

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Д. В. Шаульський

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
З ДИСЦИПЛІНИ**

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

*(для студентів 1 курсу денної форми навчання
напряму підготовки 6.060101 «Будівництво»
спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція»)*

Харків – ХНУМГ – 2013

Шаульський Д. В. Конспект лекцій з дисципліни «ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ» (для студентів 1 курсу денної форми навчання, напряму підготовки 6.060101 «Будівництво» спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція») / Д. В. Шаульський; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; – Х. : ХНУМГ, 2013. – 64 с.

Автор: Д. В. Шаульський

Рецензент: к.т.н., доц. І. М. Патракеєв

Затверджено на засіданні кафедри геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомого майна, протокол № 1 від 27.08.2013 р.

ЗМІСТ

1 ГЕОДЕЗИЧНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ, ТА ГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ.....	4
1.1 Історія розвитку геодезії.....	4
1.2 Загальні відомості з геодезії.....	6
1.3 Графічні моделі земної поверхні.....	12
1.4 Розв'язання інженерних задач на топографічному плані.....	19
2 ГЕОДЕЗИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ.....	25
2.1 Геодезичні вимірювання на місцевості.....	25
2.2 Вимірювання кутів на місцевості.....	29
2.3 Вимірювання перевищень.....	34
2.4 Вимірювання довжин ліній на місцевості.....	39
3 ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ВИШУКУВАННІ, ПРОЕКТУВАННІ, БУДІВНИЦТВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРУД.....	42
3.1 Інженерно-геодезичні вишукування.....	42
3.2 Опорні геодезичні мережі.....	47
3.3 Топографічне знімання.....	51
3.4 Геодезичне забезпечення будівництва.....	57
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	63

1 ГЕОДЕЗИЧНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ ТА ГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

1.1 Історія розвитку геодезії

1.1.1 Початковий період

Геодезія зародилась в глибокій давнині. Вона виникла із людської потреби виконувати ті чи інші вимірювання на землі. Слово «*геодезія*» перекладається з давньогрецької мови як «*поділ землі*».

Розширення економічних зв'язків між країнами, розвиток морських і сухопутних подорожей призвели до створення географічних карт, вивчення форми і розмірів Землі.

В усі часи історії людства задача з визначення фігури Землі являла собою складну науково-технічну проблему, привертала увагу провідних вчених людства, її вирішення вимагало використання передових технологій. Думку про подібність фігури Землі до кулі висловив давньогрецький філософ *Піфагор Самоський* (580 – 500 р. до н. е.). В його вченні стверджувалось, що Земля має форму подібну до кулі, та обертається навколо своєї осі, викликаючи видимий добовий рух зірок, і обертається навколо Сонця протягом року. В сутності була висунута ідея геліоцентричної системи Світу, Яка була науково обґрунтована Коперником через дві тисячі років.

Проблемою визначення форми і розмірів Землі займалися такі давньогрецькі філософи і вчені, як Аристотель, Архімед, Ератосфен та інші. В цей період був створений перший в світі глобус (150 р. до н. е.), з'явилися поняття географічних координат (широта і довгота).

В подальшому роботи з визначення форми і розмірів Землі були виконані арабськими і туркестанськими вченими, такими як, Халіб ібн Абдул Малік, Алі ібн Муса, Абу Рейхан Біруні (973 – 1048 рр.). Так філософ, астроном і геодезист Біруні з Туркестану (сучасний Афганістан) в 1023 р. визначив радіус земної кулі (більше 6000 км) із спостережень за положенням горизонту. За його розрахунками довжина однієї градусної дуги меридіану на широті 32° ПнШ дорівнює 110.278 км (за сучасними даними – 110.895 км). Абу Рейхан Біруні також є автором першого підручника з геодезії (1025 р.).

Дослідження арабських і туркестанських вчених завершують перший період становлення геодезії, як самостійної науки про Землю, що займається вивченням її фігури і вимірюваннями на її поверхні.

1.1.2 Другий період (XV-XVII ст.)

Початок другого періоду розвитку геодезії відноситься до епохи видатних наукових і географічних відкриттів. В цей період свої відкриття здійснили: Колумб (1451 – 1506 рр.), Васко Да Гама (1460 – 1524 рр.), Магелан (1480–1521 рр.), Кук (1728 – 1779 рр.), Беринг (1681 – 1741 рр.).

В геодезії в цей час відбувається ряд дивовижних відкриттів. Так у 1609 р. Галілеєм була винайдена зорова труба. Французький астроном Пікар (1620 – 1682 рр.) вперше застосував метод тріангуляції при вимірюванні дуги меридіану від Парижа до Ам'єна. Довжина одного градуса меридіана виявилась рівною 111.21 км, що всього на 0.03 км більше прийнятої в теперішній час. Пікар

вперше використав прилади з сіткою ниток. Саме Пікар вперше висловив ідею про те, що Земля не є подібною до кулі, а трохи стиснена в напрямку полюсів.

В 1687 р. вийшла монументальна праця Ньютона – «Математичні основи натуральної філософії», в якій на підставі відкритого ним закону всесвітнього тяжіння доводиться наявність полярного стиснення Землі. Ньютон не тільки встановив стиснення фігури Землі вздовж осі обертання, але і теоретично визначив його величину.

1.1.3 Третій період (XVIII – перша половина XX ст.)

Третій період розвитку геодезії характеризується тим, що головною науковою задачею геодезії стає визначення розмірів земного еліпсоїду.

В цей час вчені-геодезисти прийшли до висновку, що згладжена до рівня Світового океану фігура Землі не є простою геометричною фігурою, тобто виникло поняття *геоїд*.

XVIII ст. є визначним для геодезії Росії. В цьому столітті не тільки почали виконувати в широких масштабах різноманітні геодезичні роботи, але й сформувалася геодезична освіта і елементи її методології, з'явилися перші фундаментальні підручники з геодезії і геодезична термінологія, геодезія остаточно сформувалась в Росії як наука.

В 1715 р. розпочаті перші інструментальні знімання території Російської Імперії. В 1725 р. споряджена перша експедиція Вітуса Беринга для дослідження сходу країни. Слід відзначити велику працю М. В. Ломоносова, особливо з того часу, як він став керувати Географічним Департаментом Академії наук. З 1757 р. по 1765 р. Ломоносов запровадив російськомовне написання назв на картах. Він є автором ідеї картографічної генералізації і систематичного оновлення географічних карт (через 20 років).

К початку XIX ст. були накопичені значні матеріали геодезичних і астрономічних спостережень, у зв'язку з цим виникла проблема обробки результатів вимірювань. Метод вирішення цієї проблеми був запропонований незалежно німецьким математиком, астрономом і геодезистом Карлом Фрідріхом Гаусом і видатним французьким математиком Андрієн-Марі Лежандром. Цей метод, названий методом найменших квадратів, знаходить широке застосування при опрацюванні геодезичних мереж. В Росії метод найменших квадратів в геодезії і астрономії на практиці застосовували відомі астрономи і геодезисти Струве, Цингер, Гедеонов та інші.

1.1.4 Сучасний період (друга половина XX ст. – теперішній час)

Початок сучасного періоду розвитку геодезії співпадає із запуском перших штучних супутників Землі, поява яких відкрила нові можливості для вирішення наукових і практичних задач геодезії. Яскравим прикладом тут є поява систем глобального позиціонування GPS. В цей же час з'явилися електронні обчислювальні машини, електронні вимірювальні прилади і геоінформаційні системи.

Даний період ознаменувався основоположними працями видатного радянського вченого-геодезиста Молоденського (1909 – 1991 рр.), який довів неможливість точного визначення фігури геоїда тільки за вимірюваннями на земній поверхні, і розробив теорію і методи визначення фігури фізичної поверхні Землі.

На сьогоднішній день геодезія, як наука, включає ряд окремих науково-технічних дисциплін, таких як вища геодезія, топографія, фотограмметрія, картографія, супутникова геодезія та інженерна геодезія.

1.2 Загальні відомості з геодезії

1.2.1 Предмет і завдання геодезії

Геодезія – наука, яка вивчає фігуру та гравітаційне поле Землі, а також методи і засоби геометричних вимірювань земної поверхні з метою зображення її на планах і картах для вирішення завдань народного господарства і оборони країни.

Завдання геодезії поділяють на наукові та практичні.

До наукових завдань відносять:

- визначення форми і розмірів Землі та її зовнішнього гравітаційного поля;
- дослідження горизонтальних та вертикальних деформацій земної кори;
- дослідження переміщень берегової смуги морів і океанів;
- спостереження переміщень земних полюсів.

Практичні задачі геодезії надзвичайно різноманітні. До їх числа відносять:

- визначення положення окремих точок земної поверхні в обраній системі координат;
- складання карт і планів місцевості;
- виконання вимірювань, необхідних для вишукування, проектування, будівництва і експлуатації будівель і споруд.

Всі завдання геодезії вирішуються за допомогою спеціальних вимірювань, які називають – геодезичними.

В процесі свого розвитку геодезія розділилась на ряд окремих науково-технічних дисциплін.

Вища геодезія, яка вивчає фігуру та гравітаційне поле Землі, а також займається визначенням координат окремих точок земної поверхні в єдиній системі.

Топографія розглядає способи вивчення в деталях земної поверхні й відображення її на картах і планах.

Фотограметрія розглядає методи отримання топографічних планів за допомогою космічних і аерофотознімків.

Картографія розглядає методи складання, видавництва і шляхи використання різноманітних карт і планів.

Супутникова геодезія розглядає методи вирішення геодезичних задач за допомогою штучних супутників Землі.

Інженерна геодезія розглядає методи геодезичних робіт, які виконують під час вишукувань, проектування, будівництва і експлуатації інженерних споруд.

1.2.2 Поняття про форму і розміри Землі.

Загалом, земну поверхню можна уявити як фігуру, утворену поверхнею морів і океанів, яка продовжена під материками (рис. 1.1). Таку поверхню називають *основною рівневою поверхнею*. Рівнева поверхня перпендикулярна в кожній точці напряму сили тяжіння (прямовисній лінії). Тіло, яке утворює основна рівнева поверхня, називають *геоїдом*.

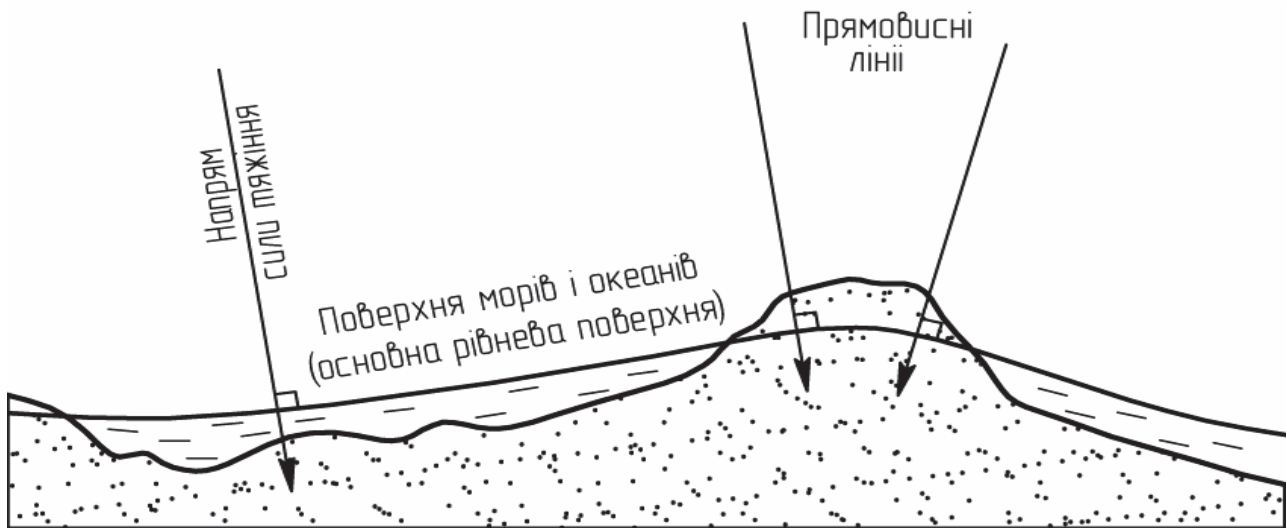


Рис. 1.1 – Геоїд

Геоїд не є правильним геометричним тілом, і не виражається кінцевим математичним рівнянням. Тому для геодезичних обчислень беруть правильну математичну поверхню тіла, найбільш близького до геоїда – *еліпсоїд обертання*. Розміри і форма земного еліпсоїда характеризуються наступними параметрами:

- велика напіввісь (екваторіальний радіус), a ;
- мала напіввісь (полярний радіус), b ;

Розміри земного еліпсоїда визначали за результатами геодезичних вимірювань неодноразово. Наприклад, розміри загально-земного еліпсоїда *WGS-84* (World Geodetic System 1984), який застосовуються в системі супутникової навігації GPS, характеризується параметрами: $a = 6\,378\,137$ м, $b = 6\,356\,753$ м.

1.2.3 Системи координат в геодезії

Координати – фізичні величини, які визначають положення точки на площині або у просторі відносно вихідних ліній та поверхонь.

В геодезії широко застосовують наступні системи координат:

- географічна;
- система плоских прямокутних координат;
- система полярних координат.

З визначенням *географічної системи координат* пов'язані поняття географічного меридіана і паралелі.

Меридіан – слід від перетинання земної поверхні з площиною, яка проходить крізь вісь обертання Землі.

Паралель – слід від перетинання земної поверхні з площиною, перпендикулярною осі обертання Землі.

Положення точки на поверхні еліпсоїда в географічній системі координат визначається широтою і довготою.

Геодезичною широтою (B) точки M називають кут між площиною екватора і прямовисною лінією, яка проходить крізь дану точку (рис. 1.3).

Широта відлічується в обидва боки від екватора і набуває значення від 0° до 90° . Широта може бути північна і південна.

Геодезичною довготою (L) точки N називають двогранний кут між площиною меридіана, який проходить крізь дану точку, й площиною початкового меридіана (рис. 1.2).

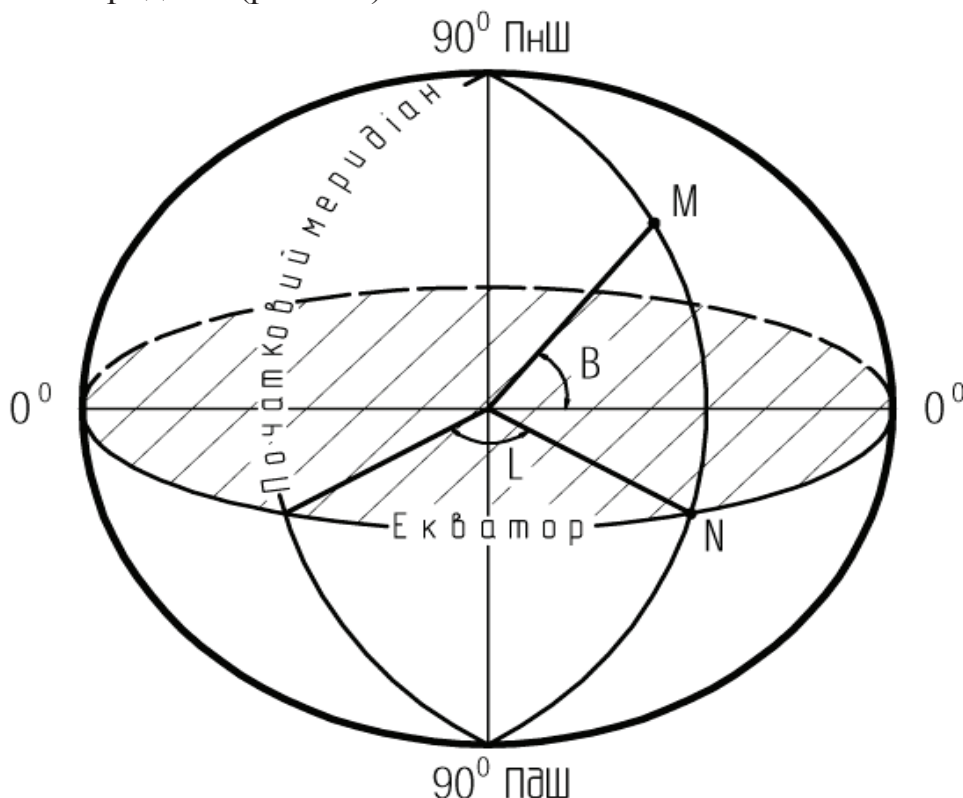


Рис. 1.2 – Графічне зображення географічної широти і довготи

За початковий (нульовий) меридіан прийнятий меридіан, що проходить крізь місто Гринвіч (Англія). Довгота відлічується від 0° до 180° на схід і на захід від Гринвіча.

Застосування географічної системи координат при геодезичних обчисленнях створює значні труднощі. Тому в геодезії застосовують спеціальні проекції, які дають змогу перенести точки поверхні Землі на площину за математичними законами. Тоді визначення положення точок стає можливим в найбільш простій системі плоских прямокутних координат X, Y .

В Україні прийнята рівнокутна проекція еліпсоїда на площині й відповідна їй система координат Гауса-Крюгера. Суть цієї системи полягає в наступному.

1. Земний еліпсоїд розбивається меридіанами на зони (протяжністю 3° або 6° за довготою). Нумерація зон ведеться від Гринвічського меридіана на схід (рис. 1.3 а).

2. Земний еліпсоїд умовно розміщують в поперечному циліндрі. (рис. 1.3 б).

3. Кожна зона окремо проектується на площину таким чином, щоб середній (осьовий) меридіан кожної зони був зображений прямою лінією без спотворень (рис. 1.3 в).

За початок відліку координат в кожній зоні приймають перетин осьового меридіана – осі абсцис і екватора – осі ординат. Лінії, які паралельні зображенню осьових меридіанів і екватору, утворюють прямокутну координатну сітку.

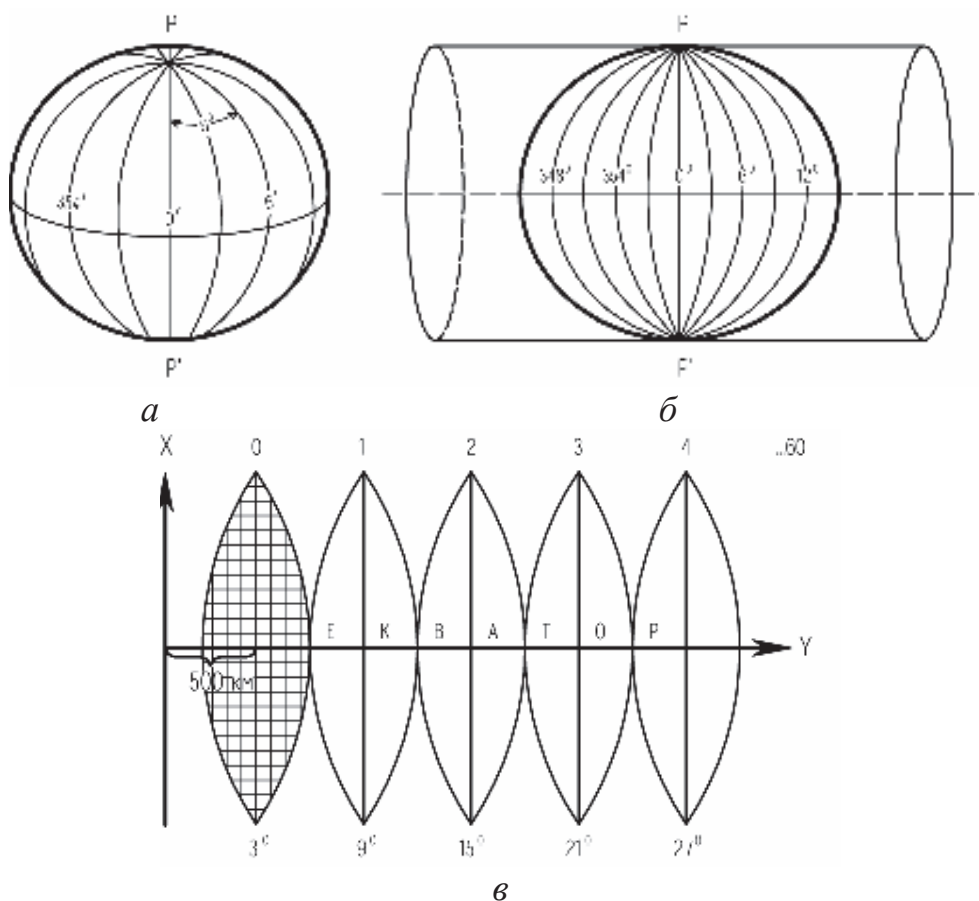


Рис. 1.3 – Зональна система плоских прямокутних координат Гауса-Крюгера

Система координат в кожній зоні однакова. Для визначення зони, до якої належить точка з даними координатами, до ординати зліва дописують номер зони. Щоб не мати від'ємних ординат, точкам осевого меридіана умовно приписують ординату 500 км. Тоді всі точки на схід і захід від осевого меридіана будуть мати додатні ординати. Наприклад, якщо дана ордината $y = 7\,300\,000$, то точка знаходиться в сьомій зоні і має ординату від осевого меридіана, що дорівнює $300\,000 - 500\,000 = -200\,000$ м.

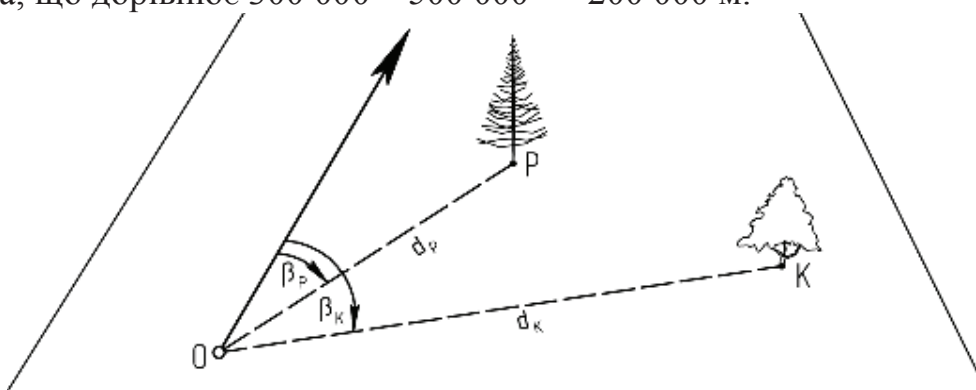


Рис. 1.4 – Система полярних координат

Для опису положення точки P на площині можна застосовувати полярні координати d і β (рис. 1.4). Де β – полярний кут між вихідним напрямком і напрямком на точку P , а d – відстань від початку координат до точки P . В геодезії полярну систему координат використовують при виконанні тахеометричного і теодолітного знімання.

1.2.4 Абсолютні та відносні висоти

Для опису просторового положення точок земної поверхні необхідна третя координата. В геодезії такою координатою є висота точки H . Висотою точки називають відстань від рівневої поверхні до даної точки вздовж прямовисної лінії (рис. 1.5). Кількісне значення висоти називають *відміткою*.

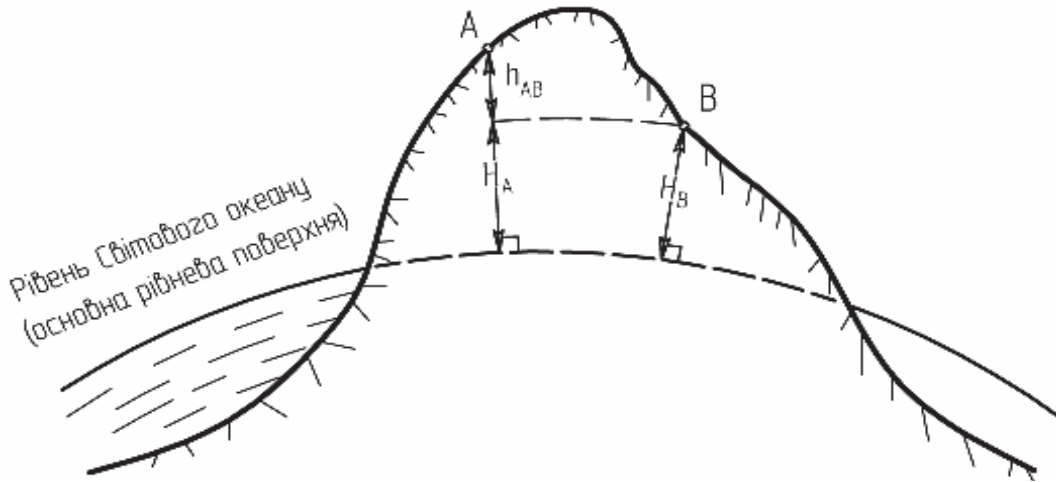


Рис. 1.5 – Висота точки. Перевищення

За початкову відлікову поверхню для визначення висот в геодезії приймають основну рівневу поверхню (геоїд), яку також називають рівнем моря. Висоти, які відраховують від основної рівневої поверхні, називають *абсолютними*. В межах будь-якого району або об'єкту будівництва за вихідну для відліку висот можна вибрати будь-яку іншу постійну точку, наприклад, рівень підлоги першого поверху житлового будинку. Такі висоти називають *умовними* або *відносними*. Різницю висот двох точок називають *перевищенням* (h) і вираховують за формулою

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1.1)$$

$$h_{BA} = H_A - H_B$$

де H_A, H_B – висоти точок A і B відповідно.

