

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний морський університет**

Кафедра цивільної інженерії та архітектури

Федорова К.Ю.

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Частина 1

Навчальний посібник

Одеса 2022

УДК 528.48(07)
Ф33

ЗАТВЕРДЖЕНО
вченою радою ОНМУ.
Протокол №6 від 22 грудня 2021 р.

Рецензенти: академік УО МАНЕБ, д.т.н., проф., зав. лаб. ІКГС ДП
«ЧОРНОМОРНДІПРОЕКТ» *Пойзнер М.Б.*;
к.т.н., доц. каф. ЦІ та А ОНМУ *Мироненко І.М.*

Федорова К.Ю. Інженерна геодезія : навч. посібн., Ч.1
Ф33 / К.Ю. Федорова. – Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2022. – 180 с.

У навчальному посібнику викладено основні положення загального курсу «Інженерна геодезія» в обсязі програми. У посібнику розглянуті питання пов'язані з користуванням топографічними картами і планами. Дано основи виконання лінійних вимірювань. Студенти можуть ознайомитись з типами нівелірів та теодолітів. Вивчити правила виконання повірок та юстування.

Дана робота призначена як навчальний посібник з курсу «Інженерна геодезія» для студентів за спеціальністю 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» на першому (бакалаврському) рівні.

Посібник складається з двох розділів. У першому розділі розповідається про основні відомості і визначення, у другому – геодезичні виміри. Викладення матеріалу відповідає програмі курсу.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ І ВИЗНАЧЕННЯ.....	8
Глава 1. ФІГУРА ЗЕМЛІ. МОЖЛИВІ ВАРІАНТИ ЇЇ ЗОБРАЖЕННЯ. 8	
1.1. Фігура Землі	8
1.2. Системи координат. Визначення розташування точок.....	10
1.3. Рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гауса-Крюгера.....	16
1.4. Геодезичні побудови та вимірювання.....	19
Глава 2. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ.....	23
2.1. Кути орієнтування	23
2.2. Прилади, які використовують при орієнтуванні на місцевості....	30
Глава 3. ТОПОГРАФІЧНІ ПЛАНИ І КАРТИ	32
3.1. Топографічні плани. Масштаби	32
3.2. Топографічні карти.....	35
3.3. Умовні знаки планів і карт.....	37
3.4. Рельєф місцевості на топографічних картах.....	39
3.5. Вимірювання площ по топографічних картах і планах	43
Глава 4. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІР.....	46
4.1. Загальні поняття про виміри.....	46
4.2. Похибки та їх види	46
4.3. Властивості випадкових похибок.....	49
4.4. Точність вимірів.....	51
4.5. Оцінка точності результатів вимірів	53

Розділ 2. ГЕОДЕЗИЧНІ ВИМІРИ	54
Глава 5. ЛІНІЙНІ ВИМІРИ	54
5.1. Загальні відомості про лінійні виміри	54
5.2. Компарування	59
5.3. Вимірювання довжини ліній далекомірами	65
5.4. Нитяний далекомір	66
5.5. Далекіміри подвійного зображення	69
5.6. Загальні відомості про світлодалекіміри	77
Глава 6. НІВЕЛІРИ	83
6.1. Загальні відомості про нівеліри	83
6.2. Види нівелювання	87
6.3. Типи нівелірів	95
6.4. Нівелірні рейки	103
6.5. Повірки та юстування рівнених нівелірів	106
Глава 7. КУТОВІ ВИМІРИ. РОБОТИ З ТЕОДОЛІТОМ	111
7.1. Класифікація теодолітів	111
7.2. Конструкція теодолітів	113
7.3. Зорова труба	115
7.3.1. Загальні відомості про зорові труби	115
7.3.2. Збільшення труби	116
7.3.3. Поле зору труби	117
7.3.4. Точність візування зоровою трубою	117
7.4. Вимірювання кутів на місцевості	118
7.5. Відлікові пристрої	120
7.6. Прилади для центрування	122
7.7. Приклади теодолітів	124

7.8. Візирні цілі та еккери	130
7.9. Повірки та юстування теодолітів.....	135
Додаток 1. Геодезичні завдання. Масштаб карт	142
Додаток 2. Пряма та зворотня геодезичні задачі	143
Додаток 3. Вимірювання на карті (плані) кутів орієнтування та визначення висот точок	148
Додаток 4. Визначення крутості ската. Побудова лінії із заданим ухилом	151
Додаток 5. Побудова профілю по топографічній карті	154
Додаток 6. Виконання технічного нівелювання.....	155
Додаток 7. Вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів на місцевості	168
Додаток 8. Поняття теодолітного ходу	176
ЛІТЕРАТУРА.....	180

