паралелі, що проведені через кожні 2°, і меридіани з інтервалом 3°).

Аркуші позначаються великими буквами нашого алфавіту зліва направо і зверху вниз – А, Б, В, Г. Номенклатура такого аркуша складається із трьох позначень: К–38–А, М–43–Г, L–49–В.

Наприклад, точка із координатами φ=48°51′ пн.ш. та λ=25°16′ сх.д знаходиться в межах аркушів: масштабу 1:1 000 000 – М – 35 (його рамки: 48º–52º пн.ш. і 24º–30º сх.д.); масштабу 1:500 000 – М–35–В (його рамки: 48º–50º пн.ш. і 24º–27º сх.д.).

Зі збільшенням масштабу більш, ніж у три рази (до 1:300 000), площа такого аркуша зросте більш, ніж у 9 разів. У цьому випадку аркуш □мільйонної карти□ ділять на 9 частин із розімрами кожного аркуша 1°20′ по широті та 2° по довготі і позначають римськими цифрами. Номенклатура такого аркуша складається із трьох позначень: номенклатури «мільйонного аркуша» і однієї із 9-ти римських цифр, які ставлять перед позначенням «мільйонної карти», наприклад, VII–М–35 (його рамки: 48º – 49°20′ пн. ш. і 24° – 26° сх.д.).

Із збільшенням лінійного масштабу карти в 5 разів (від 1 : 1 000 000 до 1 : 200 000) площа «мільйонного аркуша» зросте у 25 разів. У цьому випадку аркуш «мільйонної карти» ділять на 36 частин із розмірами 40′ по широті та 1° по довготі і теж позначають римськими цифрами. Номенклатура такого аркуша складається із позначення «мільйонного аркуша» і однієї із 36-ти римської цифри, яку ставлять після позначення «мільйонного аркуша», наприклад, М–35–XXVI (його рамки: 48°00′ – 48°40′ пн. ш. і 24°–25° сх. д.).

Із збільшенням лінійного масштабу в 10 раз (від 1:1000 000 до 1:100 000) площа «мільйонного аркуша» зросте у 100 разів. Такий аркуш ділять на 144 частини із розмірами 20′ по широті та 30′ по довготі і позначають арабськими цифрами від 1 до 144 зліва направо і зверху вниз (1–12, 13–24,...121-132, 133-144). Номенклатура такого аркуша складається теж із трьох позначень – позначення «мільйонного аркуша» та однієї із 144-х цифр, які ставляться після позначення «мільйонного аркуша», наприклад, М–35–111 (його рамки: 48°00′–48°20′ пн. ш. і 25°00′–25°30′ сх. д.).

Таким чином, розграфлення й номенклатура аркушів карт масштабів 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000 і 1:100 000 базуються на аркуші карти масштабу 1:1 000 000 і утворюються шляхом поділу останнього відповідно на 4, 9, 36 і 144 частини (аркуші), а номенклатура складається із трьох позначень.

Розграфлення карт крупніших масштабів відбувається в дещо інший спосіб.

Аркуш карти масштабу 1:50 000 отримують шляхом поділу попереднього, вихідного масштабу 1:100 000 (М–35–111) на 4 частини середньою паралеллю (48°50′) та середнім меридіаном (25°15′) із розмірами 10′ по широті та 15′ по довготі і позначають великими буквами нашого алфавіту зліва направо і зверху вниз. Номенклатура такого аркуша складається із чотирьох позначень: позначення вихідного, стотисячного аркуша і однієї із чотирьох літер, наприклад, М–35–111–Б (його рамки: 48°50′–49°00′ пн. ш. і 25°15′–25°30′ сх. д.).

Аркуш карти масштабу 1:25 000 отримують із вихідного аркуша масштабу 1:50 000 (М–35–111–Б) шляхом поділу його на чотири частини середньою паралеллю (48°55′) і середнім меридіаном (25°22′30″) і позначають малими буквами нашого алфавіту із розмірами 5′ по широті та 7′30″ по довготі. Номенклатура такого аркуша складається із п□яти позначень: позначення вихідного аркуша масштабу 1:50 000 і однієї із чотирьох малих літер, наприклад, М–35–111–Б–в (його рамки: 48°50′–48°55′ пн. ш. 25°15′–25°22′30″ сх. д.).

Аркуш карти масштабу 1:10 000 отримують із вихідного аркуша масштабу 1:25 000 (М–35–111–Б–в) шляхом поділу його на чотири частини середньою паралеллю (48°52′30″) і середнім меридіаном (25°18′45″) із розмірами 2′30″ по широті та 3′45″ по довготі і познають арабськими цифрами зліва направо і зверху вниз. Номенклатура такого аркуша складається із шести позначень: М–35–111–Б–в–3 (його рамки: 48°50′–48°52′30″ пн. ш. і 25°15′– 25°18′45″ сх. д.). Розграфлення й номенклатуру всіх масштабів подано у таблиці.

Розграфлення та номенклатура аркушів карт

Масштаб	Розмір аркушів, у градусах	Кількість аркушів

	за широтою	за довготою	в аркуші карти вихідного масштабу	в аркуші карти млн. масштабу
1:1000 000	4°	6°	1	1
1:500 000	2°	3°	4	4
1:200 000	40′	1°	36	36
1:1000 000	0°20′	0°30′	144	144
1:50 000	0°10′	0°15′	4	576
1:25 000	0°05′	0°7′30″	4	2 304
1:10 000	0°02′30″	0°03′45″	4	9 216
1:5 000	0°01′15″	0°01′52,5″	256	36 864
1:2 000	0°00′25″	0°00′37,5″	9	331 776

Для зручності підбору карт і роботи з ними разом із номенклатурою записують назву найбільшого населеного пункту, наприклад, М – 35 (Львів), М – 35–ХХ (Тернопіль).

Неважко встановити, що номенклатура аркушів конкретного масштабу – це кількість, послідовність і вид елементів, з яких вони складаються, тому за номенклатурою можна встановити масштаб аркуша карти та координати кутів його рамок.

Дані про розграфлення, номенклатуру та розміри аркушів карт різних масштабів приводяться у відповідних таблицях.

6. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОМИЛОК ВИМІРЮВАНЬ. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТІ ПРО МАТЕМАТИЧНУ ОБРОБКУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЇХ ТОЧНОСТІ

6.1. Класифікація помилок вимірювань

Будь-які вимірювання супроводжуються похибками, як би ретельно вони не виконувалися. *Точність вимірів залежить* від точності застосовуваних приладів і обладнання, методів вимірювань, кваліфікації спеціаліста й зовнішніх умов, у яких вони

виконуються. Підвищуючи точність приладів і обладнання, удосконалюючи методи спостережень, поліпшуючи кваліфікацію спостережника, можна досягти якнайменшої похибки вимірів, однак повністю уникнути похибок неможливо.

Похибки класифікують за:

– походженням;
– характером впливу на результати вимірів та за властивостями.

Помилки вимірів за своїм походженням поділяються на *1) інструментальні, 2) особисті, 3) зовнішні, 4) методичні, 5) похибки моделі, 6) похибки класифікації об'єктів вимірювання.*

Інструментальні помилки обумовлені технологією виробництва приладів, їх недосконалістю, тобто відмінністю реального конкретного приладу від приладу ідеального, який лежить в основі його побудови.

Інструментальні похибки вимірів можуть бути поділені на три категорії:

– помилки, зумовлені недосконалістю виготовлення окремих частин інструмента;
– помилки, зумовлені не цілком точною юстировкою та встановленням інструмента в робоче положення;
– помилки, зумовлені зміною властивостей інструмента з плином часу.

Особисті похибки обумовлені фізичними особливостями спостерігача (обмеженою чутливістю органів чуття, недостатньою кваліфікацією і досвідченістю, психіко-фізіологічними особливостями).

Помилки зовнішнього середовища. Зовнішні помилки обумовлюються різними несприятливими для вимірів факторами та умовами зовнішнього середовища. До них належать: температура, вологість та непрозорість повітря, атмосферний тиск, сильний вітер, рельєф місцевості, нестійкість ґрунту тощо.

Методичні похибки виникають внаслідок нехтування умовами вимірювання і закономірностями їх змін, конструктивними особливостями приладів.

Помилки моделі пов'язані з тим, що реальні фізичні об'єкти і процеси з метою спрощення подають у вигляді абстрактних побудов, які лише наближено відображають реальність (форма і розміри Землі подаються у вигляді геоїда, еліпсоїда).

Помилки класифікації виникають тоді, коли на об'єкт вимірювання переносять результати вимірювання інших об'єктів (спостереження ведуться на об'єкт A_1 замість об'єкта А).

За характером впливу на результати вимірів та за властивостями похибки поділяються на *систематичні, грубі та випадкові.*

Груба помилка – промах виконавця, їх не можна допустити щодо величини, яка вимірюється, при даних умовах вимірів. Неуважність під час вимірювань призводить до прорахунків, описок, до вимірювання не тих предметів, які належить виміряти, тощо. Наприклад, при вимірюванні кута тридцяти секундним теодолітом не можна допустити помилку в $30'$ або в $1°$.

Грубі помилки часто трапляються при обчисленнях. Зумовлені вони, головним чином, неуважністю та недбалістю спостерігача. Через це для виявлення їх необхідно проводити повторні, контрольні виміри й обчислення. Але всі контрольні виміри будуть ефективними лише тоді, коли будуть проведені іншими способами або іншими інструментами. Виконавець повинен бути особливо уважним при вимірюваннях, які з тих чи інших причин виконують один раз.

До *систематичних* відносять помилки, які при вимірюваннях однорідних або тієї самої величини виникають з однаковим знаком, з однаковою закономірністю залежно від тих факторів, які обумовлюють їх виникнення..

Систематичні помилки поділяються на постійні та змінні.

П о с т і й н и м и називаються помилки, які при переході від одного виміру до другого не змінюються ні за величиною, ні за знаком і поява яких пов'язана з постійно і незмінно діючими факторами. Ці помилки виникають:

1) від неточно встановленого кутомірного приладу або візирного знака над центром пункту (помилки центрування);

2) від неточного визначення довжини вимірювального приладу при лінійних вимірах (помилки компарування);

3) від неточного нанесення поділок на різних шкалах;

4) від неточного заокруглення відліків, неповної перевірки інструментів, незмінної дії під час вимірів факторів зовнішнього середовища.

З м і н н и м и помилками, називаються помилки, які при вимірюванні будь-якої величини змінюють свою величину або знак за певним законом. За своїм походженням змінні помилки можуть бути інструментальними, особистими, зовнішніми.

Випадкові помилки, іноді їх називають неминучими, виникають в результаті спільного впливу великого числа факторів, при яких вимірюють. Наприклад, причинами виникнення різних за величиною випадкових помилок є:

недосконаліть вимірювальних приладів – грубі штрихи і різна величина поділок шкал, недостатнє збільшення труб і мікроскопів;

недосконаліть органів чуття – неточне окомірне визначення часток поділки шкал, неточне наведення сітки ниток на ціль тощо;

нерівномірний вплив середовища – невелика, але часта зміна температур, напрямів і сили вітру, різна твердість ґрунту, різна освітленість спостережуваних предметів залежно від навколишнього фону, часу дня тощо;

прийнята методика вимірювань – чим старанніше вимірюють, тим менші випадкові помилки;

точність інструментів – чим точніший інструмент, тим менші випадкові помилки;

кваліфікація виконавця та ін.

Оскільки величини і знаки випадкових помилок, що виникають під впливом кожного з численних факторів вимірювань, несталі, загальна сумарна помилка при одному вимірюванні буде менша, при іншому – більша, а кінцеві результати – відмінними від дійсних розмірів вимірюваних предметів.

Доведено, що випадкові помилки вимірювань, які відзначаються масовим – статистичним – характером, мають такі **властивості**:

1) за даних умов вимірювань випадкові помилки не перевищують якоїсь границі;

2) в ряді вимірювань малі за абсолютною величиною помилки трапляються частіше від великих;

3) випадкові помилки, рівні за абсолютною величиною, але протилежні знаком, однаково ймовірні;

4) границя відношення суми випадкових помилок до числа вимірювань має тенденцію наближатися до нуля, якщо число вимірювань прямує до нескінченності. Цю властивість виражають формулою:

$$\lim_{n \to \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$$

Прямими дужками позначають суму; тут $[\Delta]$ – сума випадкових помилок.

Теорія помилок вимірювань вивчає випадкові помилки і відповідає на запитання: як оцінити точність одержаних результатів і визначити ступінь довір'я до них? як з одержаних результатів вимірювання зробити найнадійніші висновки?

6.2. Загальні поняття про математичну обробку результатів вимірів та критерії оцінки їх точності

Завдання математичної обробки результатів геодезичних вимірювань – одержати найвірогідніші значення та оцінити ступінь їх наближення до дійсних об'єктів, що вимірюються, або точність вимірювань. Одним з критеріїв точності у топографо-геодезичній практиці є відносна похибка. За найвірогідніше значення приймають *середнє арифметичне* з декількох рівноточних вимірювань, тобто

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \,,$$

де x_1, x_2, x_3, x_n – результати вимірювання; n – кількість вимірювань.

Тоді похибкою вимірювання δ_i (замість істинної похибки Δ) буде різниця між окремою величиною виміру x_i і середнім арифметичним $\bar{x}$: $\delta_i = x_i - \bar{x}$.

Під час проведення топографо-геодезичних робіт дуже часто однорідні величини вимірюють тільки двічі. Похибку вимірювань, яку називають ***абсолютною*** похибкою $f_{абс}$, визначають як різницю між двома одержаними значеннями, тобто

$$f_{абс} = [x_1 - x_2]$$

Відносна похибка $f_{відн}$ при цьому визначиться відношенням $f_{абс}$ до величини *x*. Прийнято визначити цю похибку у вигляді дробу, чисельник якого дорівнює одиниці. Таким чином,

$$f_{відн} = \frac{f_{абс}}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x} : f_{абс}},$$

де

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2}.$$

Відносна похибка вимірювань не повинна перевищувати допустимого значення $f_{доп}$ *, яке регламентується відповідною інструкцією,* тобто

$$f_{відн} \le f_{доп}.$$

При багаторазовому вимірюванні певної величини за критерій точності беруть середню квадратичну похибку m, яка в геодезичній практиці обчислюється за формулою

$$m = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + ... + \delta_3^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n} \delta_i^2}{n-1}}.$$

Результати вимірювань передаються наближеними числами, тому необхідні обчислення слід виконувати за правилами дій з такими числами з врахуванням достатньої кількості в них значущих і точних цифр. *Кожен результат повинен мати та*ку *кількість цифр, яка відповідає точності його одержання.* Так, виміряна відстань становить 156,3 м, якщо точність робіт 0,1 м, та 156,30 м, коли точність 0,01 м. При обчисленні оперують такою кількістю значущих цифр, яка забезпечує необхідну точність результатів.

7. ВИДИ ТА СПОСОБИ ЗЙОМОК.

7.1. Види зйомок

Зйомки виконують різними приладами із застосуванням різних матеріалів для реєстрації одержаних вихідних даних. Традиційно зйомки поділяють перш за все залежно від місця знаходження знімального обладнання під час зйомок на

наземні та повітряні з використанням фотографічних приладів (аерофототопографічна зйомка). Однак становлення й розвиток наземного знімання із застосуванням фотографій місцевості дає підставу класифікувати зйомки на топографічні та фототопографічні з подальшим поділом на наземні та повітряні. Можна також виділити зйомки суші і зйомки шельфу.

Найчастіше зйомки класифікують за приладами, які застосовують під час їх виконання. У практиці геодезичних досліджень поширені такі види зйомок: теодолітна, що виконується за допомогою теодолітів, тахеометрична, яку виконують за допомогою тахеометрів і мензульна, яку здійснюють за допомогою мензульного комплекту. В окремих випадках використовують бусольну зйомку, при якій основним геодезичним приладом є бусоль, та окомірну зйомку, суть якої становить визначення відстаней на місцевості «на око». На місцевості з нечітко вираженими формами рельєфу застосовують нівелювання поверхні.

Наземні топографічні зйомки потребують значних затрат часу і зусиль на безпосередні вимірювання на місцевості, тому їх проводять лише тоді, коли інші види зйомок недоцільні з економічних міркувань (мала площа ділянок, ділянки у вигляді вузької смуги тощо). Разом з тим мензульна і тахеометрична зйомки – дійовий метод навчання розумінню карти, зв'язків графічного зображення з реальними об'єктами.

Тепер основним видом знімання є аерофототопографічна зйомка, застосування якої дуже скорочує обсяг польових робіт і підвищує продуктивність праці.

Розрізняють також **горизонтальну, вертикальну та топографічну** зйомку.

Горизонтальна зйомка. Суть горизонтальної зйомки полягає у вимірюванні горизонтальних кутів за допомогою кутомірних приладів – теодолітів. Тому таку зйомку ще називають теодолітною зйомкою. За результатами теодолітного знімання будують контурний план місцевості, на якому зображують контури (горизонтальні проекції обрисів) населених пунктів, річок, озер, лісів, полів, доріг і інших об’єктів і ситуації.

Контурний план не відображає рельєфу, висотних позначень точок, тому є плоским зображенням місцевості, а теодолітне знімання – *плановим*, тобто таким, що не визначає висотного положення точок, які знімають.

Теодолітне знімання виконують з метою отримання плану місцевості у великому масштабі (1:2000 – 1:10 000) для складання проектів будівництва інженерних споруд, будівель, автомобільних доріг тощо.

Під час теодолітного знімання виконують такі види робіт:

1) Рекогносціювання місцевості, вибір місць закладання і закріплення вершин теодолітного полігона.
2) Вимірювання довжин ліній полігона.
3) Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на точках полігона.
4) Прив'язка полігона до опорних пунктів державної або місцевої геодезичної мережі.
5) Знімання ситуації місцевості.
6) Камеральні роботи – опрацювання лінійних і кутових вимірів, обчислення координат точок, побудова плану.

Вертикальна зйомка. Суть вертикальної зйомки полягає у визначенні висот точок місцевості шляхом нівелювання. *Нівелюванням називають визначення перевищень між окремими точками земної поверхні з наступним обчисленням їх висот.* Якщо висоти точок обчислено відносно основної рівневої поверхні, їх називають абсолютними висотами, позначками, альтитудами. Якщо їх обчислено відносно будь-якої іншої, умовно взятої поверхні, їх називають умовними.

Топографічна зйомка. Топографічна зйомка поділяється на тахеометричну, мензульну, бусольну, окомірну, фототопографічну (наземну і повітряну).

Тахеометрична зйомка – один з видів великомасштабної топографічної зйомки, що виконується за допомогою тахеометрів. Слово «тахеометрія» у перекладі з грецької означає «швидке вимірювання». Швидкість тахеометричної зйомки досягається тим, що при одному наведенні геодезичного приладу на знімальний пікет одержують дані, необхідні для визначення як планового, так і висотного його положення.

Цей вид зйомки має ряд переваг перед іншими видами наземних зйомок, якщо польові роботи необхідно виконати за короткий час або нема сприятливої погоди для виконання зйомки іншими методами. Недолік тахеометричної зйомки в тому, що при складанні карт у камеральних умовах виконавець не бачить місцевість, внаслідок чого

можливе упущення окремих деталей місцевості та пов'язані з цим деякі спотворення в її зображенні.

Мензульна зйомка – один з видів топографічної зйомки, при якій за допомогою оптико-механічного приладу *кіпрегеля* та *мензули* безпосередньо на знімальній ділянці створюється топографічний план або карта місцевості. Під час мензульної зйомки горизонтальні кути не вимірюють приладом, а одержують шляхом графічних побудов на знімальному планшеті, який закріплений на мензульній дошці, тому мензульну зйомку називають також к у т о н а р и с н о ю (графічною). Мензульна зйомка проводиться в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 у разі відсутності матеріалів аерофотозйомки або коли застосовувати її економічно невигідно.

У тому, що план будується безпосередньо на місцевості, основна перевага мензульної зйомки. Такий спосіб зйомки дає змогу порівнювати картографічне зображення з натурою, більш точно проводити горизонталі, вилучити більшість камеральних обчислювальних робіт. Недоліками мензульної зйомки є залежність її від погоди, низька продуктивність праці, громіздке знімальне устаткування.

Мензульна зйомка може бути виконана за такою схемою: підготовчі роботи; згущення геодезичної основи прокладення теодолітних ходів з вирахуванням координат його точок; підготовка знімального планшета (сюди входять побудова координатної сітки і нанесення точок геодезичної основи з відомими координатами; згущення знімальної основи створенням геометричної сітки, прокладенням мензульних ходів тощо; проведення зйомки з одночасним кресленням плану місцевості; остаточне оформлення плану.

Аеротопографічна зйомка. Ф о т о т о п о г р а ф і я – дисципліна, яка вивчає способи створення топографічних карт і планів за матеріалами фотографічної зйомки місцевості. Фотографування може бути виконане з літака або іншого літального апарата, а також з високих точок земної поверхні. Залежно від того, як зроблено фотознімки місцевості, виділяють два види фототопографічної зйомки: аерофототопографічну і наземну фототопографічну, або фототеодолітну.

Для перетворення знімка в топографічну карту чи план крім фотографування місцевості потрібно провести у певному обсязі польові топографо-геодезичні і камеральні фотограмметричні роботи. Останні пов'язані з визначенням за

фотознімками виду, форми і положення об’єктів місцевості тощо, внаслідок чого значно скорочуються польові роботи.

Аерофототопографічна зйомка – це основна державна зйомка, яку виконує топографо-геодезична служба. Широко застосовують її також під час географічних та гідрографічних досліджень, у геології, при земле- та лісовпорядних роботах, у будівництві. На відміну від тахеометричної, мензульної та наземної фототопографічної зйомок аерофототопографічна значно скорочує витрати часу і коштів на складання топографічних карт і планів. Це відбувається насамперед за рахунок того, що фотозйомка дає змогу одержати одномоментні зображення значної за розміром ділянки місцевості у вигляді *аерофотознімка*, а під час наземної традиційної зйомки на це потрібно значно більше часу, тому що зображення місцевості створюється поступово, від точки до точки. Крім того, більшість робіт для створення топографічної карти виконується за допомогою технічних засобів у камеральних умовах.

Наземну фототопографічну зйомку застосовують для картографування невеликих, головним чином гірських, територій, які на наземних фотознімках зображаються краще, ніж на аерознімках. Її використовують також для вивчення руху льодовиків, зсувів, під час зйомки кар’єрів та для розв’язання ряду інженерних завдань. У деяких випадках її комбінують з аерофототопографічною зйомкою.

Аерофотозйомка полягає у фотографуванні земної поверхні з літака за чітко розробленими технічними умовами. Її здійснюють спеціальними *топографічними аерофотоапаратами* (АФА), робота яких повністю автоматизована, тобто експонування (відкриття та закриття затвора АФА), перемотування плівки для нового кадру, вирівнювання плівки у площину здійснюється без втручання людини. В результаті багаторазового повторення циклу утворюється аерофільм у вигляді ряду суміжних знімків.

7.2. Способи зйомок

Є кілька способів горизонтальної зйомки: обходу, полярний, координат (перпендикулярів), засічок, створу. Здебільшого на зйомочних роботах їх використовують разом, вибираючи для даних умов найзручніший, економічний і найточніший спосіб.

Спосіб обходу застосовують для знімання відокремлених елементів ситуації (ліс, населений пункт) або для знімання протяжних об'єктів (дорога, канал тощо).

Криволінійну границю ділянки розбивають на відрізки, які для даного масштабу зйомки можна вважати прямими.