1.2.5 Орієнтування ліній

Орієнтувати лінію місцевості – означає знайти її напрямок відносно меридіана. В якості кутів, які визначають напрямок лінії, слугують азимути, дирекційні кути і румби.

Азимутом напрямку називають горизонтальний кут, який відраховують від північного напрямку істинного або магнітного меридіана за годинниковою стрілкою до заданого напрямку.

Азимут може набувати значення від 0° до 360° . Істинні азимути визначають за положенням зірок, магнітні – за допомогою компасу або бусолі.

При розв'язанні інженерно-геодезичних задач для орієнтування ліній місцевості найчастіше користуються не азимутами, а дирекційними кутами, α (рис 1.6). *Дирекційним кутом* лінії називають горизонтальний кут, який відраховують за годинниковою стрілкою від північного напрямку осевого меридіана або лінії, що паралельна йому, до заданого напрямку.

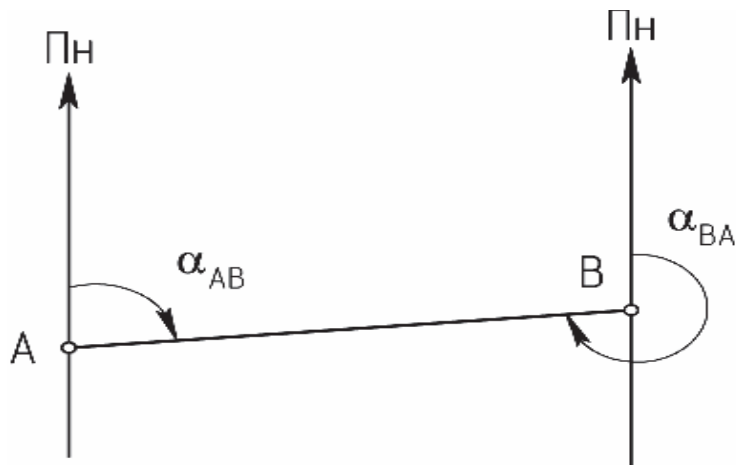


Рис. 1.6 – Дирекційний кут лінії

Дирекційні кути вимірюються від 0° до 360° . Дирекційні кути напрямів AB і BA називають відповідно *прямим* і *оберненим*. Вони відрізняються один від одного на 180° , тобто $\alpha_{AB} = \alpha_{BA} \pm 180^\circ$.

Іноді від азимутів і дирекційних кутів переходять до румбів, r (рис. 1.7). Румб – гострий кут, який відраховують від найближчого напрямку меридіану до заданого напрямку.

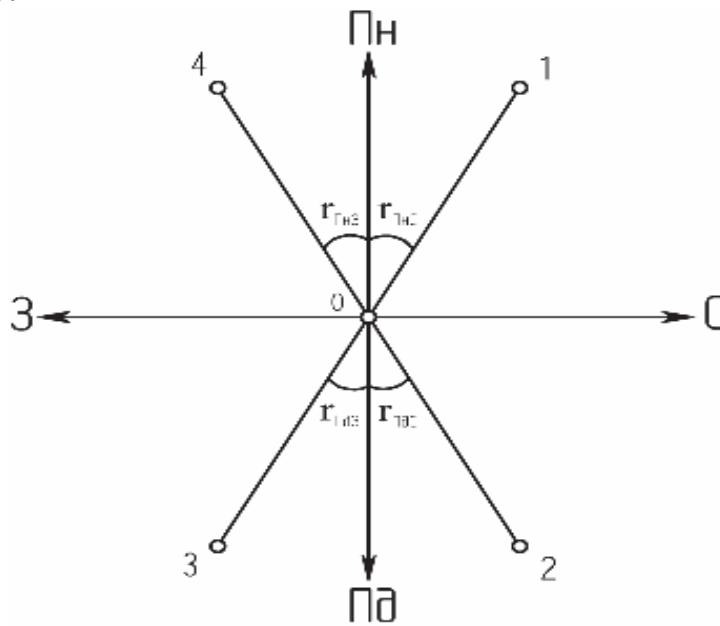


Рис. 1.7 – Румби

Румби набувають значення в межах $0^\circ - 90^\circ$ і мають літерне позначення, яке вказує на чверть, в якій знаходиться румб.

Тобто правильний запис румба має такий вигляд, наприклад, $ПНС:45^\circ 30'$.

Між дирекційними кутами і румбами існує зв'язок, який дозволяє, знаючи дирекційний кут, обчислювати румб і навпаки.

I чверть (ПНС): $r = \alpha$; $\alpha = r$

II чверть (ПДС): $r = 180^\circ - \alpha$; $\alpha = 180^\circ - r$

III чверть (ПДЗ): $r = \alpha - 180^\circ$; $\alpha = r + 180^\circ$

IV чверть (ПНЗ): $r = 360^\circ - \alpha$; $\alpha = 360^\circ - r$

1.3 Графічні моделі земної поверхні

1.3.1 Поняття про топографічний план, карту, профіль земної поверхні

Якщо необхідно зобразити невелику ділянку місцевості (в межах площі круга діаметром до 20 км), то відповідну їй частину рівневої поверхні можна прийняти за горизонтальну площину. В такому випадку точки земної поверхні A , B , C (рис. 1.8 а) проєктують на уявну горизонтальну площину перпендикулярами Aa , Bb , Cc .

Зображення просторового об'єкта опусканням перпендикулярів із характерних його точок на площину називають *ортогональною проєкцією*. Ортогональна проєкція є основою планів і карт.

Топографічним планом називають зменшене і подібне зображення на площині ортогональних проєкцій контурів і форм рельєфу невеликої ділянки місцевості.

На топографічних планах предмети і контури місцевості зображують умовними знаками, рельєф – горизонталями. На плані можна вирішувати різноманітні задачі, такі як вимірювання довжин ліній, визначення прямокутних координат точок, визначення висот точок, перевищень, крутості схилів, вимірювання дирекційних кутів, побудова профілю місцевості за горизонталями.

Плани, на яких не зображений рельєф, називають *контурними* або *ситуаційними*. Вони мають обмежене застосування.

В тих випадках, коли на площині зображують значну територію, неможливо не зважати на кривизну Землі; її слід враховувати. На значних за розмірами територіях проєктування контурів прямовисними лініями виконують вже не на площину, а на сферичну поверхню (рис. 1.8 б). При цьому прямовисні лінії слід вважати не паралельними між собою, а такими, що перетинаються в центрі сфери.

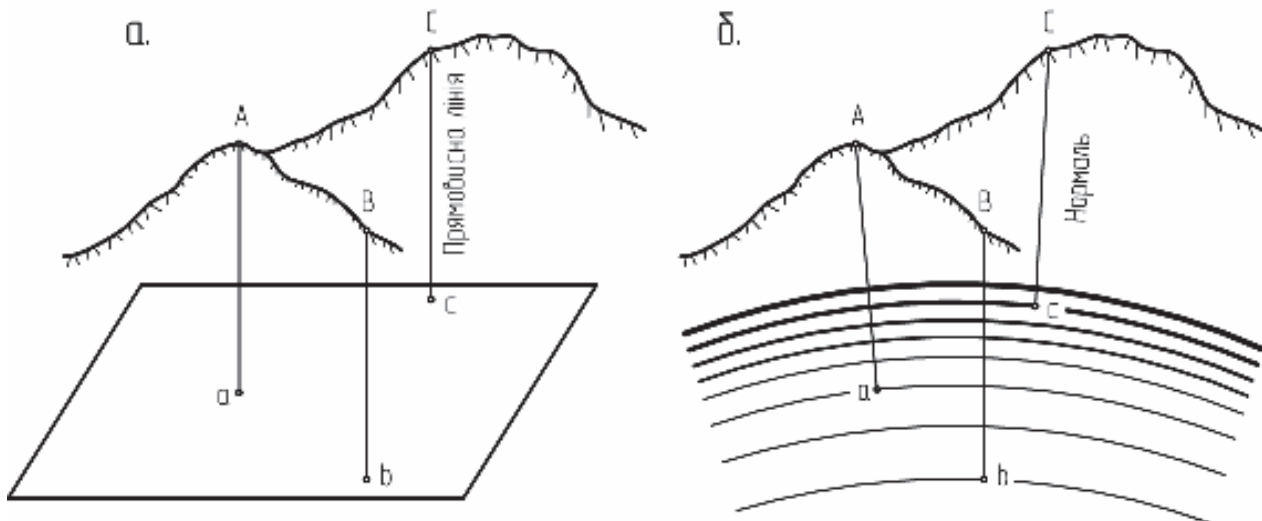


Рис. 1.8 – Побудова зображення методом ортогональної проєкції:
а – план; б – карта

При зображенні великих ділянок земної поверхні, через певні інтервали у вибраній проєкції будують зображення ліній меридіанів і паралелей, які перетинаються, і таким чином утворюють картографічну сітку. В середині картографічної сітки розміщують контури місцевості. Така побудова називається картою.

Іншими словами, *карта* – це зменшене, узагальнене і побудоване за певними математичними законами зображення значних ділянок земної поверхні на площині.

Окрім розміщення в плані, будівлі та споруди необхідно розмістити за висотою. З цією метою складають поздовжні й поперечні профілі місцевості.

Профілем місцевості називають зменшене зображення вертикального перетину місцевості вздовж заданого напрямку. Профілі найчастіше використовують при будівництві лінійних споруд: залізниць, автомагістралей, тунелів, підземних газопроводів.

1.3.2 Розграфлення і номенклатура карт і планів

Розграфлення – це система поділу карт на окремі аркуші за певним законом. Розграфлення буває *міжнародним і прямокутним*.

За основу міжнародного розграфлення беруть аркуш карти масштабу 1:1000000. При цьому поверхню Землі умовно поділяють на 60 колон і 22 пояси, в перетині яких утворюються трапеції розміром 6° за довготою і 4° за широтою. Кожну з цих трапецій зображують на окремому аркуші в масштабі 1:1000000. Систему позначення окремих аркушів карт називають *номенклатурою*. Номенклатура кожного аркуша карти масштабу 1:1000000 складається з позначення пояса і номера колони. Нумерація колон починається від меридіана з довготою 180° і ведеться проти ходу годинникової стрілки (рис. 1.9).

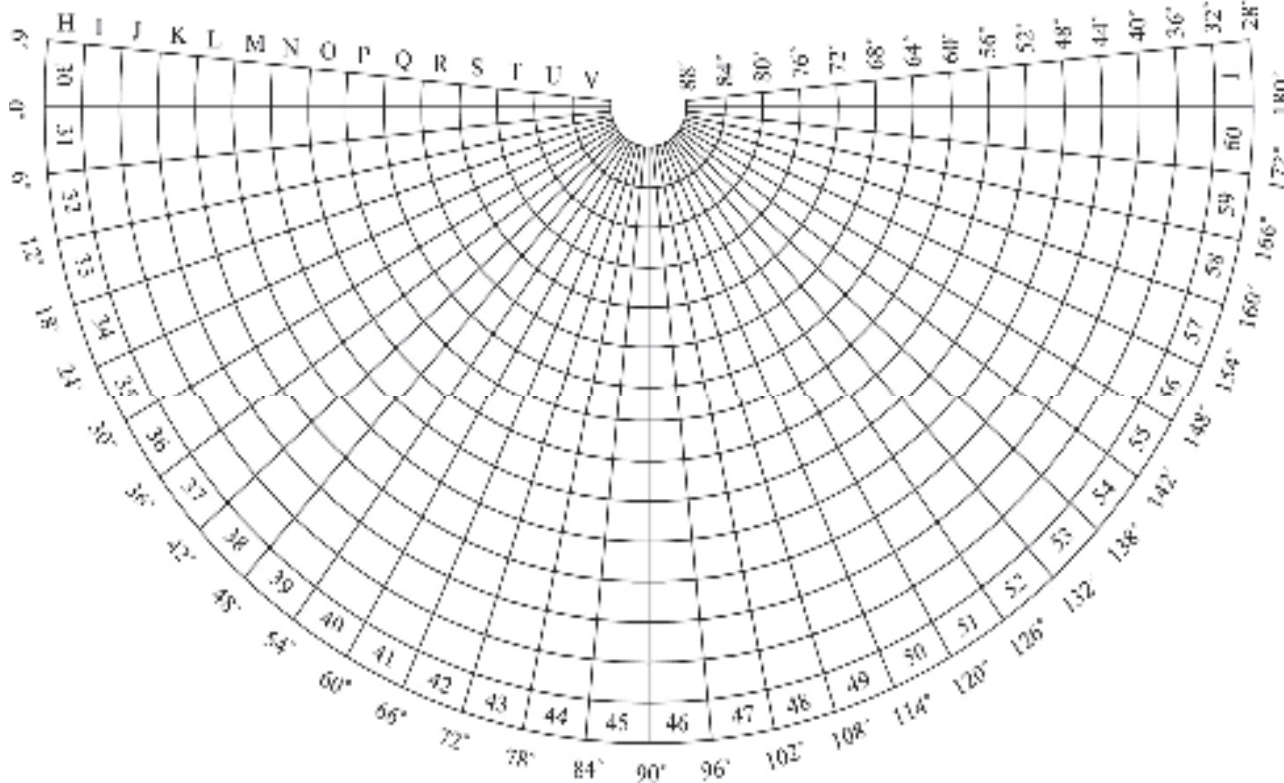


Рис. 1.9 – Схема розграфлення земної поверхні на аркуші карти масштабу 1:1000000

Пояси позначають великими літерами латинського алфавіту в південному і північному напрямках від екватору, починаючи з літери *A*. До позначення поясів південної півкулі додають літеру *S*. Наприклад, місто Харків розміщене на аркуші карти з номенклатурою М-37.

Правило подальшого розграфлення полягає в постійному поділі аркуша карти дрібнішого масштабу меридіанами і паралелями на ціле число аркушів карти більшого масштабу.

Аркуш карти масштабу 1:1 000 000 (рис. 1.10) ділять на 4 аркуша карти масштабу 1:500 000 (позначаються літерами А, Б, В, Г), або на 36 аркушів масштабу 1:200 000 (позначаються римськими цифрами I, II, ..., XXXVI), або на 144 аркуша масштабу 1:100 000 (позначаються арабськими цифрами 1, 2, ..., 144).

За основу розграфлення аркушів карт крупніших масштабів взятий аркуш карти масштабу 1:100 000. Його поділяють меридіанами і паралелями на 4 аркуша масштабу 1:50 000, які позначають літерами: А, Б, В, Г. Аркуш масштабу 1:50 000 поділяють на 4 аркуша масштабу 1:25 000 (позначаються літерами а, б, в, г). Аркуш масштабу 1:25 000 поділяють на 4 аркуша масштабу 1:10 000 (позначаються арабськими цифрами 1, 2, 3, 4).

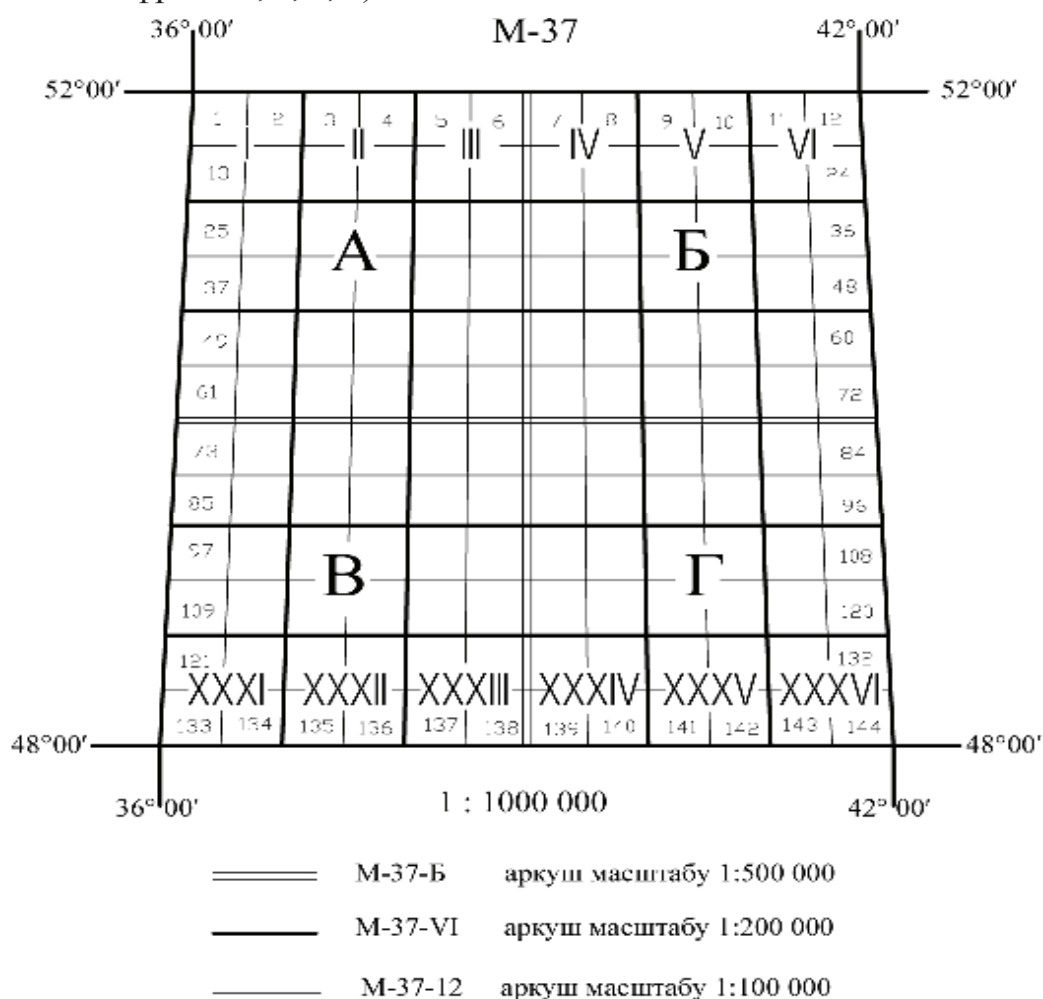


Рис. 1.10 – Схема розграфлення аркушів карт масштабів 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000 на аркуші карти масштабу 1:1000000

За основу розграфлення листів карти масштабу 1:5 000 беруть аркуш карти масштабу 1:100 000, який поділяють на 256 частин (позначаються арабськими цифрами 1, 2, ..., 256). Кожний аркуш масштабу 1:5 000 поділяють на 9 аркушів карти масштабу 1:2 000 (позначаються буквами а, б, в, г, д, е, ж, з, и).

В таблиці 1.1 приведені показники міжнародного розграфлення і номенклатури аркушів карт різних масштабів

Таблиця 1.1 – Розграфлення і номенклатура карт і планів

Масштаб	Кількість листів	Розмір аркуша		Позначення аркуша	Приклад номенклатури
		за довготою	за широтою		
1	2	3	4	5	6
Розграфлення аркуша карти масштабу 1:1 000 000					
1:1 000 000	1	6°	4°		М-37
1:500 000	4	3°	2°	А, Б, В, Г	М-37-А
1:200 000	36	1°	40'	I,..., XXXVI	М-37-А-II
1:100 000	144	30'	20'	1, 2,..., 144	М-37-33
Розграфлення аркуша карти масштабу 1:100 000					
1:100 000	1	30'	20'		М-37-33
1:50 000	4	15' 30"	10'	А, Б, В, Г	М-37-33-Б
1:25 000	16	7' 30"	5'	а, б, в, г	М-37-33-Б-а
1:10 000	64	3' 45"	2' 30"	1, 2, 3, 4	М-37-33-Б-а-1
1:5 000	256	1' 52.5"	1' 15"	1, 2,..., 256	М-37-33-(48)
1:2 000	2204	37.5"	25"	а, б, в,..., и	М-37-33-(48-а)

Для топографічних планів, які створюють на ділянки площею менше ніж 20 кв. км, прийняте прямокутне розграфлення. При цьому рамками аркушів служать осі Х та У прямокутної системи координат (державної або місцевої). Розміри аркушів планів масштабу 1:5 000 дорівнюють 40 х 40 см, масштабів 1:2000, 1:1000, 1:500 – 50 х 50 см.

1.3.3 Види масштабів

Масштаб – це відношення довжини відрізка на плані або карті до відповідної горизонтальної відстані на місцевості.

Розрізняють такі види масштабів.

1.*Чисельний*. Виражають дробом, чисельник якої – одиниця, а знаменник показує в скільки разів горизонтальні проекції ліній зменшені на плані. Наприклад , 1:500, 1:2 000, 1:10 000.

2.*Пояснювальний*. Підписується під чисельним масштабом для зручності роботи з планом. Наприклад, «В 1 сантиметрі 20 метрів» для масштабу 1:2 000.

3.*Графічний*. Поділяється на лінійний і поперечний.

Для побудови *лінійного масштабу* на прямій відкладають декілька разів який-небудь відрізок, наприклад, 2 см, який називають основою масштабу (рис. 1.11). Крайню зліва основу ділять на 10 рівних частин. Кожному відрізку на лінійному масштабі відповідає певний відрізок на місцевості. Відрізки, які відкладають від нульової позначки вправо, в масштабі 1:10 000, відповідають на місцевості 200, 400, 600, 800, а вліво – 20, 40,... 200 м.

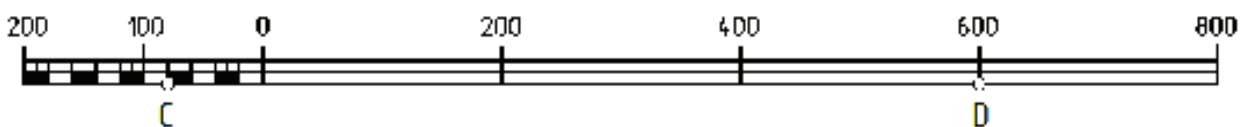


Рис. 1.11 – Лінійний масштаб

Якщо який-небудь відрізок лінії плану на масштабі дорівнює CD , то йому відповідає на місцевості 680 м.

Для побудови *поперечного масштабу* на прямій відкладають декілька разів основу, яка дорівнює 2 см. З початку кожної основи проводять уверх перпендикуляри. Перпендикуляри ділять на 10 рівних частин. Через поділки проводять паралельні до основи лінії. Першу основу, як зверху, так і знизу, ділять на 10 частин і з'єднують послідовно початок верхньої лінії з першою поділкою нижньої, першу поділку верхньої – з другою поділкою нижньої і т.д. (рис. 1.12).

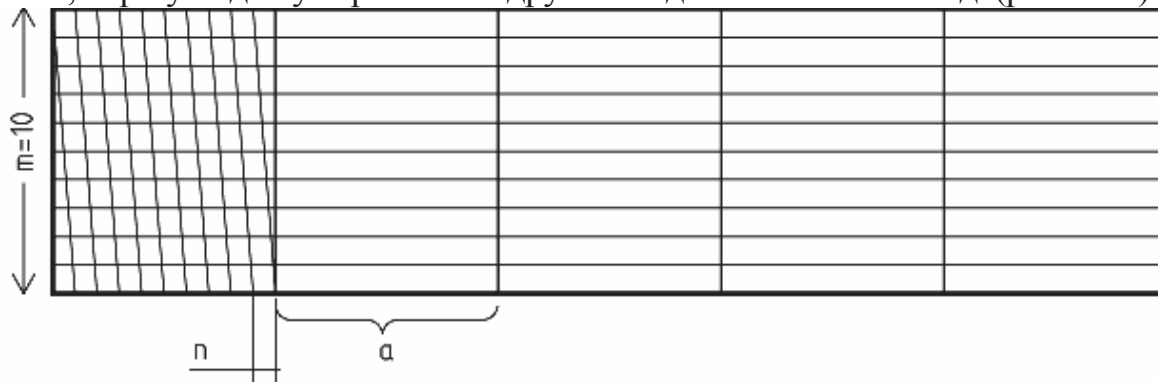


Рис. 1.12 – Поперечний масштаб

Таким чином, отримують шкалу, утворену поділками, довжини яких дорівнюють $a = 2$ см; $n = a/10 = 0.2$ см; $m = a/100 = 0.02$ см. Найменша поділка m , яка дорівнює сотій частині основи, утворюється між перпендикуляром, який співпадає з початком другої основи, і похилою лінією.