ВСТУП

Геодезія – одна з найдавніших наук. Слово «геодезія» походить із двох слів – «земля» та «поділяю». Геодезія як наука виникла внаслідок практичної діяльності. Людині необхідно було встановлювати межі земельних ділянок, осушувати щілину та навпаки, будувати зрошувальні канали. Сучасна геодезія – багатогранна наука, яка покликана вирішувати найскладніші наукові та практичні завдання. Наука геодезія займається питаннями визначення форми та розмірів Землі, відображення її на планах та картах. В основі питань, які вирішує геодезія, лежать виміри, виконані геодезичними приладами та інструментами. Для вирішення геодезичних задач використовують основи математики, фізики, географії, астрономії.

Геодезія ділиться на високу, космічну, топографічну, фотограмметрію та інженерну (прикладну) геодезію. Кожен розділ є самостійною дисципліною. У кожному розділі ставлять свої завдання, методи розв'язання та предмети вивчення.

Так що вивчає кожен розділ науки?

– вища геодезія вивчає розміри та фігуру Землі, розглядає питання, пов'язані з визначенням координат точок на поверхні Землі;

– космічна геодезія – ставить завдання та вирішує їх за допомогою штучних супутників Землі;

– топографічний розділ вивчає питання земної поверхні та зображення цієї поверхні на картах та планах;

– фотограмметрія пов'язана з питаннями аерофото- та космічної зйомки. Отримані знімки використовують для отримання карт та планів, розмірів об'єктів тощо.;

– інженерна (прикладна) геодезія вивчає та розробляє варіанти методів геодезичного забезпечення при розробці проектів, будівництва та експлуатації споруд.

Вирішення сьогоденних завдань геодезії пов'язане із забезпеченням та покращенням якості гідротехнічних споруд. Для цього потрібна велика кількість кваліфікованих працівників, здатних забезпечити будівництво найважливіших народно-господарських (у тому числі і гідротехнічних) об'єктів. Для підготовки таких кадрів і призначений цей навчальний посібник.

Розділ 1

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ І ВИЗНАЧЕННЯ

Глава 1

ФІГУРА ЗЕМЛІ. МОЖЛИВІ ВАРІАНТИ ЇЇ ЗОБРАЖЕННЯ

1.1. Фігура Землі

Що таке Земля? Які її форми? Ці питання ставили собі люди у давнину. Вчений Ератосфен, який жив у III ст. до н.е. довів, що Земля має форму кулі. Пізніше вчені дійшли висновку, що Земля сплюснута біля полюсів. Наша Земля має саме таку форму, тому що на неї діють сила взаємного тяжіння та відцентрова сила.

Поверхня Землі складається з материків та океанів. Океани та моря на земній поверхні займають значно більшу площу, ніж материки. Вчені визначили, що моря та океани становлять приблизно 71% усієї земної поверхні. Поверхня морів та океанів горизонтальна, так як на Землі існує сила тяжкості. Поверхня в кожній точці перпендикулярна до напрямку сили тяжіння. Лінія, яка збігається з напрямком сили тяжіння, зветься прямовисною лінією.

У геодезії, щодо поверхні Землі, вводять поняття – рівневої поверхня. Рівнева поверхня – це така поверхня, яка у всіх точках

перпендикулярна вертикальним лініям. Рівневих поверхонь можна проводити дуже багато. Ці поверхні не перетинаються. Якщо рівневу поверхню, яка збігається з поверхнею Світового океану подумки продовжити під материками, то фігуру, що утворилася, називають геоїдом. Ця постать дуже складна. Вона має неправильну форму. Математичні рівняння, що описують цю фігуру важкі. Тому її замінюють більш простою поверхнею. З геометричних фігур, які мають легші формули опису поверхні, підходить стислий еліпс обертання. Еліпсоїд відображає форму та розміри Землі. Його називають земним еліпсоїдом. Земний еліпсоїд, який використовують для обробки геодезичних вимірів та розрахунків називають референц-еліпсоїдом. Референц-еліпсоїд подумки розташовують у тілі Землі (рис. 1.1).