Наприклад, знімають для складання плану в масштабі 1:10000. В цьому випадку 0,1 міліметра на плані відповідатиме 1 *м* на місцевості (точність масштабу дорівнює 1 *м).* Отже, відхилення границі від прямої може бути не більше 1 *м,* в крайньому разі півтори точності масштабу, тобто 1,5 м. Особливо старанно знімають різко виявлені границі.

Розбиваючи границі на відрізки, дрібні, нехарактерні, випадкові звивини узагальнюють (рис. 7.1). У точках повороту встановлюють стовпи або забивають кілки і вимірюють відстані між сусідніми точками $d_1, d_2, \ldots d_n$, а в кожній закріпленій точці – кути $\beta_1, \beta_2 \ldots$ між напрямами на задню і передню точки. За одержаними даними складають план ділянки.

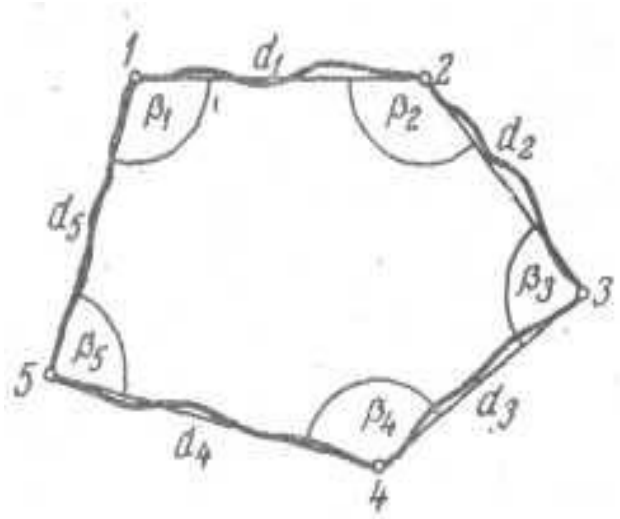


Рис. 7.1. Зйомка способом обходу

Полярний спосіб заснований на системі полярних координат. Знімають від точок, координати яких уже визначені, звичайно з точок мереж зйомочного обґрунтування.

Полярним способом знімають звивисті контури берегових ліній озер і струмків, будівлі, рельєф. Якщо координати точок *A* і *B* (рис. 7.2) відомі, то границі ділянки зручніше зняти полярним способом. При цьому кутомірнийінструмент ставлять у

точку *A*. З точки *A* до характерних точок вигину границі (які визначають з урахуванням точності масштабу) вимірюють відстані – радіуси-вектори $r_1, r_2 \ldots$ і полярні кути $\beta_1, \beta_2 \ldots$ від відомого напряму *AB* до радіусів-векторів. За одержаними даними також можна скласти план.

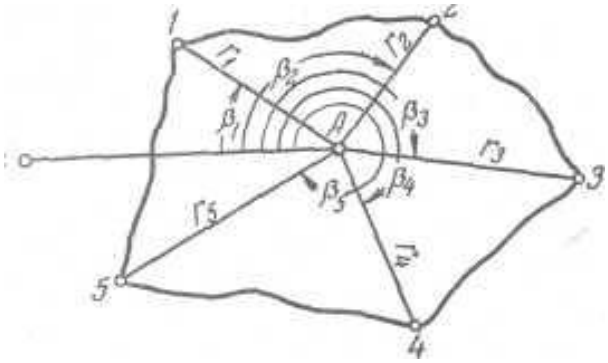


Рис. 7.2. Зйомка полярним способом.

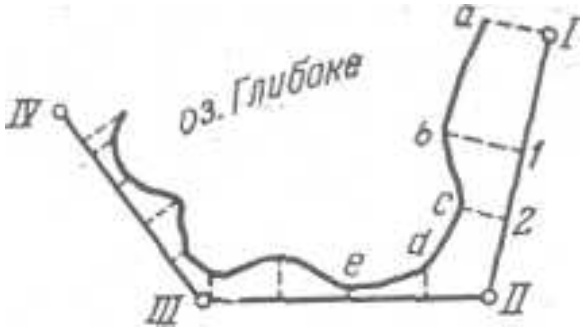


Рис. 7.3. Зйомка способом перпендикулярів.

Спосіб координат (перпендикулярів) застосовують при зйомці витягнутих, а також звивистих ліній, наприклад брівок ярів, берегових ліній річок і струмків, доріг. Застосування цього способу видно на прикладі зйомки берегової лінії озера Глибокого (рис. 7.3). Вздовж берегів прокладено зйомочний хід. Лінію *I – II* беруть за вісь *X*, тоді перпендикуляри, що їх опускають з точок повороту берегової лінії на лінію *I – II*, будуть ординатами. Відстані від точки *I* до основ перпендикулярів вимірюють одночасно з вимірюванням відстані між точками *I* і *II*, тоді ж рулеткою вимірюють довжини перпендикулярів. Точка *b* матиме координати: відстань *I – 1* довжину перпендикуляра *I – b;* точка *c* – відстань *I – 2* і перпендикуляр *2 – c.* Для точок *d, e* ... абсциси вимірятимуться вздовж лінії *II – III* від точки *II*. Точки на кривій вибирають, зважаючи на точність масштабу.

Спосіб засічок поділяють на два види: кутові і лінійні. *Спосіб кутових засічок* застосовують у випадках, коли точка, яку знімають, важко доступна або недоступна для лінійних вимірювань. Наприклад, на березі річки (рис. 7.4, а) прокладено зйомочний хід через точки *VII, VIII, IX*. Якщо точки *VII* і *VIII* накладені на план і відстань між ними взято за базис, то точку *C* можна знайти, побудувавши трикутник за стороною і двома кутами. Отже, при зйомці способом засічок завдання полягає в тому, щоб у кінцях відомої лінії *VII* і *VIII* виміряти кути *1 і 2, а* для контролю ще кути *3* і *4* на кінцях другого базису.

Спосіб лінійних засічок застосовують в умовах, коли базисні відстані невеликі, а довжини ліній засічок не більші від довжини приладу. Тут двох ліній d_1 і d_2 також недосить. Для контролю треба виміряти a_3 (рис. 7.4, б) або один з кутів при базисі.

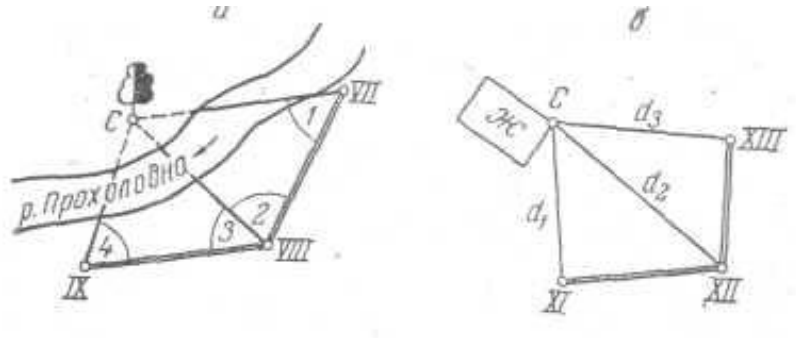


Рис. 7.4. Зйомка способом засічок

а) кутова засічка; *б)* лінійна засічка.

На зйомці в полі ведуть схематичний рисунок знімальної ситуації – *абрис* (рис. 7.5). Для викреслювання абрису користуються лінійкою косинцем, транспортиром і обов'язково чорним простим олівцем. Гумку і хімічний олівець застосовувати в полі при складанні абрису і записах даних у журналі заборонено.

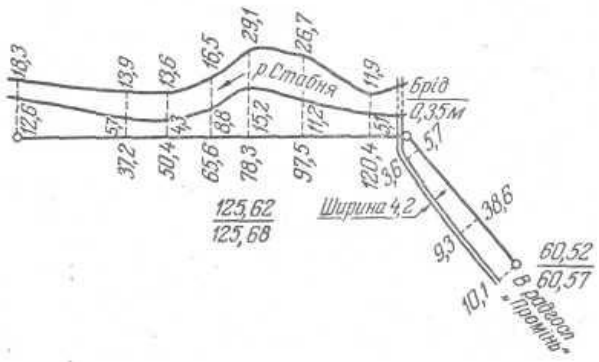


Рис. 7.5. Абрис.

Абрис складають розбірливо, приблизно додержуючись одного масштабу. В ньому вказують результати вимірювання довжин ліній і кутів, границі контурів і лінії ходу. Складаючи плани за даними абрисів, вигини ліній, не підтверджені вимірюваннями, не враховують, тому в абрисі вигини ліній знімальних границь показують тільки в знімальних точках.

Абрис має бути орієнтований по сторонах світу.

Якщо пікет знаходиться на лінії між двома точками (у створі), положення яких уже відоме, то його положення визначають *способом створу*, для чого вимірюється відстань від точки до пікету (рис. 7.6).

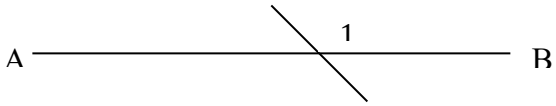


Рис. 7.6. Спосіб створу.

8. КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ

8.1. Зміст і призначення теодолітного знімання. джерела помилок при вимірюванні кутів

Теодолітна (горизонтальна) зйомка є зйомкою ситуаційною, при якій горизонтальні кути вимірюють теодолітом, а горизонтальні проекції відстаней різними мірними приладами (землемірними стрічками і рулетками, оптичними та електронними далекомірами). Перевищення між точками місцевості при цьому не визначають, тому теодолітна зйомка є окремим випадком тахеометричної зйомки.

Теодолітні зйомки використовують для підготовки ситуаційних планів місцевості і цифрових ситуаційних моделей місцевості (ЦММ), а також для оновлення (внесення ситуаційних змін) топографічних карт і електронних карт (ЕК). У практиці вишукувань об’єктів будівництва теодолітні зйомки найбільш часто використовуються для отримання ситуаційних планів і ЦММ в масштабах 1:2000, 1:5000 та в окремих випадках 1:10 000.

У практиці вишукувань лінійних інженерних споруд (автомобільних, лісовозних доріг, зрошувальних систем і т. д.) теодолітну зйомку застосовують при трасуванні шляхом вішення ліній, вимірювання кутів повороту траси, розбивки пікетажу і зйомки притрасовий смуги. При вишукуваннях майданних об’єктів (мостових переходів, транспортних розв’язок руху на різних рівнях, будівельних майданчиків, аеродромів і т.д.) теодолітні зйомки виконують для отримання ситуаційних планів для розгляду принципових варіантів інженерних рішень (вибір створу мостового переходу, розгляд можливих варіантів схем транспортних розв’язок

руху в різних рівнях, варіантів розміщення споруд аеродромів, будівель і споруд аеродромної служби, будівельних майданчиків і т. д.).

8.2. Основні джерела похибок при вимірюванні кутів

Кутові вимірювання неминуче супроводжуються похибками випадкового і систематичного характеру. Сумарну похибку вимірюваного кута утворюють такі елементи: 1) похибки вимірювання кута, які виникають внаслідок неточного центрування теодоліта і візирних цілей; 2) приладні похибки, які виникають внаслідок порушень взаємодії частин і механізмів теодоліта; 3) власні похибки вимірювання кута – помилки візування і відлічування; 4) похибки, викликані впливом несприятливих зовнішніх чинників (умови видимості, коливання зображень тощо).

Дія випадкових похибок може бути послаблена використанням більш досконалих приладів та засобів вимірювань, збільшення числа прийомів.

Найсприятливішим для вимірювань кутів вважають час приблизно через 0,5–1 год. після сходу Сонця і за 0,5–1 год. до його заходу. У полуденні години коливання зображень дуже сильні. Сприятливими для вимірювань є похмурі дні.

8.3. Класифікація теодолітів

Теодоліти розрізняють *за конструкцією, точністю, призначенням* та іншими ознаками.

За *призначенням* і *сферою використання* розрізняють астрономічні, геодезичні, маркшейдерські, автоколімаційні та спеціальні теодоліти.

За *конструкцією* – прості, повторні, механічні, оптичні, електронні.

Простий теодоліт має тільки закріпний гвинт або пригрій для повороту і закріплення лімба.

Повторний теодоліт конструктивно має незалежне обертання за рахунок закріпних та навідних гвинтів лімба й алідади. Це дає змогу підвищувати точність кутових вимірювань. Сучасні теодоліти мають повторну систему.

Механічні теодоліти мають металеві горизонтальний і вертикальний відлікові круги (лімби), *оптичні* — скляні лімби; в *електронних* теодолітах використовують кодові диски як відлікові пристрої.

За стандартом теодоліти позначають літерою *Т.* Попереду літери *Т* може бути цифра 1, 2, ... і т. ін., яка вказує на нову модифікацію приладу. Число справа за літерою *Т* вказує на середню квадратичну похибку вимірювання горизонтального кута. Далі йдуть літери, які позначають конструкцію теодоліта:

1) *К* – з компенсатором вертикального круга;
2) *П* – з прямим зображенням зорової труби;
3) *М* – маркшейдерське виконання;
4) *А* – з автоколімаційним окуляром.

Наприклад, теодоліт серії Т30 означає теодоліт з середньою квадратичною похибкою вимірювання кута $m_\beta = \pm 30''$; 2Т30П – теодоліт другої модифікації, $30''$ точності з прямим зображенням зорової труби.

За *точністю* теодоліти поділяють:

– на високоточні Т05, Т1;
– точні Т2, Т5, Т10;
– технічні Т15, Т20, Т30, Т60.

В інженерно-будівельній справі використовують оптичні та електронні теодоліти і тахеометри різної точності залежно від розв'язання інженерно-геодезичних задач.

8.4. Будова теодоліта 2Т30П

Теодоліт (рис. 8.1) призначений для вимірювання кутів в теодолітних та тахеометричних ходах, при розбивці планових і висотних знімальних сіток, для вимірювання відстаней з використанням нитяного далекоміра зорової труби, визначення магнітних азимутів за орієнтир-бусоллю, а також для нівелювання горизонтальним променем за допомогою циліндричного рівня на трубі.

Основними його частинами є горизонтальний кутомірний круг, вертикальний кутомірний круг, зорова труба, яка кріпиться на колонках, система циліндричних рівнів. Кутомірні круги мають співвісні з ними алідади з відліковими пристроями.

Теодоліт кріпиться на штативі підставкою із трьома підйомними гвинтами. Під кожухом знаходиться лімб, який служить для вимірювання горизонтальних кутів (має

рівномірну кутову шкалу). Шкала виконана радіальними штрихами з позначенням градусних поділок за годинниковою стрілкою. Довжина дуги лімба між двома сусідніми штрихами в градусному вимірі має назву ціни поділки лімба.

Вісь горизонтального круга збігається із вертикальною віссю, навколо якої обертається прилад. Горизонтальна вісь з'єднує зорову трубу і вертикальний круг з алідадою, при цьому труба і круг насаджені на вісь наглухо, а алідада з відліковим пристроєм – вільно. Зорова труба обертається навколо осі через зеніт, тому вертикальний круг може знаходитися справа від труби (це положення «круг право»– КП) та зліва (положення «круг зліва» – КЛ).

Лімб закріплюється затискним гвинтом, а мікрометричним гвинтом наводиться точно на потрібну точку. Аналогічно є затискний та мікрометричний гвинти алідади.

Зорова труба закріплюється затискним гвинтом, а мікрометричним наводиться точно на предмет у вертикальній площині. Спеціальним кільцем проводиться фокусування. На кожусі вертикального круга знаходиться паз для кріплення бусолі. Труба служить для розглядання предметів, розташованих на відстані. Складовими частинами труби є об'єктив та окуляр. В сучасних приладах застосовано внутрішнє фокусування, завдяки чому труба герметична і в процесі фокусування не змінює своєї довжини. Установку зорової труби для спостереження (фокусування) виконують «по оку» обертанням діоптрійного кільця до отримання чіткого зображення сітки ниток і "по предмету" зміною положення фокусуючої лінзи за допомогою кремальєри до отримання чіткого зображення об'єктів спостереження. У теодоліта 2Т30П – гвинт кремальєри через порожнисту горизонтальну вісь приладу виведений на колонку. У передній фокальній площині окуляра розташована сітка ниток. яка дозволяє окрім візування напрямів визначати відстані за допомогою нитяного віддалеміра (рис. 8.2).

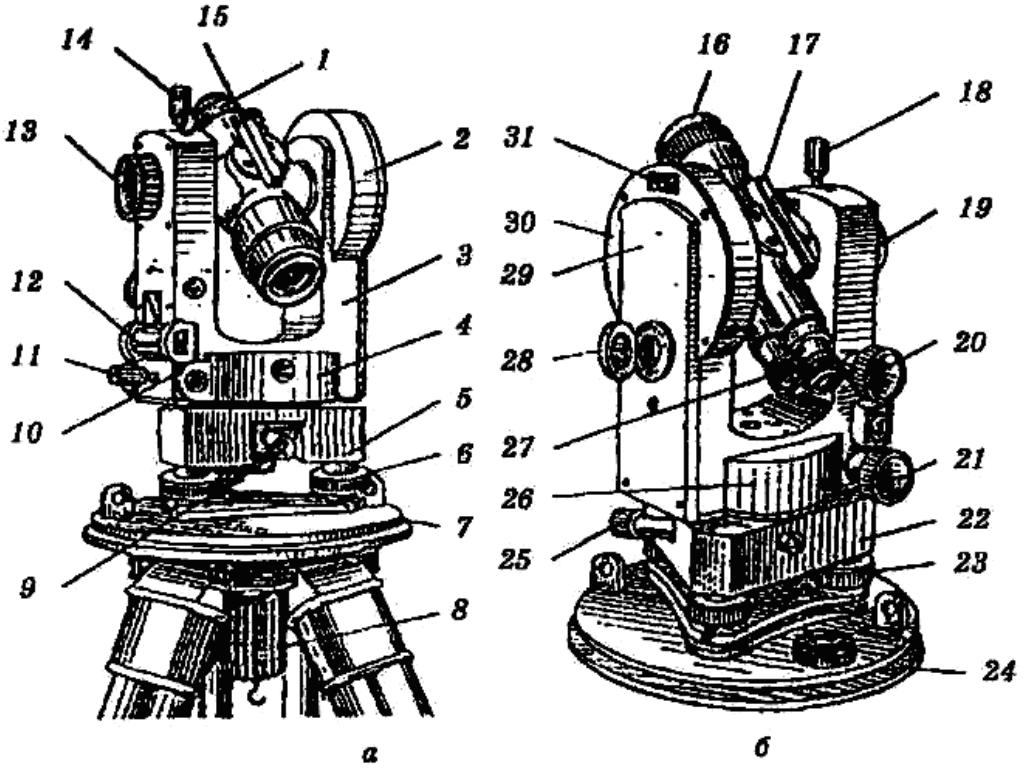


Рис. 8.1. Технічний теодоліт 2Т30П: *1* - зорова труба; *2, 30* - вертикальний круг; *3, 29* - колонки труби; *4, 26* - горизонтальний круг; *5, 22* - підставка теодоліта; *6, 23* -підйомний гвинт; *7, 24* - основа; *8* -становий гвинт; *9* - закріпний гвинт лімба горизонтального круга; *10* - виправні гвинти циліндричного рівня; *11* - закріпний гвинт алідади горизонтального круга; *12* - циліндричний рівень; *13, 19* - гвинт кремальєри; *14, 18* - закріпний гвинт труби; *15, 17* - візир зорової труби; *16* - зорова труба; *20* - мікрометричний (навідний) гвинт зорової труби; *21* - мікрометричний (навідний) гвинт алідади горизонтального круга; *25* - мікрометричний (навідний) гвинт лімба горизонтального круга; *27* - окуляр відлікового мікроскопа; *28* - дзеркальце; *31* - паз для кріплення бусолі

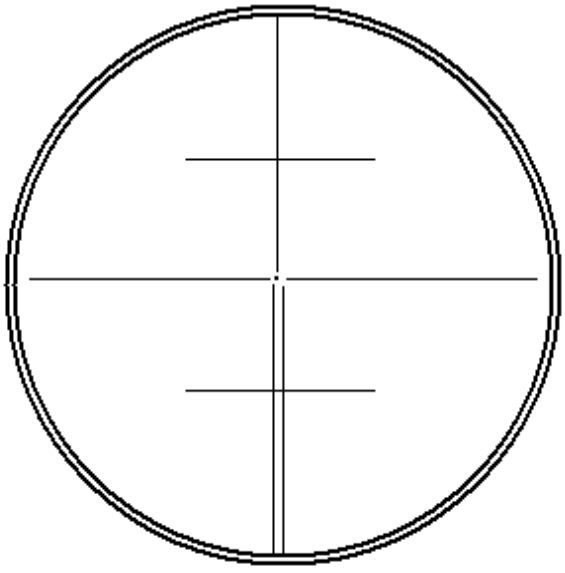


Рис.8.2. Сітка ниток зорової труби

Вертикальний круг приладу має подібну будову до горизонтального. Вісь обертання лімба та алідади співпадають.

Даний теодоліт є оптичними і влаштований так, що зображення шкал із горизонтального та вертикального кругів передаються на мікроскоп, який знаходиться поруч із зоровою трубою. Це підвищує точність і зручність у роботі з приладом – у полі зору мікроскопа спостерігаються відліки одразу із двох кругів.

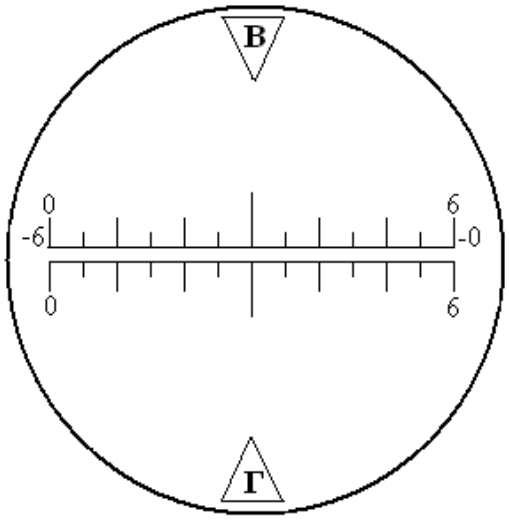


Рис.8.3. Поле зору відлікового мікроскопа 2Т30П

Штриховий мікроскоп – це оптичний пристрій, у полі зору якого видно відліковий штрих; відносно нього переміщуються зображення поділок лімбів горизонтального (Г) і вертикального (В) кругів. Ціна поділки лімба 05′, десяті частки поділки оцінюються “на око” (рис.8.3).

Система рівнів служить для встановлення теодоліта (або його окремих частин) у правильне положення відносно горизонтальної площини. Рівні бувають циліндричні та круглі. Теодоліти обладнані переважно циліндричними рівнями. Ампула такого рівня являє собою заповнену сірчаним ефіром або етиловим спиртом скляну трубку з веретеноподібною внутрішньою поверхнею. Пара заповнюючої рідини утворює бульбашку рівня. З зовнішнього боку ампули наносять шкалу з ціною поділки від 1″ до 2′. Центр шкали вважають за нуль-пункт. Якщо бульбашка рівня знаходиться у нуль-пункті, то вісь циліндричного рівня займає горизонтальне положення.

8.4. Будова теодоліта DT-5

DT-5 являє собою цифрову систему для кутових вимірювань. Точність вимірювання кутів 5". Мікрокомп’ютер, вбудований в прилад виконує калькуляцію, зберігання в пам’яті і відображення даних. На дисплеї приладу відображаються значення горизонтального і вертикального кутів одночасно (рис.8.4).

Конструкція інструменту проста і оригінальна. Це дозволяє поєднувати в собі легкість, компактність і пряме швидке зняття відліків. При створенні даного приладу використовувалися найпередовіші технології проектування і надійні матеріали.