Величину відрізка на місцевості, яка дорівнює 0.1 мм на плані або карті, називають *граничною графічною точністю масштабу*. Так, наприклад, гранична графічна точність масштабу 1:2 000 дорівнює 0.2 м.

1.3.4 Зображення рельєфу на планах і картах

Під *рельєфом місцевості* розуміють сукупність нерівностей земної поверхні. На топографічних планах необхідно забезпечити не тільки наочне уявлення про топографічну поверхню, але й можливість інженерних розрахунків. Тому на сучасних топографічних планах і картах рельєф зображують горизонталями (рис. 1.13).

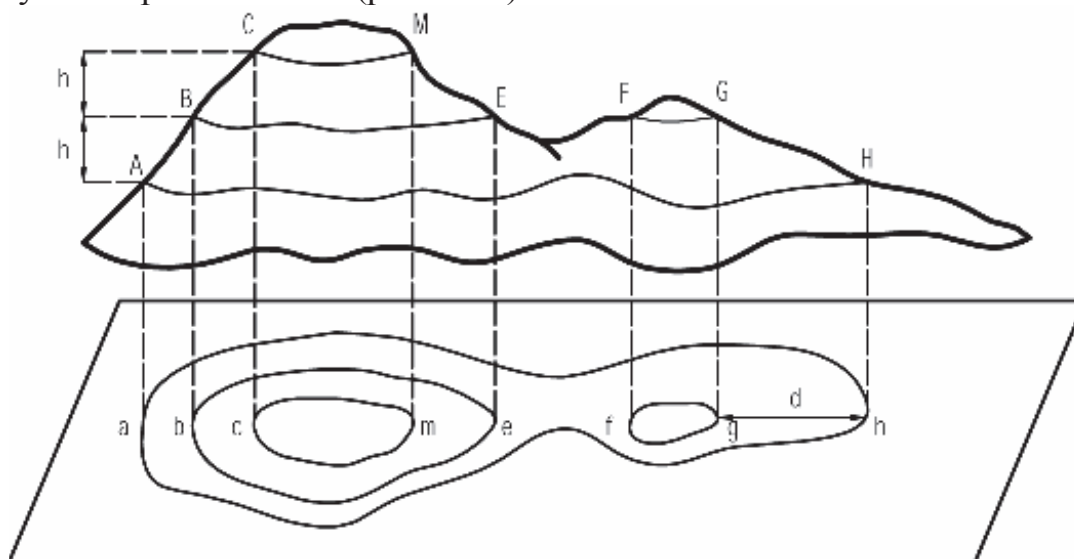


Рис. 1.13 – Зображення рельєфу горизонталями

Горизонталь – замкнена крива лінія, яка з'єднує точки з однаковими висотами. Горизонталь також можна уявити як слід від перетину земної поверхні з горизонтальною площиною.

Відстань між сусідніми горизонталями вздовж прямовисної лінії називають *висотою перетину рельєфу* (h), її підписують на кожному аркуші карти під чисельним масштабом. Відстань між горизонталями на плані називається *закладенням* (d). Відмітки горизонталей підписують в їх розривах. Верх цифри спрямований вверх схилу. Горизонталі зображають коричневим кольором, при цьому їх не викреслюють на водоймищах, ярах, обривах, формах рельєфу штучного походження.

Із-поміж різноманіття форм рельєфу місцевості розрізняють п'ять найбільш типових: гора (пагорб), улоговина (западина), хребет, лощина, сідловина. Як видно з рис. 1.14, гора і улоговина за горизонталями мають однакову форму, і відрізнити їх можна лише за напрямом скатів. Для визначення напрямку скатів на деяких горизонталях проводять короткі поділки в напрямку скату, їх називають *бергштрихами*.

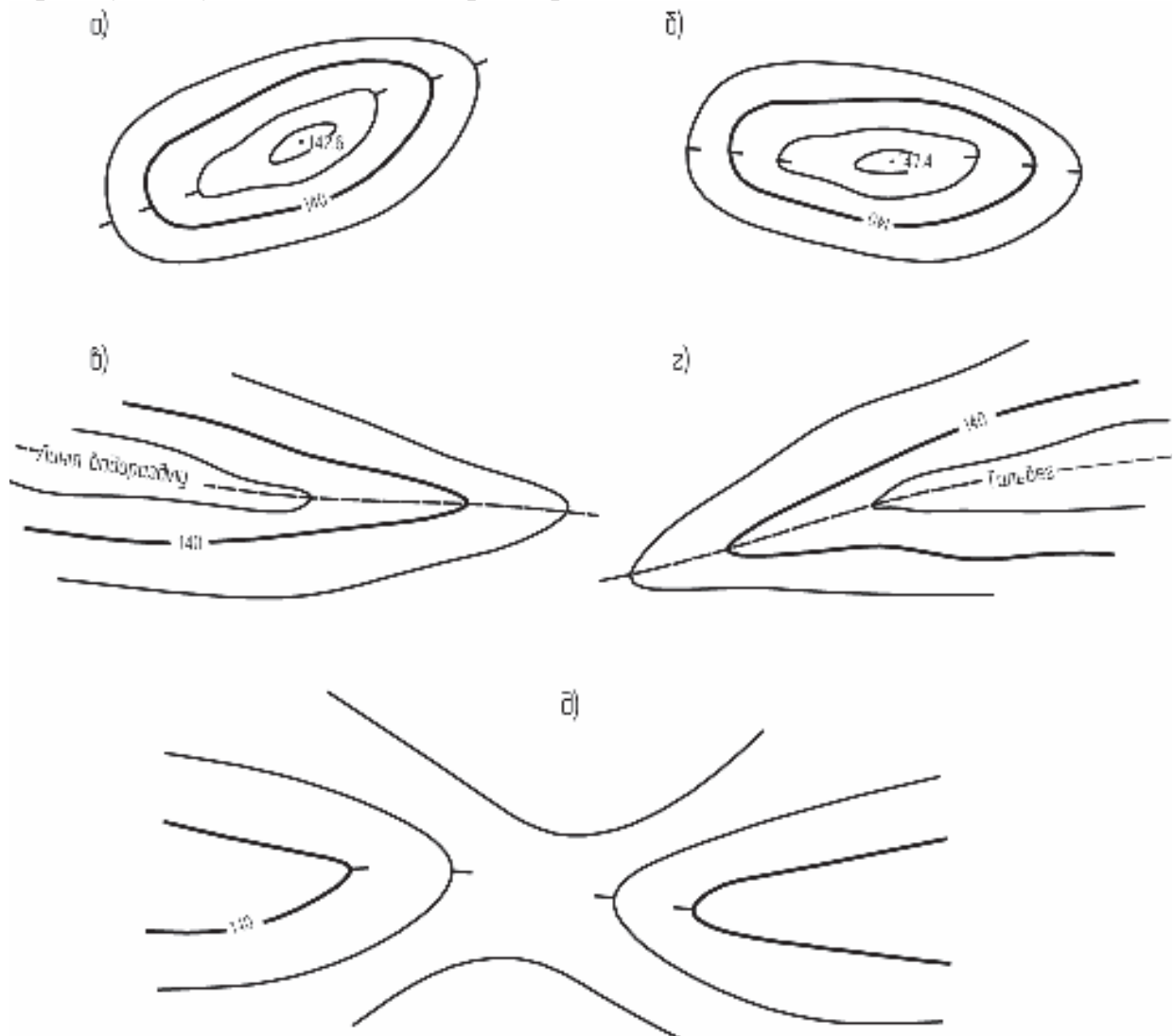


Рис. 1.14 – Зображення основних форм рельєфу горизонталями:
а – гора; б – улоговина; в – хребет; г – лощина; д – сідловина

1.3.5 Умовні знаки карт і планів

Предмети місцевості зображають на планах і картах умовними знаками (рис. 1.15). Умовні знаки мають зовні нагадувати ті предмети, які зображають. Добре знання умовних знаків дає можливість легко уявити зображену місцевість.

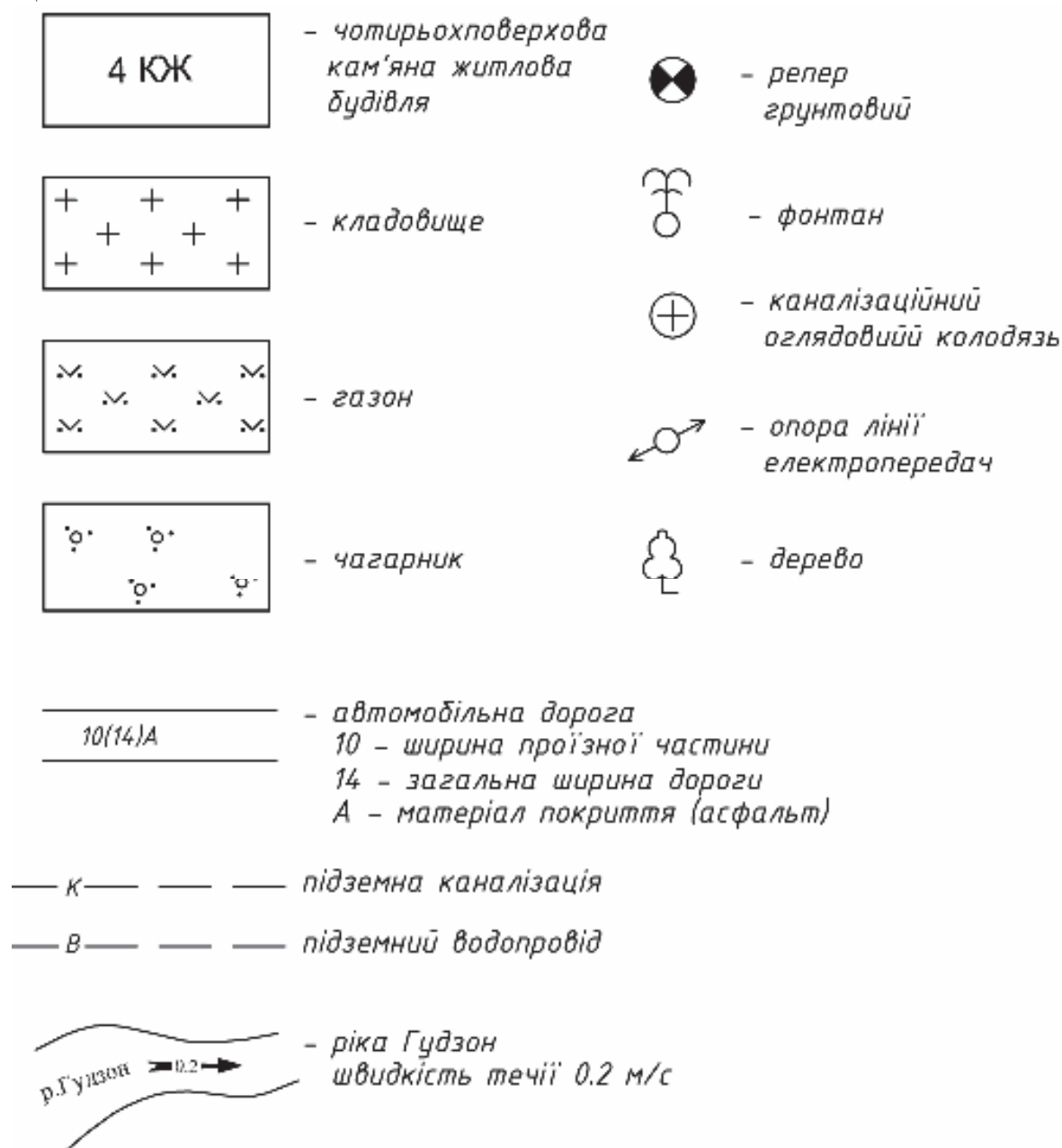


Рис. 1.15 – Умовні позначення

Всі умовні знаки можна розділити на 4 групи. *Масштабні або контурні* умовні знаки використовують для зображення об'єктів, які можна виразити в масштабі даної карти чи плану, наприклад луки, ліси, города, моря і т.п. Масштабні умовні знаки дають можливість визначати розміри і форму об'єктів.

Позамасштабні умовні знаки використовують для зображення об'єктів, які за своїми розмірами не можуть бути виражені в масштабі плану, наприклад, оглядові колодязі підземних комунікацій, фонтани, ліхтарі на стовпах, свердловини і т.п. Як правило, позамасштабні умовні знаки визначають місцеположення об'єкту, і за ними не можливо визначити його розміри.

Лінійними умовними знаками зображують витягнуті об'єкти, довжина яких є масштабною, а ширина – позамасштабною (дороги, лінії електропередач, огорожі і т.п.)

Пояснювальні умовні знаки дають додаткову характеристику зображених об'єктів, наприклад, назви населених пунктів, швидкість течії річок, вантажопідйомність і ширина мостів, ширина шосейних доріг і т.п.

1.4 Розв'язання інженерних задач на топографічному плані

1.4.1 Вимірювання довжин ліній

Для вимірювання прямих відрізків ліній на карті або плані використовують масштаби: чисельний, лінійний, поперечний. Відрізки ліній вимірюють за допомогою лінійок або вимірників. Шукане горизонтальне прокладення S обчислюють як добуток довжини відрізка l , вимірюваного на плані, й знаменника масштабу M .

$$S = l \cdot M \quad (1.3)$$

Наприклад, на плані масштабу 1:2000 накреслена пряма лінія AB , довжина якої виміряна лінійкою і складає $l = 44$ мм. Тоді довжина лінії AB на місцевості, відповідно до формули (1.3) буде дорівнювати

$$S_{AB} = 44 \cdot 2\,000 = 88\,000 \text{ мм} = 88 \text{ м}$$

Щоб не зосереджуватися на обчисленнях, довжину лінії можна визначити за допомогою лінійного масштабу. Наприклад, довжина основи масштабу, зображеного на рис. 1.18, складає 40 м. Ціна найменшої поділки крайньої лівої основи масштабу дорівнює 4 м.

Відрізок беруть в розхил циркуля-вимірника і прикладають до лінійного масштабу, як показано на рис. 1.16.

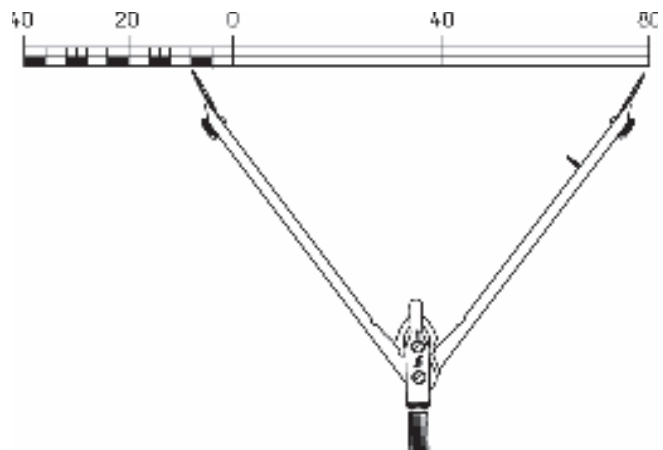


Рис. 1.16 – Вимірювання довжин ліній

Довжина лінії на місцевості буде дорівнювати числу метрів, підписаних над поділкою, з якою співпала права ніжка циркуля-вимірника (80 м), і числу метрів, які вміщуються між нулем і лівою ніжкою циркуля-вимірника (8 м).

$$S_{AB} = 80 \text{ м} + 8 \text{ м} = 88 \text{ м}$$

З метою підвищення точності вимірювань використовують поперечний масштаб (рис. 1.17). Для масштабу 1:2000 основа поперечного масштабу (2 см) буде дорівнювати 40 м. Одна десята частина основи дорівнює 4 м, одна сота частина основи – 0.4 м. Взявши в розхил циркуля-вимірника відстань між точками A і B , прикладають циркуль-вимірник до поперечного масштабу, суміщають праву ніжку з перпендикуляром, який відповідає 80 м. Переміщують циркуль-вимірник уверх доти, доки ліва ніжка не співпаде з однією з похилих ліній лівої основи.

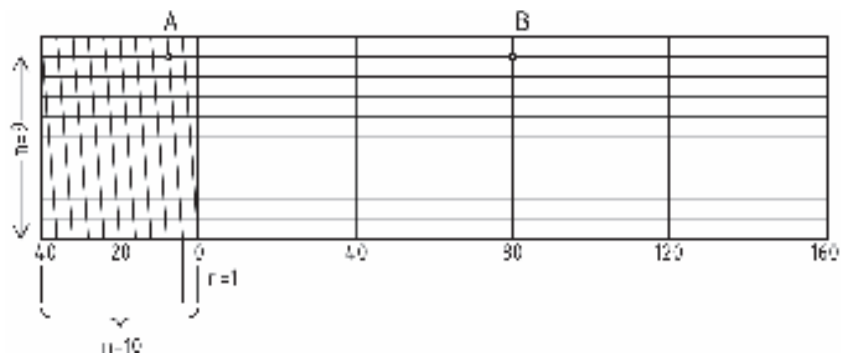


Рис. 1.17 – Вимірювання довжини відрізка за допомогою поперечного масштабу

В такому випадку довжина лінії AB складатиме суму відрізків, які дорівнюють:

числу цілих основ (a) $2 \cdot 40 = 80$ м;

числу десятих частин основи (n) $1 \cdot 4 = 4$ м;

числу сотих частин основи (m) $9 \cdot 0.4 = 3.6$ м.

Тобто

$$S_{AB} = 80 \text{ м} + 4 \text{ м} + 3.6 \text{ м} = 87.6 \text{ м}$$

1.4.2 Визначення прямокутних координат точок

Прямокутні координати точок (x, y) визначають відносно ліній координатної сітки. Для цього спочатку визначають координати x_i та y_i південно-західного кута квадрата, в якому знаходиться точка. З даної точки опускають перпендикуляри на західну та південну сторони квадрата і за допомогою чисельного або поперечного масштабу визначають їх довжину, отримуючи таким чином прирости Δx і Δy (рис. 1.18).

Тоді прямокутні координати x, y заданої точки визначаються за формулами

$$x_K = x_i + \Delta x, \quad (1.4)$$

$$y_K = y_i + \Delta y,$$

де x_i, y_i – координати південно-західного кута координатної сітки;

$\Delta x, \Delta y$ – прирости координат заданої точки відносно південно-західного кута.

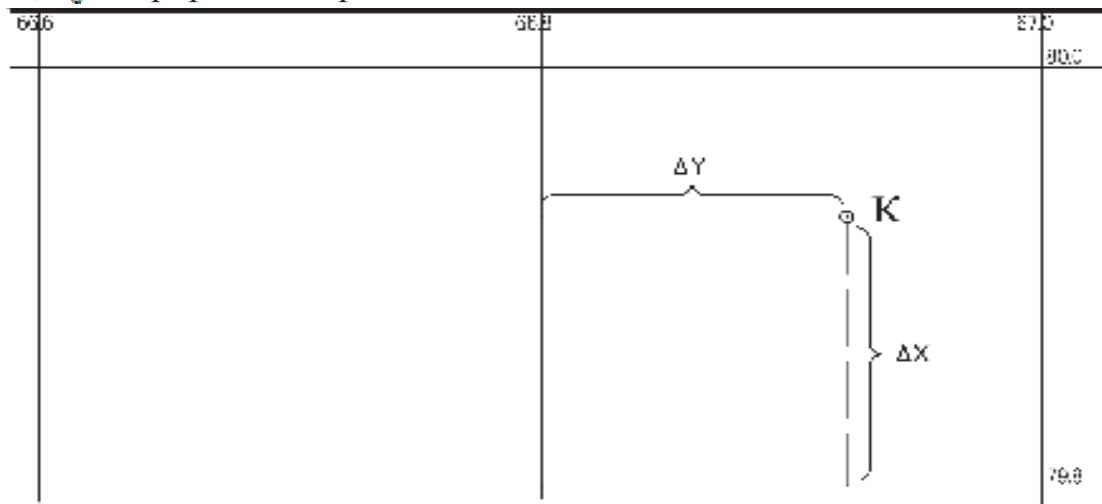


Рис. 1.18 – Визначення координат

1.4.3 Визначення висот точок, перевищень, крутості схилів

Висоти точок визначають за горизонталями. Якщо точка знаходиться на горизонталі, її висота дорівнює висоті даної горизонталі. Якщо точка знаходиться між горизонталями (рис. 1.19), то її висоту (H) визначають за формулою

$$H = H_0 + h, \quad (1.5)$$

де H_0 – відмітка найближчої до точки горизонталі;

h – перевищення точки над горизонталлю.

Враховуючи, що висота між сусідніми горизонталями змінюється пропорційно закладенню, для обчислення перевищення (h) використовують формулу

$$h = \frac{a}{d} \cdot h', \quad (1.6)$$

де d – закладення;

a – відстань від точки до найближчої горизонталі;

h' – висота перетину рельєфу.

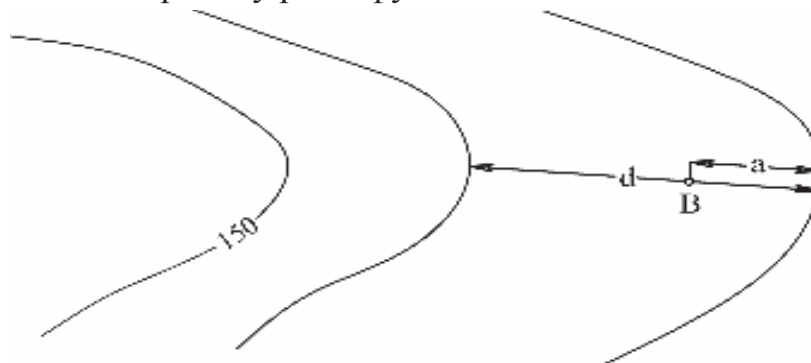
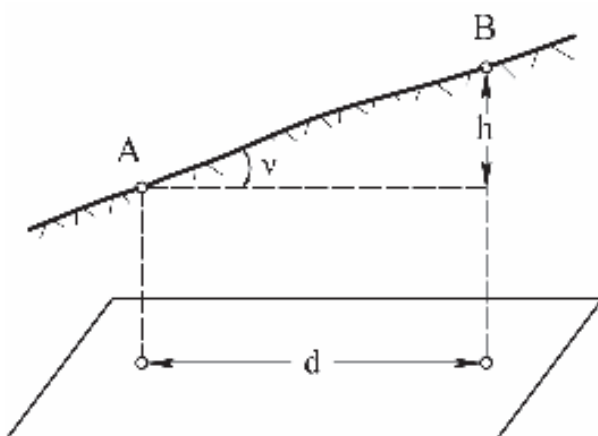


Рис. 1.19 – Визначення висот точок за горизонталями

Якщо відомі висоти двох точок H_A і H_B , перевищення між ними h_{AB} обчислюють за формулою

$$h_{AB} = H_B - H_A, \quad (1.7)$$



За обчисленням перевищенням h між початковою і кінцевою точками лінії і горизонтальним прокладенням d між ними можна визначити крутість схилу. Мірою крутості схилу виступає ухил лінії i , який визначається тангенсом кута нахилу v .

Із рис. 1.20 випливає, що

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d}. \quad (1.8)$$

Рис. 1.20 – Визначення крутості скату

Іншими словами, ухил – це перевищення, яке припадає на одиницю горизонтального прокладення. Ухил виражається в процентах (%) або проміле (‰).

1.4.4 Вимірювання дирекційних кутів

Для вимірювання дирекційного кута лінії через її початкову точку проводять пряму, паралельну до осі абсцис. Вимірюють дирекційний кут геодезичним транспортиром за годинниковою стрілкою від північного напрямку осі абсцис до напрямку заданої лінії. При цьому центральну позначку транспортира суміщають з початковою точкою лінії (рис. 1.21).