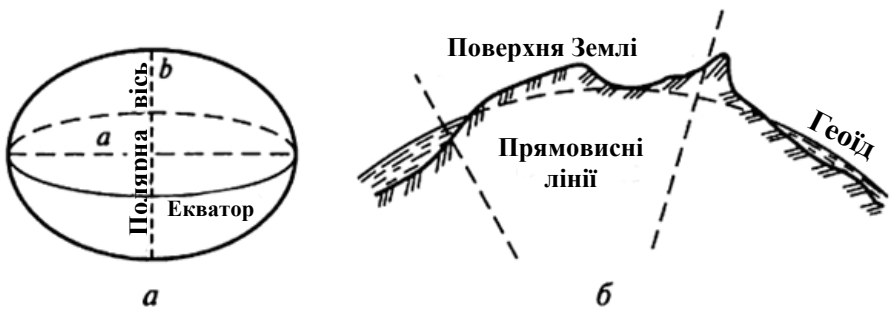


Рис. 1.1. Форми земної поверхні:
a – земний еліпсоїд; *б* – геоїд

Центр референц-еліпсоїда збігається із центром мас Землі. Його мала вісь збігається з віссю обертання Землі. Розміри референц-

еліпсоїда були отримані Ф.М. Красовським, тому цей еліпсоїд і отримав назву еліпсоїд Красовського.

В інженерної геодезії та інших топографічних роботах при розрахунках сприймають, що Земля має форму кулі. Обсяг цієї кулі дорівнює обсягу земного еліпсоїда, радіус якого – 6371,11 км. Велика піввісь еліпсоїда позначається буквою a і дорівнює $a = 6378245$ м, мала піввісь еліпсоїда позначаються буквою b і дорівнює $b = 6356863$ м. Ці розміри еквівалентні розмірам референц-еліпсоїду.

1.2. Системи координат. Визначення розташування точок

Координати точок можуть описувати кутові чи лінійні величини. Для визначення координат необхідно мати початкові лінії чи площини, від яких виробляють відлік. Для того щоб визначити положення точки (тобто її координати) можна використовувати різні варіанти.

Точку можна визначити у:

1. просторово-прямокутних координатах;
2. географічних координатах;
3. плоских прямокутних координатах;
4. полярних та біполярних координатах.

Ці системи координат дозволяють знайти положення точки, як на місцевості, так і на карті.

Розглянемо просторові прямокутні координати (рис. 1.2).

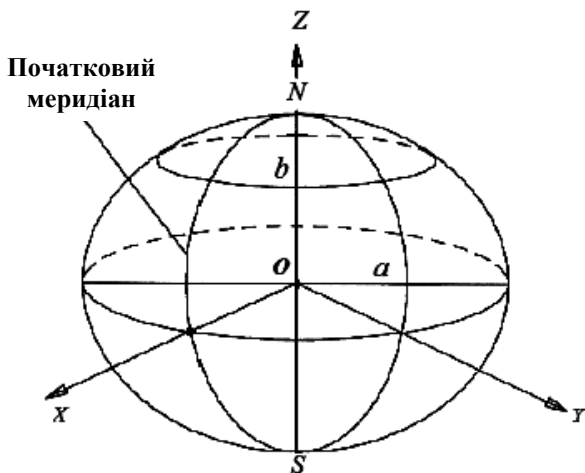


Рис. 1.2. Просторові прямокутні координати

У центрі земного еліпсоїда знаходиться точка O . Ця точка вважається початком системи координат. Потім проводимо осі X, Y, Z . Осі X і Y розташовуємо в площині екватора, а вісь Z – вздовж осі обертання еліпсоїда на північ. Вісь X проходить через точку перетину площини екватора з початковим меридіаном.

Меридіан – це уявна лінія, вона утворюється січною площиною, яка проходить через вісь PP . Вісь PP – це вісь обертання Землі (рис. 1.3). Початковим меридіаном земної поверхні прийнято вважати меридіан, який проходить через центр меридіанного залу астрономічної обсерваторії у Гринвічі поблизу Лондона. Довгота відраховується на схід та захід від початкового меридіана (від 0 до 180°) і записується так: 27° з.д. (тобто 27° західної довготи) або

31° с.д. (тобто 31° східної довготи) від Гринвіча. Широти відраховуються на північ і південь від екватора (від 0 до 90°) і записуються так: 21° пд.ш. (21° південної широти) або 61° пн.ш. (61° північної широти). Ось Y маємо перпендикулярно осям Z і X на схід. Такі системи називаються геоцентричними системами координат.