Рис. 8.4. Будова теодоліта DT-5

1. Лінза об`єктива; 2. батарея; 3. вікно дисплея; 4. фіксатор горизонтального ходу; 5. трегер; 6. оптичний візир; 7. кнопки управління; 8. важіль-фіксатор; 9. гвинт рукоятки; 10. гвинт фокусування; 11. окуляр; 12. гвинт вертикального ходу; 13. циліндричний рівень; 14. підйомні гвинти; 15. рукоятка; 16. інтерфейс зв'язку з EDM; 17. круглий рівень.

8.6. Принцип та способи вимірювання горизонтальних кутів

Горизонтальний кут – це проекція кута на місцевості, утвореного спостережуваними напрямками. Він є лінійним кутом двогранного кута, утвореного прямовисними проектуючими площинами, проведеними через ці напрямки. На рисунку 8.5 такий кут утворюють площини *E* і *F*, що проходять через напрямки *OA* та *OB* і перетинаються на прямовисній лінії ZZ_1, яка проходить через точку стояння спостерігача. Мірою кута *AOB* є горизонтальний кут $A'OB' = \beta$.

Кут *AOB* вимірюють за допомогою кутомірного круга, встановленого горизонтально (паралельно площині *P)* так, щоб його центр *o* збігався з прямовисною лінією ZZ_1 точки *O*. Радіуси *oa* і *ob* круга розташовані відповідно в площинах *E* та *F* і паралельні сторонам горизонтального кута *AOB* . Величина кута β дорівнює різниці відліків по кругу в точках *a* і *b:*

$$\beta = a - b.$$

Перед тим як приступити до вимірювання горизонтальних кутів необхідно теодоліт привести в робоче положення. Робочим положенням вважають таке:

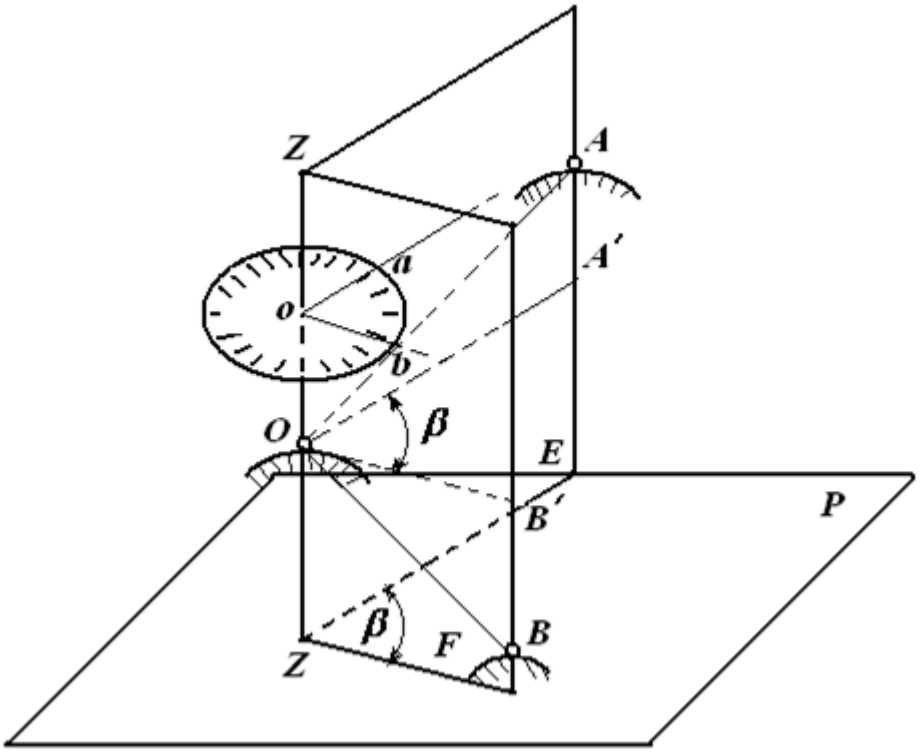


Рис. 8.5. Принцип вимірювання горизонтального кута

1) коли теодоліт центрований над точкою вершини кута і вісь обертання теодоліта займає прямовисне положення. Ніжки штатива встановлюють навколо точки, якою може бути звичайний кілочок Центрування виконується за допомогою ниткового або оптичного виска. Приводять бульбашку рівня горизонтального круга в нуль-пункт. На декілька обертів відпускають становий гвинт і теодоліт пересувають на головці штатива так, щоб вістря ниткового виска або хрест оптичного виска співпали з центром, відміченим на точці;

2) коли площина горизонтального круга приведена в горизонтальне положення. Для цього циліндричний рівень встановлюють за напрямком двох піднімальних гвинтів і, повертаючи піднімальні гвинти в різні сторони, приводять бульбашку рівня в нуль-пункт. Потім повертають рівень за напрямком третього піднімального гвинта і ним приводять бульбашку на середину. Ця операція виконується декілька разів для того, щоб бульбашка рівня при обертанні алідадного круга не відхилялась від середини більше ніж на одну поділку.

Точка, в якій встановлений теодоліт для виконання вимірювань, називається станцією. Зображення сітки ниток повинно відповідати зору спостерігача. Для цього

дивляться в зорову трубу і обертають окулярну трубочку в ту чи іншу сторону до появи в полі зору досить чіткого зображення сітки ниток.

Зорову трубу наводять приблизно на праву точку. При допомозі мікрометреного гвинта алідади горизонтального круга і мікрометричного гвинта зорової труби наводять хрест сітки точно на точку. Якщо точка закріплена кілочком або стовпом і видно в зоровій трубі її верх, то хрест сітки ниток наводять на верх цієї точки.

Коли в точці встановлюють віху для спостережень, то хрест сітки ниток наводять на нижню її частину, тому що вона буде найближчою до центру самої точки.

Існує декілька способів вимірювань горизонтального кута. Найбільш поширеними є: спосіб прийомів, спосіб кругових прийомів, спосіб суміщення кутів лімба і алідади.

Спосіб прийомів. Знаходячись з теодолітом над вершиною кута, що вимірюється (цю точку називають станцією), зорову трубу наводять на точки спостереження, якими визначають напрями кута. Перед початком спостережень зображення сітки ниток повинно відповідати окові спостерігача. Для цього, дивлячись в окуляр обертають діоптрійне кільце до появи в полі зору чіткого зображення сітки ниток. Труба вважається наведеною, коли ясне зображення потрібної точки спостерігають точно в центрі чітко окресленої сітки ниток .

Один прийом складається з двох пів прийомів: круг право (КП) і круг ліво (КЛ). Навівши трубу на праву точку *B* (рис. 8.6, *а*) при кругу право, знімають і записують відлік по горизонтальному кругу до журналу вимірювання кутів, табл. 8.1. Потім, відкріпивши закріпні гвинти алідади і зорової труби, наводять трубу на ліву точку *C*, застосовуючи дії, аналогічні описаним Після наведення знімають відлік і теж записують його до журналу. Описані дії складають першу половину прийому. Переходячи до другої, трубу переводять через зеніт. Корисно також для уникнення впливу деяких помилок обернути лімб відносно початкової позиції.

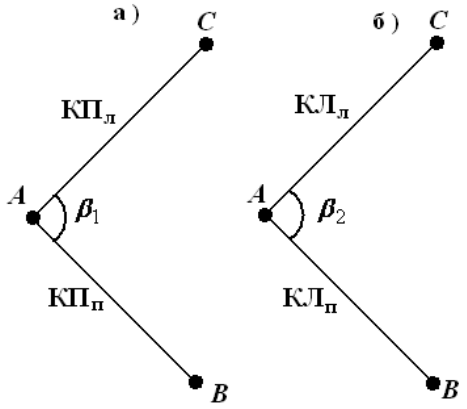


Рис. 8.6. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів:
а) півприйом при КП; б) півприйом пр КЛ

При другому крузі спостереження виконують аналогічно, відліки записують до журналу табл. 8.1. Вираховують кут за формулою:

$$\beta_1 = КП_П - КП_Л .$$

Примітка: Слід пам'ятати, що кут обчислюють за правилом: від відліку на праву точку $КП_П$ відняти відлік на ліву точку $КП_Л$. Якщо $КП_П < КП_Л$, то потрібно до $КП_П$ додати 360° і від суми ($КП_П + 360°$) відняти відлік $КП_Л$. Після цього переводять трубу «через зеніт», тобто відкріплюють закріпний гвинт труби і повертають її в вертикальній площині на 180°. Це положення називають КЛ. В цьому положенні другий раз вимірюють кут. Наводять трубу на точку *B* і знімають відлік $КЛ_П$ (рис. 8.6, *б*), а потім наводять на точку *C* і знімають відлік $КЛ_Л$.

Обчислюють кут за формулою:

$$\beta_2 = КЛ_П - КЛ_Л .$$

Результати спостережень записують в журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів (табл. 8.1).

Якщо різниця між β_1 і β_2 не перевищує подвійної точності відлікового пристрою ($\beta_1 - \beta_2 \le 1'$), обчислюють середнє арифметичне і далі користуються цим результатом. В протилежному випадку кут вимірюють знову.

Таблиця 8.1

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Станція	Точка спостереження	Позиція вертикального кругу	Відліки по горизонтальному кругу	Кути	Середнє значення кутів
	B	КП	113˚49′	81˚38′	81˚38,5′
	C		32˚11′		
	B	КЛ	295˚17′	81˚39′	
	C		213˚38′		

Спосіб кругових прийомів. Спосіб кругових прийомів застосовується тоді, коли з якоїсь точки треба виміряти декілька горизонтальних кутів (рис. 8.7). Спочатку кути вимірюють першим півприйомом при КЛ у такій послідовності. Установлюють теодоліт у вершині кутів *A* і приводить його в робоче положення. Установлюють по горизонтальному кругу відлік, близький до 90°. Закріплюють алідаду і при відкріпленому лімбові наводять центр ниток сітки зорової труби на точку *B*. Беруть відлік по горизонтальному кругу і записують його в журнал (табл. 8.2). Закріплюють лімб. Рухом алідади за ходом стрілки годинника послідовно візують на точки *C*, *D*, *E*, *F;* при цьому беруть відліки, які записують у журнал. Півприйом закінчують повторним наведенням і відліком на початковий пункт *B*. Якщо початковий і кінцевий відлік не відрізняються більш ніж на подвійну точність відлікового пристрою, то приступають до другого півприйому.

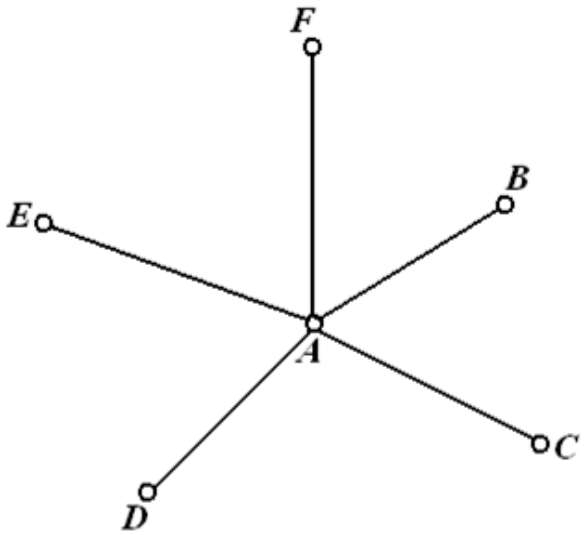


Рис. 8.7. Схема вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Таблиця 8.2

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Станція	Точки візування	Відліки по ГК		*С = (КЛ-КЛ+ +180)/2*	Середнє значення відліків при *КЛ*	Приведений напрямок при *КЛ*
		КЛ ° ′	*КЛ* ° ′	° ′		° ′
A	*B*	0°01.0	180°00'	+ 0,5'	0°00,75 0°00,5	0°00,0'
	C	64°54,5'	244°55,5'	- 0,5'	64°55,0'	б4°54,25
	D	126°	306° 19,0'	- 0,5'	126° 18,5'	126° 17,75
	E	192°39,5'	12°40,5'	- 0,5'	192°40,0'	192°39,25
	F	297°22,0	117°21 ,0'	+ 0,5'	297°21,5'	297°20,75
	B	0°01 , 5'	180°00,5'	+ 0,5'	0°01 ,0'	0°00 ,0'

При закріпленому лімбові переводять трубу через зеніт. Рухом відкріпленої алідади, при положенні КП, проти ходу стрілки годинника послідовно візують усі точки і беруть відліки. Відлік на точку *B* записують у останній рядок журналу. Відліки на наступні пункти в другому півприйомі записують знизу вверх. Якщо різниця між відліками в першому і другому півприйомах на початковий напрям *B* не перевищує подвійної точності теодоліта, то обчислюють середній відлік з двох півприйомів. Його записують у наступну графу журналу і віднімають від всіх інших відліків на наступні напрями на точки *C, D, E, F*. Визначені напрямки визначають величини кутів між цими напрямами.

Якщо кути вимірюють кількома прийомами, то відліки за напрямками визначають як середні з прийомів, а потім за цими відліками визначають кути. Кожний наступний прийом виконують так, як попередній. Для ослаблення впливу похибок поділок лімб переставляють між прийомами на кут 180°/*n*, де *n* – число прийомів. Сума кутів повинна дорівнювати 360°, що є контролем обчислень. Додатковим польовим контролем вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів є постійність подвійної колімаційної похибки.

Спосіб суміщення нулів лімба й алідади. Одним із найпростіших способів вимірювання кута – суміщення нулів лімба й алідади або „від нуля". У цьому випадку нуль алідади суміщають із нулем лімба. Алідаду закріплюють, залишаючи незакріпленим гвинт лімба. Зорову трубу спрямовують на візирну ціль і закріпляють горизонтальний круг. Відкріпляють алідаду, спрямовують трубу на другу ціль і закріпляють її. Відлік лімба дасть значення кута. Описаний спосіб простий, але недостатньо точний.

Точність вимірювання горизонтального кута одним прийомом технічними теодолітами типу 2Т-30 характеризується значенням середньої квадратичної похибки 30". З цього роблять висновок, що граничні розходження результатів вимірювання кутів у пів прийомах вищезгаданими теодолітами не мають перевищувати *1′*. Для теодоліта Т-30 допускають розходження *2′*. Якщо вимірювання виконують кількома *n* прийомами, горизонтальний круг у кожному наступному прийомі переставляють на кут $\gamma = 180°/n$.

Вимірювання магнітних азимутів. Вимірювання магнітних азимутів теодолітом здійснюють за допомогою орієнтир-бусолі (рис. 8.8). Бусоль закріплюють у пазі приладу закріпним гвинтом *1*. Положення магнітної стрілки *4* спостерігають у дзеркальці на внутрішньому боці кришки *3*, якому надають потрібного нахилу. Стрілку аретирують (притискують до скляної кришечки бусолі) обертанням гвинта *6* аретира. Північний кінець стрілки *4* пофарбовано у синій колір, на південному кінці установлюють пересувний важок *2* для її врівноваження.

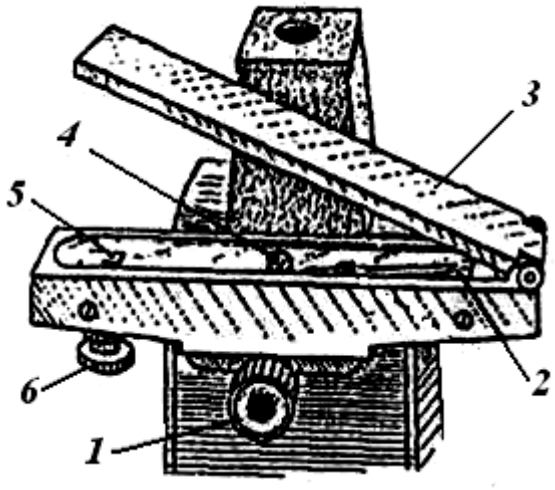


Рис. 8.8. Орієнтир-бусоль

Вимірювання магнітного азимута лінії виконують у такий спосіб. Приводять теодоліт у робоче положення над початковою (або кінцевою) точкою лінії. Для орієнтування візирної осі зорової труби в магнітному меридіані відкріплюють алідаду горизонтального круга приладу й аретир бусолі. Плавним рухом алідади наближують стрілку до її вільного руху в межах корпусу бусолі. Точне наведення на північ виконують по індексу *5* навідним гвинтом алідади після її закріплення. Беруть по горизонтальному кругу відлік $a_м$. Плавно переводять трубу на кінцеву (або початкову) точку лінії і беруть відлік $b_м$. Різниця $A_м = b_м - a_м$ і буде шуканим магнітним азимутом.

При суміщенні нулів лімба й алідади горизонтального круга отримують значення $A_м$ безпосередньо.

9. ЗАДАЧІ І МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ. СПОСОБИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

9.1. Нівелювання. Методи нівелювання

Сукупність геодезичних вимірювань, які виконують з метою визначення перевищень між точками фізичної поверхні Землі або їх висот відносно прийнятої початкової поверхні називають *нівелюванням.*

Нівелювання використовується для визначення висот опорних точок державної і зйомочних висотних та планово-висотних геодезичних мереж, при топографічних зйомках місцевості, при будівництві автомобільних та залізничних шляхів сполучення, водо-та газопроводів, при проектуванні, будівництві і експлуатації промислових та соціально-культурних об’єктів тощо.

Розрізняють декілька основних методів нівелювання: *геометричне, тригонометричне, фізичне, стереофотограмметричне* та *механічне.*

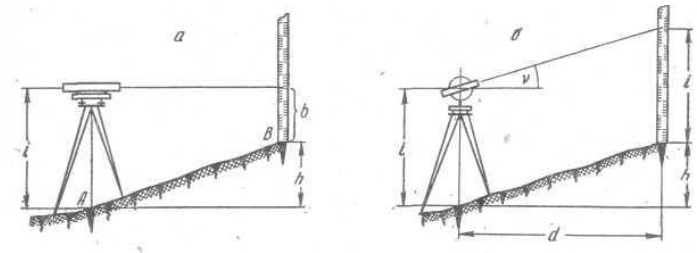


Рис 9.1. Методи нівелювання:

а – геометричний, *б* – тригонометричний.

Геометричне нівелювання виконують горизонтальним променем візування. При цьому використовують нівелір і рейки (рис. 9.1, *а*).

Тригонометричне нівелювання виконують похилим променем (рис. 9.1, *б).* Вимірявши кут нахилу лінії ν і відстань d між точками, перевищення обчислюють за тригонометричними формулами.

Фізичних способів нівелювання кілька. При цьому використовують певні закономірності природних явищ. Сюди належать барометричне, гідростатичне, радіо- і звукове нівелювання.

Барометричне нівелювання засноване на тому, що із зміною висоти точок над рівневою поверхнею змінюється атмосферний тиск. Вимірюючи тиск барометрами, анероїдами та іншими приладами, одержують дані для обчислення висот точок.

Гідростатичне нівелювання засноване на властивості рідини займати в сполучених посудинах однакову висоту.

Механічне нівелювання виконують нівелірами-автоматами, будову яких засновано на дії виска. До рами велосипеда (рис. 9.2) або автомобіля підвішено маятник. Системою передач маятник зв’язано з олівцем, який на міліметровому папері накреслює профіль пройденого шляху.

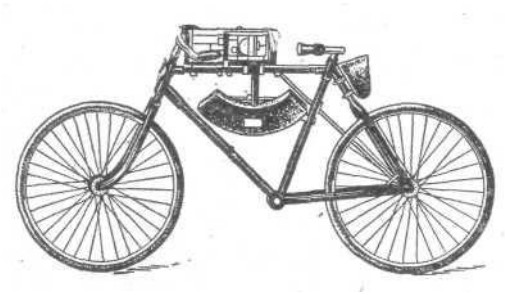


Рис 9.2. Нівелір-автомат

Масштаб профілю для горизонтальних ліній 1 : 2000 або 1 : 5000, для вертикальних ліній в 10 разів більший.

Середню квадратичну помилку визначення висот нівелірами-автоматами в сприятливих умовах обчислюють за формулою:

$$m_h = \pm 0{,}15\sqrt{L}\ \text{м}, \qquad (9.1)$$

де L – довжина нівелірного ходу, км.

При роботі на зораній ріллі помилка збільшується вдвоє.

Нівеліри-автомати доцільно використати при попередньому виборі трас доріг, каналів та інших лінійних споруд, а також при визначенні поперечних перерізів долин рік або лощовин, на яких передбачають побудувати греблі.

Фотограмметричне нівелювання застосовують при наземній і аерофотозйомці.

Нівелювання називають *складним,* якщо перевищення між двома точками визначають більш як з однієї станції. У переважній більшості випадків користуються складним нівелюванням.

9.2. Геометричне нівелювання. Будова нівелірів.

Геометричне нівелювання виконують за допомогою *нівеліра* –геодезичного приладу, який призначений для визначення різниці висот двох точок горизонтальним променем і приладь, які входять в нівелірний комплект: штатив, дві нівелірні рейки і башмаки.

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.

Нівелірні рейки виготовляють із витриманих, спеціально оброблених ялинових або соснових брусків, пластмас, металу або інших матеріалів, які відповідають вимогам до рейок. Поділки на рейках нанесені у вигляді сантиметрових шашечок, які оцифровані через сантиметр. Рейки, як правило, трьохметрові, двосторонні: основна шкала - чорна, додаткова - червона. Нуль чорної сторони рейки співпадає з окованим її кінцем – п’яткою. Поділки на червоній стороні рейки зсунуті відносно поділок на чорній стороні. При нівелюванні рейки встановлюють на кілки, металічні костилі або башмаки.

Нівелірні башмаки являють собою металеві злитки 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.

За класом точності нівеліри поділяють на: високоточні *Н-05, №007,* точні *Н-3, Н-3КЛ* та технічні *Н-10* (цифри в шифрі нівеліра означають середню квадратичну похибку в мм, яку отримують при нівелюванні на 1 км подвійного ходу, букви *К* і *Л,* які стоять після цифри, означають, відповідно, нівелір з компенсатором і лімбом).

Нівелір *Н-3* дає перевернуте зображення, відноситься до класу точних нівелірів і забезпечує збільшення зорової труби – 31.5^{x}, найменшу відстань візування - ї м , 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.

Нівелір прикріплюють до штатива за допомогою станового гвинта і пружної пластини. 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.

Оптичний нівелір GOL 26 D Professional від німецької компанії Bosch. Надійний будівельний нівелір для професіоналів по всьому світу. Чудово виконує основні задачі нівелювання, при цьому має надійний захист від проникнення води

та пилу. Оптичний нівелір Bosch GOL 26 D Professional можна використовувати навіть під час дощу або в зимовий період.

Нівелір Bosch GOL 26 D Professional оснащений якісною та повністю герметичною оптикою зі збільшенням 26х. Апертура об'єктива має діаметр 36 мм, що забезпечує проникнення достатньої кількості світла. Зображення чітке та яскраве навіть при недостатньому освітленні. Похмура погода, замкнені простори, тінь від великих будівель і при цьому всьому оптичний нівелір Bosch GOL 26 D Professional забезпечує легке оптичне зчитування перевищень та відстані.

Оптичний нівелір Bosch GOL 26 D Professional здатен забезпечувати точність до ± 1.5 мм на 1 км подвійного ходу. Згідно з державним стандартом нівеліри з такою точністю належать до групи точних нівелірів, які призначені для нівелювання III та IV класів та дозволяють отримувати середні квадратичні похибки на 1 км ходу, що не перевищують ± 3,0 мм. Нівелір з такою точністю забезпечить повний спектр потреб на будівництві.

Нівелір Bosch GOL 26 D Professional оснащено лімбом, за допомогою якого можна виконувати вимірювання кутів. Лімб має шкалу з мінімальним значенням 1°. Лімб в нівелірі Bosch GOL 26 D Professional виготовлено із міцного пластику. Шкалу нанесено контрастним білим кольором, при цьому сама шкала та відмітки кутів проштамповані на пластику, та мають незначне заглиблення. Таким чином шкала лімба захищена від стирання.