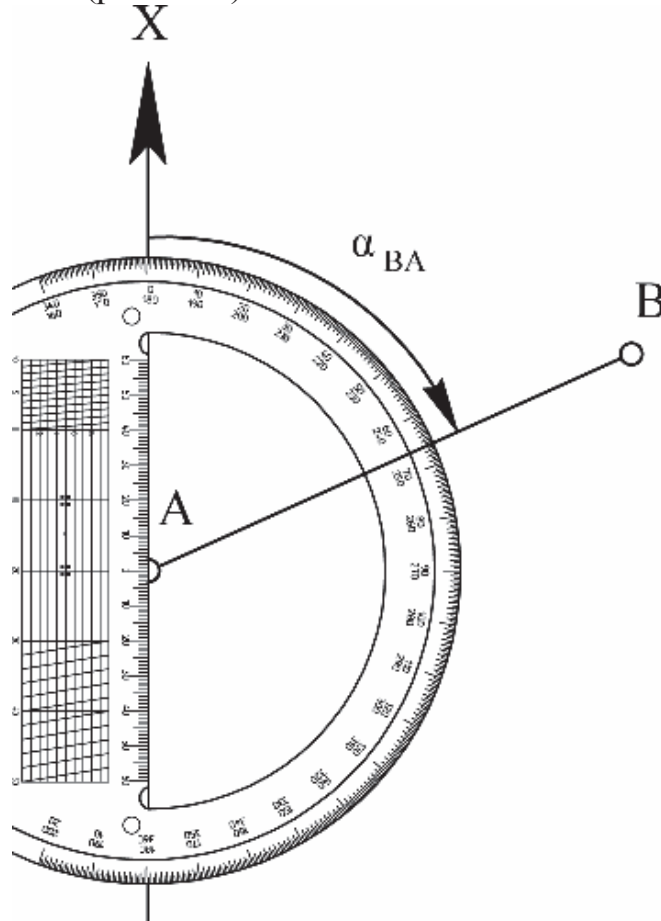


Рис. 1.21 – Вимірювання дирекційного кута

Якщо дирекційний кут перевищує 180° , то його визначають за червоною шкалою транспортира.

Точність вимірювання дирекційних кутів геодезичним транспортиром складає $15'$. Різниця між дирекційними кутами прямого і зворотного напрямків повинна складати 180°

1.4.5 Побудова профілю місцевості за горизонталями

Лінія, вздовж якої необхідно побудувати профіль місцевості, називається профільною лінією (на рис. 1.22 а це лінія АВ). На профільну лінію накладають смугу міліметрового паперу, і на ній позначають виходи всіх горизонталей і їх відмітки.

Потім цю смугу переносять на сітку профілю, підписують відмітки горизонталей і проводять перпендикуляри з усіх точок. В масштабі профілю відкладають висоти точок на відповідних перпендикулярах. Кінці перпендикулярів з'єднують ламаною лінією, яка є зображенням профілю місцевості (рис. 1.22 б). Для кращого сприйняття і підвищення точності вертикальний масштаб беруть в 10 разів крупніший за горизонтальний.

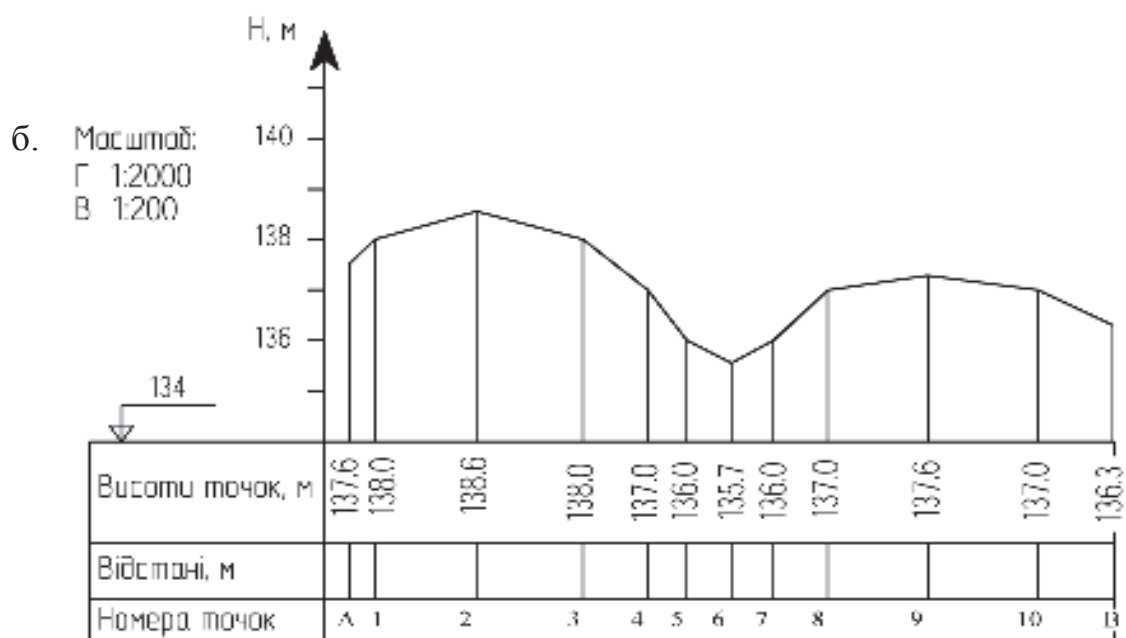
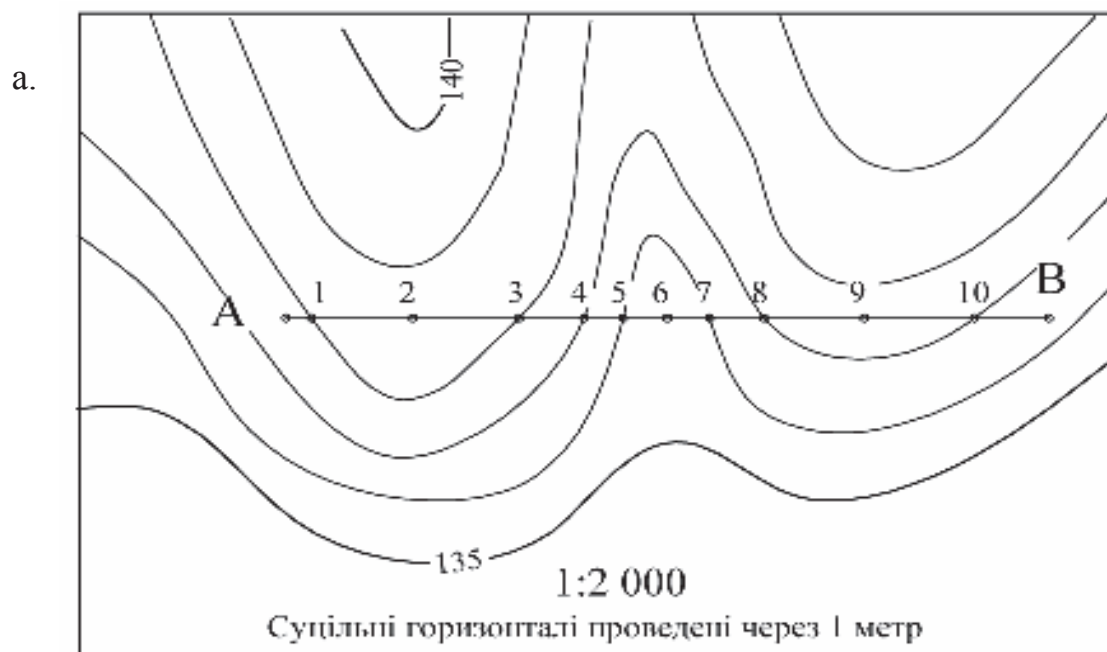


Рис. 1.22 – Побудова профілю місцевості за напрямом АВ

1.4.6 Розв'язання прямої і оберненої геодезичних задач

Сутність *прямої геодезичної задачі* полягає у визначенні прямокутних координат кінцевої точки лінії за відомими координатами початкової точки, дирекційним кутом лінії і горизонтальним прокладенням.

Координати точки 2 (рис. 1.23) можна обчислити за формулами

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + \Delta X_{1-2}, \\ Y_2 &= Y_1 + \Delta Y_{1-2}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Прирости координат ΔX та ΔY , відповідно до рис. 1.23, визначають за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta X_{1-2} &= d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2}, \\ \Delta Y_{1-2} &= d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

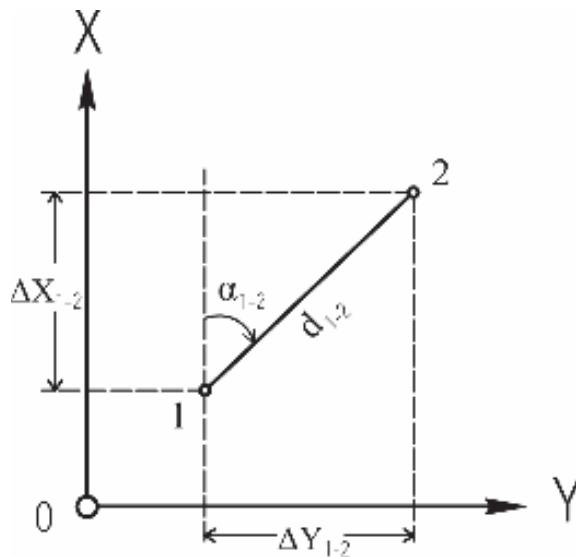


Рис. 1.23 – Геометрична схема прямої і оберненої геодезичних задач

Під час винесення проекту забудови на місцевість виникає необхідність розв’язання **оберненої геодезичної задачі**. Її сутність полягає у визначенні довжини лінії і її дирекційного кута за відомими координатами початкової і кінцевої точок лінії.

Спочатку обчислюють румб лінії за формулою:

$$r = \arctg \frac{\Delta Y_{1-2}}{\Delta X_{1-2}} = \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}. \quad (1.11)$$

Далі за знаками приростів визначають чверть, в якій знаходиться румб (табл. 1.2), і за формулами (1.2) обчислюють дирекційний кут.

Таблиця 1.2 – Знаки приростів координат

I четверть	II четверть	III четверть	IV четверть
$+\Delta Y$	$+\Delta Y$	$-\Delta Y$	$-\Delta Y$
$+\Delta X$	$-\Delta X$	$-\Delta X$	$+\Delta X$

Довжину лінії обчислюють за теоремою Піфагора:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}. \quad (1.12)$$

2 ГЕОДЕЗИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

2.1. Геодезичні вимірювання на місцевості

2.1.1 Поняття про геодезичні вимірювання

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

1. Об'єкт вимірювання;
2. Суб'єкт вимірювання;
3. Прилад для вимірювання;
4. Метод вимірювання;
5. Зовнішнє середовище.

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

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

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

В нашій країні основною одиницею вимірювання кутів є *градус*. Крім цього, кути можуть вимірюватись в градах і радіанах. *Град* дорівнює сотій частині прямого кута. *Радіан* – центральний кут, який спирається на дугу окружності, що дорівнює радіусу. Один радіан дорівнює $\rho = 57.296^\circ = 3438' = 206265''$. За одиницю вимірювання довжини прийнятий *метр*. Нині за еталон метра беруть відстань, яку долає світло у вакуумі за $1:299792458$ с.

2.1.2 Класифікація та властивості похибок вимірювань

Похибку вимірів визначають як відхилення результату виміру від дійсного (або істинного) значення вимірюваної величини. Похибка вимірювання є характеристикою точності вимірювання.

За характером прояву розрізняють наступні види похибок.

Грубі похибки або промахи, які різко відхиляють результати вимірів від дійсного значення. Вони завжди виникають тільки з вини виконавця. Їх необхідно своєчасно виявляти, а результати вимірів, що містять ці похибки, виключати з подальшої обробки. Найбільш дієвими методами виявлення грубих похибок є виконання надлишкових вимірів. Тому в геодезії кожен величину вимірюють, переважно не менше двох разів.

Систематичні похибки породжуються істотними зв'язками між чинниками, що впливають на вимірювання, і виникають кожного разу за одних і тих же умов. Систематичні похибки підпорядковані певній закономірності. Ці закономірності піддаються вивченню і за певних умов систематичні похибки можуть бути виключені з окремого результату вимірювання.

Випадкові похибки породжуються не істотними, а другорядними випадковими зв'язками між чинниками вимірів. Вони можуть з'являтися в процесі

вимірів, а можуть і не з'явитися, можуть бути великими або малими, позитивними або негативними. Величина і знак цих похибок має випадковий характер, а їх розподіл підпорядкований законам теорії ймовірності. Випадкові похибки не можуть бути виключені з окремого результату вимірювання. Їх вплив на результати вимірів можна лише послабити, підвищуючи кваліфікацію виконавця, вдосконалюючи вимірювальні прилади і методику вимірів, виконуючи вимірювання за сприятливіших умов. Вплив випадкових похибок можна також послабити належною математичною обробкою результатів вимірів.

Сумарний вплив систематичних похибок утворює систематичну похибку θ результату вимірювання, а сумарний вплив випадкових похибок – випадкову похибку Δ результату вимірів. Таким чином, похибку вимірювання ε можна представити як суму двох складових

$$\varepsilon = \theta + \Delta. \quad (2.1)$$

На практиці при здійсненні геодезичних вимірів систематичні і випадкові похибки виникають спільно, тому їх поділ у процесі обробки результатів вимірів є надзвичайно важким. Більше того, в деяких випадках похибки, випадкові за походженням, за певних умов стають систематичними.

Випадкові похибки мають такі властивості.

Властивість обмеженості. За певних умов випадкова похибка за абсолютною величиною не перевищує граничної величини

$$|\Delta| \leq \Delta_{\text{гп}}. \quad (2.2)$$

Властивість компенсації. Сума випадкових похибок, поділена на їх число, за необмеженої кількості вимірів наближається до нуля

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0. \quad (2.3)$$

Властивість унімодалності. Малі за абсолютною величиною випадкові похибки зустрічаються в ряді вимірів частіше великих

$$N_{|\Delta_{\min}|} \gg N_{|\Delta_{\max}|}. \quad (2.4)$$

Властивість симетричності. В достатньо великому ряді вимірів кількість похибок з протилежними знаками приблизно однакова

$$N_{|\Delta|} \approx N_{|-\Delta|}. \quad (2.5)$$

2.1.3 Середня квадратична і гранична похибки

Середньою квадратичною похибкою m називають величину, яка дорівнює квадратному кореню із середнього арифметичного квадратів випадкових похибок

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}. \quad (2.6)$$

Середня квадратична похибка є найбільш прийнятним критерієм для оцінювання точності вимірів тому, що на її величину сильно впливають великі за абсолютною величиною випадкові похибки, що визначають надійність результатів вимірів.

Середня квадратична похибка вже за деякої відносно невеликої кількості вимірів набуває сталого значення і при збільшенні кількості вимірів змінюється несуттєво.

Знаючи середні квадратичні похибки певних величин, можна легко визначити середні квадратичні похибки інших величин, функціонально пов'язаних з ними.

На основі середньої квадратичної похибки можна знайти граничну похибку, тобто таке найбільше за абсолютною величиною значення випадкової похибки, яке може з'явитися за певних умов вимірів. Абсолютна величина випадкової похибки може бути більше $2m$ лише в 5 випадках із 100 можливих, а більше $3m$ тільки в 3 випадках з 1000 можливих.

Виходячи з цього в геодезії прийнято як граничну похибку приймати величину

$$\Delta_{гр} \approx 2m, \quad (2.7)$$

а при відносно невеликій кількості вимірюваних величин або при особливо відповідальних вимірюваннях

$$\Delta_{гр} = 3\sigma \approx 3m, \quad (2.8)$$

Отже, якщо будь-який результат вимірів має похибку більшу за граничну, то такий результат містить грубу похибку і тому має бути виключений з подальшої обробки і замінений новим, отриманим під час повторних вимірів.

1.2.4 Оцінка точності функцій вимірюваних величин

При непрямих вимірюваннях значення шуканою величини отримують через безпосередньо виміряні величини. Оскільки значення безпосередньо вимірюваних величин отримані з похибками, то і значення шуканої величини, як функції від них, також буде отримано з якоюсь похибкою. Тому виникає задача визначення середньої квадратичної похибки функції вимірюваних величин.

Якщо є функція

$$y = f(x_1, x_2 \dots x_t), \quad (2.9)$$

аргументи якої $x_1, x_2 \dots x_t$ – незалежні результати безпосередніх вимірювань величин $X_1, X_2 \dots X_t$, виконаних із середніми квадратичними похибками $m_1, m_2 \dots m_t$, то середня квадратична похибка даної функції дорівнюватиме

$$m_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot m_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \cdot m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_t}\right)^2 \cdot m_t^2}, \quad (2.10),$$

де $\frac{\partial y}{\partial x_i}$ – часткові похідні функції вимірюваних величин;

m_i – середні квадратичні похибки вимірюваних величин.

Вирішення задач на визначення середніх квадратичних похибок функції вимірюваних величин виконують в такій послідовності.

1. Функцію (2.9) записують в явному вигляді;
2. Знаходять часткові похідні цієї функції за всіма незалежними змінними;
3. Підставляють часткові похідні й середні квадратичні похибки в формулу (2.10);
4. Виконують необхідні математичні перетворення й отримують кінцевий результат.

Приклад. Обчислити прирости координат $\Delta X, \Delta Y$ та їх середні квадратичні похибки $m_{\Delta X}, m_{\Delta Y}$, якщо довжина лінії виміряна з середньою квадратичною похибкою $m_d = 0.1m$, і становить $d = 120.0 m$, а її дирекційний кут $\alpha = 60^\circ 00'$ виміряний з середньою квадратичною похибкою $m_\alpha = 1.5'$ (рис. 2.1).

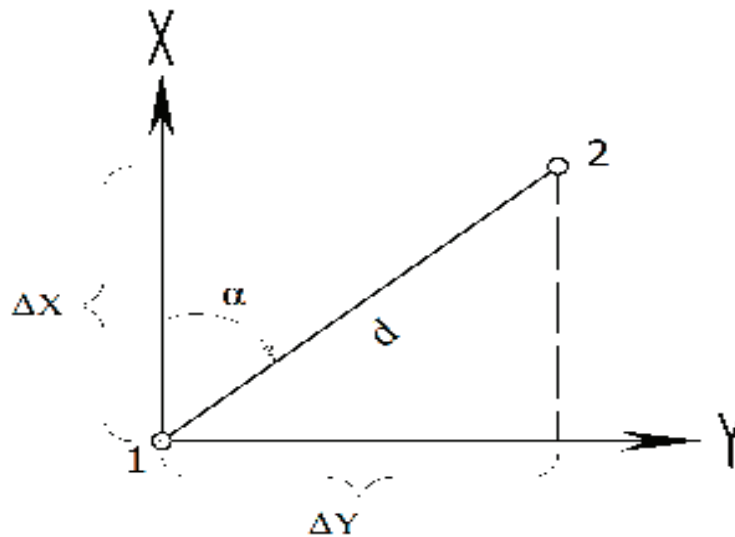


Рис. 2.1 – Схема, що пояснює зміст задачі

Виражаємо функціонально прирости координат ΔX та ΔY через лінію d та її дирекційний кут α

$$\Delta X = d \cdot \cos \alpha;$$

$$\Delta Y = d \cdot \sin \alpha.$$

Обчислюємо значення приростів координат ΔX та ΔY

$$\Delta X = 120 \cdot \cos 60^\circ 00' = 60.0 \text{ м};$$

$$\Delta Y = 120 \cdot \sin 60^\circ 00' = 103.9 \text{ м}.$$

Знаходимо часткові похідні функцій ΔX та ΔY за змінними d і α .

$$\frac{\partial \Delta X}{\partial d} = \cos \alpha; \quad \frac{\partial \Delta X}{\partial \alpha} = -d \cdot \sin \alpha; \quad \frac{\partial \Delta Y}{\partial d} = \sin \alpha; \quad \frac{\partial \Delta Y}{\partial \alpha} = d \cdot \cos \alpha.$$

Обчислюємо значення часткових похідних

$$\frac{\partial \Delta X}{\partial d} = \cos 60^\circ 00' = 0.5000;$$

$$\frac{\partial \Delta X}{\partial \alpha} = -120 \cdot \sin 60^\circ 00' = 103.92 \text{ м};$$

$$\frac{\partial \Delta Y}{\partial d} = \sin 60^\circ 00' = 0.8660;$$

$$\frac{\partial \Delta Y}{\partial \alpha} = 120 \cdot \cos 60^\circ 00' = 60.00 \text{ м}.$$

Підставляємо значення часткових похідних та середніх квадратичних похибок у вираз (2.10)

$$m_{\Delta X} = \sqrt{0.5^2 \cdot 0.1^2 + 103.92^2 \cdot \frac{1.5^2}{\rho^2}} = 0.05 \text{ м};$$

$$m_{\Delta Y} = \sqrt{0.866^2 \cdot 0.1^2 + 60.0^2 \cdot \frac{1.5^2}{\rho^2}} = 0.09 \text{ м},$$

де $\rho' = 3438'$ – кількість мінут у радіані.

Ділення на ρ^2 в даному прикладі здійснюється тому, що середні квадратичні похибки $m_{\Delta X}$, $m_{\Delta Y}$ виміряних приростів ΔX , ΔY виражаються в лінійних одиницях.

2.2 Вимірювання кутів на місцевості

2.2.1 Загальний принцип вимірювання горизонтального кута

Кутові вимірювання виконують з метою визначення у просторі або на горизонтальній площині взаємного розташування точок місцевості. Для визначення положення точок на плані вимірюють горизонтальні кути. Для визначення їх положення за висотою вимірюють вертикальні кути (кути нахилу). Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на місцевості виконується спеціальним геодезичним приладом – теодолітом.

При вимірюванні горизонтального кута між напрямками AB і AC (рис. 2.2), які виходять з вершини вимірюваного кута – точки A , дані напрямки проєктують на горизонтальну площину, і між їх проєкціями Ab і Ac утворюється горизонтальний кут β , який вимірюють теодолітом. Роль горизонтальної площини у теодоліта виконує круг, який називають *лімбом*. На нього нанесена шкала градусних поділок. Градусні поділки лімба підписані від 0° до 360° за годинниковою стрілкою.

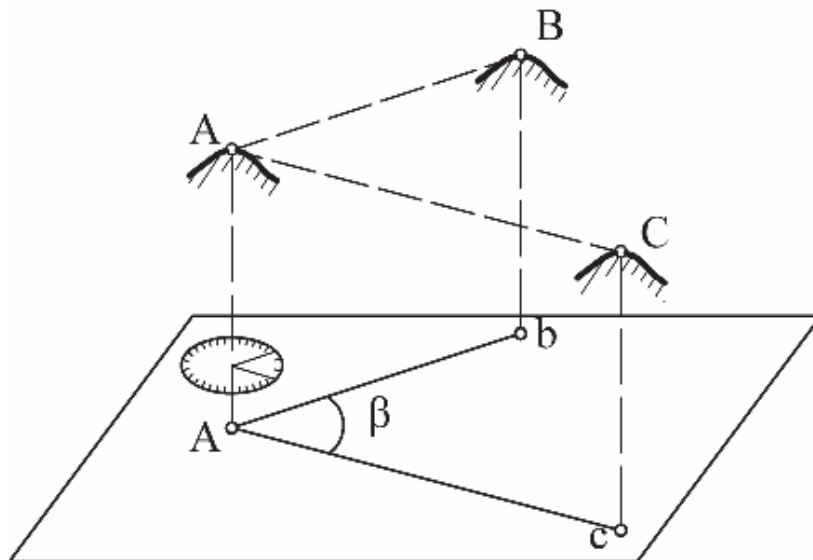


Рис. 2.2 – Схема вимірювання горизонтального кута

Центр лімба має знаходитись на одній прямовисній лінії з вершиною вимірюваного кута – точкою A . Щоб позначити на лімбі проєкції напрямків AB і AC , над нерухомим під час вимірювання кута, лімбом обертається другий круг, який називають *алідадою*.

На алідаді нанесений відліковий пристрій у вигляді штриха або шкали, за допомогою яких беруть відлік по лімбу.

Лімба і алідада складають *горизонтальний круг* теодоліта (рис. 2.3).