Розглянемо географічні координати. У такій системі координат користуються кутовими величинами – широтою та довготою. Положення точки визначають щодо площини екватора та площини одного з меридіанів (меридіан Гринвіча). При знаходженні точки в географічних координатах форму Землі приймають у вигляді кулі (рис. 1.3).

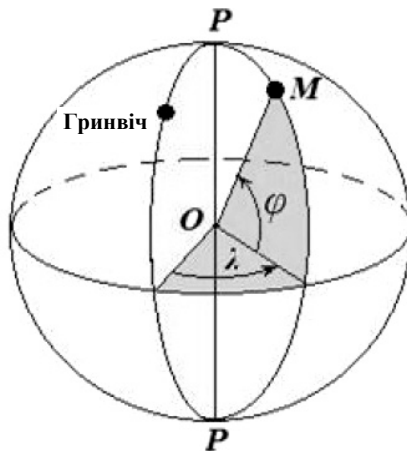


Рис. 1.3. Географічні координати Землі

Введемо деякі поняття. Ми вже дали визначення меридіану та початковому меридіану. Тепер визначимося, що таке географічна широта, географічна довгота, паралель та екватор.

Паралель – це уявна лінія, яка утворюється на поверхні Землі січною площиною, яка перпендикулярна до осі обертання Землі.

Екватор – це уявна лінія, утворена площиною, яка проходить через центр Землі.

Географічною широтою точки називається кут між нормаллю до поверхні Земної кулі в даній точці та площиною екватора. Географічну широту позначають літерою φ . Географічні широти необхідно відраховувати від екватора до полюсів. З цього випливає, що значення широт змінюється від 0 до 90° . Якщо півкуля Північна, то широти називаються північними, і якщо півкуля Південна, то широти називаються південними.

Географічною довготою точки називається кут між площиною меридіана (меридіан Гринвіча) та площиною меридіана даної точки. Географічну довготу позначають літерою λ . Довготи, що відраховуються від початкового меридіана (меридіан Гринвіча) на схід, називаються східними, а довготи, що відраховуються від початкового меридіана на захід – західними. З цього випливає, що їх значення може змінюватися від 0 до 180° .

Якщо розглядати невеликі ділянки Землі, поверхню Землі можна прийняти не сферичну, а рівну. У такому разі визначити положення точки можна за допомогою системи плоских прямокутних координат. Така система координат являє собою дві взаємно-перпендикулярні лінії, тобто осі. Ці осі лежать у одній горизонтальній площині. На рис. 1.4 показано вісь X та вісь Y .

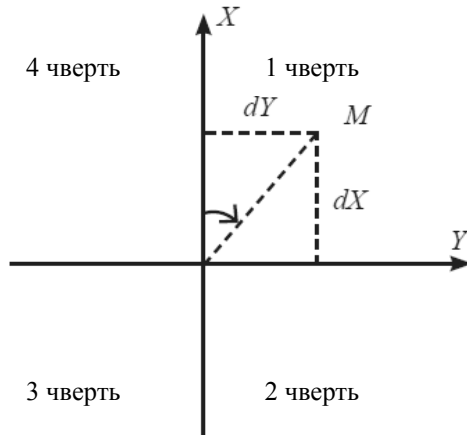


Рис. 1.4. Осі координат

Ці осі розбивають площину координатні чверті (1, 2, 3, 4). Координатні чверті нумерують протягом годинної стрілки, тобто. першою чвертю вважається північно-східна.

Перед координатами точки (dx та dy) ставлять знаки «+» та «-». Координати точки (x та y) дають не повну картину положення точки. Третя координата точки – це висота.

Висота точки – це відстань строго вертикальної лінії від цієї точки до рівневої поверхні. Це значення називається позначкою.

Висота буває умовна, відносна та абсолютна (рис. 1.5).