Хрестоподібна сітка ниток нівеліра має нитковий далекомір з коефіцієнтом 100. Оптика нівеліра дозволяє зчитувати відстань з нівелірної рейки, яка має дециметрову шкалу, на відстані до 100 метрів.

Суть геометричного нівелювання полягає у вимірюванні відстаней від деякої умовної рівневої поверхні до точок фізичної поверхні Землі. Оскільки незначні за площею ділянки рівневої поверхні приймаються за площину, то систему таких рівневих поверхонь, які проходять через точки нівелювання представляють у вигляді горизонтальних паралельних прямих, а перевищенням вважають довжину нормалі між ними, яка визначається різницею довжин відрізків від рівневих (фізичних) поверхонь точок до умовної рівневої поверхні, яка проходить над точками.

Розрізняють два способи геометричного нівелювання: із середини і вперед.

При нівелюванні із середини для визначення перевищення однієї точки над іншою встановлюють нівелір на однакових відстанях між ними і приводять його візирну вісь у горизонтальне положення. Над точкою вертикально встановлюють нівелірні рейки з нанесеними на них сантиметровими поділками, відлік яких ведеться від їх нижніх кінців до верхніх. Візуючи послідовно горизонтальним променем на рейки, беруть відліки *a* по задній і *b* передній рейках. Точку *B*, перевищення для якої визначають і рейку встановлену на ній, називають *передньою,* а точку *A*, відносно якої визначають перевищення і рейку встановлену на ній – *задньою* (рис. 9.4). Перевищення між двома точками визначають як різницю відліків по задній і по передній рейках за формулою:

$$h_{AB} = a - b\,. \tag{9.2}$$

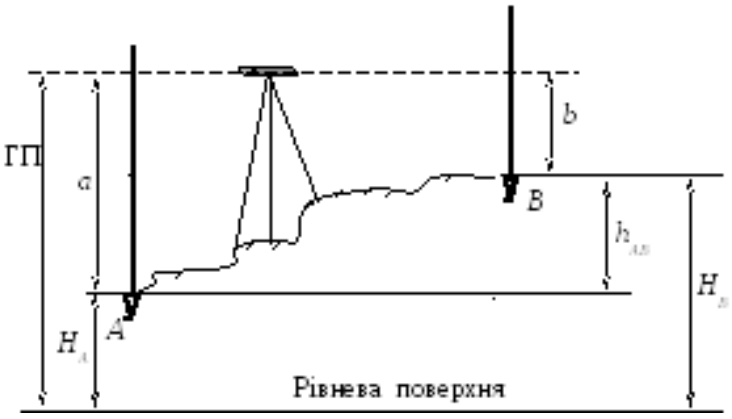


Рис. 15.4. Схема нівелювання «із середини»

В залежності від висотного положення точки *B* по відношенню до точки *A*, перевищення може бути додатнім, якщо $a \succ b$ або від'ємним, якщо $a \prec b$. Якщо абсолютна висота однієї із точок відома, то висота іншої визначається за формулою

$$H_B = H_A + h_{AB}\,. \tag{9.3}$$

При нівелюванні вперед нівелір встановлюють над точкою *A*. вимірюють його висоту *i* і беруть відлік по рейці *b* , яка встановлена на точці *B.* В такому випадку, для визначення перевищення h_{AB} в формулу (9.3) замість величини *a* підставляють *i*:

$$h_{AB} = i - b\,, \tag{9.4}$$

а висоту точки визначають за формулою:

$$H_B = H_A + i - b\,, \qquad (9.5),$$

де суму $H_A + i$ називають висотою візирної осі зорової труби нівеліра над рівнем моря або над умовним рівнем – горизонтом приладу *ГП*, звідки формула (9.3) набуває вигляду:

$$H_B = ГП - b\,. \qquad (9.6).$$

Нівелювання із середини має переваги перед нівелюванням вперед, оскільки, по-перше, компенсуються похибки відліків, які виникають за рахунок можливого відхилення візирної осі нівеліра від горизонтального положення і, по-друге, збільшується відстань між пікетами (максимальна відстань між нівеліром і рейками при нівелюванні вперед становить 100-150 м, а при нівелюванні із середини, якщо дозволяють умови місцевості, можна нівелювати точки, які знаходяться на відстані 200-300 м). Відстані більшої протяжності нівелюють з декількох станцій, які зв'язані між собою спільними точками. Спільні для двох суміжних станцій точки називають *зв'язуючими,* і їх висоти, як правило, обчислюють послідовно за напрямком нівелювання через перевищення. Інші точки нівелювання, які відображають характерні точки місцевості, називають *проміжними,* і їх висоти обчислюють через горизонт приладу. Нівелювання називається *простим,* якщо перевищення між двома точками місцевості визначають з однієї станції. *Станцією* називають місце встановлення нівеліра в процесі вимірювання.

Нівелювання між значно віддаленими або розміщеними на схилі точками проводять з декількох станцій, які утворюють *нівелірний хід.* Таке нівелювання називають *складним* або *послідовним.* Спільні точки для двох суміжних станцій називають *зв'язуючими,* а перевищення між кінцевими точками ходу при відліках a_i по задніх і b_i по передніх рейках визначаться за формулою:

$$\sum h_i = \sum a_i - \sum b_i\,, \qquad (9.7)$$

тобто сума перевищень ходу дорівнює різниці сум відліків по задній і передній рейках. Відмітку кінцевої точки *B* ходу обчислюють за формулою:

$$H_B = H_A + \sum h_i = H_A + h_{AB}\,. \qquad (9.8).$$

Нівелірні ходи можуть бути *замкненими* і *розімкненими.* Різновидом замкненого нівелірного ходу є хід, виконаний в прямому і зворотному напрямках

по одній і тій же лінії нівелювання. При відсутності похибок вимірювання перевищення по прямому і зворотному ходу повинні бути рівні за абсолютною величиною і обернені за знаком.

10. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ

10.1 Загальні відомості про геодезичні мережі

Основою при проведенні зйомочних робіт і складанні топографічних планів та карт для проектно-планувальних робіт в будівництві є геодезичні мережі. Від пунктів цих мереж виконують також розмічувально-прив'язочні і виконавчо-знімальні геодезичні роботи при будівництві споруд.

Геодезична мережа – це сукупність геодезичних пунктів, закріплених на земній поверхні. Їх планове положення визначено у єдиній системі координат, а висотне – висотою над рівнем моря або над іншою вихідною рівневою поверхнею.

При цьому пункти мережі можуть бути тільки плановими або тільки висотними, або одночасно планово-висотними. Пункти мереж розміщують згідно з наперед складеним проектом і закріплюють на місцевості відповідними знаками.

Закріплення геодезичного пункту має забезпечити його незмінне положення протягом використання і видимість між сусідніми пунктами. Геодезичні мережі мають важливе значення для правильної організації геодезичних робіт у країні, тому що дозволяють виконувати ці роботи одночасно на різних ділянках території. Геодезичні мережі забезпечують необхідну точність геодезичних робіт, оскільки помилки вимірювань не накопичуються в місцях інтенсивного виконання робіт, а рівномірно розподілені по всій мережі на всій території країни. Геодезичні мережі дозволяють проводити знімальні роботи різних масштабів і в різних місцях одночасно і незалежно, а потім зводити всі матеріали в єдині плани і карти.

Побудова геодезичних мереж відбувається за принципом від загального до часткового. Це означає, що спочатку на великих територіях утворюють рідкі мережі з невеликою кількістю закріплених на земній поверхні пунктів. Координати і висоти цих пунктів визначають з високою точністю. Потім на основі таких опорних пунктів будують мережі згущення, поетапно переходячи до все більшої кількості геодезичних

пунктів з відповідним поступовим заниженням точності визначення координат і висот в мережах більш низьких класів.

Нехай, наприклад (рис.10.1), координати і висоти пунктів А, В, С визначені з високою точністю. Ці пункти можуть бути опорою для визначення координат і висот пунктів I, II, III, які знаходяться ближче між собою. А координати і висоти цих пунктів, в свою чергу, є вихідними для визначення координат і висот точок 1,2, 3, 4 тощо.

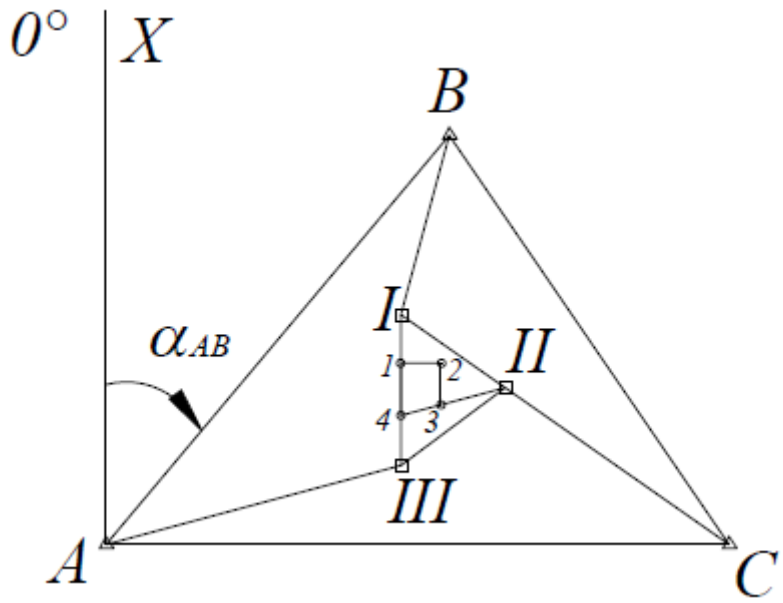


Рис. 10.1 Принцип переходу від загального до часткового

Геодезичні мережі, які служать для подальшого розвитку від них мереж більш низької точності, в тому числі при проведенні знімальних і розмічувальних робіт для будівництва, називаються опорними.

Для визначення планового положення пунктів мереж між ними вимірюють відстані і кути. Геодезичну мережу будують так, щоб її сторони утворювали прості геометричні фігури, необхідні для математичної обробки і подальшого визначення координат.

Для побудови геодезичних планових мереж використовуються такі методи:

1. Тріангуляція (від лат. – трикутник) – побудова на місцевості системи дотичниих трикутників з геодезичними пунктами в їх вершинах (рис. 10.2). У трикутниках вимірюють усі кути А, В, С і деякі сторони, які називаються базисними, або базисами.

2. Трилатерація (від лат. – трикутник - сторона) – система трикутників, аналогічних тріангуляції, в яких замість кутів вимірюють всі сторони.

3. Полігонометрія (від грец. числений – кут - вимірюю) – це ходи, в яких вимірюються кути і довжини ліній (рис. 10.3).

Від теодолітного полігонометричний хід відрізняється більш високою точністю вимірювань.

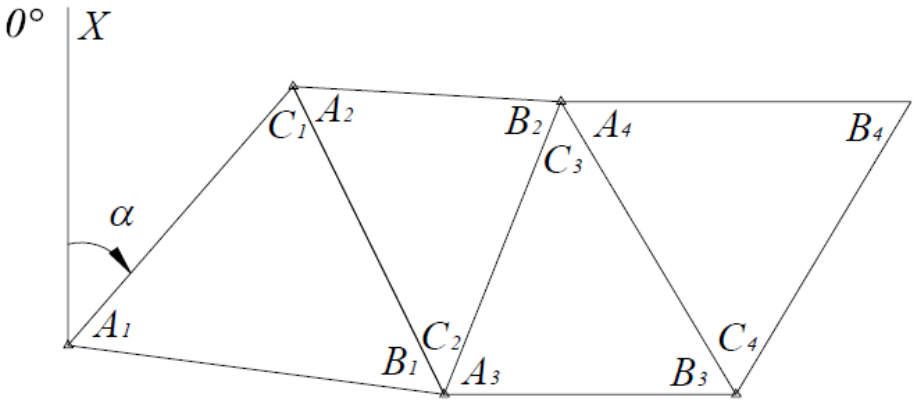


Рис. 10.2 Метод тріангуляції

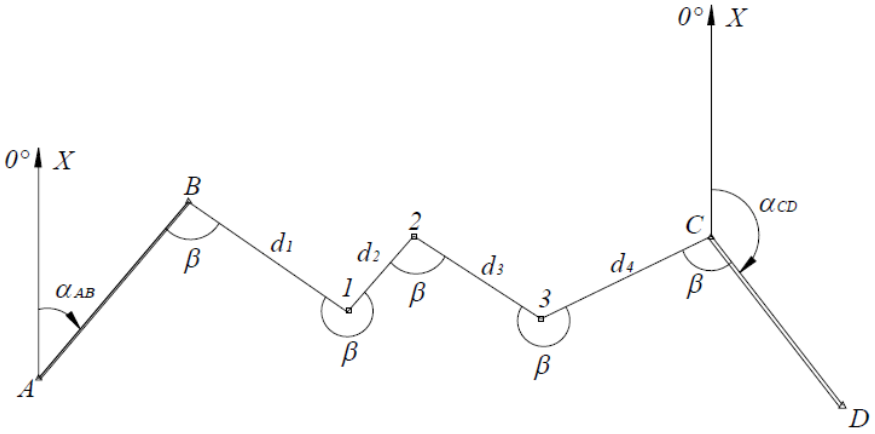


Рис. 10.3 Метод полігонометрії

Можлива побудова геодезичної мережі комбінуванням усіх трьох методів.

Висотні (нівелірні) геодезичні мережі утворюються методами геометричного і тригонометричного нівелювання.

Пункти планових геодезичних мереж, як правило, одночасно є і пунктами висотної мережі, тобто для них відомі як координати, так і висоти.

10.2 Державні геодезичні мережі

Геодезична мережа, яку розвивають на території всієї країни і яка є вихідною для побудови інших геодезичних мереж, називається державною геодезичною мережею.

Державні геодезичні мережі поділяють на планові і висотні. Планова мережа утворюється методами тріангуляції, полігонометрії, трилатерації 1…4-го класів, які розрізняються точністю вимірювань, довжиною сторін і послідовністю розвитку мереж різних класів.

Мережа 1-го класу будується у вигляді системи полігонів, утворюваних ланками тріангуляції (трилатерації, полігонометрії) довжиною порядку 200 км вздовж меридіанів і паралелей. Периметр полігону складає 800...1000 км (рис. 10.4), довжина сторін – 20...25 км. На кінцях ланок тріангуляції 1-го класу вимірюють базисні сторони, що спираються на так звані пункти Лапласа. Астрономічну широту, довготу і азимут на цих пунктах визначають із астрономічних спостережень.

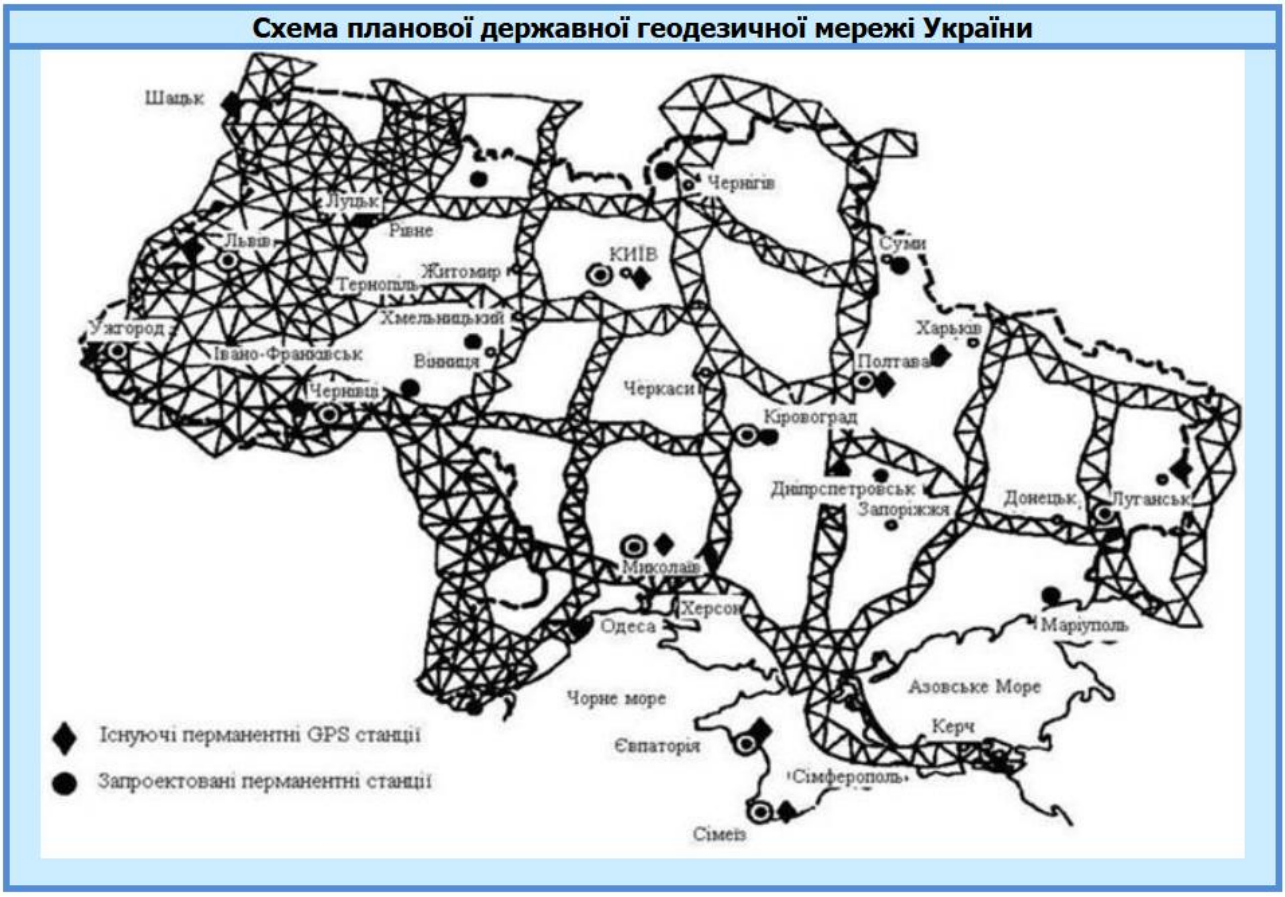


Рис.10.4 Схема планової державної геодезичної мережі України

Державна геодезична мережа 2-го класу будується усередині полігонів 1-го класу у вигляді суцільної тріангуляційної мережі або у вигляді системи пересічних ходів полігонометрії. Відстані між пунктами – 7...20 км.

Пункти державної геодезичної мережі тріангуляції 3-го і 4-го класів визначаються відносно пунктів 1-го і 2-го класів вставками між ними. Відстані між пунктами складають 2...8 км. Особливу важливість для будівництва має полігонометрія 4-го класу, тому що її пункти розміщені на відстані 0,25...2,0 км між собою, а відстані визначені з відносною похибкою не більше 1/10000.

Пункти геодезичної планової основи закріплюються на місцевості геодезичними центрами різних конструкцій, які закладають на глибину нижче від максимального промерзання грунту. Це можуть бути залізобетонні монолітні палі, азбестоцементні або металеві труби, заповнені бетонним розчином. У верхню частину центрів закладають спеціальні чавунні марочки-напівкулі з отвором-центром усередині. Координати X, Y цього центру і визначають.

У необхідних випадках на геодезичних пунктах над центрами розміщують постійні зовнішні знаки для забезпечення взаємної видимості при спостереженнях з сусідніх пунктів. Тріангуляційні зовнішні знаки за конструкцією поділяються на сигнали (рис. 10.5 а) і піраміди (рис. 10.5 б). У верхній частині зовнішні знаки мають візирні циліндри для візування з сусідніх пунктів.

Державна висотна (нівелірна) мережа утворюється методом геометричного нівелювання і є головною висотною основою знімальних і нівелірних робіт, у тому числі для спостережень за осіданням споруд.

Вона поділяється на нівелірну мережу I-IV класів. Прокладання мережі для I класу передбачає:

- рівномірне забезпечення території країни вихідними висотними пунктами для розвитку в єдиній Балтійській системі нівелювання II, III, IV класів;
- використання трас, сприятливих для нівелювання (залізні і шосейні дороги, вздовж річок тощо);
- утворення замкнених полігонів і зв`язок з водомірними постами морів і океанів.



а)



б)

Рис. 10.5 Зовнішні знаки пунктів тріангуляції

Лінії нівелювання II класу прокладають між пунктами I класу у вигляді полігонів з периметром 500...600 км. Лінії нівелювання III класу прокладаються усередині полігонів I і II класів у вигляді окремих ходів або полігонів, периметр яких не перевищує 200 км. Лінії нівелювання IV класу спираються на пункти старших класів у вигляді одиночних і пересічних ходів. Пункти перетину називають вузловими точками.

Державні нівелірні мережі всіх класів закріплюються на місцевості через 5...7 км стінними чи ґрунтовими постійними знаками – реперами (від фр. – «позначка») і марками (від нім. – «знак»). Марки і стінні репери закладають у цоколі будинків і споруд (рис. 10.6). Ґрунтові репери за конструкцією і глибиною закладання аналогічні плановим геодезичним центрам. Крім того, через 50...80 км нівелювання I і II класів встановлюються особливо сталі нівелірні знаки – фундаментальні (від лат. – «основний») репери, які закладаються в ґрунт на глибину кількох метрів.



Рис. 10.6 Стінний репер для ліній нівелювання

10.3 Геодезичні мережі згущення

У містах, селищах і на великих будівельних об'єктах створюються геодезичні мережі згущення спеціального призначення, які розвиваються на основі державних геодезичних мереж більш високих порядків. Геодезичні мережі згущення підрозділяються на: а) планові мережі 1-го і 2-го розрядів, які розвиваються методами тріангуляції, трилатерації і полігонометрії; вихідними для визначення координат пунктів цих мереж є державні геодезичні мережі 1-4-го класів; б) нівелірні мережі згущення, які розвиваються методом геометричного нівелювання III і IV класів. Показники точності цих мереж, що розвиваються на об'єктах будівництва, ті самі, що й для державних нівелірних мереж відповідного класу.

Як і пункти державних геодезичних мереж, пункти мереж згущення закріплюються постійними аналогічними знаками.

10.4 Геодезичні знімальні мережі

Знімальною геодезичною мережею називають геодезичну мережу згущення, яка утворюється для проведення топографічної знімання в період розвідувальних робіт (вишукувань) для будівництва, а із завершенням – з метою створення топографічних планів.

Для забезпечення топографічних знімань використовується знімальна основа, яку складають не тільки пункти знімальних мереж, але й розглянуті раніше державні геодезичні мережі і мережі згущення.

Знімальні мережі – це подальший розвиток мереж згущення спеціального призначення, а там, де в період вишукувань вони відсутні, створюють знімальні мережі.

Знімальна геодезична мережа за точністю в 2-3 рази нижча від мереж згущення, а кількість її пунктів на одиницю площі у 3-10 разів перевищує кількість пунктів мереж згущення.

Знімальні мережі розділяють на планові і висотні.

Координати пунктів знімальних мереж визначають методами полігонометрії і тріангуляції. Знімальну мережу, яку розвивають методом тріангуляції, називають мікротріангуляцією. Ходи планових знімальних мереж, які розвиваються методом полігонометрії, називають теодолітними ходами. Довжина ліній в теодолітних ходах – 20...350 м.

Висотні знімальні мережі утворюють технічним нівелюванням геометричним або тригонометричним методами.