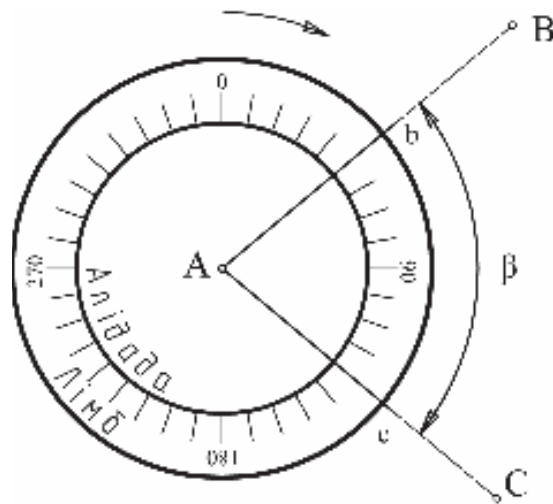


Рис. 2.3 – Горизонтальний круг теодоліта

Для вимірювання кута β (рис. 2.2) наводять зорову трубу на праву точку (C), і навпроти штриха, який є на алідаді, беруть відлік $U^{пр}$ по лімбу. Потім, не обертаючи лімб, обертають алідаду, зорову трубу наводять на ліву точку (B) і навпроти того ж штриха алідади, який опиниться в точці B, беруть відлік $U^{лв}$ по лімбу.

Так як поділки на лімбі підписані за ходом годинникової стрілки, то відлік $U^{пр}$ буде більший за відлік $U^{лв}$, і горизонтальний кут β буде дорівнювати:

$$\beta = U^{пр} - U^{лв}. \quad (2.11)$$

Якщо при цьому відлік $U^{пр}$ виявиться меншим за відлік $U^{лв}$, то до відліку $U^{пр}$ треба додати 360° . А формула обчислення горизонтального кута в такому разі, відповідно, має вигляд

$$\beta = U^{пр} + 360^\circ - U^{лв}. \quad (2.12)$$

2.2.2 Будова теодоліта

Незалежно від конструкції, модифікації і класу точності, будь-який теодоліт має такі геометричні елементи (рис. 2.4):

- вертикальна вісь обертання теодоліта (ZZ');
- візирна вісь зорової труби (VV');
- горизонтальна вісь обертання зорової труби (HH');
- вісь циліндричного рівня (UU');

На рис. 2.5 зображений загальний вигляд теодоліта технічної точності 2ТЗ0М.

При вимірюванні кутів беруть відліки по лімбу. На рис. 2.6 зображене поле зору відлікового шкалового мікроскопа теодоліта 2ТЗ0М. Верхня частина поля зору дає зображення шкали і поділок лімба вертикального круга, нижня – горизонтального.

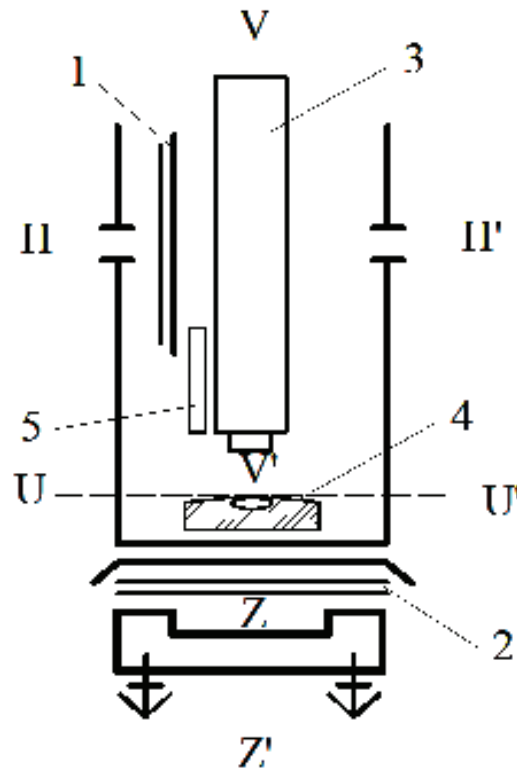
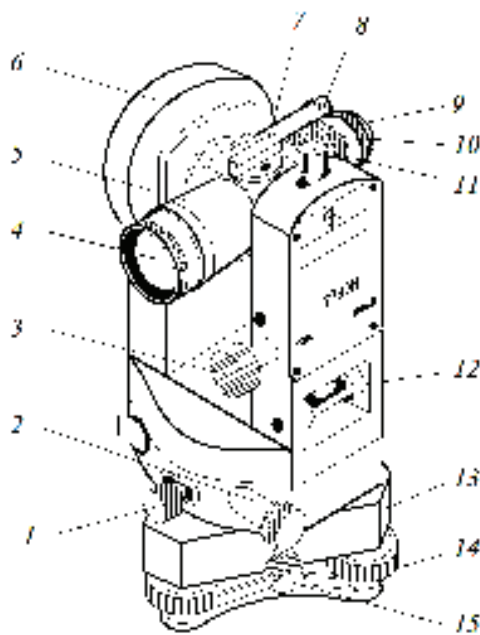


Рис. 2.4 – Конструктивна схема теодоліта:

1 – вертикальний круг; 2 – горизонтальний круг; 3 – зорова труба;
4 – циліндричний рівень; 5 – відліковий пристрій



1 – закріпний гвинт горизонтального круга;
2 – навідний гвинт горизонтального круга;
3 – навідний гвинт зорової труби;
4 – об'єктив;
5 – зорова труба;
6 – вертикальний круг;
7 – оптичний візор;
8 – трубка відлікового мікроскопа;
9 – окуляр (діоптрійне кільце);
10 – кільце фокусуючої лінзи;
11 – закріпний гвинт зорової труби;
12 – циліндричний рівень;
13 – підставка;
14 – підйомні гвинти;
15 – закріпний гвинт підставки.

Рис. 2.5 – Теодоліт 2Т30М

Ціна поділки лімба дорівнює 1° . Довжина шкали, за допомогою якої роблять відлік, дорівнює одній поділці рівня. Вона розділена на 60 поділок, отже ціна поділки шкали дорівнює $1'$. Десяті частки поділки шкали оцінюють на око, отже відлік виконують до $0.1'$.

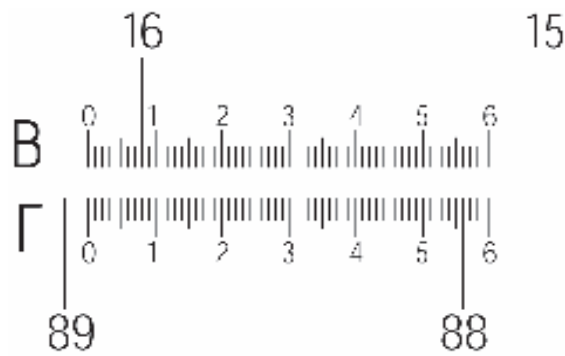


Рис. 2.6 – Поле зору шкалового мікроскопа:
 відлік за ВК дорівнює $16^{\circ}08'$;
 відлік за ГК дорівнює $88^{\circ}55'$.

2.2.3 Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.

Перед початком вимірювань теодоліт приводять в робоче положення. Для цього встановлюють штатив над вершиною вимірюваного кута. Прикріплюють теодоліт до штатива за допомогою станового гвинта. Далі виконують такі дії:

1. *Центрування* – сполучення центру горизонтального круга з прямовисною лінією, яка проходить через вершину вимірюваного кута. Центрування виконують за допомогою відвісу (ниткового, оптичного, лазерного). Допустиме відхилення відвісу від точки – 3 – 4 мм.

2. *Горизонтування* – приведення площини лімба у горизонтальне положення. Горизонтування виконується за допомогою циліндричного рівня та підйомних гвинтів.

Після приведення теодоліта в робоче положення вимірюють горизонтальний кут між напрямками на дві точки при двох положеннях вертикального круга. Такий спосіб вимірювання горизонтального кута називається *способом прийомів*. Вимірювання виконуються в такій послідовності.

Перший напівприйм.

• При положенні вертикального круга, наприклад, зліва, зорову трубу наводять на праву точку. В мікроскопі беруть відлік $U_{\text{ПР}}$ по шкалі горизонтального круга.

- Відкріплюють алідаду, візують на ліву точку і беруть відлік $U_{\text{ЛВ}}$.
- Обчислюють значення горизонтального кута за формулою (2.11).

Другий напівприйм.

Виконується для контролю вимірювань.

• Трубу переводять через зеніт і змінюють, таким чином, положення вертикального круга на протилежне – КП.

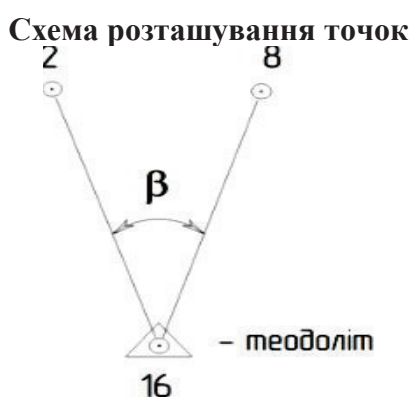
- Повторюють дії першого напівприйому.
- Обчислюють значення горизонтального кута, виміряного при крузі праворуч за формулою (2.11)

Порівнюють результати і перевіряють виконання умови

$$\Delta\beta = |\beta_{\text{КЛ}} - \beta_{\text{КП}}| \leq 1'.$$

Якщо умова виконується, обчислюють середнє значення кута. Результат записують до журналу (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Приклад заповнення журналу вимірювання горизонтального кута

№ точки		Положення ВК	Відлік по ГК	Горизонтальний кут		Схема розташування точок
стояння	візування			з напівприйому β	середній $\beta_{\text{ср}}$	
1	2	3	4	5	6	
	8	КЛ	100°30.5'	90°20.5'		
16	2	КЛ	10°10.0'		90°21.0'	
	8	КП	280°31.5'	90°21.5'		
	2	КП	190°10.0'			

2.2.4 Вимірювання кутів нахилу.

Принцип вимірювання кутів нахилу, які знаходяться у вертикальній площині, полягає у визначенні кута між горизонтальною лінією і напрямком на точку візування.

Для вертикального круга теодоліта має виконуватись умова: при сполученні нуля лімба зі штрихом відлікового пристрою візирна вісь зорової труби має бути у горизонтальному положенні. Ця умова не завжди виконується. А відлік по вертикальному кругу при горизонтальному положенні візирної осі зорової труби називається *місцем нуля (МО)* вертикального круга (рис. 2.7).

Кут нахилу вимірюють двічі (при двох положеннях вертикального круга). При цьому спочатку обчислюють *МО* за формулою

$$MO = \frac{U_{\text{ВК}}^{\text{КП}} + U_{\text{ВК}}^{\text{КЛ}} \pm 180^\circ}{2}. \quad (2.13)$$

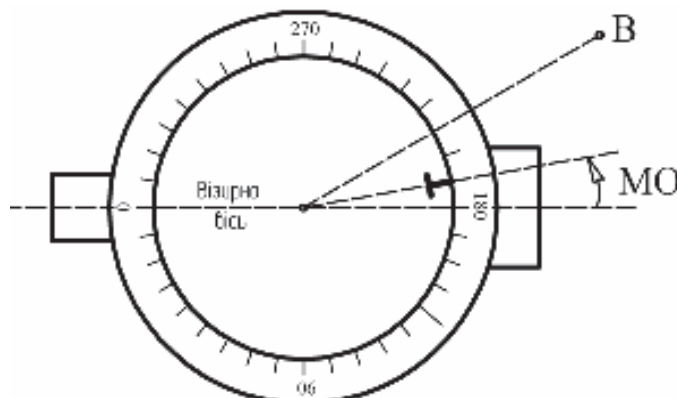


Рис. 2.7 – Вертикальний круг теодоліта

Обчислюють значення кута нахилу за однією з формул:

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} \quad (2.14)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} \pm 180^\circ. \quad (2.15)$$

Результати вимірювань заносять до журналу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Журнал вимірювання кута нахилу

№ точки		Положення ВК	Відлік по ВК	МО	Кут нахилу, ν	Схема розміщення точок
стояння	візування					
1	2	3	4	5	6	
16	8	КЛ	9°05.5'	0°01.0'	9°04.5'	
	8	КП	170°55.5'			

2.3 Вимірювання перевищень

2.3.1 Методи нівелювання

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

Розрізняють такі види нівелювання:

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

При виконанні інженерно-будівельних робіт найчастіше застосовують геометричне, тригонометричне і гідростатичне нівелювання.

2.3.2 Будова нівеліра і рейок.

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

За будовою розрізняють:

- нівеліри з циліндричним рівнем на зоровій трубі;
- нівеліри з компенсатором;
- електронні нівеліри.

За точністю нівеліри поділяють на:

- високоточні (Н-05, Н-1, Н-2);
- точні (Н-3);
- технічні (Н-10).

На рис. 2.8 зображений технічний нівелір Н-10КЛ з компенсатором і лімбом. Оптична система даного нівеліра після попереднього приведення за допомогою круглого рівня осі обертання у вертикальне положення автоматично встановлює візирну вісь зорової труби в горизонтальне положення. Лімб призначений для вимірювання горизонтальних кутів.

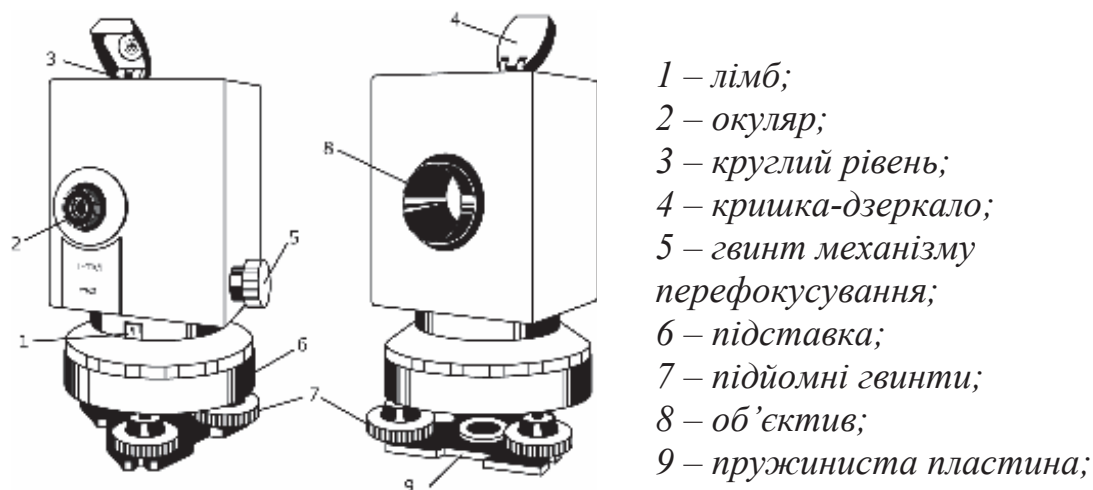


Рис. 2.8 – Нівелір Н-10КЛ

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

Для точного нівелювання, а також при виконанні всіх видів геодезичних і розмірочних робіт у будівництві застосовують рейку РН-3 (рис. 2.9). Рейка РН-3 – дерев'яна, довжиною 3 метри. Для контролю відліків поділки на рейці нанесені з обох боків. Поділки шашечці з інтервалом 1 см. З одного боку чергуються чорні та білі поділки (основна шкала), з іншого – червоні та білі (допоміжна шкала). На основній шкалі відлік поділок починається з нуля, на допоміжній – з довільного числа.



Рис. 2.9 – Рейка РН-3

На рис. 2.10 наведено поле зору нівеліра Н-10КЛ в момент взяття відліку. Вертикальний штрих сітки ниток наводять на центр рейки і беруть відлік за горизонтальним штрихом. Спочатку беруть кількість підписаних дециметрів (16), потім повних сантиметрових поділок (5) і на око оцінюють десяті частки сантиметрової поділки (4). Повний відлік складає $1600 + 50 + 4 = 1654$ мм.

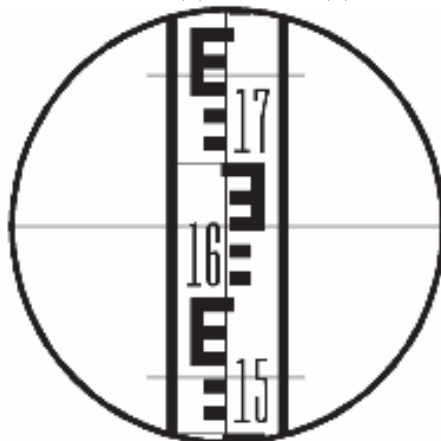


Рис. 2.10 – Поле зору нівеліра Н-10КЛ. Відлік по рейці дорівнює 1654 мм

2.3.3 Способи вимірювання перевищень при геометричному нівелюванні

Розрізняють два способи геометричного нівелювання:

- із середини;
- вперед.

Нівелювання із середини. Між закріпленими точками місцевості A і B встановлюють нівелір (місце установки нівеліра називають станцією). В точках A і B вертикально встановлюють рейки. Нівелір приводять в робоче положення. Візують на задню рейку і беруть відлік U_A (рис. 2.11).

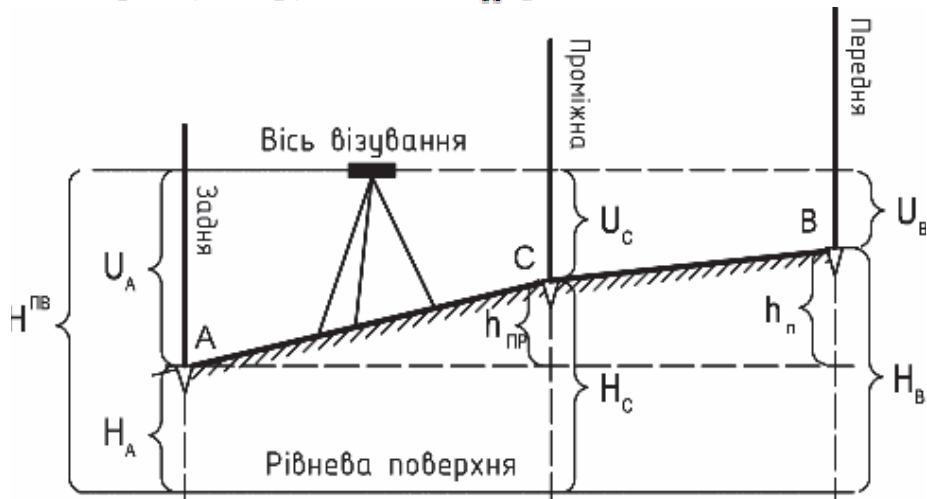


Рис. 2.11 – Схема нівелювання із середини

Повертають зорову трубу на точку B і беруть відлік U_B . Перевищення між точками h_{AB} обчислюють за формулою

$$h_{AB} = U_A - U_B. \quad (2.16)$$

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

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (2.17)$$

Тобто відмітка наступної точки дорівнює відмітці попередньої точки плюс перевищення. Відмітку наступної точки можна також обчислити через висоту променя візування. Відповідно до рисунка, висота променя візування $H^{ПВ}$ буде дорівнювати

$$H^{ПВ} = H_A + U_A. \quad (2.18)$$

тоді

$$H_C = H^{ПВ} - U_C. \quad (2.19)$$

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

Нівелювання вперед. При нівелюванні вперед в точці A встановлюють нівелір, а в точці B – рейку (рис. 2.12). Приводять нівелір в робоче положення і вимірюють його висоту i . Беруть відлік U_B по рейці, встановленій в точці B .

Шукане перевищення h_{AB} обчислюють за формулою

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



Рис. 2.12 – Схема нівелювання вперед

2.3.4 Порядок роботи на станції геометричного нівелювання.

Вимірювання перевищень при технічному нівелюванні виконують у такій послідовності.

1. Нівелір встановлюють посередині між точками A і B (рис. 2.11) і приводять його в робоче положення.

В журналі технічного нівелювання (таб. 2.3) фіксують номер станції (1), задньої (A), передньої (B) і проміжної (C) точок.

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

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

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

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

6. Візують на проміжну точку (C) і беруть відлік тільки за чорною шкалою (1166). Результат записують в колонку №5 журналу технічного нівелювання.

Таблиця 2.3 – Журнал технічного нівелювання

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

2.3.5 Послідовне нівелювання.

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

Лінію AB (рис. 2.13) розбивають на частини, кожна з яких нівелюється з однієї станції. Встановивши нівелір на першій станції, отримують перевищення точки A відносно точки I :

$$h_1 = U_A - U_1. \quad (2.20)$$

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

$$h_{4B} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = \Sigma h. \quad (2.21)$$

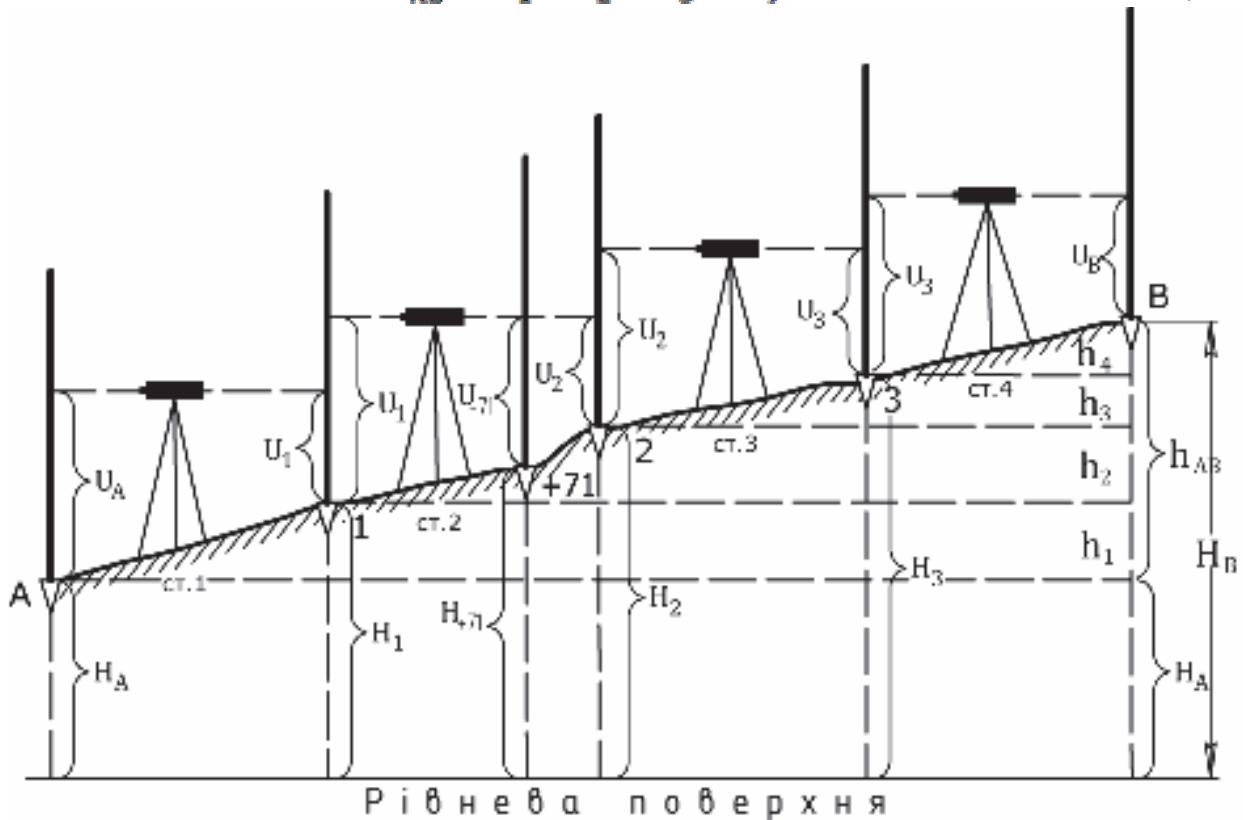


Рис. 2.13 – Схема послідовного нівелювання

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

$$H_B = H_A + \Sigma h. \quad (2.22)$$

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

$$H_1 = H_A + \hbar_1, H_2 = H_1 + \hbar_2. \quad (2.23)$$

Через точки 1, 2, ... виконують послідовну передачу відміток нівелірним ходом. Ці точки називають сполучними. Сполучні точки позначають на місцевості через певні інтервали (частіше через 100 м), тому вони можуть не співпадати з точками перегину рельєфу. Проте для побудови профілю місцевості важливо знати відмітки цих точок. Ці точки називають проміжними

або плюсовими і позначають числом метрів, яке відповідає відстані від задньої точки (на рис. 2.13 це точка +71 на станції 2).

Відмітки проміжних точок обчислюють через висоту променя візування. Відліки по рейкам, встановленим на проміжних точках, в обрахунку відміток сполучних точок не приймають участі.