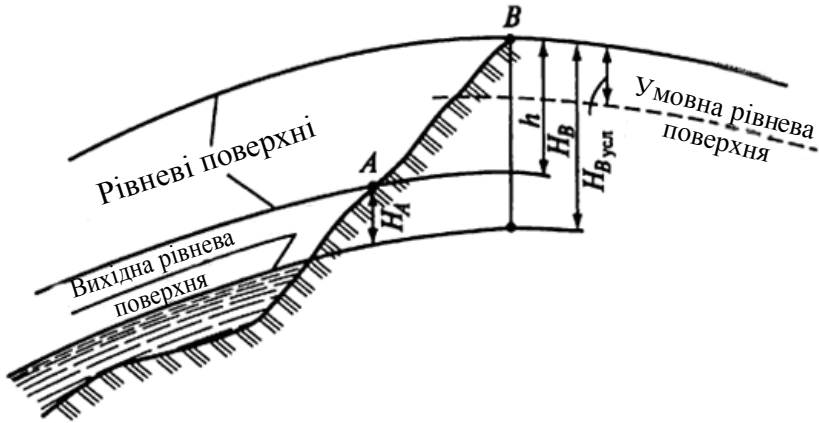


Рис. 1.5. Умовні, відносні та абсолютні висоти

Абсолютна висота – це висота від вихідної рівневої поверхні до шуканої точки.

Умовна висота – це відстань від точки Землі до умовної рівневої поверхні, тобто до поверхні, яку ми вибрали за умовну.

Відносна висота (перевищення) – це відстань між нижньою точкою та верхньою точкою.

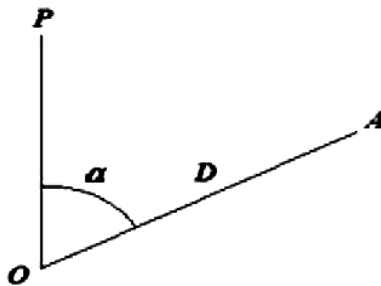


Рис. 1.6. Полярна вісь координат

Координати точки можна визначити, якщо відома точка, яка називається полюсом і відома пряма лінія, яка називається полярною віссю. Полярна вісь – це вісь земного сфероїда, що проходить через два земні полюси. З рис. 1.6 видно, що положення точки A в полярній системі координат можна визначити як відстань OA щодо полюса (це точка O) і горизонтальним кутом α . Кут α знаходиться у горизонтальній площині.

1.3. Рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гауса-Крюгера

Нашу Землю неможливо розвернути на площину карти без спотворень. Тому, під час створення карт Землі спочатку на папері проектують основу. Основою географічної карти є географічна сітка, що складається з паралелей та меридіанів. Таку основу проектують за прямокутними координатами, які обчислюють у певній картографічній проекції.

Цією проблемою займалися два вчені – Гаус і Крюгер. Надалі цю проекцію в літературі називають проекцією Гаусса-Крюгера.

Ця проекція зображує Землю (еліпсоїд) на площині частинами. Ці частини називаються зонами. Усі зони обмежені меридіанами. Ширина меридіанних зон дорівнює 6° (для карт масштабів 1:500 000 – 1:10 000) та 3° (для карт масштабів 1:5 000 – 1:20 000).

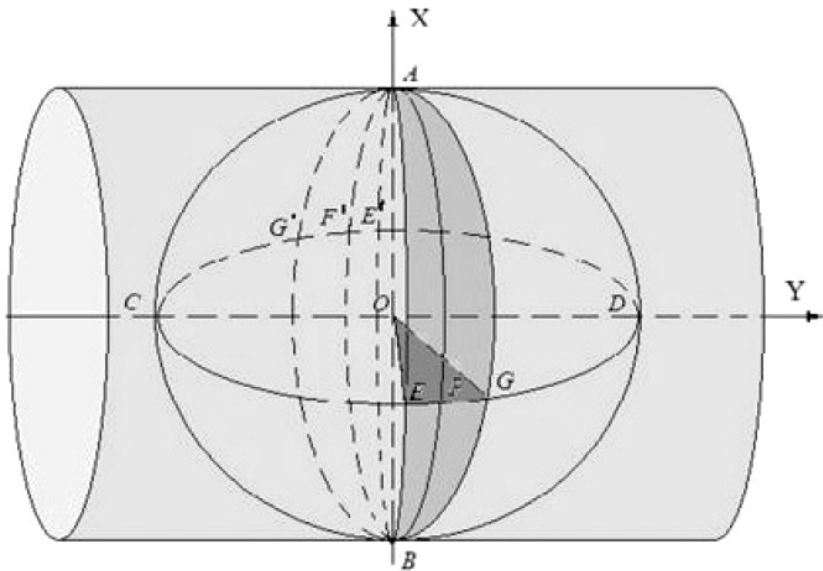


Рис. 1.7. Схема побудови поперечної циліндричної поверхні

Меридіани та паралелі зображуються кривими, які симетричні щодо осьового меридіана зони та екватора. Кривизна меридіанів та паралелей дуже мала, тому західна та східна рамки карти зображуються прямими лініями.