Вибираючи метод утворення знімальних мереж, враховують умови району робіт. У відкритих, вкритих пагорбами малозабудованих районах розвивають мережі мікротріангуляції і застосовують тригонометричне нівелювання. У рівнинних забудованих районах прокладають теодолітні ходи і геометричне нівелювання.

Пункти знімальних мереж закріплюються тимчасовими знаками: металевими трубами із штирями, дерев'яними кілочками і стовпами з вбитими в них цвяхами. Тимчасове закріплення пунктів знімальних мереж відповідає їх призначенню – бути геодезичною основою для одноразового знімання. В умовах міст і будівельних майданчиків частину пунктів знімальних мереж закріплюють постійними знаками як основу для наступних виконавчих знімань.

11.ВИДИ І ЗАДАЧІ ІНЖЕНЕРНИХ ВИШУКУВАНЬ.

11.1. Види і завдання інженерно-геодезичних вишукувань

Інженерні споруди поділяють на такі основні види:

1) *цивільні споруди:* житлові будинки, будинки громадського призначення;

2) *промислові споруди:* заводи, фабрики, атомні станції, металургійні комбінати, шахти і т. ін.;

3) *гідротехнічні споруди:* гідроелектростанції (ГЕС), канали, порти і т.ін.;

4) *лінійні споруди:* залізничні й автомобільні шляхи, трубопроводи (нафтові, газові, сірководні тощо), лінії електропередач.

Розробці проектів нових та реконструкції наявних споруд передують інженерні вишукування.

Вишукуваннями називають процес отримання необхідних картографічних матеріалів та технічних характеристик для надійного розв'язання задач проектування, зведення та експлуатації споруди.

Основними задачами інженерних вишукувань є:

– вивчення природних і економічних умов району майбутнього будівництва;

– складання прогнозів взаємодії об'єктів будівництва з навколишнім середовищем;

– обґрунтування їх інженерного захисту і безпечних умов проживання населення.

Кожна стадія вишукувань повинна забезпечувати матеріалами відповідну стадію проектування. В зв'язку з цим розрізняють наступні види вишукувань:

✓ попередні вишукування на етапі техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) або техніко-економічного розрахунку (ТЕР);

✓ вишукування на етапі проекту;

✓ вишукування на етапі робочої документації.

Інженерні вишукування поділяють на *економічні* та *технічні*.

Економічні обґрунтування зведення споруд проводять перед технічними, визначаючи економічну доцільність зведення споруди в даному місці з врахуванням забезпечення будівництва сировиною, будівельними матеріалами, транспортом, енергією, робочою силою і т.д.

Технічні вишукування переслідують цілі вивчення природних умов району розміщення споруди з метою їх врахування при проектуванні та виконанні будівельних робіт.

Зміст і об’єм інженерних вишукувань визначаються типом, видом і розмірами споруди, що будується, місцевими умовами і ступенем їх вивченості, а також етапом проектування. Різні види споруд, технологія будівництва яких має багато спільного і вишукування для яких виконуються по схожій схемі, можуть бути об’єднанні в групи: *вишукування для площинних споруд і вишукування для лінійних споруд*.

До площинних споруд відносяться: населені пункти, промислові споруди, аеропорти та ін.; до лінійних – дороги, лінії електропередач, трубопроводи і ін.

Для оцінки ділянки майбутнього будівництва комплексно проводять наступні інженерні вишукування:

— інженерно-геодезичні;

— інженерно-геологічні;

— гідрогеологічні;

— гідрометеорологічні

— ґрунтово-геоботанічні;

— кліматологічні тощо.

До складу *інженерно-геодезичних вишукувань* належить:

— проектування і побудова планово-висотних геодезичних мереж;

— виконання топографічних знімань місцевості;

— знімання підземних і надземних комунікацій;

— трасування лінійних споруд;

— геодезичне забезпечення інших видів інженерних вишукувань (координування геологічних свердловин, знімання гідростворів тощо).

Одночасно виконують вишукування місцевих будівельних матеріалів, обстеження стану наявних споруд, збір даних для розробки проекту організації будівельних робіт і т. ін.

Узгоджують з іншими організаціями питання забезпечення будівництва електроенергією, газом, водою, місцями примикання під’їзних доріг тощо.

За результатами інженерних вишукувань виконують проектування споруд і розробляють проект виконання будівельних і геодезичних робіт.

11.2. Технологія вишукування трас лінійних споруд

Трасою лілійної споруди називають проектну вісь лінійної споруди, визначену на топографічній карті та на місцевості. Вона складається із контурного топографічного плану полоси місцевості, поздовжнього вертикального профілю впродовж траси та поперечних профілів у характерних точках траси.

У плані траса складається із прямих ділянок, сполучених між собою *горизонтальними кривими.* У поздовжньому профілі траса складається з ліній різного ухилу, сполучених між собою *вертикальними кривими.*

Траси ліній електропередач, трубопроводів інженерних мереж є просторовими ламаними лініями. У них відсутні горизонтальні та вертикальні криві.

Комплекс інженерно-геодезичних робіт з вибору найбільш оптимальної, економічно обґрунтованої траси називають *трасуванням.*

Проектування траси лінійної споруди за топографічними картами і планами називають *камеральним трасуванням.* Вибір траси безпосередньо на місцевості називають *польовим трасуванням.*

Положення траси на місцевості визначається нахилами рельєфу та контурними перешкодами.

При трасуванні дотримуються допустимих (граничних) нахилів ***i*** для трас автомобільних шляхів та залізничних колій, самосплавних трубопроводів. Для напірних трубопроводів, ліній електропередач, підземних ліній зв’язку вибирають найкоротшу, економічно обґрунтовану і вигідну трасу.

Величину граничних нахилів лінійних споруд $i_{гр}$ визначають за наявними державними нормативними документами. При трасуванні дотримуються таких вимог:

1) трасу прокладають по можливості за прямою лінією між суміжними перешкодами;

2) вершини кутів повороту вибирають по середині перешкоди (рис. 11.1), виходячи з дотримання граничного ухилу траси;

3) при проектуванні за граничним нахилом (*i*) дотримуються лінії нульових робіт, коли об'єм виїмки приблизно дорівнює об'єму насипу;

4) водні перешкоди та наявні автомобільні й залізничні шляхи перетинають під кутом 90°.

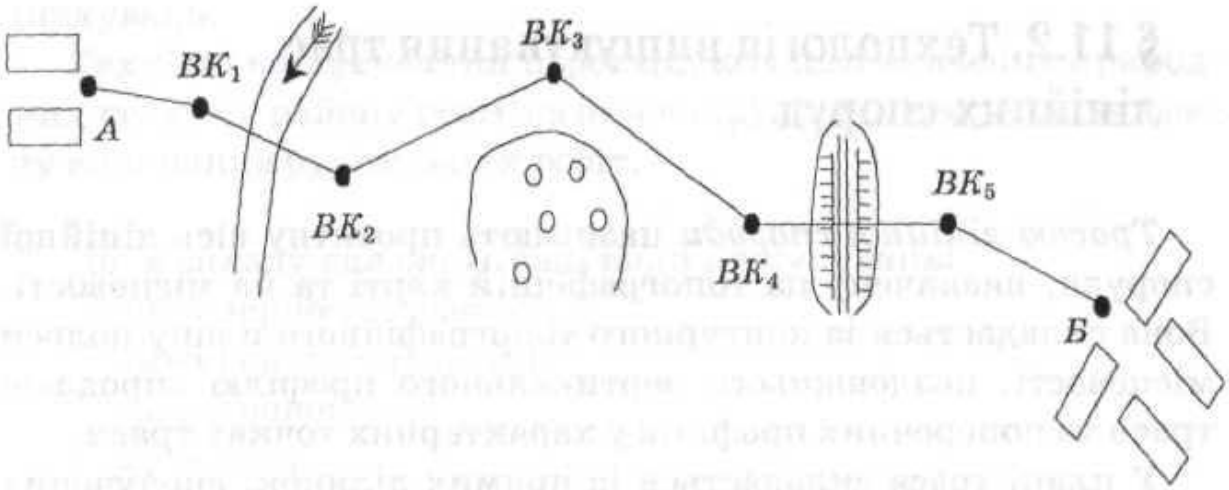


Рис. 11.1. Варіант вибору траси в рівнинній місцевості

У процесі вишукувань виконують:

— вибір оптимального економічно обґрунтованого варіанта траси за дотримання мінімальних затрат на зведення та експлуатацію споруди;

— збір топографо-геодезичних, інженерно-геологічних, гідрологічних та інших матеріалів і характеристик, необхідних для розробки проекту траси і споруд на ній.

Проектування магістральних трас лінійних споруд виконують у попередній та остаточній стадіях вишукувань.

Попередні вишукування виконують, як правило, камеральним методом з використанням наявних топографічних карт і планів, геологічних карт, матеріалів аерознімань, супутникових знімань і матеріалів інженерних вишукувань попередніх років.

У складних умовах для вибору траси виконують аерофотознімання можливих варіантів траси і за аерофотозніманнями в камеральних умовах вибирають декілька варіантів траси. Шляхом техніко-економічного аналізу різних варіантів вибирають остаточний варіант траси.

Остаточні вишукування траси виконують польовими методами за затвердженими напрямками комплексними вишукувальними партіями.

Спочатку вивчають матеріали попередніх вишукувань, складають схему розміщення траси, в якій зазначають азимути прямих ділянок, положення фіксованих точок, вершин кутів повороту траси, переходи через перешкоди, наявність пунктів геодезичної основи.

При польових вишукуваннях відповідно до проекту траси виконують рекогносцирування місцевості, визначають положення вершин повороту траси, виконують трасувальні роботи та крупномасштабне знімання переходів, пересічень, примикань, місць зі складним рельєфом тощо.

Одночасно виконують інженерно-геологічні, гідрометричні, ґрунтові та інші обстеження впродовж траси, розвідку кар'єрів будівельних матеріалів.

На основі польових вишукувань складають остаточний проект траси лінійної споруди.

11.3. Елементи плану і профілю лінійних споруд

Лінійну споруду зображають у плані у поздовжньому та поперечних профілях.

Трасою лінійної споруди є просторова вісь споруди. Проекцію вузької смуги місцевості впродовж осі лінійної споруди на горизонтальну площину (поверхню сфероїда) називають *планом траси.*

Таким чином, трасу лінійної споруди можна зобразити просторовою ламаною лінією.

На трасах автомобільних доріг та залізничних колій у кутах повороту лінії траси в плані вписують кругові криві (рис. 11.2), а в профілі – вертикальні криві (рис. 11.3) радіусами *R.*

Розрахунок елементів кругової кривої. Кругова крива є дугою кола *радіусом R.* Величина радіуса вибирається з нормативних документів залежно від категорії лінійної споруди (наприклад автомобільної дороги).

Кут β вимірюють на карті чи безпосередньо на місцевості. Кут повороту траси φ обчислюють за формулами:

— при повороті вправо:

$$\varphi_{\text{пр}} = 180° - \beta; \qquad (11.1)$$

— при повороті вліво:

$$\varphi_л = \beta - 180° \tag{11.2}$$

Елементи кругової кривої *Т, К, Б, Д* обчислюють за формулами:

— тангенс:

$$T = Rtg\frac{\varphi}{2} \tag{11.3}$$

— крива:

$$K = \frac{\pi R\varphi°}{2} \tag{11.4}$$

— бісектриса:

$$Б = R\left(sec\frac{\varphi}{2} - 1\right) = 2R\frac{sin\frac{\varphi}{4}}{cos\frac{\varphi}{2}} \tag{11.5}$$

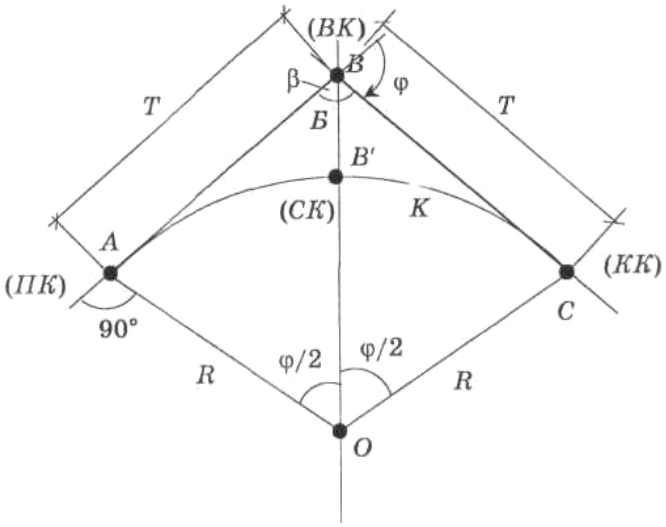


Рис. 11.2. Елементи кругової кривої

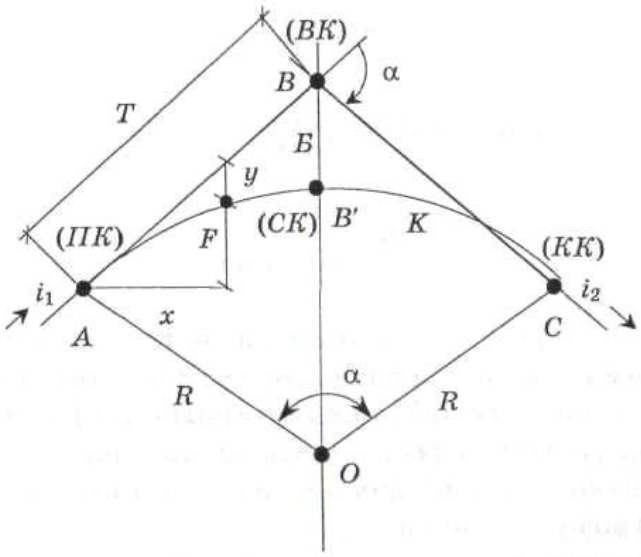


Рис. 11.3. Елементи вертикальної кривої

— домір:

$$Д = 2Т - К. \quad (11.6)$$

Домір є різницею довжини ламаної лінії *ABC* та довжини кривої лінії *AB'C*.

Точка *A* визначає початок кривої *(ПК),* точка *B* – вершину кута повороту траси *(ВК), C* – кінець кривої *(КК), B'* – середину кривої *(СК).*

Розрахунок елементів вертикальної кривої. Перелами лінії профілю з'єднують випуклими або увігнутими вертикальними кривими. Вихідними параметрами вертикальної кривої є нахили i_1 та i_2, а також радіус кривої *R*. Нахили *i* вибирають з поздовжнього профілю траси.

Кут відхилення α в радіанній мірі обчислюють за формулою

$$\alpha = i_1 - i_2 = \Delta i. \quad (11.7)$$

Елементи *Т, К, Б* обчислюють за наближеними формулами

$$T = \frac{R\Delta i}{2}; \quad (11.8)$$

$$K = R\Delta i; \quad (11.9)$$

$$Б = \frac{T^2}{2R} = \frac{K^2}{8R} \quad (11.10)$$

Положення проміжної точки F на вертикальній кривій визначається абсцисою *x* та ординатою *y*. Значення абсцис *x*. визначають від початку *(ПК)* та кінця кривої *(КК)* на рис. 11.3.

При проектуванні червоні (проектні) позначки точок на профілі зменшують на величину *y* на випуклій кривій і збільшують – на увігнутій кривій.

Ордината *y* обчислюється за формулою

$$y = \frac{x^2}{2R} \quad (11.11)$$

Для визначення елементів кругових та вертикальних кривих використовують спеціальні таблиці[1].

Прямі ділянки між початком траси і початком першої кривої, між кінцем і початком суміжних кривих, між кінцем останньої кривої і кінцем траси у плані виражають через довжину *L* та орієнтирний дирекційний кут α чи румб *r*. У профілі їх визначають довжиною *L* та нахилом *i*.

Поперечний профіль траси – це лінія перетину осі траси споруди вертикальною площиною, перпендикулярною до її осі. Елементами поперечного профілю є характерні елементи земляного полотна та споруди. їх складають у місцях зміни поперечного профілю місцевості, який впливає на проектування лінійної споруди. Для прикладу, на рис. 11.4 показано схеми поперечних профілів типових насипів і виїмок для автомобільних доріг та залізничних шляхів.

При проектуванні ліній електропередач кругові і вертикальні криві відсутні.

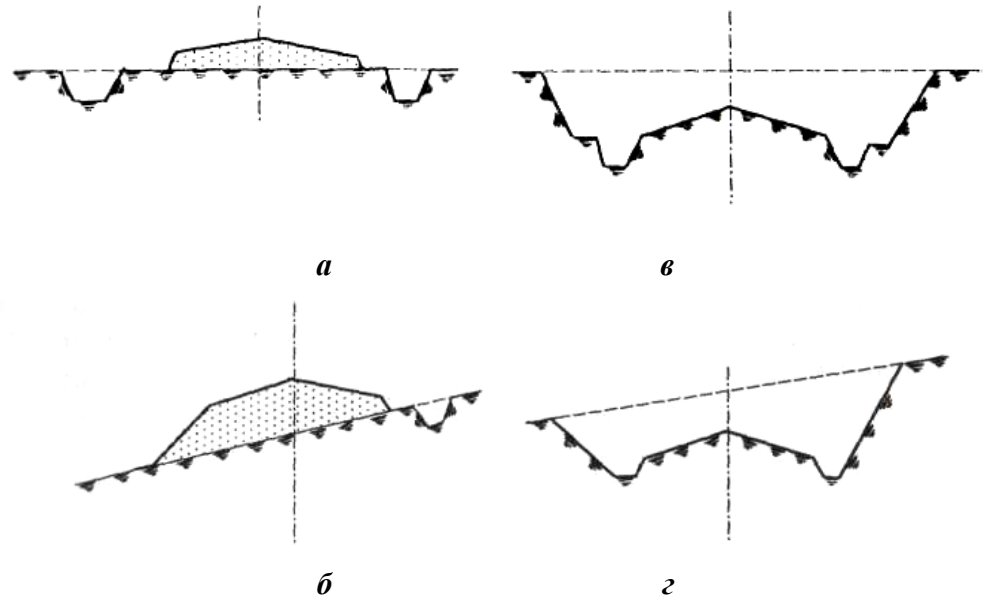


Рис. 11.4. Схеми поперечних профілів типових насипі і виїмок: *а* – насип висотою до 1,5 м; *б* – насип на косогорі; в – виїмка глибиною більше 2 м; *г* – виїмка на косогорі

12. ГЕОДЕЗИЧНІ РОЗМІЧУВАЛЬНІ РОБОТИ

12.1. Призначення і організація розмічувальних робіт

Розмічувальні роботи є одним з основних видів інженерно-геодезичної діяльності. Виконують їх для визначення на місцевості планового і висотного положення характерних точок і площин споруди, що будується, відповідно до робочих креслень проекту.

Проект споруди складають на топографічних планах крупних масштабів. Визначають розташування проектованої споруди відносно довколишніх предметів і сторін горизонту. Крім того, топографічний план визначає загально геодезичну систему

координат, що визначає положення характерних точок проектованої споруди відносно цієї системи.

Розмічувальні роботи діаметрально протилежні знімальним. При зйомці на підставі натурних вимірів визначають координати точок відносно пунктів опорної мережі. Точність цих вимірів залежить від масштабу зйомки. При розмічуванні навпаки, за координатами, вказаними в проекті, знаходять на місцевості положення точок споруди із заздалегідь заданою точністю. При розмічувальних роботах кути, відстані і перевищення не вимірюють, а відкладають на місцевості. У цьому полягає основна особливість розмічувальних робіт.

Процес розмічування споруди визначається загальним геодезичним правилом переходу від загального до часткового. Розмічування головних і основних осей задає положення всієї споруди на місцевості, тобто її розміри і орієнтування відносно сторін горизонту і існуючих контурів місцевості. Детальне розмічування визначає взаємне положення окремих елементів і конструкцій споруди.

Розмічувальні роботи – це комплексний взаємозв’язаний процес, що є невід’ємною частиною будівельно-монтажного виробництва, тому організація і технологія розмічувальних робіт цілком залежить від етапів будівництва.

У підготовчий період на місцевості будують планову і висотну геодезичну розмічувальну основу відповідної точності, визначають координати і відмітки пунктів цієї основи. Потім здійснюється геодезична підготовка проекту для перенесення його в натуру.

Безпосереднє розмічування споруд виконують в три етапи.

На *першому етапі* виконують основні розмічувальні роботи. За даними прив’язки від пунктів геодезичної основи знаходять на місцевості положення головних або основних розмічувальних осей і закріплюють їх.

На *другому етапі*, починаючи із зведення фундаментів, проводять детальне будівельне розмічування споруд. Від закріплених точок головних і основних осей розмічують подовжні і поперечні осі окремих будівельних елементів і частин споруди, одночасно визначаючи рівень проектних висот.

Детальне розмічування виконується значно точнішим, ніж розмічування головних осей, оскільки вона визначає взаємне положення елементів споруди, а розмічування головних осей – лише загальне положення споруди і її орієнтування.

Якщо головні осі можуть бути визначені на місцевості з середньою квадратичною похибкою 3...5 см, а інколи і грубішою, то детальні осі розмічують з середньою квадратичною похибкою 2...3 мм і точніше.

Третій етап полягає в розмічуванні технологічних осей устаткування. На цьому етапі потрібна найбільша точність (в окремих випадках – долі міліметра).

12.2. Геодезична планова та висотна основа розмічувальних робіт

Генеральні плани та розмічувальні креслення розробляють на основі існуючих топографічних планів місцевості в масштабах 1:500 – 1:5000.

У разі відсутності планів і карт вказаних масштабів на територію будівельного майданчика створюють GPS-мережі, тріангуляції, полігонометрії, трилатерації, лінійно-кутові планові мережі та ходи нівелірних мереж включно до ходів знімальної основи. Від закріплених пунктів планових і висотних мереж виконують топографічні знімання і складають плани у необхідних масштабах.

Інженерно-геодезичні розмічувальні роботи в період будівництва виконують з більш високою точністю. Якщо точність наявної геодезичної основи не задовольняє потреби розмічувальних робіт, то до початку будівельних робіт на будівельному майданчику створюють планову і висотну основу більш високої точності і з більшою густотою закріплених пунктів. Її називають *геодезичною розмічувальною основою чи спеціальною будівельною сіткою.*

Форма і розміри геодезичних опорних розмічувальних мереж залежать від типу, форми і розмірів інженерних споруд, їх конструкцій та необхідної точності дотримання геометричних параметрів. Мережі розвивають від пунктів державних геодезичних мереж або в умовній системі координат.

Найбільш поширеними методами створення геодезичної основи при зведенні гідроелектростанцій, атомних електростанцій, великих мостів, промислових підприємств, забудові мікрорайонів на відкритих територіях та ін. є побудова планових GPS-мереж, лінійно-кутових мереж, полігонометрії з використанням сучасних GPS-

приладів, електронних тахеометрів високої точності. Не виключається створення мереж тріангуляції і трилатерації. Висотні мережі, як правило, розвивають ходами геометричного нівелювання у вигляді замкнених і розімкнених нівелірних ходів і полігонів. При цьому ходи нівелювання повинні прив'язуватись не менше ніж на два пункти (марки, репери) державної висотної основи. При цьому пункти планових та висотних розмічувальних мереж, як правило, суміщають.

При будівництві *промислових підприємств та забудові мікрорайонів на відкритих територіях* геодезичну розмічувальну основу розвивають від пунктів державної геодезичної мережі у вигляді *будівельної сітки*. За точністю вона повинна забезпечувати точність вимірювань у плані і за висотою при виконанні всіх видів інженерно-геодезичних розмічувальних робіт.

Залежно від площі будівельного майданчика та технології будівельних робіт інженерно-геодезичні мережі можуть розвиватись у декілька стадій (ступенів). Проектується геодезична розмічувальна основа на генплані при розробці проекту виконання геодезичних робіт (ПВГР).