2.4 Вимірювання довжин ліній на місцевості

2.4.1 Вимірювання довжин ліній механічними засобами

До механічних засобів відносять мірні стрічки, рулетки різної довжини. Вимірювання виконують або на поверхні землі, або підвішуючи прилад для вимірювання на невеликій відстані (1 – 1.5 м) на спеціальних штативах. В будь-якому випадку замість прямої – найкоротшої відстані між кінцевими точками лінії – вимірюють деяку ламану лінію. Тому для отримання горизонтального прокладення d вимірюють кут нахилу лінії або її окремих частин (рис. 2.14). Місцевість з кутами нахилу до 2° вважають рівнинною.

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

$$d = D \cdot \cos v, \quad (2.24)$$

де D – похила відстань, виміряна на місцевості;
 v – кут нахилу місцевості.

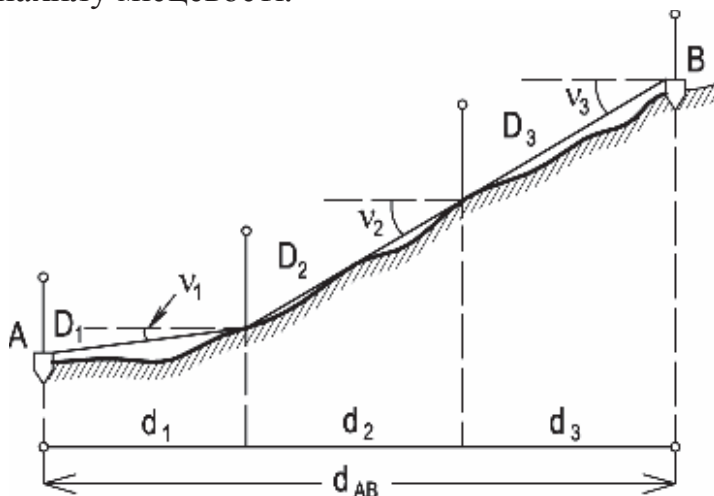


Рис. 2.14 – Вимірювання довжини лінії мірною стрічкою

Перевагами механічних засобів вимірювання довжин ліній є:

1. Висока точність вимірювання ліній, довжина яких не перевищує довжини приладу для вимірювання;
2. Простота будови та експлуатації;
3. Невисока вартість.

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

2.4.2 Вимірювання довжин ліній оптичними віддалемірами.

Віддалеміри – це геодезичні прилади, призначені для непрямого визначення довжини лінії. Оптичні віддалеміри за конструкцією поділяють на ниткові й віддалеміри подвійного зображення. Віддалеміри подвійного

зображення сьогодні практично не використовують. Ниткові віддалеміри застосовують частіше, конструктивно вони виконані у вигляді зорової труби теодоліта чи нівеліра, на сітку якої нанесені два віддалемірних штриха p і q (рис. 2.15). Для визначення відстані в точці A встановлюють теодоліт і візують на рейку, встановлену в точці B .

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

Згідно з рисунком відстань D визначається за формулою

$$D = D_1 + f_{об} + \delta, \quad (2.25)$$

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

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

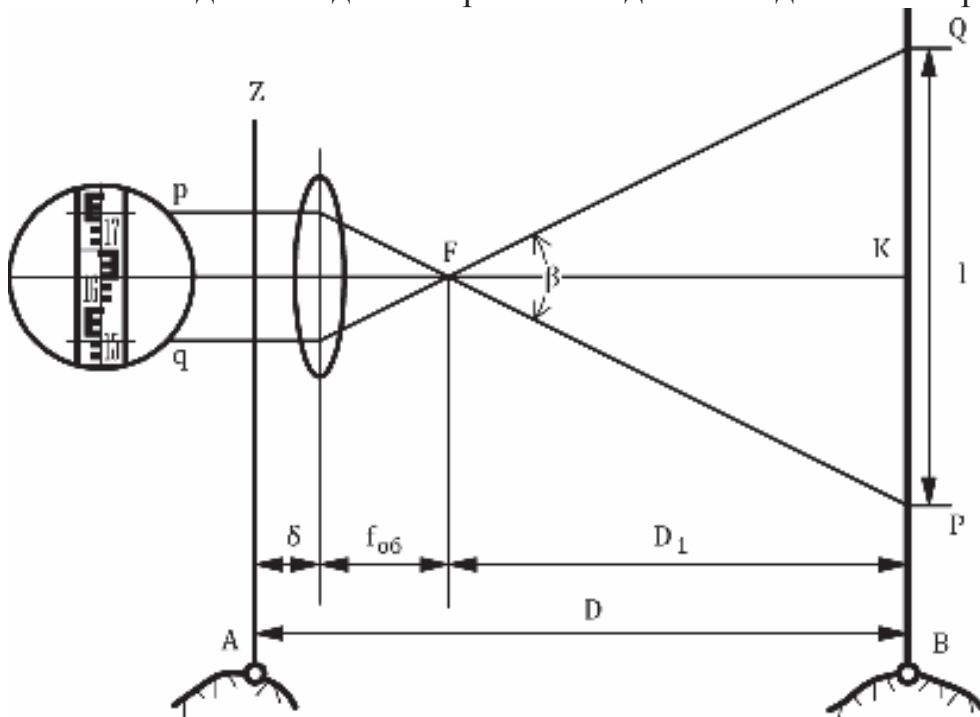


Рис. 2.15 – Принципова схема ниткового віддалеміра

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

$$c = f_{об} + \delta. \quad (2.26)$$

Величину D_1 визначають за формулою

$$D_1 = \frac{1}{2} l \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}. \quad (2.27)$$

Кут β сталий, тому позначимо

$$\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = K. \quad (2.28)$$

Тоді

$$D = K \cdot l + c. \quad (2.29)$$

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

2.4.3 Вимірювання довжин ліній радіофізичними засобами.

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

Під час вимірювання довжини лінії в початковій точці *A* встановлюють прийомопередавач, який випромінює електромагнітні хвилі, а в кінцевій точці *B* – віддзеркалювач (рис. 2.16), який відбиває хвилі в зворотному напрямку. В такому випадку шукана відстань *D* визначається за формулою

$$D = \frac{1}{2} v \cdot t, \quad (2.30)$$

де *v* – швидкість поширення електромагнітних хвиль;
t – інтервал часу проходження електромагнітних хвиль.

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

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

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

Перевагами радіофізичних засобів вимірювань є:

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

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

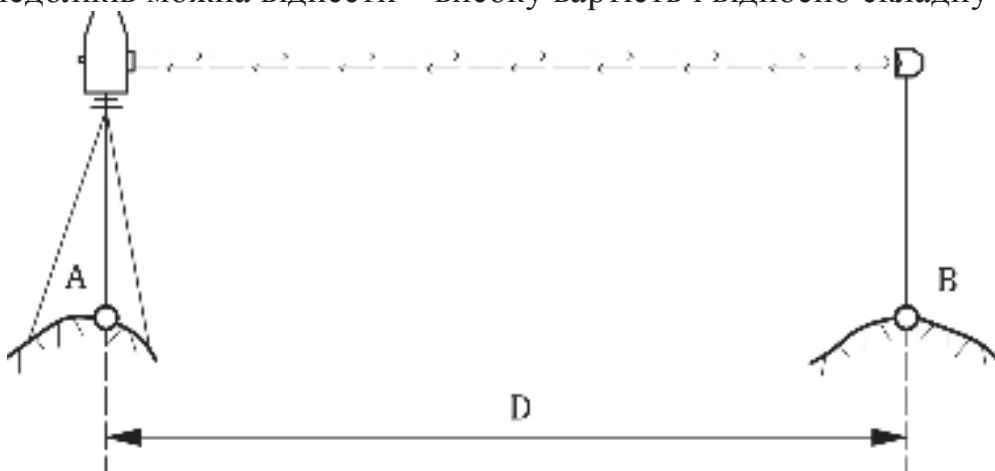


Рис. 2.16 – Вимірювання довжини лінії світловіддалеміром

3 ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ВИШУКУВАННІ, ПРОЕКТУВАННІ, БУДІВНИЦТВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРУД

3.1 Інженерно-геодезичні вишукування

3.1.1 Призначення та склад інженерно-геодезичних вишукувань

Вишукуванням називають процес отримання необхідних картографічних матеріалів та технічних характеристик для надійного розв'язання задач проектування, зведення та експлуатації споруди. Їх поділяють на економічні та технічні. Попередньо виконують економічні *обґрунтування* доцільності зведення споруд. *Технічні вишукування* переслідують цілі вивчення природних ресурсів району розміщення споруди для розробки проекту виконання будівельних робіт. До їх складу входять наступні види вишукувань:

- інженерно-геодезичні;
- інженерно-геологічні;
- гідрогеологічні;
- ґрунтові;
- кліматологічні та інші.

До складу *інженерно-геодезичних вишукувань* входить:

- проектування і побудова планово-висотних геодезичних мереж;
- трасування лінійних споруд;
- виконання топографічних знімів місцевості;
- знімання підземних і надземних комунікацій;
- геодезичне забезпечення інших видів технічних вишукувань (координування геологічних свердловин, знімання гідростворів і т.і.).

В процесі вишукувань виконують:

1. Вибір оптимального економічно обґрунтованого варіанта траси при дотриманні мінімальних затрат на зведення і експлуатацію споруди.
2. 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 в дві стадії.

1. *Попередні вишукування* виконують, як правило, камеральним методом з використанням існуючих топографічних карт і планів, за геологічними картами, матеріалами аерофотознімів, супутникових знімів та матеріалів інженерних вишукувань попередніх років.

2. *Остаточні вишукування траси* виконують польовими методами по затвердженому напрямку комплексними вишукувальними партіями. При польових вишукуваннях відповідно до проекту траси виконують рекогносцировку місцевості, визначають положення вершин повороту траси, виконують трасувальні роботи та крупномасштабне знімання переходів, пересічень, примикань, місць зі складним рельєфом. Одночасно виконують інженерно-геологічні, гідрометричні, ґрунтові та інші обстеження вдовж траси, розвідку кар'єрів будівельних матеріалів.

На основі польових вишукувань складають остаточний проект траси лінійної споруди. Безпосередньо перед будівництвом виконують відновлення траси на місцевості.

3.1.2 Трасування лінійних споруд

Трасою лінійної споруди називають проектну вісь лінійної споруди визначену на топографічній карті та на місцевості.

У плані траса складається із прямих ділянок сполучених між собою горизонтальними кривими. У повздовжньому профілі траса складається із ліній різного ухилу сполучених між собою вертикальними кривими.

Комплекс інженерно-геодезичних робіт по 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*.

При трасуванні дотримуються таких вимог:

1. Трасу прокладають по можливості по прямій лінії.
2. Водні перешкоди та існуючі автомобільні та залізничні шляхи перетинають під кутом 90° (рис. 3.1).

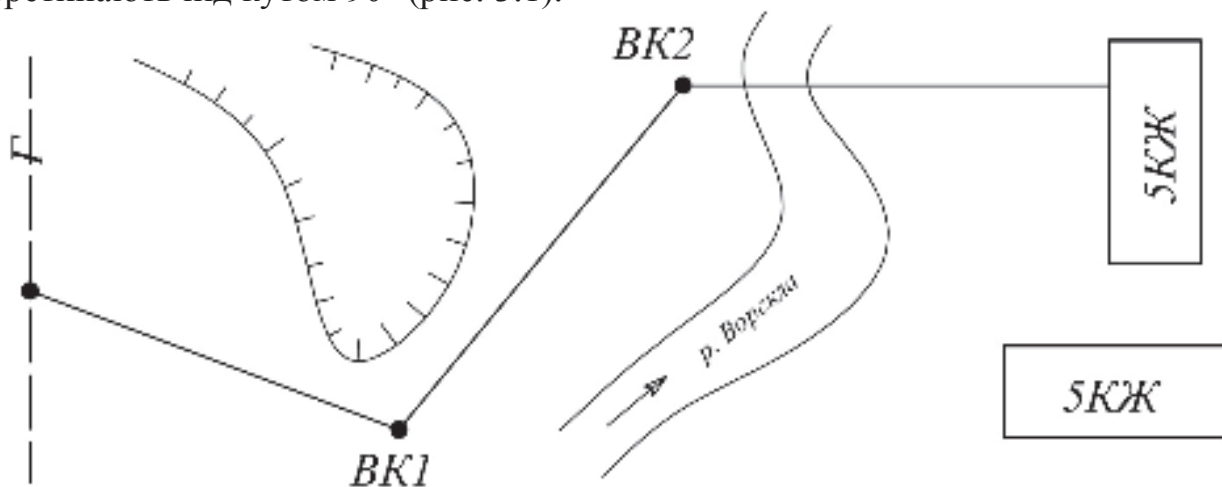


Рис. 3.1 – Варіант вибору траси

Винесені на місцевість точки початку траси, вершин кутів та кінця траси закріплюють постійними дерев'яними та залізобетонними стовпами, прив'язують до твердих місцевих предметів і контурів.

За допомогою теодоліта вимірюють кути повороту траси. Одночасно вимірюють магнітні азимути напрямків прямих ділянок траси.

Лінійні вимірювання по трасі виконують два рази. Перший раз вимірюють відстані між закріпленими точками траси. Лінії вимірюють мірними стрічками або світловіддалемірами. Повторні вимірювання мірними стрічками при *розмічуванні пікетажу*. Пікети розмічають через кожні 100 м.

При використанні світловіддалемірів застосовують *безпикетний спосіб трасування*. При цьому на місцевості розмічають тільки рельєфні і контурні плюсові точки.

В місцях зміни поперечного профілю місцевості, розбивають *поперечні профілі* (поперечники). Одночасно з розмічуванням пікетажу ведеться пікетажний журнал (рис.3.2).

Потім виконують геометричне нівелювання місцевості по трасі лінійної споруди. При цьому нівелюють пікети, плюсові точки та реperi. При геометричному нівелюванні використовують точні нівеліри типу НЗ.

За результатами пікетажного журналу і нівелювання траси складають повздовжній профіль траси.

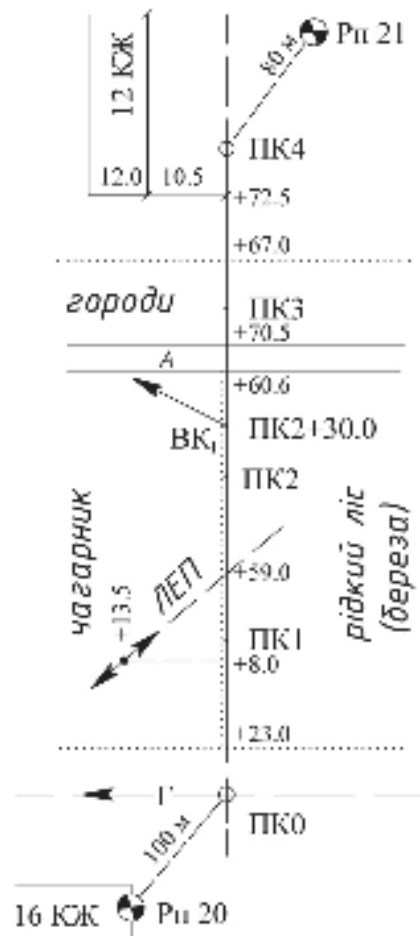


Рис. 3.2 – Пікажний журнал

3.1.3 Математична обробка результатів геометричного нівелювання по трасі лінійної споруди

Математичну обробку результатів геометричного нівелювання виконують в такій послідовності.

1.Обчислюють перевищення за основною і допоміжною шкалам рейок на кожній станції за формулами:

$$\begin{aligned} h^o &= u_s^o - u_n^o; \\ h^d &= u_s^d - u_n^d; \end{aligned} \quad (3.1)$$

де h^o – перевищення за основною шкалою рейки;

h^d – перевищення за додатковою шкалою рейки;

u_s^o – відлік за основною шкалою задньої рейки;

u_n^o – відлік за основною шкалою передньої рейки;

u_s^d – відлік за додатковою шкалою задньої рейки;

u_n^d – відлік за додатковою шкалою передньої рейки.

Результати обчислень заносять до журналу технічного нівелювання (табл. 3.1, колонки 7 і 8, відповідно).

Таблиця 3.1 – Відомість технічного нівелювання по трасі газопроводу

№ станції	Назва точки		Відліки по шкалі рейки, мм		Перевищення виміряне, мм				Поправка v_p , мм	Перевищення h^p , мм	Висота точки H , м	Висота променя $H_{пр}$, м
	зв'язуюча	проміжна	основний u^o	допоміжний u^o	по основній шкалі $\pm h^o$	по допоміжній шкалі $\pm h^o$	середнє $\pm h^{cp}$					
								задня				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Рп 20			2015	6799						60.124	
		ПК0		2867	7653	-0852	-0854	-0853	2	-0851	59.273	
2	ПК0			1366	6149						59.273	
		ПК1		1109	5889	0257	0260	0258	1	0259	59.532	
3	ПК1			1836	7080						59.532	61.368
		ПК2		1326	6566	0510	0514	0512	1	0513	60.045	
4			ПК1+35	2617							58.751	
			ПК1+70	0988							60.380	
4	ПК2			0345	5129						60.045	
		ПК2+40		2861	7648	-2516	-2519	-2518	1	-2517	57.528	
5	ПК2+4			1344	6127						57.528	
		ПК3		2477	7262	-1133	-1135	-1134	1	-1133	56.395	
6	ПК3			0481	5264						56.395	56.876
		ПК4		2821	7605	-2340	-2341	-2340	1	-2339	54.056	
7			ПК3+80	2955							53.921	
	ПК4			1888	6672						54.056	
7		Рп 21		0647	5429	1241	1243	1242	1	1243	55.299	
	Загальний контроль: $\sum u_s = 52495$ $\frac{1}{2} (\sum u_s - \sum u_n) = -4833$					$\frac{1}{2} \sum (h^o + h^o) = -4833$		$\sum h^{cp} = -4833$		$\sum h^p = -4825$		$\sum h^m = -4825$

2. Виконують контроль правильності знімання відліків на станціях за різницями перевищень ($\Delta h = h^o - h^a$) між зв'язуючими точками. Різниці отриманих значень перевищень не повинні бути більшими ніж 5 мм. Якщо умова виконується, обчислюють середнє перевищення за формулою

$$h^{cp} = \frac{h^o + h^a}{2} \quad (3.2)$$

Отримані значення середніх перевищень заокруглюють до цілих міліметрів. Результати обчислень заносять до табл. 3.1 (колонка 9).

3. Виконують посторінковий контроль, обчислюючи:

$\sum u_s$ – суму відліків по заднім рейкам;

$\sum u_n$ – суму відліків по переднім рейкам;

$\sum (h^o + h^a)$ – суму перевищень по основним і додатковим шкалам;

$\sum h^{cp}$ – суму середніх перевищень.

Повинні виконуватись наступні співвідношення .

$$\sum u_s - \sum u_n = \sum (h^o + h^a); \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{2} \sum (h^o + h^a) = \sum h^{cp}.$$

Допустима розбіжність 1-2 мм.

4. Обчислюють суму середніх перевищень між зв'язуючими точками ходу за формулою

$$\sum h^{cp} = h_1 + h_2 + \dots + h_n, \quad (3.4)$$

де $h_1 + h_2 + \dots + h_n$ – середні перевищення між зв'язуючими точками.

5. Обчислюють теоретичну суму перевищень в нівелірному ході за формулою

$$\sum h^r = H_K + H_H, \quad (3.5)$$

де H_K – висота кінцевого реперу;

H_H – висота початкового реперу.

Результат заносять до табл. 3.1 (колонка 12, нижній рядок).

6. Обчислюють нев'язку в нівелірному ході за формулою

$$f_h = \sum h^{cp} - \sum h^r. \quad (3.6)$$

7. Обчислюють гранично допустиму нев'язку в нівелірному ході. Для технічного нівелювання гранично допустиму нев'язку обчислюють за формулою

$$f_{доп} = \pm 50 \sqrt{L} \quad (3.7)$$

де L – довжина нівелірного ходу в кілометрах.

Якщо фактична нев'язка (за модулем) не перевищує гранично допустиму, то її розподіляють між всіма середніми перевищеннями у вигляді поправок.

Якщо $|f_h| > f_{доп}$, то допущена помилка в підрахунках, їх необхідно повторити. Якщо помилок не виявлено, то виконують повторні вимірювання.

8. Обчислюють поправки в кожне середнє перевищення з точністю за формулою

$$v_h = -\frac{f_h}{n}, \quad (3.8)$$

де n – кількість середніх перевищень в ході.

Поправки заносять до табл. 3.1 (колонка 10).

Контроль: сума обчислених поправок повинна дорівнювати нев'язці з протилежним знаком

$$\sum v_h = -f_h \quad (3.9)$$

9. Обчислюють виправлені перевищення за формулою

$$h^e = h^{cp} + v_h \quad (3.10)$$

Результати заносять до табл. 3.1 (колонка 11).

Контролем обчислення виправлених перевищень є виконання рівності

$$\sum h^e = \sum h^f. \quad (3.11)$$

Обчислюють висоти зв'язуючих точок. Обчислення виконують за правилом: висота наступної точки H_{i+1} дорівнює висоті попередньої точки H_i плюс виправлене перевищення між ними h_i^e , тобто

$$H_{i+1} = H_i + h_i^e \quad (3.12)$$

Результати обчислень заносять до табл. 3.1 (колонка 12). Контролем обчислень є отримання точного значення висоти кінцевого репера H_{Pn21} .

10. Обчислюють висоту променя візування за формулою

$$H^{ne} = H_i + u_i^o \quad (3.13)$$

де H_i – висота точки;

u_i^o – відлік за основною шкалою рейки, встановленої на даній точці.

Висоту променя візування обчислюють лише на тих станціях, де виконувалось нівелювання проміжних точок.

Результати обчислень заносять до табл. 3.1 (колонка 13).

11. Обчислюють висоти проміжних точок за формулою

$$H_i = H^{ne} - u_i^o \quad (3.14)$$

Результати обчислень заносять до табл. 3.1 (колонка 12).

3.2 Опорні геодезичні мережі

3.2.1 Призначення і класифікація опорних геодезичних мереж.

Геодезичні роботи виконують з метою побудови топографічних карт і планів, а також для вирішення інженерно-геодезичних завдань при вишукуванні, проектуванні й будівництві споруд.

Щоб з'єднати карти, складені для різних ділянок місцевості, в загальну топографічну карту району, області або країни необхідно, щоб всі вимірювання виконувались в єдиній системі координат. Система закріплених на місцевості постійними знаками пунктів, для яких визначені із заданою точністю координати X, Y, H , утворює *геодезичну мережу*.

Геодезичну мережу створюють за принципом «від загального до часткового». Спочатку на території країни створюють нещільну мережу пунктів, максимально можливої високої точності. Потім таку мережу поступово згущують, а точність вимірювань знижується.

За таким принципом в Україні геодезичну мережу ділять на:

- державну геодезичну мережу;
- мережі згущення;

- зйомочні мережі.

Розрізняють планові мережі (з визначеними координатами X, Y), висотні мережі (з визначеними висотами H) і планово-висотні мережі (з визначеними координатами X, Y і висотами H). Планові геодезичні мережі створюють астрономічним, геодезичним або супутниковим способом. Висотні геодезичні мережі створюють геометричним нівелюванням, тригонометричним нівелюванням або супутниковим способом.

3.2.2 Теодолітний хід

Теодолітний хід слугує зйомочною основою для виконання топографічних зйомок. Теодолітні ходи проєктують на існуючих картах та планах крупного масштабу у вигляді замкнених полігонів і розімкнених ходів (рис. 38).