Проекція Гауса рівнокутна – це означає, що зберігається рівність кутів. Один із меридіанів називають осьовим. Осьовий меридіан та екватор зображують у вигляді двох взаємно перпендикулярних прямих. Всі інші меридіани та паралелі зображуються симетрично по відношенню до осьового меридіана та екватора відповідно. Масштаб зображень зберігається лише вздовж осьового меридіана.

У геодезії прийнято за вісь абсцис приймати осьовий меридіан зони, за вісь ординат – зображення екватора.

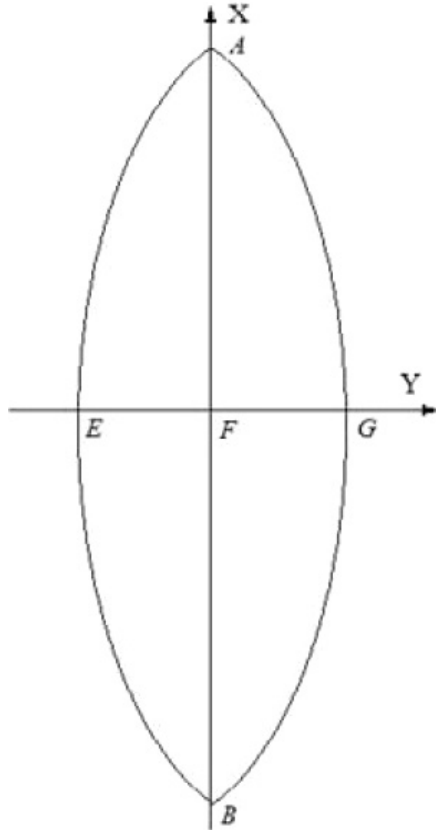


Рис. 1.8. Шестиградусні зони поверхні земного еліпсоїда

Перетин осьового меридіана та екватора дає нам точку O . Ця точка називається початком координат даної зони. Для того, щоб у розрахунках не використовувалися негативні ординати, у кожній зоні

початок відліку умовно переносять на 500 км на захід. Перед значенням ординати вказують номер зони.

1.4. Геодезичні побудови та вимірювання

Під вимірами припускають порівнювання величин з іншою однорідною величиною, яку беруть за одиницю. Геодезичні виміри зводяться до трьох видів:

– перший вид – лінійні виміри. При такому вимірі визначають відстань між заданими точками;

– другий вид – кутове. При такому вимірі визначають горизонтальні та вертикальні кути між напрямками на задані точки;

– третій вид – висотне (нівелірне). При такому вимірі визначають різниці висот певних точок.

За одиницю виміру в лінійних та у висотних вимірах прийнято метр. За одиницю виміру кутів прийнято градус. Градус містить 60 кут. хвилин, а одна хвилина містить 60 кут. секунд.

Вимірювання бувають *прямі* та *непрямі*.

Прямі виміри, це такі виміри, які виконуються за допомогою приладів. Ці прилади порівнюють величину, що вимірюється, з величиною, яку прийняли за одиницю.

При *непрямих* вимірах необхідно проводити математичні обчислення з урахуванням результатів прямих вимірів. Наприклад, у геометричній фігурі трикутника, кут можна обчислити приладом, тоді це називають прямим виміром. Якщо кут обчислюють за вимірами трьох сторін – називають непрямым.

Вибрані на поверхні точки, від яких виробляють геодезичні виміри, називають вихідними. Точки, які потрібно визначити – визначеними.

Якщо вихідні та визначені точки знаходяться у горизонтальній площині у плані, їх називають планові. Якщо вихідні та визначені точки знаходяться у вертикальній площині по висоті, їх називають висотні. Існує кілька основних геодезичних способів, які дозволяють визначити положення точки у плані.

Для прикладу можна задати таке завдання: на місцевості нам дано дві точки A і B . Необхідно визначити місце розташування точки C щодо точок A і B .

Таке завдання можна вирішити декількома способами. На рис. 1.9 показані способи визначення положення точки у плані.