При *зведенні окремих будинків* планова геодезична основа може бути відсутня. Висотна основа є закріпленим у районі виконання будівельних робіт репером або *"будівельним нулем",* висота якого дорівнює позначці підлоги першого поверху споруди.

Геодезичну розмічувальну основу поділяють на *зовнішню* та *внутрішню.* Зовнішня геодезична основа розвивається і закріплюється поза будинком або спорудою. Вона служить для виконання будівельних робіт нульового циклу:

- виносу головних;основних і детальних осей споруди;
- планування будівельного майданчика, упорядкування котловану;
- монтажу фундаментів до позначки "будівельного нуля".

Цей етап називають *зведенням підземної частини споруди.*

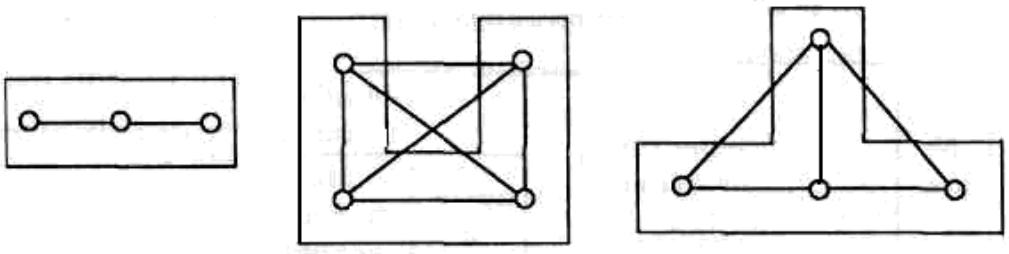
Внутрішня геодезична розмічувальна основа розвивається від пунктів зовнішньої геодезичної основи. ЇЇ пункти закріплюють на перекритті першого поверху споруди. Взаємне положення пунктів внутрішньої геодезичної основи повинне бути отримане з більш високою точністю, ніж пунктів зовнішньої основи. Для цього геодезичні

вимірювання виконують з підвищеною точністю. Створені на нульовому монтажному горизонті геодезичні розмічувальні мережі називають *базисними.* Схема базисних мереж повністю залежить від конфігурації будинку та заданої точності (рис. 12.1).

При проведенні будівельно-монтажних робіт пункти базисних сіток (фігур) переносять на наступні монтажні горизонти. Сітка, яка утворена пунктами всіх монтажних горизонтів, називається *просторовою геодезичною сіткою (мережею).*

Точність побудови зовнішньої геодезичної мережі характеризується даними ДБН 1.3-2:2010. Під час побудови внутрішньої основи користуються допусками встановлення елементів і вузлів конструкцій споруди у проектне положення. У базисних сітках обов'язково вимірюють усі кути та лінії, тобто вони є лінійно-кутовими мережами.

Геодезичну розмічувальну основу створюють з перспективою її використання при експлуатації споруд (дослідження деформації), їх розширенні та реконструкції.



а *б* *в*

Рис. 12.1. Найпростіші базисні фігури внутрішньої геодезичної розмічувальної мережі: а – створна; *б* – геодезичний чотирикутник; *в* – мережа трикутників

Висотну основу на будівельних майданчиках розвивають, як правило, ходами геометричного нівелювання II, III та IV класів. Пункти за можливості поєднують з пунктами планової основи. їх розміщують у місцях надійного зберігання на весь період будівельних робіт і експлуатації споруди.

12.3. Класифікація осей будинків і споруд

Планове положення будівель і споруд на будівельному майданчику визначається їх осями. Осі виносять на місцевість від пунктів планових геодезичних мереж, будівельної сітки, а окремих будівель – від твердих предметів і контурів місцевості.

Відносно закріплених осей встановлюють елементи та вузли конструкцій у проектне положення.

Схема винесення на місцевість осей розробляється в робочих розмічувальних кресленнях і входить до складу проекту виконання геодезичних робіт.

Осі будинків і споруд поділяють на *головні, основні* та *детальні, або проміжні.* У свою чергу їх поділяють на *поздовжні* та *поперечні* осі. Поздовжні осі розміщуються уздовж більшої сторони будинку. На робочих кресленнях їх позначають великими літерами українського алфавіту знизу вверх (*А–А, Б–Б* і т.д.). *Поперечні осі* розміщуються перпендикулярно до поздовжніх і нумеруються арабськими цифрами ліва на право (1–1, 2–2 та ін..) (рис. 12.2).

Осі будинків споруд можуть бути криволінійними (рис. 12.2, в) і повторювати їх конфігурацію.

Головними осями називаються дві взаємно перпендикулярні осі, відносно яких будинок або споруда розміщується симетрично (*В–В, 4–4* на рис. 12.2*, а; Б–Б, 2–2* на рис. 12.2, *б* та *Б—Б, 4—4* на рис. 12.2, *в).* Головні осі, як правило, розмічають при зведенні великих за розмірами будинків і споруд.

Основними осями називаються осі, які проходять по контуру будинків та споруд. На рис. 12.2, *а* поздовжні основні осі *А–А, Д–Д,* і поперечні *1–1*, *7–7*; на рис. 12.2, *б,* відповідно, *А–А, В-В, Г–Г* і *1–1*, *3–3*, 5–5 та на рис. 12.2, *в А–А, В–В;* 1–1, 7–7.

Детальними, або проміжними осями називають усі інші осі, які визначають планове положення окремих елементів конструкцій споруди. Це осі *Б–Б, Г–Г,* 2–2, 3-3, 5–5, 6–6 на рис. 12.2, *а* та ін.

Головні, основні та детальні осі проходять по краю чи центру будівельних конструкцій. У процесі будівельних робіт вони закриваються. Тому монтаж елементів будівельних конструкцій виконують відносно *монтажних осей.*

Монтажні осі проходять паралельно поздовжнім та поперечним осям на відстані 100 мм від площини конструкції. їх розмічають безпосередньо на кожному монтажному горизонті під кожний елемент конструкції.

Для лінійних споруд (доріг, каналів, водопроводів, каналізації, газопроводів тощо) проектують поздовжні осі чи осі трас цих споруд.

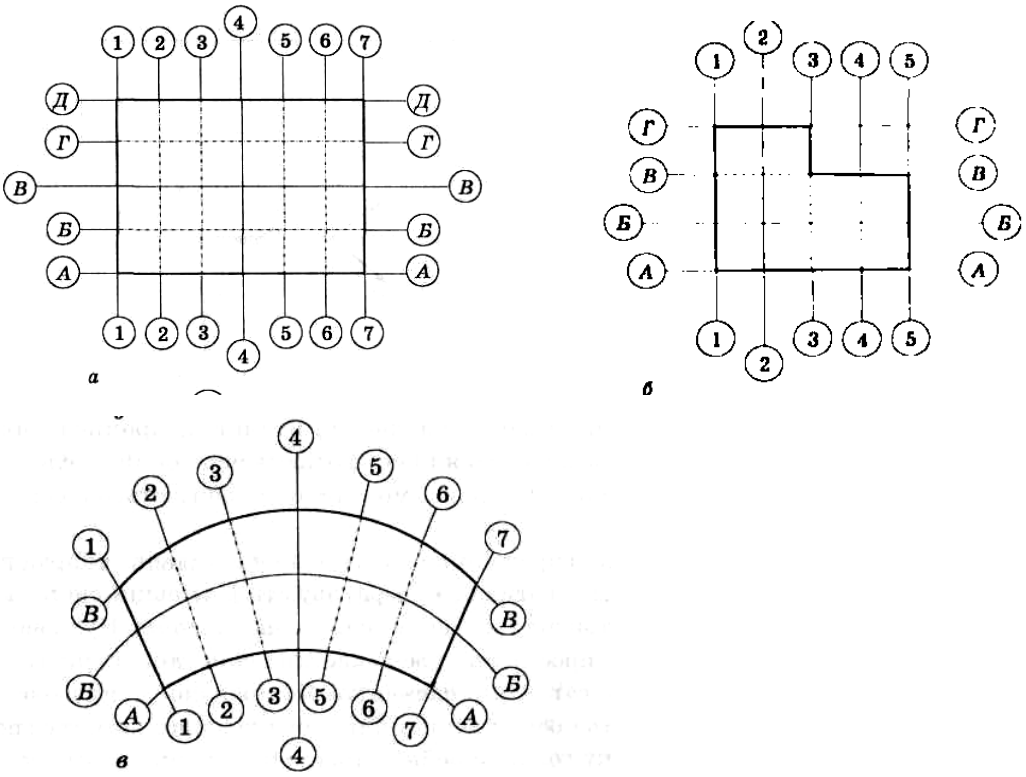


Рис. 12.2. Схеми розмічування осей споруд: *а* – прямокутна будівля; *б* – Г-подібна будівля; *в* – криволінійна будівля

На забудованій території осі будинків і споруд розмічають відносно *червоних ліній* (рис. 12.3).

Червоною лінією називається лінія, яка проходить по зовнішній стороні фасадів будинків, обернених до проїзної частини (вулиці).

Відносно червоної лінії фасади будинків можна зміщувати лише всередину території кварталів, але вони не можуть виступати за неї в бік проїзної частини. Розміщення червоної лінії встановлюється архітектором проекту чи відповідними архітектурними службами міста і відображається на генплані.

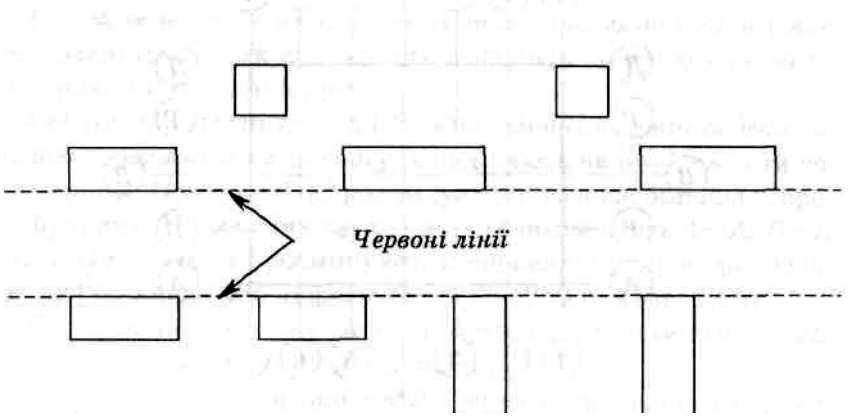


Рис. 12.3. Схема розміщення червоних ліній

Винесені на місцевості головні чи основні осі закріплюють постійними знаками: по два знаки з кожного боку.

При зведенні каркасних будинків, промислових споруд з колонами монтажні осі збігаються з осями їх елементів. Так, при монтажі колон монтажні осі збігаються з осями їх симетрії.

Для спрощення проектування і зведення споруд відстані по висоті (вертикалі) розраховують в умовній системі висот. За початок відліку беруть *нульовий горизонт.* Нульовим горизонтом є проектний рівень частини споруди, від якого ведуть відлік висот усіх її елементів. Як правило, за нульовий горизонт беруть позначку чистої підлоги першого поверху споруди, позначку головки рейки залізничної колії, розміщеної на осі головного будинку станції, рівень планування та ін.

На місцевості поблизу споруди розмічають і закріплюють точку на висоті нульового горизонту. її називають *будівельним нулем.* Це значно спрощує подальші розмічування і встановлення елементів конструкцій на висоті.

Будівельний нуль закріплюють дерев'яними та бетонними стовпами, цвяхами, підфарбованими рисками на стінах існуючих будинків та ін. Позначка верху знака повинна дорівнювати позначці нульового горизонту.

На зведених частинах споруд (стіна, колона) висоту будівельного нуля помічають фарбою.

При зведенні багатоповерхових будинків і споруд користуються позначками монтажних горизонтів.

Монтажним горизонтом називають умовну площину на рівні низу елементів конструкцій, що монтуються. Як правило, це відповідає верхній позначці перекриття певного поверху споруди (наприклад горизонт монтажу колон, панелей тощо).

Для встановлення елементів конструкцій по висоті на кожному монтажному горизонті закріплюють висотні маяки. *Висотним маяком* називають точку з максимальною позначкою в межах монтажного горизонту.

Для визначення позначки маяка від будівельного нуля спочатку визначають позначку монтажного горизонту. Потім способом геометричного нівелювання відшукують найвищу точку в межах монтажного горизонту. Вона і буде визначати

висоту маяка на монтажному горизонті. Низ усіх елементів конструкцій встановлюють відносно позначки висотного маяка.

13. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ПЛАНУВАННІ ТА ЗАБУДОВІ МІСЬККИХ ТЕРИТОРІЙ

13.1. Принципи планування міських територій

Міські території складаються з функціональних зон, які є визначальними при плануванні та формують архітектуру їх забудови. Виділяють наступні міські зони:

сельбищну територію – розміщення житлових районів, громадських центрів (адміністративні споруди, навчальні, медичні, спортивні тощо), зелені насадження (парки, сквери тощо);

промислову територію – розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів;

комунальні території – розміщення складів, баз, трамвайних депо, тролейбусних і автобусних парків, гаражів тощо;

зовнішнього транспорту – розміщення транспорту, споруд пасажирських та вантажних станцій, портів, пристаней тощо.

На територіях сільських населених пунктів виділяють селітебну і промислову зони.

На територіях, що прилягають до міст, передбачають організацію приміських зон, які використовуються в якості резерву подальшого розвитку міст і для розміщення господарських об'єктів, а також зелених зон для відпочинку населення і покращення мікроклімату міста.

Планування і забудова міст здійснюється на основі спеціальних документів, якими є:

–генеральний план;

–проект детального планування;

–проект планування міських промислових районів;

–проект забудови;

–схема інженерної підготовки території та організації рельєфу;

–поперечні профілі вулиць;

–план червоних ліній;

–розмічувальні креслення;

–будівельний паспорт або план.

Генеральний план розробляється на основі народногосподарських планів і планів соціального та науково-технічного прогресу з перспективою розвитку міста на 25 – 30 років; з урахуванням комплексного розв'язання функціональних елементів, житлової та промислової забудови, мереж господарського благоустрою території та міського транспорту.

Генплан розробляється на топографічних планах у масштабі 1:10 000 при чисельності населення більш 500 тис. осіб і на планах масштабу 1:5000 – 1:2000 – до 500 тис. осіб.

На основі генерального плану міста розробляються проекти детального планування, планування житлової та промислової зон, інженерного обладнання, транспорту, благоустрою, озеленення та ін.

Проект детального планування та ескізи забудови розбиваються на окремі складові сельбищної території (житлові райони, мікрорайони, загальноміські центри та господарські центри, які підлягають забудові, реконструкції та благоустрою терміном на 3 – 5 років).

До проекту детального планування належать:

– схема розміщення району планування в системі міста;
– схеми інженерної підготовки території і організації рельєфу;
– схеми розміщення інженерних мереж;
– схеми організації руху транспорту;
– поперечні профілі вулиць;
– план червоних ліній та ескізів забудови;
– розмічувальні креслення червоних ліній.

Проект планування міських промислових районів розробляється на основі генплану з урахуванням розвитку наявних і будівництва нових підприємств. Він включає: основний план у масштабі 1:2000; схеми розміщення промислових підприємств на території міста в масштабі 1:5000, 1:10 000; схеми інженерних мереж;

організації рельєфу й інженерної підготовки території у масштабі 1:2000; поперечні профілі магістралей, вулиці., проїздів у масштабі 1:100 – 1:200 та пояснювальну записку.

Проект забудови розробляється на основі детального планування та ескізів забудови на житловий мікрорайон, квартал або групу будинків і громадських комплексів. До проекту забудови належать: спеціальний план розміщення будівель у масштабі 1:2000 – 1:5000; генеральний план забудови, план організації рельєфу, інженерних мереж, озеленення території та інші матеріали проекту в масштабі 1:500 – 1:1000.

Схема інженерної підготовки територій та організації рельєфу включає проектні і фактичні позначки на осях червоних ліній, у кутах мікрорайонів, в місцях переламу червоних ліній та рельєфу місцевості, схеми інженерної підготовки (водовідведення, підсипку на виїмку ґрунту, захисні споруди, дренажі та ін.).

Поперечні профілі вулиць у масштабах 1:100 – 1:200 містять наявний та проектний профілі з виділенням проїзної частини, тротуарів, зелених насаджень, трамвайних колій, підземних і наземних інженерних мереж.

План червоних ліній та ескіз забудови виконуються на топографічному плані в масштабі 1:500 – 1:2000 з виділенням:

– наявної забудови;
– проекту вулиць, проїздів, пішохідних алей та зелених насаджень;
– розміщення проектних будівель і споруд;
– червоних ліній і проектних елементів поперечних профілів вулиць і проїздів.

Розмічувальні креслення включають проект розмічування червоних ліній від пунктів геодезичних мереж, наявних капітальних будівель і споруд, координати характерних точок червоних ліній. Розмічувальні креслення розробляються на копії плану червоних ліній та ескізу забудови.

Архітектурно-проектні рішення забудови міських територій приймаються на основі будівельного паспорта.

Будівельний паспорт, або план, земельної ділянки складається з комплексу документів, які забезпечують зручність використання матеріалів інженерно-технічних вишукувань при узгодженні, проектуванні та будівництві. Він містить:

– загальну частину;
– акт відведення меж ділянки;
– архітектурно-планувальні рішення (завдання);
– інженерно-геологічні характеристики ділянки;
– умови підключення будинків і споруд до інженерних мереж;
– опис будівель і зелених насаджень на території забудови.

Документація будівельного паспорта, як правило, складається на топографічному плані в масштабі 1:500.

При виконанні геодезичних розмічувальних робіт основними документами є план червоних ліній і розмічувальні креслення. Разом з тим при детальних розмічуваннях використовують практично всі наведені документи планування міських територій.

13.2. Складання проекту і розмічування червоних ліній

Червоні лінії регулюють положення як наявної забудови, так і будинків, що проектуються, споруд, мережі вулиць, проїздів, пішохідних алей та зелених насаджень.

Усі розміри геометричних параметрів червоних ліній узгоджуються по всій території міста з ситуацією і рельєфом. Для цього спочатку графічно наносять червоні лінії на план, а потім виконують аналітичні розрахунки їх елементів.

Аналітична підготовка проекту червоних ліній полягає в обчисленні в міській системі координат кутів кварталів, меж мікрорайонів, вершин кутів переламу червоних ліній, створних точок на довгих відрізках, точок перетинів осей вулиць, проїздів, точок початку, середини і кінця колової кривої та їх елементів шляхом розв’язання задач аналітичної геометрії.

Вихідними для аналітичної підготовки є координати пунктів міської геодезичної мережі, закріплених точок наявних червоних ліній і координати кутів опорних будівель та споруд, які визначають від пунктів міської геодезичної мережі полярним способом та способом кутових засічок.

На відкритих незабудованих територіях використовують координати характерних твердих точок ситуації і рельєфу. їх визначають графічно з урахуванням деформації топопланів.

Враховуючи результати аналітичної підготовки, за координатами точок наносять червоні лінії на план масштабу 1:2000. На ньому виписують номери поворотних і створних точок, їх координати, довжини і дирекційні кути прямих ліній, елементи кривих, номери запроектованих проїздів, назви зон проектування та інших містобудівних елементів.

Проект червоних ліній розробляють архітектурно-планувальні служби головного архітектора міста і оформляють *"Актом встановлення і змін червоних ліній"*. Для його розробки використовують плани масштабу 1:2000, а також більш дрібні масштаби.

Перед початком виконання будівельних робіт червоні лінії і осі проїздів розмічають на місцевості від пунктів міських геодезичних мереж. Якщо їх недостатньо, то створюють спеціальні мережі згущення полігонометричних і теодолітних ходів або інші види мереж аналогічної точності.

Точність розмічування точок червоних ліній відносно вихідних пунктів міських геодезичних мереж не повинна перевищувати похибок:

– в районах багатоповерхової забудови – ± 5 см;
– в районах малоповерхової забудови – ±8 см;
– на незабудованих територіях – ± 10 см.

Розмічування проекту червоних ліній на місцевості виконують за допомогою теодоліта та компарованої рулетки. У винесені довжини ліній вводять поправки за компарування, температуру і нахил місцевості. Ефективне застосування електронних теодолітів та тахеометрів, що дає змогу безпосередньо при розмічуванні визначати координати розмічених точок і порівнювати їх з проектними значеннями.

Інколи доцільно спочатку винести на місцевість осі наявних та запроектованих вулиць і проїздів, а потім від них розмічувати червоні лінії. При потраплянні червоної лінії в зону земляних робіт забудови і підземних комунікацій їх зміщують паралельно. Колові криві розмінують, як правило, через 5 – 10 м і більше.

Точки червоних ліній та осей проїздів на місцевості закріплюють тимчасовими знаками: дерев'яними кілками, на бетоні металевими штирями і трубами. На забудованій території положення червоної лінії і осі проїзду позначають фарбою на наявних спорудах та інших предметах місцевості, якщо вони перетинають цю лінію.

Для надійного знаходження точки червоних ліній лінійними промірами прив'язують до постійних місцевих предметів і контурів і складають схему прив’язки (кроки).

Після винесення на місцевість усіх точок червоних ліній по них прокладають контрольні теодолітні ходи. Координати точок червоних ліній, які неможливо визначити по контрольному ходу, визначають полярним способом з точок контрольного теодолітного ходу.

За результатами контрольних вимірів складають виконавчі креслення, на яких показують фактичні значення всіх елементів червоних ліній. Це допомагає виявити можливі грубі помилки розмічування червоних ліній (рис. 13.1).

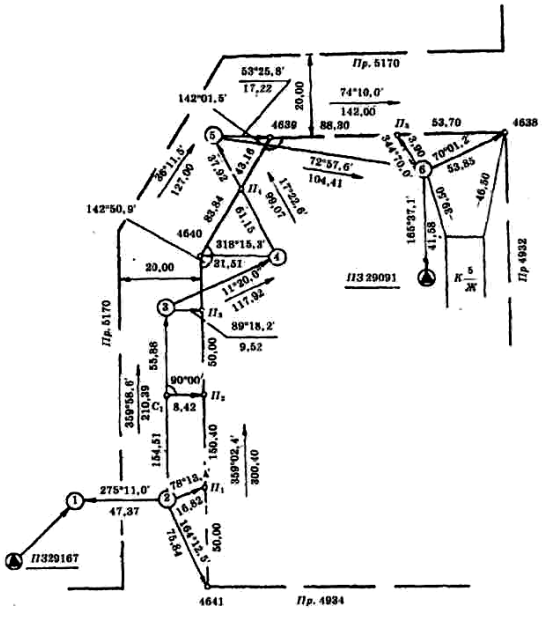


Рис. 13.1. Розмічувальні креслення червоних ліній: ▲ – вихідні пункти геодезичної основи; ① – точки теодолітних ходів; **О**4638 – кут повороту червоної лінії; **О***П*$_1$ – проміжна точка червоної лінії; C_1 – створна точка; 47°12',5 – дирекційний кут; 120,10 – довжина лінії

14. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ МОНТАЖІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

14.1. Завдання та зміст геодезичних робіт

Головне завдання геодезичного забезпечення будівництва полягає у зведенні будинків і споруд відповідно до геометричних параметрів у зазначеному проектом місці. Це досягається завдяки точному виконанню всіх технологічних операцій: виготовленню конструкцій, геодезичних розмічувальних і монтажних робіт, а також контрольно-монтажних геодезичних вимірів.

Під час проведення монтажних робіт встановлюють у проектне положення елементи та вузли будівельних конструкцій: фундаменти, колони, панелі, цегляні стіни, балки, плити перекриття тощо. У промислових спорудах після монтажу будівельних конструкцій у проектне положення проводять монтаж технологічного устаткування.