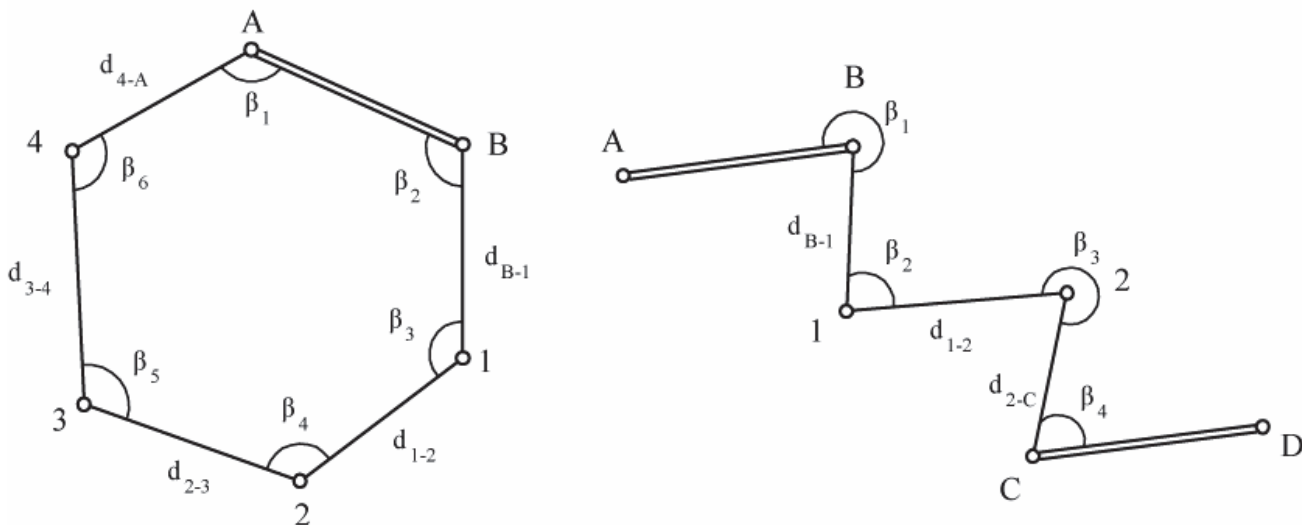


Рис. 3.3 – Теодолітний хід:
а – замкнений; б – розімкнений

Вибір точок теодолітного ходу виконують у польових умовах. При цьому дотримуються наступних вимог.

1. Потрібно забезпечити гарну видимість суміжних точок ходу і якомога більшої кількості об'єктів місцевості в радіусі 100 – 150 м.
2. Місце навколо станції має бути зручним для встановлення теодоліта.
3. Необхідно потурбуватись про довгострокове збереження точки.
4. Довжини ліній теодолітного ходу мають бути в межах 40 – 350 м.
5. Лінії між точками мусять проходити по місцевості, найбільш зручній для виконання лінійних вимірювань.

Просторове положення (координати) станцій теодолітного ходу визначають на основі кутових і лінійних вимірювань. Горизонтальні кути вимірюють теодолітом повним прийомом, кути нахилу вимірюють при одному положенні вертикального круга. Довжини ліній вимірюють мірними стрічками в прямому і зворотному напрямках.

3.2.3 Математична обробка результатів вимірювань у теодолітному ході

Математична обробка результатів вимірювань у теодолітному ході полягає у визначенні допустимих нев'язок кутових і лінійних вимірювань, введенні поправок в результати вимірювань та обчисленні координат точок теодолітного ходу. Математичну обробку виконують в координатній відомості (табл. 3.3) в такій послідовності.

1. Обчислюють суму виміряних кутів за формулою

$$\sum \beta_{\text{вим}} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n. \quad (3.15)$$

2. Обчислюють теоретичну суму кутів замкнутого ходу

$$\sum \beta_m = 180 \cdot (n - 2), \quad (3.16)$$

де n – кількість кутів у полігоні.

3. Обчислюють кутову нев'язку

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{вим}} - \sum \beta_m. \quad (3.17)$$

4. Обчислюють гранично допустиму кутову нев'язку за формулою

$$f_{\text{дон}} = \pm 2t \cdot \sqrt{n}, \quad (3.18)$$

де t – точність теодоліта.

Якщо кутова нев'язка не перевищує гранично допустиму, то виконують зрівнювання результатів вимірювань.

5. Обчислюють поправки до кожного виміряного кута за формулою

$$v_\beta = -\frac{f_\beta}{n}. \quad (3.19)$$

6. Обчислюють зрівняні кути за формулою

$$\beta_{\text{зр}} = \beta_{\text{вим}} + v_\beta. \quad (3.20)$$

7. Обчислюють дирекційні кути сторін теодолітного ходу

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_n - 180 \quad (\text{для лівих кутів}), \quad (3.21)$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \beta_n + 180 \quad (\text{для правих кутів}).$$

8. Обчислюють прирости координат за формулами

$$\Delta X = \cos \alpha \cdot d \quad (3.22)$$

$$\Delta Y = \sin \alpha \cdot d$$

9. Обчислюють нев'язки в приростах координат за формулами

$$f_{\Delta X} = \sum \Delta X, \quad (3.23)$$

$$f_{\Delta Y} = \sum \Delta Y.$$

10. Обчислюють абсолютну нев'язку

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2}. \quad (3.24)$$

11. Обчислюють відносну нев'язку

$$f_{\text{відн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{\sum d} \quad (3.25)$$

Обчислена відносна нев'язка ходу не має перевищувати величини, яка дорівнює 1:2000.

12. Обчислюють поправки до приростів координат:

$$v_X = -\frac{f_{\Delta X}}{\sum d} \cdot d_i, \quad (3.26)$$

$$v_Y = -\frac{f_{\Delta Y}}{\sum d} \cdot d_i.$$

13. Обчислюють зрівняні прирости координат:

$$\begin{aligned}\Delta X_{zp} &= \Delta X + v_X, \\ \Delta Y_{zp} &= \Delta Y + v_Y.\end{aligned}\tag{3.27}$$

14. Обчислюють координати точок теодолітного ходу:

$$\begin{aligned}X_{n+1} &= X_n + \Delta X_{zp}, \\ Y_{n+1} &= Y_n + \Delta Y_{zp}\end{aligned}\tag{3.28}$$

3.3. Топографічне знімання

3.3.1 Види топографічного знімання

Топографічним зніманням називають сукупність геодезичних вимірювань, які виконують з метою побудови карт і планів місцевості. Залежно від методів і приладів, які застосовують, розрізняють такі види знімання:

1. Теодолітне (горизонтальне) знімання;
2. Тахеометричне знімання;
3. Мензольне знімання;
4. Фототеодолітне знімання;
5. Аерофотознімання;
6. Космічне знімання.

Процес теодолітного (горизонтального) і тахеометричного знімання місцевості можна розділити на такі етапи.

1. *Підготовчий етап.* Вивчають існуючі плани та карти для певної території. Закріплюють точки планово-висотної знімальної основи. Складають схеми ходів і їх прив'язки до пунктів геодезичної мережі.

2. *Польові роботи.* Виконують необхідні вимірювання на місцевості з обов'язковим контролем.

3. *Камеральні роботи.* Виконують зрівнювання результатів польових вимірювань. Обчислюють шукані величини. Креслять план місцевості в заданому масштабі.

3.3.2 Теодолітне (горизонтальне) знімання

Теодолітне знімання виконується відносно точок і ліній планово-висотної зйомочної основи наступними способами.

1. *Спосіб перпендикулярів.* Застосовують при зніманні предметів і контурів місцевості, розташованих вздовж та поблизу ліній теодолітного ходу. Положення точок визначається абсцисою X і ординатою Y (рис. 3.4 а), які вимірюють рулеткою з точністю 0.01 м до твердих контурів і 0.1 м – до нетвердих контурів (контур лісу, болота, берег річки і т.п.).

2. *Полярний спосіб.* Застосовують на відкритій місцевості. Положення точок визначається кутом β і полярною відстанню d (рис. 3.4 б). Кут вимірюють теодолітом при одному положенні вертикального круга, відстань вимірюють рулеткою.

3. *Спосіб кутових засічок.* Застосовують при зніманні віддалених і важкодоступних об'єктів. Для визначення положення точки з двох станцій вимірюють два кути β між лінією теодолітного ходу і направленням на дану точку (рис. 3.4 в).

4. *Спосіб лінійних засічок.* Застосовують при зніманні об'єктів з чіткими контурами, коли відстань до точок не перевищує довжини приладу для вимірювання. Для визначення положення точки a (рис. 3.4 г) рулеткою вимірюють відстані d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 .

5. *Спосіб створів.* Застосовують при зніманні забудованих територій. Суть даного способу полягає у визначенні за допомогою теодоліта і мірної стрічки положення контурів об'єктів, які знаходяться в створі двох точок теодолітного ходу (рис. 3.4 д).

6. *Спосіб обходу.* Застосовують при зніманні недоступних об'єктів, значних за розмірами територій: лісів, боліт і т.д. (рис. 3.4 е).

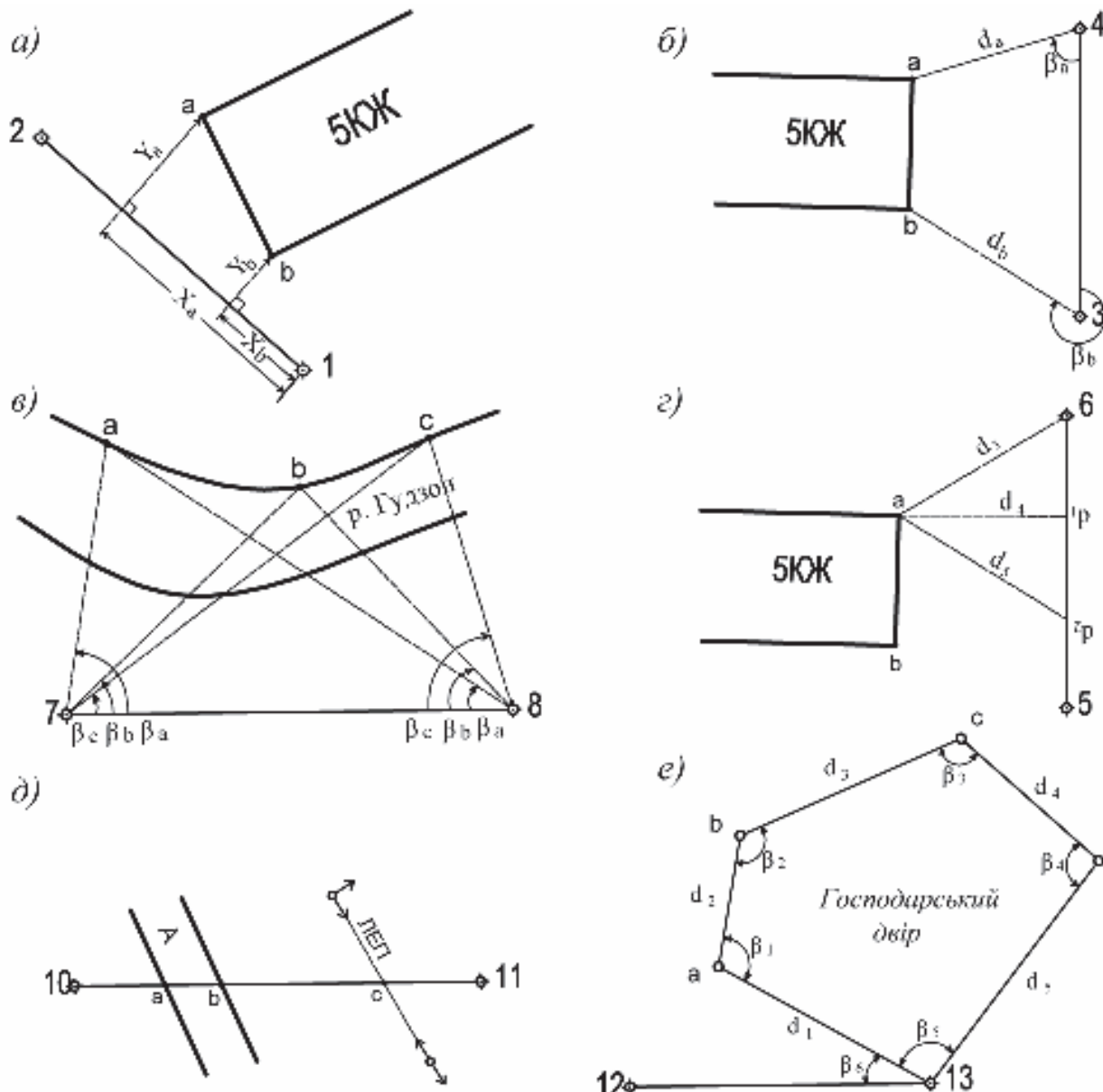


Рис. 3.4 – Способи теодолітного знімання:
 а – спосіб перпендикулярів; б – полярний спосіб;
 в – спосіб кутових засічок; г – спосіб лінійних засічок;
 д – спосіб створів; е – спосіб обходу.

3.3.3 Тахеометричне знімання

Тахеометрія – в перекладі з грецької означає швидкі вимірювання. Тахеометричне знімання застосовують при складанні планів невеликих територій із зображенням предметів, контурів і форм рельєфу місцевості в масштабах 1:500 – 1:5000.

При тахеометричному зніманні визначають *планове* і *висотне* положення точок місцевості відносно пунктів зйомочної основи. Планове положення визначають полярним способом, а висотне – тригонометричним нівелюванням (рис. 3.5).

При цьому *послідовність роботи на станції* наступна.

1. Теодоліт встановлюють над точкою знімальної основи (станцією), приводять його в робоче положення, тобто центрують і горизонтують.

2. Нуль лімба горизонтального круга орієнтують (встановлюють) на початковий напрямок, тобто на суміжну точку знімальної основи.

3. Рулеткою вимірюють з точністю 0.01 м висоту приладу i .

4. На схематичному кресленні (абрисі) позначають знімальні пікети, відстань між якими для M 1:500 не має перевищувати 15 м.

5. На нівелірній рейці позначають висоту приладу i .

6. Рейку встановлюють на пікет і наводять перехрестя сітки ниток на відмічену на рейці висоту приладу i .

7. При положенні вертикального круга зліва визначають віддалемірну відстань L і беруть відлік за горизонтальним і вертикальним кругом теодоліта.

8. Результати вимірювань заносять до журналу тахеометричного знімання (табл. 3.3)

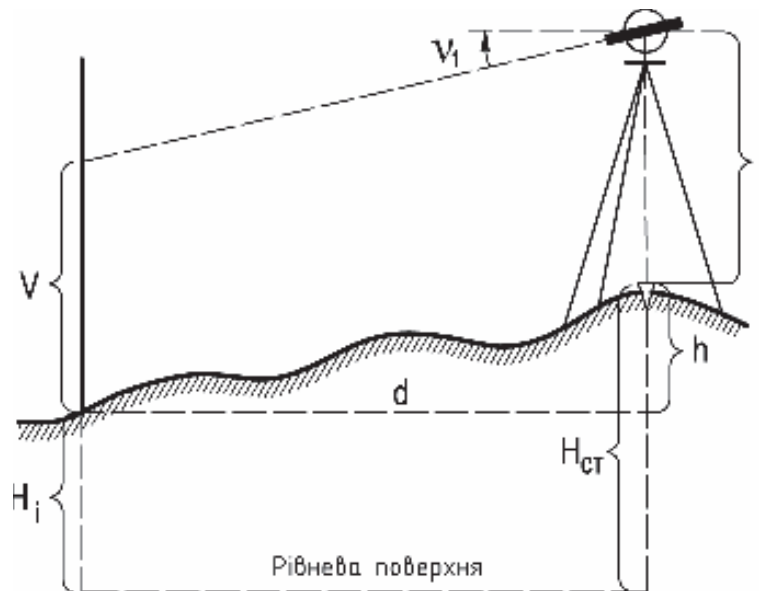


Рис. 3.5 – Схема тригонометричного нівелювання

Математичну обробку результатів тахеометричного знімання виконують у такій послідовності.

1. Обчислюють кути нахилу v за формулою

$$v = U^{ЗК} - MO, \quad (3.29)$$

де $U^{ЗК}$ – відлік за вертикальним кругом теодоліта;

MO – місце нуля.

2. Обчислюють горизонтальне прокладення d за формулою

$$d = L \cdot \cos^2 v, \quad (3.30)$$

де L – віддалемірна відстань;

v – кут нахилу.

3. Обчислюють перевищення знімальних пікетів над станцією h_i за формулою

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - V, \quad (3.31)$$

де d – горизонтальне прокладення;

v – кут нахилу;

i – висота приладу;

V – висота наведення променя візування.

4. Обчислюють висоти пікетів H_i за формулою

$$H_i = H_{ст} + h_i, \quad (3.32)$$

де $H_{ст}$ – висота станції;

h_i – перевищення знімального пікету над станцією.

Результати обчислень заносять до відповідних колонок журналу тахеометричного знімання.

Таблиця 3.3 – Журнал тахеометричного знімання

№ знімального пікету	Відстань за віддалеміром L , м	Відлік за ГК β , °	Відлік за ВК $\gamma_{ВК}$, °	Кут нахилу v , °	Горизонтальна відстань d , м	Перевищення h , м	Висота знімального пікету H , м	Примітка
Ст.1	$i=1.50$ м		$MO=360^{\circ}07'$		$H = 49.15$ м	$KL = 13^{\circ}02'$ $KП = 347^{\circ}11'$		
Ст.2		$0^{\circ}00'$						
1	56,0	$32^{\circ}10'$	$355^{\circ}35'$	$-4^{\circ}32'$	55,65	-4,41	44,74	$V=i$
2	40,4	$50^{\circ}35'$	$355^{\circ}56'$	$-4^{\circ}11'$	40,19	-3,94	45,21	$V=2.5$
3	28,2	$87^{\circ}40'$	$352^{\circ}50'$	$-7^{\circ}17'$	27,75	-2,55	46,60	$V=0.5$
4	20,5	$42^{\circ}10'$	$354^{\circ}05'$	$-6^{\circ}02'$	20,27	-2,14	47,01	$V=i$
5	54,3	$10^{\circ}30'$	$356^{\circ}36'$	$-3^{\circ}31'$	54,1	-3,32	45,83	$V=i$
6	46,0	$356^{\circ}30'$	$356^{\circ}37'$	$-3^{\circ}30'$	45,83	-2,80	46,35	$V=i$
7	22,0	$1^{\circ}20'$	$355^{\circ}42'$	$-4^{\circ}25'$	21,87	-1,69	47,46	$V=i$

3.3.4 Складання топографічного плану

Складання топографічних планів має таку послідовність.

1. Побудова координатної сітки. Координатну сітку креслять на аркуші креслярського паперу за допомогою лінійки Дробішева (рис 3.6).

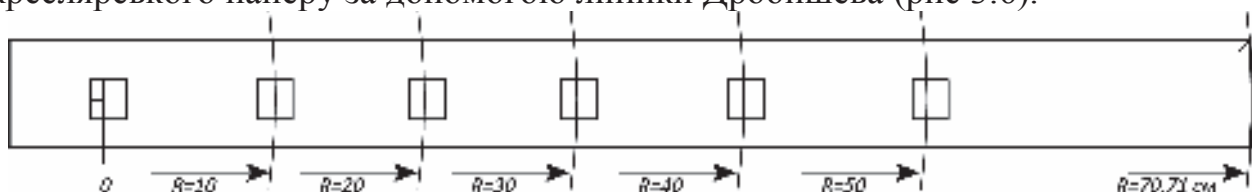


Рис. 3.6 – Лінійка Дробішева.

Спочатку на папері (рис 3.7 а) проводять лінію, на якій за скошеними краями лінійки позначають рисками точки A і B за $R=50$ см.

Потім приблизно перпендикулярно від точки A з радіусом $R=50$ см проводять штрих біля точки C .

Лінійкою з точки B радіусом $R=70.71$ см роблять засічку по штриху і отримують точку C . Кут $CAB = 90^\circ$, а відповідні відстані – $L_{AB} = 50$ см, а $L_{AC} = 50$ см. Так само з точок B і A визначають положення точки D . Отримують чотирикутник $ABCD$.

Послідовно за допомогою лінійки Дробишева за скошеними краями віконець роблять штрихи через кожні 10 см. З'єднавши їх протилежні позначки, отримують сітку прямокутних координат (рис. 3.7 б).

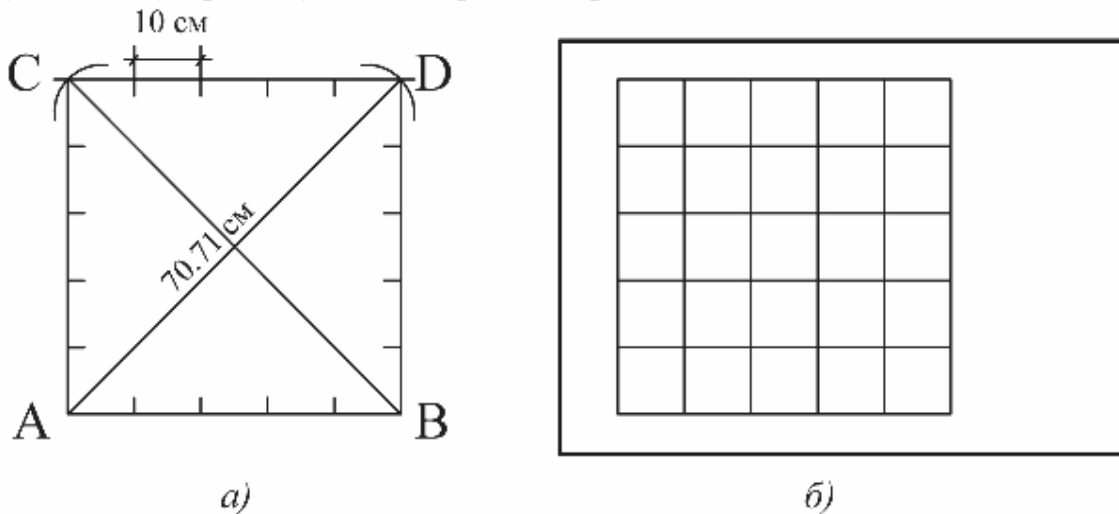


Рис. 3.7 – Побудова координатної сітки:
а – схема побудови; б – побудована координатна сітка

2. Нанесення точок теодолітного ходу за прямокутними координатами.

Спочатку визначають квадрат, в якому повинна знаходитись дана точка. Наприклад, необхідно нанести на план точку 1 з координатами: $X_1 = 488.18$ м, $Y_1 = 615.77$ м (рис. 3.8). Ця точка розміститься в квадраті зі сторонами: нижня $X_H = 450$ м; верхня $X_B = 500$ м; ліва $Y_L = 600$ м; права $Y_P = 650$ м.

З двох боків цього квадрата за допомогою циркуля-вимірника відкладають уверх залишок абсциси точки 1 над абсцисою нижньої сторони квадрата:

$$X_1 - X_H = 38.18 \approx 38.2 \text{ м}$$

Отримані точки з'єднують за допомогою лінійки тонкою лінією. Потім уздовж цієї лінії вправо відкладають залишок ординати точки 1 над ординатою лівої сторони квадрата:

$$Y_1 - Y_L = 15.77 \approx 15.8 \text{ м}$$

Таким чином визначають положення точки 1 на плані. Її позначають наколом голки циркуля-вимірника і обводять колом діаметром 1.5 мм.

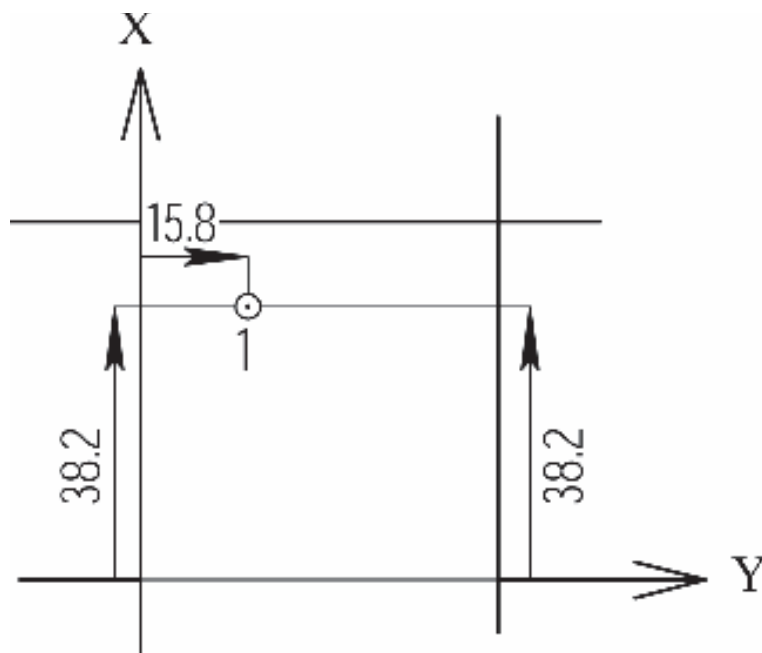


Рис. 3.8 – Нанесення на план точок теодолітного ходу

3. *Нанесення ситуації.* Нанесення точок тахеометричного знімання виконують за допомогою лінійки і геодезичного транспортира. Центр транспортира сполучають зі станцією знімання. Нульову поділку орієнтують на вихідний напрям. Відраховують виміряний при зніманні горизонтальний кут між вихідною лінією і напрямком на точку тахеометричного знімання (рис. 3.9) і вздовж отриманого напрямку в масштабі плану відкладають горизонтальне прокладення d за допомогою лінійки. Таким чином отримують положення шуканої точки. Підписують її номер і відмітку.