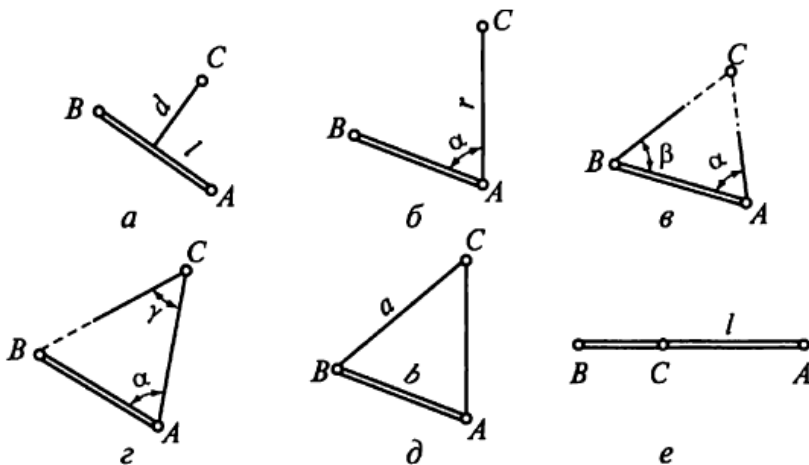


Рис. 1.9. Схеми (а – е) до способів визначення положення точки у плані

Перший спосіб визначення положення точки C . Розглянемо рис. 1.9, а.

1. Ми з точки C опускаємо перпендикуляр на лінію, що з'єднує точки A та B . Вимірюємо відстань l від точки A до основи перпендикуляра та довжину перпендикуляра d . Відрізки l та d є координатами точки C . Такий варіант побудови називається *спосіб перпендикуляра*.

Пряму AB можна сприйняти як вісь абсцис у прямокутній системі координат. Тоді перпендикуляр d є ординатою шуканої точки C , а відстань l – абсцисою шуканої точки C . Тому такий спосіб знаходження розташування точки C називається *спосіб ординат*.

Другий спосіб визначення положення точки (рис. 1.9, б). З'єднуємо точку A з точкою C , вимірюємо кут BAC , позначимо його α . Відстань CA – позначимо літерою r . Цей метод отримав назву *метод полярних координат*, т.к. координати точки C (α ; r) назвали полярними, кут α – полярний, точка A – полюс, відрізок AB – полярна вісь, а відрізок r – радіус-вектор.

Третій спосіб знаходження положення точки (рис. 1.9, в). Цей спосіб називається способом *прямого кутового засічення*. При цьому способі необхідно з точки C провести лінії AC і BC . Кут BCA – позначимо β , а кут CAB – α . Пряму AB називають базисом засічки.

Четвертий спосіб знаходження положення точки C аналогічний до попереднього, але в цьому завданні визначається кут $BCA = \gamma$ и кут $CAB = \alpha$ (рис. 1.9, г). Цей спосіб називається способом *бічного засічення*.

П'ятий спосіб знаходження положення точки C . Для цього вимірюємо довжину $b = AB$ та довжину $a = BC$. Цей спосіб називається *спосіб лінійного засічення* (рис. 1.9, д).

Шостий спосіб знаходження положення точки C . Цей спосіб можливий тільки в тому випадку, якщо точка знаходиться на відрізку AB . Спосіб називається способом *створно-лінійного засічення*. Положення шуканої точки C знаходять за допомогою відкладення проектної відстані l по створу AB за допомогою теодоліту (рис. 1.9, e).

Всі вищевикладені способи знаходження точки C можна використовувати, коли між даними точками і визначеною точкою відстані невеликі та існує між точками хороша видимість. Якщо ці умови не виконуються, необхідно використовувати інші побудови. На рис. 1.10 показано визначення положення точки за висотою.

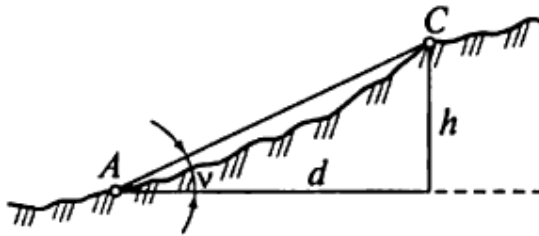


Рис. 1.10. Схема до способу визначення положення точки за висотою

Визначити положення точки C за висотою можна простим способом:

1. Необхідно виміряти перевищення (h) цієї точки над вихідною точкою A .
2. Визначити кут нахилу v в лінії AC до горизонту.
3. Визначити проекцію лінії AC на горизонтальну площину.

Глава 2

ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ

2.1. Кути орієнтування

Для виконання будь-яких геодезичних робіт необхідно вміти визначати положення лінії щодо меридіана, тобто визначати її напрямок щодо меридіана. Як вихідний напрямок для орієнтування можна приймати географічний меридіан (тобто істинний меридіан), магнітний меридіан і вісь абсцис прямокутної системи координат. Як кути, які визначають напрямок ліній, застосовують азимути, румби та дирекційні кути.