Монтаж будівельних конструкцій виконується за результатами геодезичних розмічувальних робіт. Вони забезпечують встановлення елементів будівельних конструкцій і технологічного обладнання у проектне положення. Методика виконання геодезичних розмічувальних робіт при монтажі елементів будівельних конструкцій і технологічного устаткування має спільні риси.

Основними видами геодезичних робіт при монтажі елементів будівельних конструкцій і технологічного устаткування є:

–встановлення і вивірення в плані;

–встановлення і вивірення по висоті;

–встановлення і вивірення по вертикалі.

Монтаж елементів будівельних конструкцій і технологічного обладнання здійснюється відносно осей споруд. Монтаж елементів конструкцій виконують відносно монтажних осей, які можуть збігатися з уже розміченими осями чи розмічаються на деякій відстані (a = 10 см) від площини елементів конструкцій та обладнання.

Монтажні осі проектують після старанного вивчення робочих креслень і технології монтажних робіт. Надалі їх використовують для контролю точності монтажу елементів. Тому монтажні осі закріплюють постійними знаками за умови, щоб після монтажу між ними зберіглася видимість і можливості для проведення контрольних вимірювань.

З метою забезпечення монтажу елементів по висоті на фундаментах, колонах, перекриттях монтажних горизонтів створюють сітку робочих висотних реперів або встановлюють «маяки». *«Маяк»* – це закріплена на перекритті монтажного горизонту точка, яка має максимальну висоту чи позначку.

Встановлення елементів конструкцій і технологічного обладнання у проектне положення вимагає високої точності розмічувальних і монтажних робіт. У проекті виконання робіт (ПВР) мають бути наведені допуски на проведення геодезичних розмічувальних і контрольно-монтажних вимірів. За їх відсутності керуються наявними нормативно-технічними документами (ДБН, ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві», відомчими нормативними документами).

До початку монтажних робіт перевіряють геометричні параметри: довжину, ширину чи товщину і висоту елементів будівельних конструкцій. Вони повинні відповідати проектним розмірам у межах допустимої точності виготовлення.

На елементах збірних конструкцій (блоки фундаментів, колони, підкранові балки, ригелі, рами, ферми, прогони, плити перекриття, панелі тощо) наносять ***риски***, *які визначають їх осі симетрії*. Приклад нанесення рисок (міток) на деякі елементи будівельних конструкцій показано на рис. 14.1.

Для монтажу колон окрім осьових рисок наносять також риску нульового горизонту. Оскільки вона при проведенні монтажних робіт може бути закрита, то її рекомендується наносити на 10... 20 см і більше вище від позначки підлоги нульового горизонту.

Геодезичні роботи технологічно супроводжують послідовність виконання монтажних робіт. Після монтажу елементів та їх попереднього закріплення монтажною оснасткою в обов’язковому порядку виконується геодезичний контроль точності встановлення елементів конструкцій у проектне положення. Складають виконавчу схему виявлених відхилень від проектного положення. При неприпустимих відхиленнях обов’язково вносять необхідні корективи і тільки після цього остаточно закріплюють.

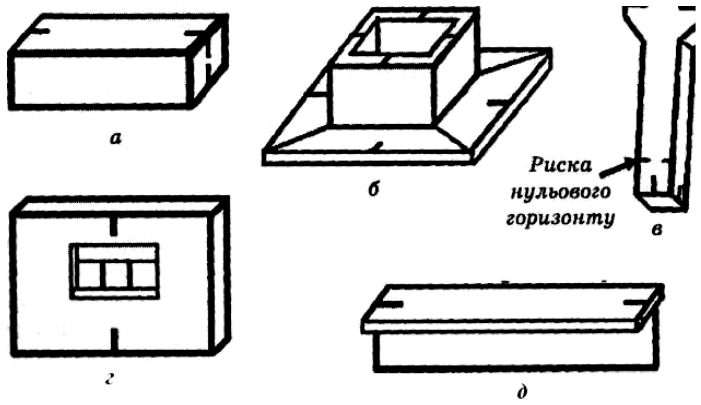


Рис. 14.1. Нанесення рисок осей симетрії на елементах будівельних конструкцій: *а* – фундаментний блок; *б* – фундаментний блок стаканного типу; *в* – залізобетонна колона; *г* – стінова панель; *д* – балка

14.2. Встановлення і вивірення елементів конструкцій у плані

У процесі монтажу в плані встановлюють низ конструкцій. Монтаж виконується від монтажних осей по рисках симетрії, які є на елементах конструкцій, або за їх зовнішніми гранями. При встановленні в плані елементи конструкцій орієнтуються водночас по осях *X* і *Y*. Тому для кожного елемента повинні бути задані напрямки монтажних осей так, щоб вони забезпечували його встановлення по осях із заданою точністю.

Геодезичні роботи, які проводяться з метою задання монтажних осей елементам, що монтуються, називаються *детальним розмічуванням.* При будівництві будинків і споруд застосовують переважно два способи, щоб задати напрямок монтажним осям: *оптичний* і *струнний.* Нині широко використовують лазерні прилади.

При монтажі будівельних конструкцій виконують геодезичні контрольно-монтажні вимірювання чи вивірення конструкцій. Вони полягають у контролі точності встановлення елементів конструкцій у проектне положення відносно винесених монтажних осей. Саме тому розмічуванню монтажних осей слід приділяти особливу увагу. Геодезичні роботи повинні виконуватися так, щоб завжди додатково контролювалась правильність винесення монтажних осей.

За планового встановлення обладнання користуються як оптичним, так і струнним способами. Однак при встановленні високоточного обладнання застосовуються високоточні методи встановлення і вивірення, а саме: *струнно-*

оптичний, дифракційний, коліматорний та ін. Для цього використовують спеціальні прилади і пристрої.

Спосіб оптичного візування. За цим способом опорною (вихідною) лінією для детального розмічування монтажних осей є візирна вісь зорової труби теодоліта, тахеометра та ін. Для розмічування монтажної осі у вигляді рисок для кожного елемента в початковій точці *A* встановлюють теодоліт, у кінцевій точці *B* – віху чи марку. Теодоліт центрують і приводять у горизонтальне положення. Наводять візирну вісь на марку (віху) і закріплюють зорову трубу теодоліта. Потім, повертаючи трубу, наводять зорову вісь на поверхню, де встановлюються конструкції і в необхідних місцях проводять олівцем риски (рис. 14.2).

При використанні лазерних приладів (електронного теодоліта та електронного тахеометра з лазерним візирним променем) риску помічають візуально по центру світлової плями. На довгих поздовжніх осях розмічування ведуть з точки *A* до середини осі, а потім з точки *B* – до середини осі. Це значно підвищує точність розмічування рисок осей. Доцільно застосовувати самосклеювальний пластик з нанесеною рискою.

Місця рисок монтажних осей залежать від методу монтажу і виду конструкції. Так, для кожної конструкції, що має значну довжину (рис. 14.2), намічають дві риски вздовж осі *X*. Залежно від методу монтажу їх намічають по осі, грані чи на деякій

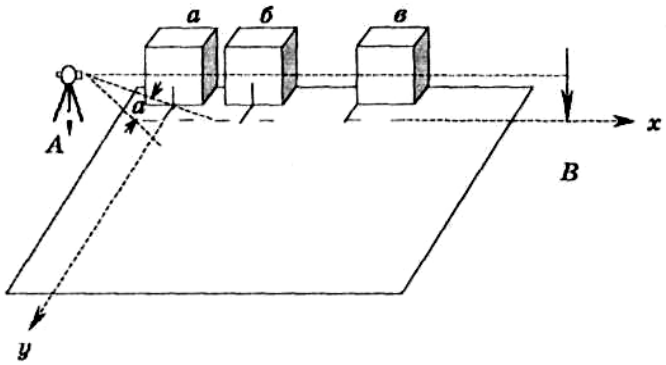


Рис. 14.2. Схема детального розмічування осей при монтажі стінових панелей

відстані від площини конструкції. По осі *Y* достатньо вказати одну риску осі. Вона намічається по осі конструкції, якщо на самій конструкції помічена риска її симетрії (рис. 14.2, панелі *а, б).* Якщо монтаж ведеться по гранях панелей, то риска суміщається з гранню панелі (рис. 14.2, панель *в*). При монтажі відстань *а*

контролюється звичайними металевими лінійками з міліметровими поділками. Відстані до рисок елементів поперечної осі *Y* від точки *A* чи *B* розраховують згідно з проектними розмірами і вимірюють, як правило, мірними компарованими рулетками із заданою точністю.

При монтажі елементів квадратного перерізу для кожного елемента, як правило, наносять чотири риски по двох взаємно перпендикулярних осях (рис. 14.3). Аналогічно встановлюють закладні частини для монтажу металевих колон, обладнання та інших будівельних конструкцій. Встановлення низу конструкцій у плані виконується суміщенням рисок осей на елементі з рисками монтажних осей.

Монтажні риски виносять при двох положеннях вертикального круга теодоліта. З двох одержаних точок риску проводять, посередині. Допускається розмічування при одному крузі, якщо повністю усунена колімаційна помилка *c* і практично з'ясовано, що вона не впливає на точність розмічування осей. При застосуванні лазерних приладів розмічування монтажних рисок значно спрощується. У цьому випадку їх проводять по центру світлової плями. При монтажі будівельних конструкцій і обладнання можна детально не розмічувати монтажні осі. Іноді немає можливості вивести монтажні осі на раніше встановлені будівельні конструкції. Тоді за монтажну вісь при встановленні конструкцій та обладнання беруть візирну лінію зорової труби теодоліта.

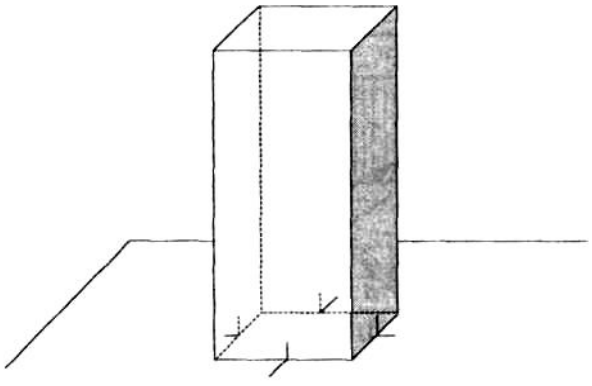


Рис. 14.3. Схема розмічування осей при монтажі колон

Якщо монтаж відбувається в одному рівні (на одній висоті), то використовують трубу нівеліра чи інших спеціальних геодезичних приладів. У процесі монтажу риску осей елементів конструкцій суміщають з віссю візування труби теодоліта. Наприклад,

при монтажі збірних блоків стрічкового фундаменту (рис. 14.4) теодоліт встановлюють на точці монтажної осі *А* і візують вздовж неї по лінії *АВ*.

При встановленні у плановому положенні блока I монтажники за вказівкою спостерігача біля теодоліта пересувають блок доти, доки риски *1* і *2* не збіжаться з лінією осі візування зорової труби. Монтаж блока II виконується за рисками *3, 4* і т. д. Цей спосіб застосовується у тих випадках, коли є пряма видимість між теодолітом і рисками монтажних елементів конструкцій та обладнання.

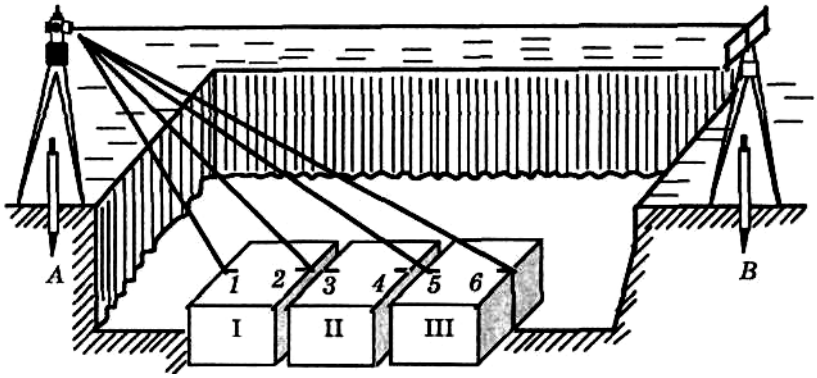


Рис. 14.4. Монтаж фундаментних блоків

При застосуванні лазерних приладів промінь спрямовується по лінії *АВ*. У процесі встановлення монтажники самі суміщають риски елементів з видимою плямою лазерного променя. Це значно підвищує продуктивність і точність монтажних робіт.

Якщо монтажна вісь зміщена відносно осі симетрії елементів конструкцій на величину *а* (рис. 14.5), то застосовується спосіб *бокового нівелювання.* Теодоліт установлюється у вихідній точці осі .*А* і візується на віху або марку точки осі *В*.

При встановленні панелі до двох її кінців прикладають лінійки (рейки) з поділками. Зорову трубу теодоліта візують не лінійки. За командою спостерігача кінці панелі пересувають так, щоб відліки по них дорівнювали *в*.

Відлік в обчислюється за формулою: $в = a - l$, де l – ширина чи товщина елемента конструкції. Водночас суміщають риску осі симетрії панелі. При встановленні колон *2* лінійку прикладають по центру до зовнішньої площини (рис. 14.5). Якщо використовується лазерний прилад, то монтажники по плямі лазерного променя спостерігають відлік і переміщують елемент так, щоб він дорівнював раніше обчисленому відліку *в*.

Спосіб бокового нівелювання широко застосовується під час контрольно-монтажних вимірювань. У процесі вимірювань визначають фактичні значення відрізків *в* від площин або осей будівельних конструкцій та обладнання. Різниця між їх проектними і фактичними значеннями буде похибкою встановлення конструкцій або обладнання в плані. Горизонтальність елементів збірних будівельних конструкцій попередньо контролюють за допомогою геометричного нівелювання чи будівельних рівнів із використанням лазерних ротаційних нівелірів.

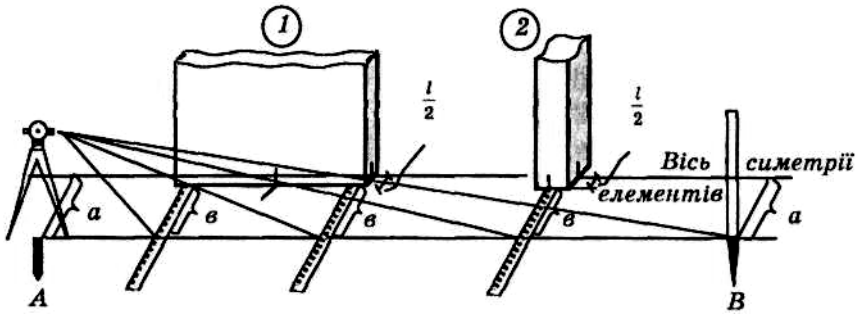


Рис. 14.5. Схема способу бокового нівелювання: *1* – монтаж панелей; *2* – монтаж колони

Струнний спосіб. Струнний спосіб широко застосовують при монтажі будівельних конструкцій та обладнання. Сутність способу полягає в тому, що на деякій висоті вздовж монтажної осі натягують струну (сталевий дріт або синтетичну нитку) діаметром 0,3...0,8 мм. Напрямок струни утворює монтажну вісь. У необхідних місцях підвішують легкі ниткові виски. За центрами висків ведуть монтаж елементів конструкцій або обладнання. Цим способом можна передати монтажну вісь на глибину (у котлован). Під час будівництва будинків і споруд струнний спосіб широко використовується при монтажі конструкцій підземної частини будинку (збірних і монолітних фундаментів), при дослідженнях деформацій гідротехнічних гребель у процесі їх експлуатації.

Як і в оптичному способі методика встановлення конструкцій у проектне положення залежить від розташування монтажної осі (струни) відносно осі симетрії елементів. На рис. 14.6 показано монтаж фундаментних блоків у трьох випадках: по осі, грані і на деякій відстані від монтажної осі.

До початку монтажу точки монтажної осі *A* і *B* за допомогою теодоліта переносять на спеціальні жорсткі пристрої (скоби) для закріплення дротів (точки *A′* і *B′).* При монтажі обладнання їх переносять на стіни будинків тощо. В точках *A′* і *B′*

встановлюють кріплення для струни. Один кінець струни закріплюють, а до іншого через блок підвішують тягар *Р*. У точках *1'*, 2', 3', ... і т. д. підвішують легкі ниткові виски. Якщо струна (монтажна вісь) збігається з віссю симетрії елемента, то в процесі монтажу риски суміщають з вістрями висків (точки *1* і *2).* Аналогічно встановлюють блок, суміщаючи його грань з висками (точки *3* і *4).* Якщо блок зміщений відносно монтажної осі, то в точках *5'* і *6'* підвішують виски. За допомогою лінійки контролюють відстань від грані елемента b або від осі блока $b_1 + l/2$ (рис. 14.6, блок *в*) до точки *5* або *6.*

Іноді струну натягують тільки для невеликої ділянки монтажної осі з метою встановлення окремих елементів будівельних конструкцій. Так діють при монтажі фундаментів опор, які знаходяться на воді, чи при встановленні збірних елементів та опалубки монолітних фундаментів під колони промислових будинків. У цьому випадку способом оптичного чи лазерного візування виносять по дві точки на кожній осі поблизу елемента, що монтується (рис. 14.7), наприклад точки *А*, *В* і *С, Б.* Встановлюють кілки і натягують дві взаємно перпендикулярні струни.

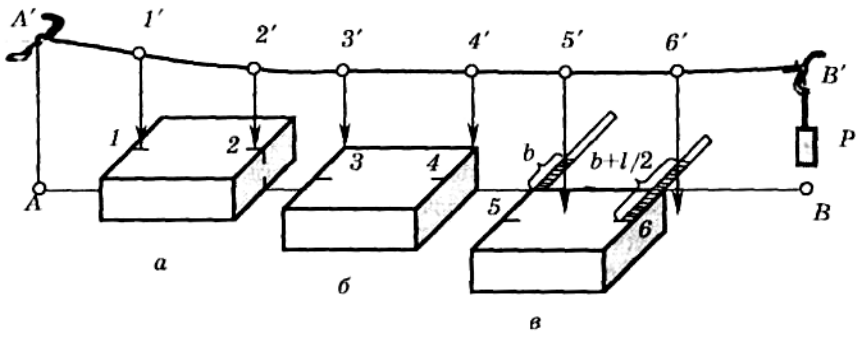


Рис. 14.6. Схема монтажу блоків за струнним способом: *а* – з орієнтацією за віссю блока; б – з орієнтацією за гранню блока; *в* – зі зміщенням осі блока

У точках *1,* 2, *3* і *4* підвішують ниткові виски. Монтажний блок фундаменту стаканного типу встановлюють так, щоб риски на фундаменті збігалися з вістрями усіх висків водночас.

Основні похибки струнного способу: коливання струни внаслідок пересування по довгій нитці висків, дія вітру і похибки проектування точок зі струни на поверхню конструкції (коливання висків).

Недоліком способу є те, що на довгих створах струна дає значне провисання, внаслідок чого доводиться високо підіймати точки *A* і *B* (рис. 14.7). При цьому збільшується коливання як самої струни, так і висків. Помітно впливає вітер. Тому з метою усунення впливу вітру на тягар і нитку виска, роботу на довгих створах необхідно виконувати в безвітряну погоду. При сильному вітрі слід використовувати спосіб оптичного візування. Разом з тим струнний спосіб досить простий, зручний у монтажі та часто забезпечує необхідну точність. Горизонтальність осей поверхонь елементів при монтажі контролюють за допомогою будівельних рівнів або геометричним нівелюванням з використанням ротаційних нівелірів.

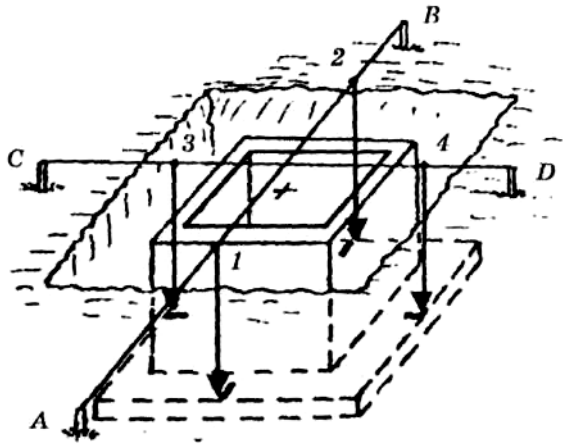


Рис. 14.7. Монтаж фундаменту під колону

14.3. Встановлення і вивірення елементів конструкцій за висотою

При монтажі елементів за висотою низ або верх конструкції встановлюють на проектну позначку від робочих реперів, які є на монтажному горизонті. Верх конструкції повинен знаходитися в горизонтальній площині. Тому встановлення колон виконується за однією точкою, панелей – за двома точками, плит перекриття – за трьома або чотирма точками.

Під час зведення будинків і споруд встановлення за висотою виконується способом геометричного нівелювання.

Спосіб геометричного нівелювання. Найбільш поширений при встановленні конструкцій і окремих точок на проектну висоту. Залежно від методу монтажних робіт, типу конструкції і необхідної точності методика встановлення і вивірення конструкцій за висотою дещо різна. Розглянемо типові схеми використання способу

геометричного нівелювання при встановленні та вивіренні деяких елементів конструкцій.

Монтаж стінових панелей. Стінові панелі монтують тільки після вивірення монтажного горизонту. Для цього за допомогою геометричного нівелювання визначають позначки поверхні перекриття на монтажному горизонті. При монтажі верх стінових панелей повинен бути в одній горизонтальній площині. Водночас позначки поверхні монтажного горизонту, як правило, відрізняються від проектних, і висоти їх трохи різняться внаслідок похибок виготовлення і монтажу плит перекриття. Щоб установити верх панелі на проектну висоту, під її низ встановлюють підкладки-маяки (рис. 14.8) або утворюють шар цементного розчину для вирівнювання.

Підкладки-маяки товщиною P можна встановити заздалегідь. Для цього від вихідного робочого репера чи маяка визначають позначки монтажного горизонту $H_{мг}$ в місцях встановлення елемента. Знаючи проектну позначку верху панелей та розмір панелі по висоті h панелей (рис. 6.8), товщину під-кладок-маяків обчислюють за формулою

$$P = H_{пр} - h - H_{мг} \qquad (14.1)$$

На кожну панель установлюють два маяки. При монтажі стінова панель ставиться на підкладки-маяки і водночас суміщається з рисками планових осей у процесі монтажу панелі. Для цього нівелір установлюється на монтажному горизонті і від вихідного репера визначають позначку горизонту приладу:

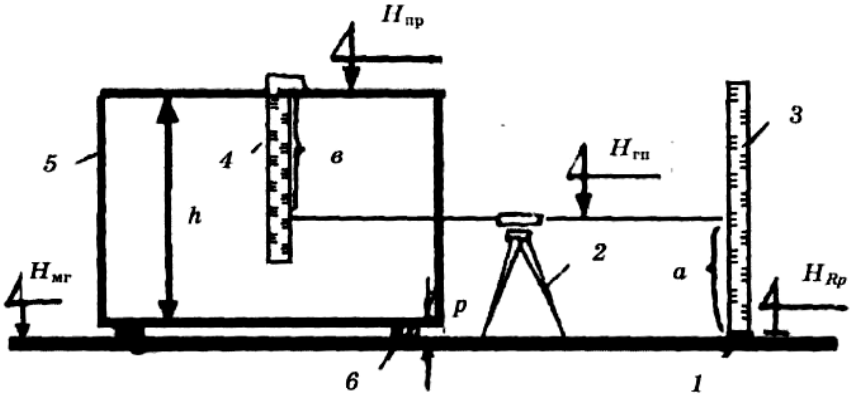


Рис. 14.8. Схема монтажу й вивірення панелі по висоті: *1* – робочий репер на монтажному горизонті; *2* – нівелір; *3* – рейка; *4* – підвісна рейка; *5* – панель; *6* – підкладка-маяк

$$H_{ГП} = H_{Rp} + a \qquad (14.2)$$

На попередньо встановлену панель навішується підвісна рейка (рис. 14.8). Остання завдовшки 1,5...2 м із сантиметровими поділками у верхній частині має виступ для навішування на конструкцію. Нульова поділка рейки збігається з верхньою гранню конструкції. Підписи поділок зростають від верху до низу. Відлік, який повинен бути по підвісній рейці в момент, коли верх панелі знаходиться на проектній висоті, визначається за формулою

$$в = H_{пр} - H_{ГП}. \qquad (14.3)$$

Взявши по рейці відлік *в′,* спостерігач легко визначає товщину прокладки

$$P = в - в' \qquad (14.4)$$

і повідомляє монтажникам. Панель піднімається трохи вище товщини прокладки *Р.* Встановлюються прокладки і панель знову опускається. Спостерігач контролює встановлення панелі за висотою. Якщо відлік за підвісною рейкою дорівнює обчисленому відліку *в,* то за висотою панель встановлена правильно. Це є водночас і контролем встановлення панелі за висотою.