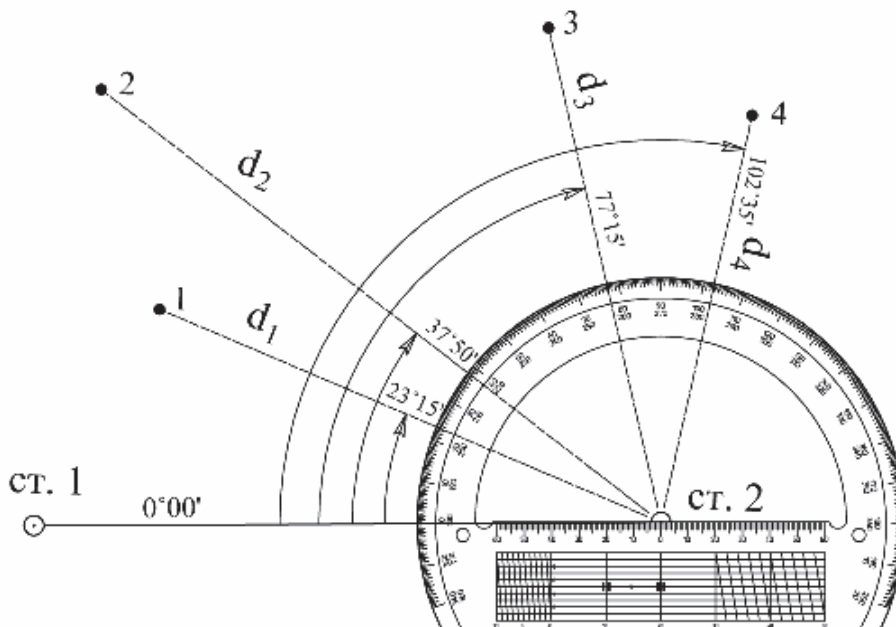


Рис. 3.9 – Нанесення точок тахеометричної зйомки

При нанесенні ситуації, знятої способом перпендикулярів, від лінії знімальної основи відкладають відстані X та Y до кожної точки у масштабі плану. Перпендикуляри будують прямокутними трикутниками.

За способом кутових засічок на плані транспортиром будують вимірні кути від лінії знімальної основи і на перетині отриманих напрямків знаходять положення шуканої точки.

За способом лінійних засічок циркулем роблять засічку довжинами вимірних ліній у масштабі плану і на перетині отримують шукану точку.

За способом створів у масштабі плану відкладають за створом лінії вимірні відрізки.

4. Побудова горизонталей. Визначають (інтерполюють) значення позначок горизонталей відповідно до позначок точок тахеометричного знімання і висоти перерізу рельєфу. Інтерполяцію виконують за допомогою палетки (прозорої плівки, на якій нанесені горизонтальні паралельні лінії). Лінії палетки підписують згідно з відмітками горизонталей.

Накладають палетку на точки плану і розвертають так, щоб вони знаходились на відповідних відмітках (рис. 3.10 а). На перетині лінії, якою з'єднані точки з підписаними лініями палетки, отримують відмітки горизонталей. Таким чином визначають положення горизонталей між усіма суміжними точками. Точки з однаковими відмітками з'єднують плавними кривими лініями – горизонталями (рис. 3.10 б).

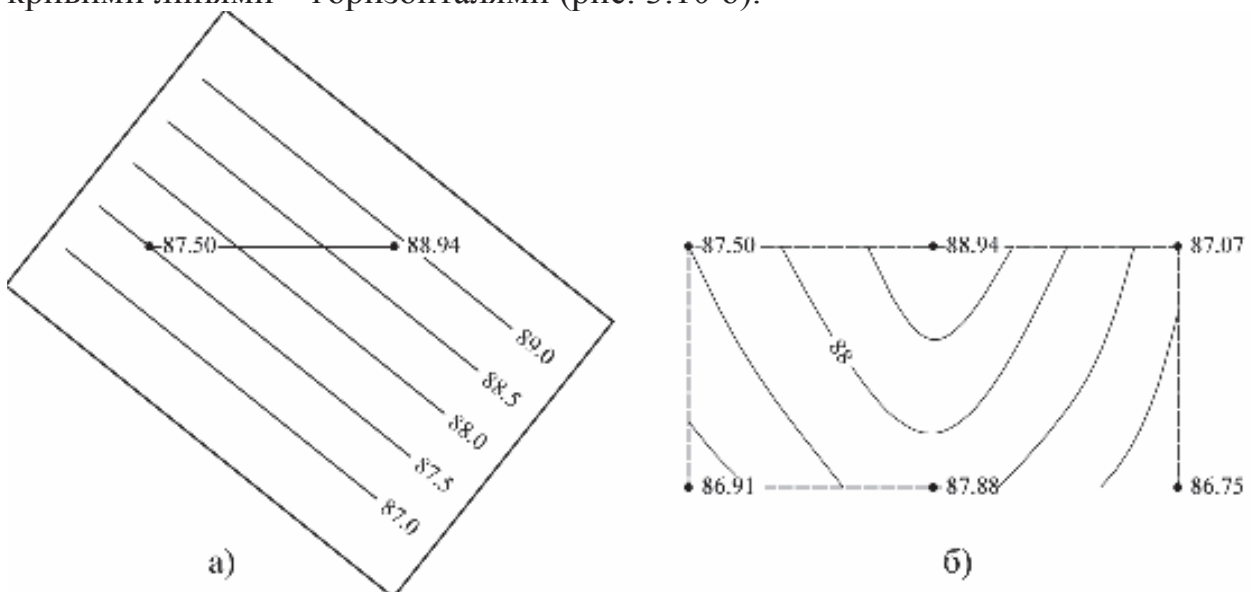


Рис. 3.10 – Побудова горизонталей:

а – інтерполяція за допомогою палетки; б – проведення горизонталей на плані

5. Оформлення плану тушию. Під час нанесення точок на план згідно з абрисами, накреслюють предмети й контури місцевості та заповнюють їх умовними позначеннями. Відповідно роблять позарамкове оформлення.

3.4 Геодезичне забезпечення будівництва

3.4.1 Геодезичні розбивочні роботи

Геодезичні розбивочні роботи – це комплекс геодезичних робіт, які виконують з метою визначення положення на місцевості осей споруди та її деталей, які містяться в проекті.

Головними осями є дві перпендикулярні одна до одної осі симетрії I-I і II-II, а основними осями є лінії А-А, Б-Б, 1-1, і 2-2, які утворюють контур споруди

(рис. 3.11). В межах цього контуру проводять паралельні до основних осей поздовжні та поперечні проміжні осі, які визначають положення внутрішніх частин споруди.

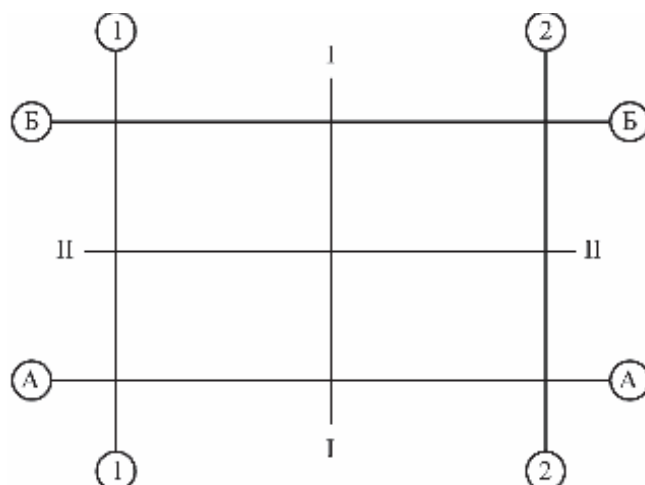


Рис. 3.11 – Головні та основні осі споруди

Геодезичною розбивочною основою під час будівництва промислових об'єктів найчастіше є будівельна сітка (рис 3.12), яка являє собою систему опорних пунктів, що рівномірно вкривають територію будівельного майданчика і дають можливість з необхідною точністю перенести проект споруди на місцевість.

Будівельні сітки створюють у вигляді квадратів та прямокутників зі сторонами 50, 100 або 200 м. Будівельну сітку проектують таким чином, щоб її сторони були паралельними основним осям проектних споруд. За початок координат приймають пункт сітки, розташований в південно-західному куті будівельного майданчику. Це дозволяє уникнути від'ємних значень абсцис і ординат. Від початкового пункту обчислюють координати інших пунктів за прийнятими в проекті довжинами сторін фігур сітки. Висотну основу на будівельному майданчику створюють шляхом прокладання нівелірних ходів.

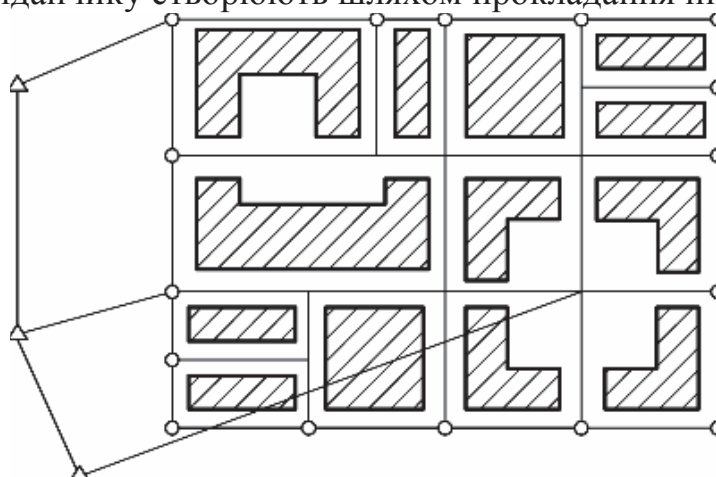


Рис. 3.12 – Будівельна сітка

Етапи виконання розбивочних робіт на будівельному майданчику:

- розбивка основних осей – на місцевості визначають положення головних (вихідних) розбивочних осей від пунктів геодезичної основи (згідно даних розбивочного креслення) і закріплюють їх знаками;

- детальна розбивка споруди – від закріплених точок головних осей розбивають поздовжні і поперечні осі окремих будівельних блоків і частин споруди з одночасним встановленням точок і площин на рівень проектних відміток. По завершенню нульового циклу будівництва пункти розбивочної основи переносять на вихідний горизонт споруди – блоки фундаменту, бетонну підготовку або перекриття підвалу, а потім, за ходом будівництва проєктують ці пункти на монтажні горизонти, тобто опорні площадки кожного поверху (ярусу). Процес будівництва супроводжується геодезичними контрольними вимірами і завершується виконавчим зніманням споруди. Це дозволяє фіксувати відхилення від проєкту.

3.4.2 Підготовка геодезичних даних

для виносу проєкту будівництва на місцевість

Розбивочні креслення складають на основі вихідних даних, які можуть бути отримані графічним, аналітичним і графоаналітичним методами. При *графічному* методі всі необхідні дані (відстані, кути, координати, відмітки) визначають графічно за планами і робочими кресленнями. *Аналітичний* метод забезпечує більш високу точність вихідних даних. Координати точок існуючих споруд визначають на основі детального знімання, або спеціально прокладених теодолітних ходів. За отриманими координатами і проектними параметрами обчислюють координати точок проєктних споруд (пряма геодезична задача). За цими координатами шляхом розв'язання обернених геодезичних задач обчислюють відстані та кути, необхідні для виносу осей споруди на місцевість.

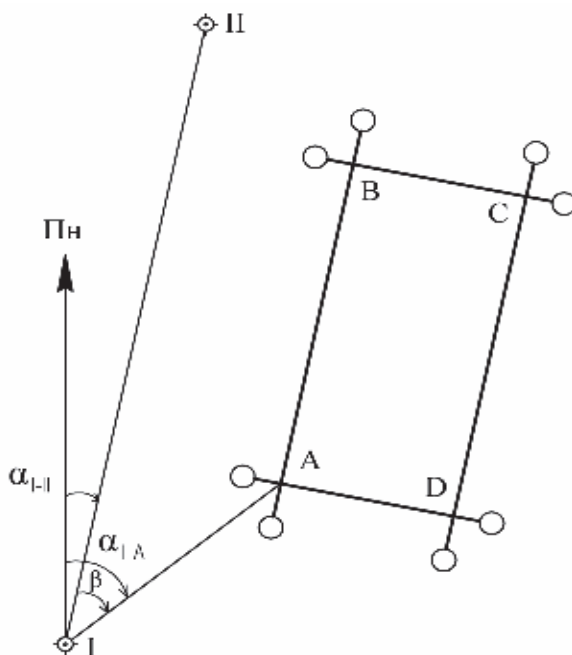


Рис. 3.13 – Розбивочне креслення
А (X_A , Y_A) визначені графічно
за планом.

В практиці розбивочних робіт найчастіше застосовують графоаналітичний метод. При цьому частину вихідних даних отримують графічно з плану, а іншу частину – аналітично.

Наприклад, необхідно підготувати вихідні дані графоаналітичним методом для перенесення на місцевість основних осей будівлі $ABCD$ (рис. 3.13) розміром 25 x 35 м, поздовжня вісь якої паралельна до сторони теодолітного ходу $I-II$. Координати точок I (X_I , Y_I) і II (X_{II} , Y_{II}) отримані шляхом прокладення теодолітного ходу і записані у координатну відомість. Координати точки

Необхідними вихідними даними для перенесення на місцевість точки A є значення кута β і відстань d_{I-A} .

З рис. 49 видно, що кут β дорівнює різниці дирекційних кутів, тобто

$$\beta = \alpha_{I-A} - \alpha_{I-II}.$$

Значення дирекційного α_{I-II} кута отримують з координатної відомості. Дирекційний кут α_{I-A} і відстань d_{I-A} визначають шляхом розв'язання оберненої геодезичної задачі за координатами точок I і A , використовуючи формули:

$$\operatorname{tg} \alpha_{I-A} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{Y_A - Y_I}{X_A - X_I};$$

$$d_{I-A} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{I-A}} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{I-A}}.$$

Отримані значення β і d_{I-A} підписують на розбивочному кресленні. Щоб отримати дані для перенесення на місцевість точок B , C і D , спочатку обчислюють координати цих точок шляхом розв'язання прямої геодезичної задачі з урахуванням розмірів споруди і орієнтування осі AB паралельно стороні теодолітного ходу $I-II$, потім виконують розрахунки подібно до того, як це зроблено для точки A .

3.4.3 Елементи розбивочних робіт

Розбивочні роботи являють собою, в основному, побудову на місцевості кутів і ліній, які лежать переважно в горизонтальній і вертикальній площинах.

Побудова проектного горизонтального кута на місцевості. Над вершиною кута O встановлюють теодоліт (рис. 3.14 а) і орієнтують його за вихідним напрямком OA . Обертаючи алідаду, відкладають проектний кут β і фіксують отриманий напрямок на відстані d металевою шпилькою (віхою) у точці P' . Побудований у першому наближенні кут вимірюють повним прийомом. Результат виміру β' використовують для обчислення кутової поправки

$$\delta_\beta = \beta' - \beta \quad (3.33)$$

і відповідної їй величини перпендикуляра l

$$l = d \cdot \frac{\delta_\beta}{\rho}, \quad (3.34)$$

де $\rho'' = 206265''$, $\rho' = 3437.8'$.

Винос на місцевість проектної відмітки. Між репером або точкою з відомою висотою A і проектною точкою B встановлюють нівелір (рис. 3.15 б). За рейкою, встановленою на вихідній точці A , беруть відлік U_A . Потім обчислюють відлік U_{np} , який повинен бути на рейці в точці B , коли точка буде знаходитися на проектній висоті:

$$U_{np} = H_{зик} - H_{пр} + U_A \quad (3.35)$$

При фіксуванні положення точки дерев'яним колом останній забувають доти, поки відлік по рейці, встановленій на кіл, не буде дорівнювати U_{np} .

Отриману в першому наближенні відмітку нівелюють повним прийомом (по двох сторонах рейки при двох горизонтах). Результат виміру H'_{np} зіставляють з проектним значенням H_{np} і одержують величину поправки:

$$\delta_H = H_{np} - H'_{np}. \quad (3.36)$$

Побудова проектної лінії із заданим ухилом. Поряд із стіною, на якій необхідно побудувати проектну лінію, встановлюють нівелір (рис. 3.16 в). На початкову точку лінії ставлять рейку, і беруть відлік за чорною шкалою U_1 . Потім рейку переносять на відстань d і обчислюють відлік, який повинен бути на рейці в другій точці за формулою

$$U_2 = U_1 + d \cdot i, \quad (3.37)$$

де i – заданий ухил.

Потім за командами нівелювальника двигають рейку вгору або вниз, доки за центральним горизонтальним штрихом сітки ниток не буде взято

розрахований за формулою (3.37) відлік. Після цього відразу відмічають на стіні крейдою п'ятку рейки. Аналогічно будують третю точку лінії, і так далі.

Перенесення на місцевість проектної відстані. Для побудови на місцевості проектної лінії від вихідної точки відкладають проектне горизонтальне прокладення D . Виміри виконують компарованим мірним приладом. В процесі побудови лінії вводять поправки

за ухил

$$\Delta D_u = D \cdot 2 \sin^2 \frac{u}{2}, \quad (3.38)$$

де u – кут нахилу місцевості, який вимірюють теодолітом;

за компарування

$$\Delta D_k = D \cdot \frac{l_0 + l_k}{l_0}, \quad (3.39)$$

де l_0 – номінальна довжина мірного приладу;

l_k – фактична довжина мірного приладу, отримана за результатами компарування;

за температуру

$$\Delta D_t = D \cdot \varepsilon (t_k - t_{\text{вим}}) \quad (3.40)$$

де ε – коефіцієнт лінійного розширення металу;

t_k – температура під час компарування;

$t_{\text{вим}}$ – температура під час вимірювання.

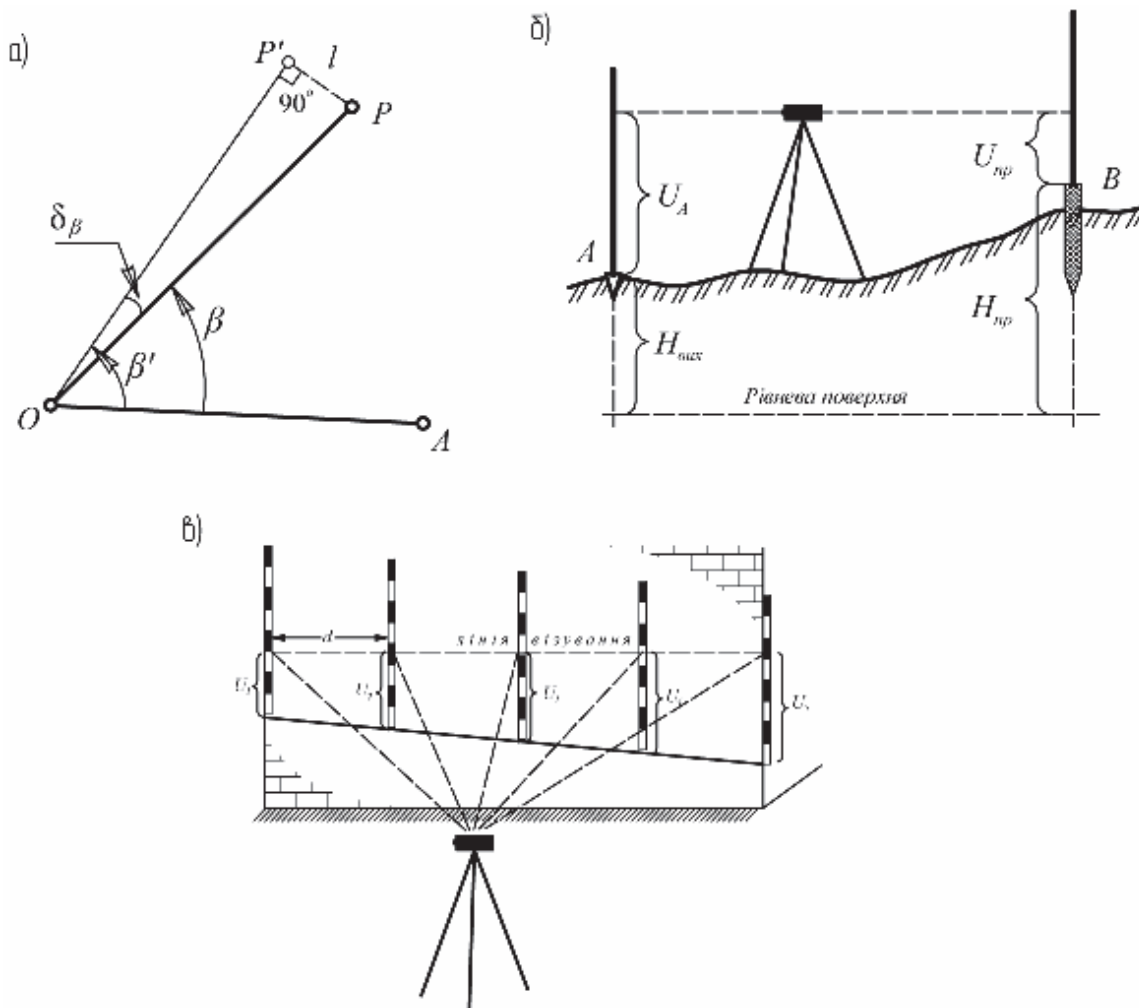


Рис. 3.14 – Елементи розбивочних робіт

3.4.4 Виконавче знімання

Виконавче знімання виконують з метою встановлення фактичного положення елементів і конструкцій відносно осей і проектних відміток, а також для визначення розмірів і фактичного положення будівель і споруд на місцевості після їх зведення. Залежно від етапу будівництва виконавче знімання поділяють на *поточне* і *завершальне*.

Поточним виконавчим зніманням завершують кожен вид будівельно-монтажних робіт. Його результати є основним технічним документом, який дозволяє перевірити якість виконаних робіт та підрахувати їх об'єм. Виконавчому зніманню підлягають ті елементи будівлі, від правильного положення яких залежать міцність і стійкість всієї будівлі. Особливу увагу приділяють виконавчому зніманню частин і конструкцій споруди, які підлягають засипанню ґрунтом і не будуть доступними для вимірів.

Виконавче знімання ведуть тими ж методами і приладами, що і детальну розбивку осей споруди. Точність вимірів має бути не меншою ніж точність розбивочних робіт.

Завершальне виконавче знімання виконують в масштабах 1:500 – 1:1000 після завершення будівництва об'єкта. За результатами завершального виконавчого знімання складають виконавчий генеральний план, яким користуються при експлуатації промислового або житлового комплексу, а саме: для подальшого розширення підприємства, при виконанні ремонтних робіт, швидкої ліквідації пошкоджень підземних мереж.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Войтенко, С.П. Інженерна геодезія: підручник [Текст] / С.П. Войтенко. - К: Знання, 2009.
2. Перфилов, В.Ф. Геодезия: Учеб. для вузов [Текст] / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006.
3. Кулешов, Д.А., Инженерная геодезия для строителей: Учебник для вузов [Текст] / Д.А. Кулешов, Г.Е. Стрельников. – М.: Недра, 1990.
4. Лукьянов, В.Ф. Лабораторный практикум по инженерной геодезии: Учеб. пособие для вузов [Текст] / В.Ф. Лукьянов, В.Е. Новак, Н.Н. Борисов и др. – М.: Недра, 1990.
5. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 [Текст] / – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001.
6. Новицький, В.В. Російсько-український тлумачний словник основних термінів та понять з геодезії [Текст] / Укл. В.В. Новицький – Харків : ХІІМГ, 1993.
7. ДСТУ 2756-94. Геодезія. Терміни та визначення. [Текст] / К.: Держстандарт України, 1994.
8. ДСТУ 2757-94. Картографія. Терміни та визначення. [Текст] / К.: Держстандарт України, 1994.

Навчальне видання

ШАУЛЬСЬКИЙ Дмитро Васильович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ»

*(для студентів I курсу денної форми навчання напряму підготовки
6.060101 «Будівництво» спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція»)*

Відповідальний за випуск *Д. В. Шаульський*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Д. В. Шаульський*

План 2012, поз. 29Л

Підп. до друку 21.10.2013	Формат 60 x 84 /16
Друк на різнографі.	Ум. друк. арк. 3,8
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.