Монтаж колон. Під час зведення будинків і споруд застосовують металеві чи збірні залізобетонні колони. В обох випадках встановлення колон за висотою виконується переважно способом геометричного нівелювання.

Металеві колони розміщуються на заздалегідь вивірених опорних деталях або бетонних поверхнях. Точність виготовлення металевих колон висока. Тому при монтажі достатньо встановити площину обпирання металевої колони на проектну висоту, і тоді її верх або консоль відповідатимуть проектній позначці. Низ металевої колони називають *башмаком*. Башмак колони скріплюється з опорною поверхнею анкерними болтами. Як опорна поверхня можуть використовуватись шайби з гайками на анкерних болтах, укладені металеві балки, заздалегідь забетоноване опорне ребро.

При монтажі колон геометричним нівелюванням від робочих реперів установлюють опорну поверхню на проектну позначку низу башмака колони (рис. 14.9). На вихідному робочому репері та опорній поверхні (шайбі) установлюють рейки. Беруть відлік *а.* За формулами (14.2) і (14.3) обчислюють горизонт нівеліра $H_{ГП}$ і шуканий відлік *в.* Якщо відлік за рейкою не дорівнює відліку, то гайку *3* на

опорному болті *1* обертають так, щоб відлік дорівнював *в.* Так встановлюють усі опорні поверхні на проектну позначку низу колони. Потім заливають вирівнюючий шар цементного розчину. Встановлюють колону. Суміщають з монтажними осями в плані та установлюють по вертикалі і закріплюють.

Збірні залізобетонні колони встановлюють на фундаменти стаканного типу, перевіряючи перед цим їх розміри. На колону наноситься риска, яка відповідає рівню підлоги монтажного горизонту (частіше за все риску *4* ставлять на відстані 1,5м під площини основи). Від неї вимірюють розміри до консолей і верху колони (рис. 14.10). Спочатку на проектний рівень встановлюють фундамент стаканного типу. Для цього визначають позначку дна котловану і підсипкою ґрунту доводять її до проектного рівня. Стакан фундаменту виготовляють так, щоб його дно було нижчим від проектного рівня на 50...80 мм. Потім встановлюють блок фундаменту в плані. Нівелюють дно стакана і обчислюють товщину підливки цементного розчину дна стакана за формулою (14.2), беручи за позначку монтажного горизонту $H_{мг}$ фактичну позначку дна котловану. На дно стакана заливають шар цементного розчину товщиною *Р.* Після його затвердіння встановлюють колону, суміщаючи монтажні риски осі симетрії колони і блока фундаменту.

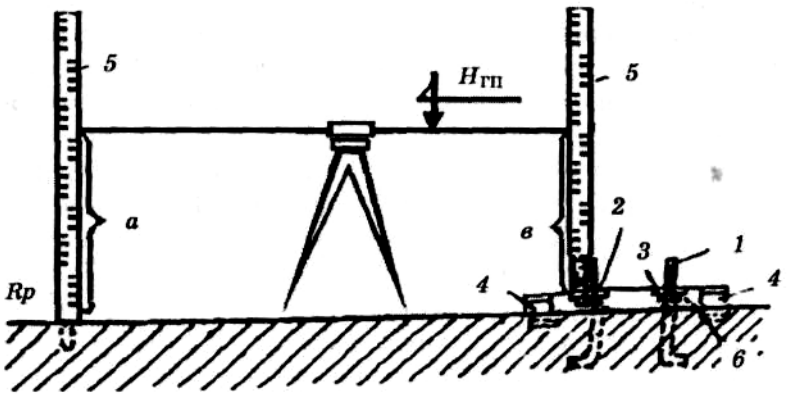


Рис. 14.9**.** Вставлення шайби з гайкою анкерного гвинта на проектну позначку**:** *1* – анкерний гвинт; *2* – шайба; *3* – гайка; *4* – закладні деталі; *5* – рейка; *6* – шар цементного розчину

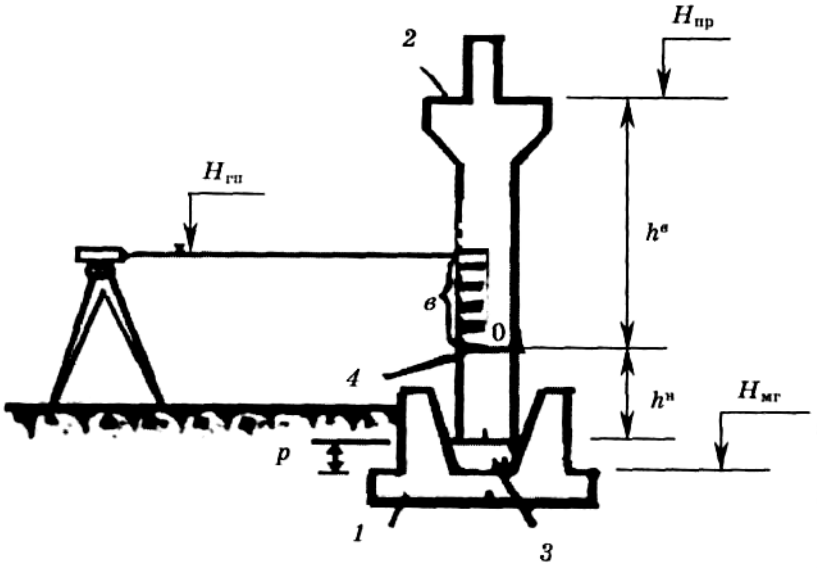


Рис. 14.10. Монтаж збірної залізобетонної колони за висотою: *1* – фундаментний блок; *2* – консоль; *3* – шар цементного розчину; *4* – горизонтальна монтажна риска

При вивіренні встановлення колони за висотою використовують нанесену горизонтальну риску *4*. До неї прикладають нуль рейки і беруть відлік *в,* який повинен дорівнювати обчисленому відліку:

$$в = H_{ГП} - \left(H_{пр} - h^{в}\right) \tag{14.5}$$

Якщо колона має невелику висоту, то можна до консолі підвісити підвісну рейку. Тоді шукана величина відліку обчислюється за формулою (14.3).

Безумовно, використання лазерних нівелірів суттєво полегшує монтаж колон за висотою. Створюється можливість візуального постійного контролю відліків за рейкою у процесі встановлення колони за висотою.

Технологія монтажу впливає на технологію геодезичного забезпечення монтажних робіт. Але методи встановлення конструкцій у проектне положення залишаються однаковими. Наприклад, підливка: цементний розчин підливають і в процесі монтажу колони. При цьому колону за допомогою крана встановлюють за висотою відліку *в* і заклинюють. Після цього зазори заливають бетоном. Розроблені і спеціальні монтажні пристрої – кондуктори, які при монтажі дають змогу регулювати положення колони в плані та за висотою. Після закріплення колони в стакані фундаменту кондуктор знімається і т. д.

14.4. Встановлення і вивірення конструкцій за вертикаллю

При встановленні конструкцій досягають вертикальності їх осей або площин симетрії, зовнішніх поверхонь і граней. Розміщення за вертикаллю виконується після остаточного монтажу конструкції в плані та за висотою. Цим досягається встановлення в планове положення верху конструкції. Не дотримання вертикальності конструкцій призводить до зменшення площин обпирання верхніх конструкцій, виникнення ексцентриситетів, додаткового навантаження і згинального моменту.

Враховуючи важливість встановлення за вертикаллю, кожна конструкція попередньо вивіряється і тільки після цього закріплюється (остаточно фіксується).

Залежно від точності, що вимагається, будівельні конструкції та осі технологічного обладнання встановлюють у вертикальне положення різними способами:

1) за будівельними рівнями та за виском;

2) за допомогою колімаційної площини теодоліта;

3) за оптичною вертикаллю приладів вертикального проектування – візирним променем зеніт-лотів;

4) способом бокового нівелювання;

5) за допомогою лазерних приладів.

1. *Застосування будівельних рівнів та висків.* В останні роки на ринку приладів та інструментів для монтажних робіт представлено широкий спектр будівельних рівнів. За конструкцією вони характеризуються точно виготовленою планкою з установленими поздовжнім і поперечним рівнями (рис. 14.10, *а,*) довжиною до 0,5 – 2 м.

Конструктивно, коли бульбашка поздовжнього рівня знаходиться в нуль-пункті, вісь рівня буде горизонтальною і паралельною площині планки рівня. При накладанні будівельного ріння на будівельний елемент (конструкцію) можна приводити його до горизонтального положення чи вимірювати відхилення (рис. 14.10, *в).*

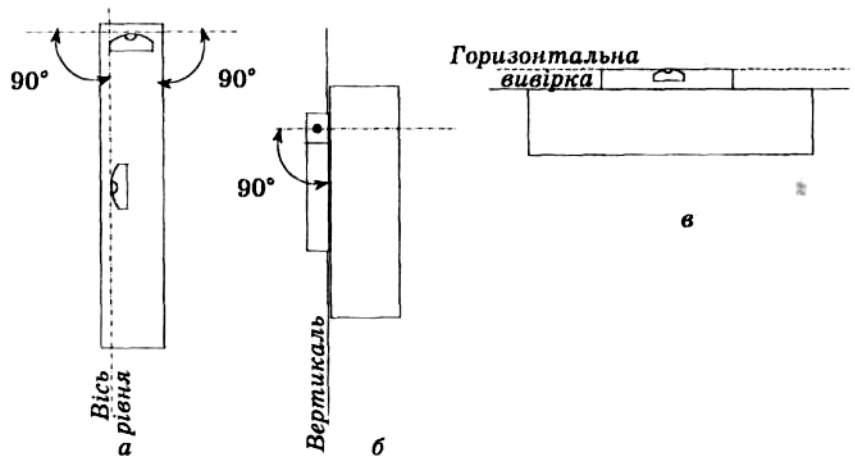


Рис. 14.10. Будівельні рівні: *а* – конструкція будівельного рівня; *б* – встановлення елементів конструкцій за вертикаллю; *в* – вивірення горизонтальності елемента

При прикладанні будівельного рівня до вертикального елемента будівельних конструкцій і приведенні бульбашки поперечного рівня до нуль-пункта нахилом елемента встановлюють елемент конструкції у вертикальне положення. Такий спосіб є одним із найпростіших способів установлення та вивірення за вертикаллю будівельних конструкцій. При встановленні у вертикальне положення панелей, колон та інших елементів конструкцій невеликої висоти застосовують висок-рейки. Найбільш простою конструкцією є висок-рейка з нитковим виском (рис. 14.11, *а)* – дерев'яна планка з виступом для підвішування її на конструкції. По центру планки кріпиться нитковий висок, на нижній частині наноситься шкала поділок.

При монтажі висок-рейка навішується на конструкцію. Її нахиляють доти, доки нитка не буде збігатися з центром шкали поділок. У цей момент вісь конструкції буде паралельна нитці виска, а отже, і встане у вертикальне положення. При вивіреній висок-рейка підвішується на встановлену деталь і за шкалою визначається величина відхилення від вертикалі. Довжина висок-рейки повинна дорівнювати приблизно 0,8 висоти конструкції. Щоб зменшити коливання нитки під впливом вітру, використовують важкі виски або нитку розміщують у трубі. Під час роботи захищають тягар виска від впливу вітру. Оскільки звільнитися від впливу повітряних потоків практично неможливо, то можна застосувати висок-рейку з циліндричним рівнем (рис. 14.11, *б).* Вона значною мірою використовується для установки конструкцій за вертикаллю і менш зручна при їх вивіренні.

Зменшити дію вітру можна застосувавши висок-рейку з механічним (маятниковим) виском (рис. 14.11, *в*). До тягаря маятникового виска кріпиться стрілка *8*, за допомогою якої за шкалою *5* можна визначити відхилення конструкції від вертикалі.

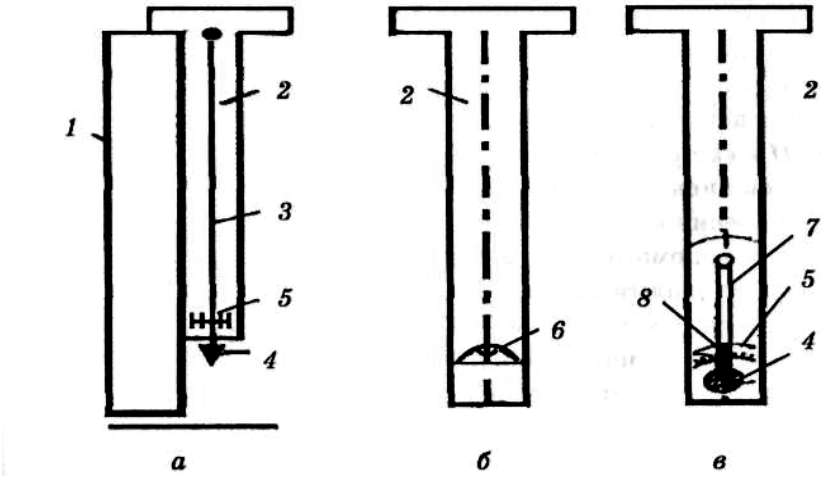


Рис. 14.11. Висок-рейка: *а* – з нитковим виском; *б* – з рівнем; *в* – з механічним маятниковим виском; *1* – конструкція; *2* – планка висок-рейки; *3* – нитка виска; *4* – тягар; *5* – шкала; *6* – циліндричний рівень; 7 – штанга механічного виска; *8* – стрілка

При вивіренні за вертикаллю споруд баштового типу (телевежі, димові труби, силосні башти тощо) застосовують довгі ниткові виски (рис. 14.12). При будівництві споруд баштового типу на нульовому горизонті закріплюється центр споруди. При вивіренні з монтажного горизонту опускають нитковий висок. Тягар виска поміщають у посудину з водою і тирсою чи олією. Після згасання коливань виска визначають відхилення його від точки – центра споруди. За величиною відхилення визначають відхилення від вертикалі та вносять відповідні виправлення у положення конструкцій.

Нитковий висок можна використовувати при монтажі конструкцій прямовисних шахтних стволів, метро тощо.

Точність вертикального встановлення за допомогою ниткових висків у середньому становить 1:1000 висоти за сприятливих умов вимірювань.

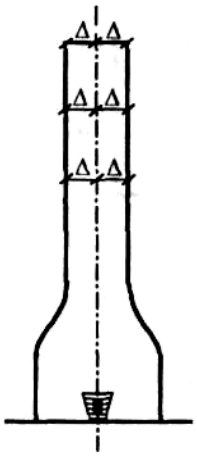


Рис. 14.12. Визначення відхилень від вертикалі нитяним виском

При вивіренні монтажу конструкцій від нитки виска визначають відрізки Δ (рис. 14.12) до площини конструкцій. Порівнюючи їх з проектними величинами, визначають шукані відхилення від вертикалі.

2. *Проектування колімаційною площиною.* Спосіб установлення і вивірення конструкцій по вертикалі за допомогою колімаційної площини теодоліта досить простий і часто застосовується в умовах будівельного майданчика. Іноді його називають способом похилого візування.

Для встановлення колони за вертикаллю (рис. 14.13) теодоліт розміщують на деякій відстані від неї. Звичайно відстань d знаходиться в межах 0,7 – 1,5 висоти конструкції. Теодоліт горизонтують і наводять візирну вісь на нижню осьову риску. Потім піднімають трубу вверх до рівня верхньої осьової риски. Колону за командою спостерігача нахиляють так, щоб верхня риска збіглася з перехрестям сітки ниток зорової труби теодоліта. При цьому колона буде встановлена за вертикаллю в одній площині. Для встановлення колони за вертикаллю в другій взаємно перпендикулярній площині використовують водночас два теодоліти (рис. 14.13). За наявності одного теодоліта його переносять у точку J_2 і аналогічно встановлюють колону за вертикаллю в другій площині.

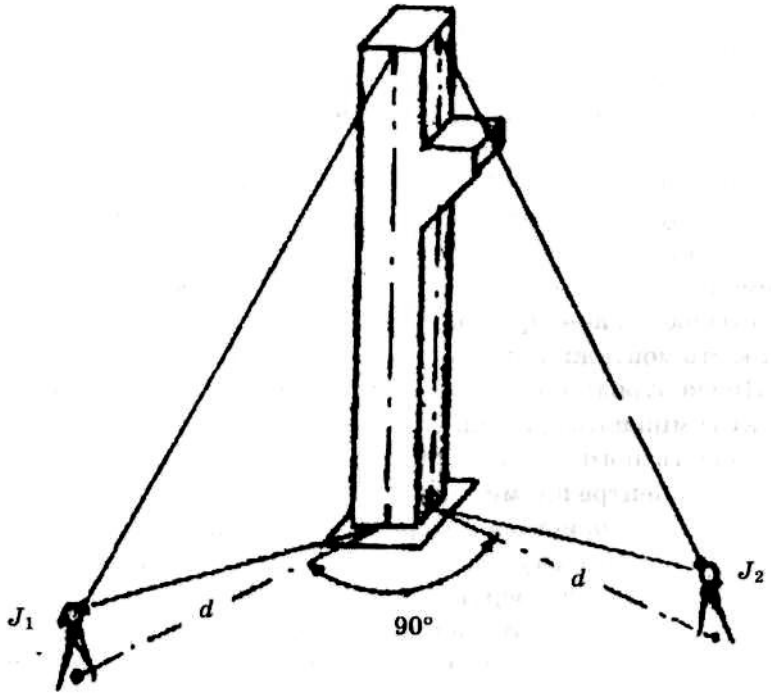


Рис. 14.13. Монтаж колони за вертикаллю за допомогою теодоліта або лазерного приладу

При вивіренні вертикальності колони спочатку візирну вісь труби наводять на верхню риску. Потім візують на нижню риску. Відхилення риски від перехрестя сітки ниток становить величину невертикальності колони в лінійній мірі – Δ. Нахил визначають за формулами

$$J = \frac{\Delta}{h}$$

або

$$\nu'' = \frac{\Delta}{h}\rho'' \qquad (14.6)$$

де h – висота колони.

Аналогічно виконується встановлення і вивірення за вертикаллю інших елементів будівельних конструкцій за допомогою колімаційної площини теодоліта.

Монтаж і вивірення за вертикаллю елементів будівельних конструкцій зручно виконувати за допомогою електронних теодолітів та електронних тахеометрів з лазерним візирним променем. Спочатку промінь лазера суміщають з рискою низу конструкції. Потім піднімають до верхньої риски і нахилом елемента візуально суміщають її з плямою лазерного променя. Це створює значні зручності, підвищує продуктивність праці та якість монтажних робіт.

При контролі монтажу елементів конструкцій навпаки, спочатку суміщають промінь лазера з верхньою рискою елемента. Опускають його до нижньої риски і вимірюють відхилення риски від центра плями лазера.

ЛІТЕРАТУРА

1. Геодезичний енциклопедичний словник. – Львів: Євросвіт, 2001. – 668 с.
2. Геодезія. Частина перша. Під ред. Могильного С.Г., Войтенка С.П. – Чернігів, 2002. – 408 с.
3. ДБН В.1.3-2:2010 ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ У БУДІВНИЦТВІ: Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві 1:500
4. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві: Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2006. – 278 с.
5. Основні положення про створення Державної геодезичної мережі України. – Постанова Кабінету Міністрів України від 8.06.1998, №144
6. Оцінка точності проекту нівелірної мережі забудованої території. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи/ Дейнека Ю.П., Львів, ДУЛП, 1994 р.
7. Панчук Ю.М., Янчук О.Є. Лабораторний практикум з інженерної геодезії: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 134 с.
8. Ратушняк Г.С. Топографія з основами картографії: Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 179 с.
9. Романчук С.В., Кирилюк В.П., Шемякін М.В. Геодезія: Навчальний посібник. – Умань: УДАУ, 2008. – 294 с.
10. Черняга П.Г., Лебідь Г.Г., Мальчук М.П., Мануйлик А.Т., Романчук С.В., Тадєєв О.А. Інженерна геодезія. Лабораторні роботи. Частина 1: Навчальний посібник для студентів технічних вищих закладів освіти. – Рівне, 1999. – 138 с.
11. Верешко О.В., Король П.П., Пугач С.О. Історичні аспекти розвитку геодезичного приладобудування: прилади для виконання геометричного нівелювання / Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ.2024, Випуск 21. С. 35-43

ЗМІСТ

1. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧІ КУРСУ ОСНОВИ ГЕОДЕЗІЇ. ЗВ'ЯЗОК КУРСУ З ІНШИМИ ДИСЦИПЛІНАМИ ……..……3

2. ФІЗИЧНА ФІГУРА ТА ПОВЕРХНЯ ЗЕМЛІ ……..…….8

3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЩО ДЛЯ ЦЬОГО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ. СИСТЕМИ ВИСОТ В ГЕОДЕЗІЇ …….....12

4. ВИМІРЮВАННЯ ЗА КАРТОЮ ДОВЖИН І ПЛОЩ. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ. АЗИМУТИ ТА ДИРЕКЦІЙНІ КУТИ, РУМБИ.……..……..….16

5. РОЗГРАФЛЕННЯ Й НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ……..…….23

6. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОМИЛОК ВИМІРЮВАНЬ. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТІ ПРО МАТЕМАТИЧНУ ОБРОБКУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЇХ ТОЧНОСТІ ….……30

7. ВИДИ ТА СПОСОБИ ЗЙОМОК …….35

8. КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ ……..……43

9. ЗАДАЧІ І МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ. СПОСОБИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ ...56

10. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ …….....63

11. ВИДИ І ЗАДАЧІ ІНЖЕНЕРНИХ ВИШУКУВАНЬ …….……70

12. ГЕОДЕЗИЧНІ РОЗМІЧУВАЛЬНІ РОБОТИ ……...78

13. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ПЛАНУВАННІ ТА ЗАБУДОВІ МІСЬККИХ ТЕРИТОРІЙ.....86

14. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ МОНТАЖІ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ……92

ЛІТЕРАТУРА……..111

Інженерна геодезія [Текст] : Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Архітектура та містобудування» галузі знань 19 Архітектура та будівництво спеціальності 191 Архітектура та містобудування денної форми навчання / уклад. О.В. Верешко. – Луцьк : Луцький НТУ, 2023. – 112 с.

.

Комп’ютерний набір та верстка О.ВЕРЕШКО

Редактор О.ВЕРЕШКО

Підп. до друку _____ 2023р. Формат 60х84/16. Папір офс.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 3,5.
Тираж ____ прим.

Луцький національний технічний університет
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75