Істинний меридіан (географічний) це лінія перетину поверхні земного еліпсоїда площиною, що проходить через Північний та Південний географічні полюси. Усі точки, що лежать одному меридіані, мають однакову географічну довготу.

Географічним азимутом A називають горизонтальний кут, який відраховують по ходу годинникової стрілки між північним напрямком меридіана і напрямком даної лінії (рис. 2.1).

Азимут змінюється від півночі на схід, південь, захід. Величина азимуту може набувати значень від 0 до 360° . Азимут A , який вимірюють щодо справжнього меридіана, називають істинним азимутом.

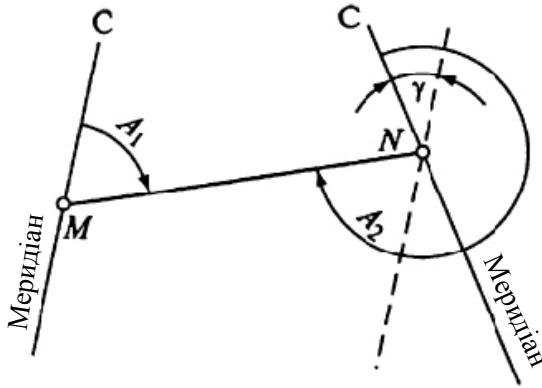


Рис. 2.1. Азимути

На практиці при розрахунках користуються поняттями прямий напрямок лінії та зворотний напрямок лінії. Це залежить від того, який напрямок ми застосуємо за прямиє.

Наприклад, розглянемо напрямок лінії MN від точки M до точки N . Якщо ці напрями вважати прямими, тоді напрям NM вважається зворотним. З вищесказаного можна зробити висновок, що кут A_1 це прямий азимут лінії MN у точці M , а A_2 це зворотний азимут лінії MN у точці N .

Меридіани різних точок не паралельні між собою, так як вони сходяться у точках полюсів. Тому азимут лінії у різних її точках має різні значення.

Азимут зворотний $A_{зв} \neq$ азимуту прямому $A_{пр}$. Він відрізняється на величину зближення меридіанів γ , тобто кут між напрямками двох

меридіанів називають зближенням меридіанів та позначають γ . Існує формула, яка показує зв'язок між прямим та зворотним азимутом. Ця формула випливає із рис. 2.1

$$A_2 = A_1 + 180^\circ + \gamma. \quad (2.1)$$

На місцевості справжні азимути можна визначити за допомогою спеціальних астрономічних спостережень або за допомогою спеціального приладу, який називають гіротеодолітом.

У геодезичних розрахунках іноді замість азимутів користуються румбами. Румбом r називають горизонтальний кут між напрямком даної лінії та найближчою частиною меридіана (рис. 2.2).

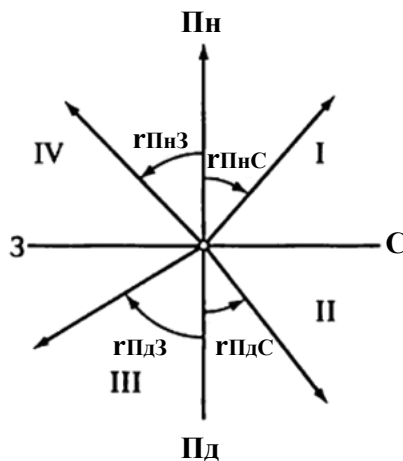


Рис. 2.2. Румби

Назва чвертей відповідає позначення сторін світла: північно-східна чверть (ПнС); південно-східна (ПдС); південно-західна (ПдЗ); північно-західна (ПнЗ). Позначають румб залежно від чверті, де знаходиться ця лінія.

Румби вимірюються у градусах від 0 до 90° . Румби дирекційних кутів обчислюються аналогічно румбам справжніх азимутів, лише відраховуються від північного та південного напрямів вісі абсцис.

Якщо чверть перша (північно-східна), то азимут змінюється від 0 до 90° , а румб дорівнює азимуту A .

Якщо чверть друга (південно-східна), то азимут змінюється від 90° до 180° , а румб дорівнює $180^\circ - A$.

Якщо чверть третя (південно-західна), то азимут змінюється від 180° до 270° , а румб дорівнює $A - 180^\circ$.

Якщо чверть четверта (північно-західна), то азимут змінюється від 270° до 360° , а румб дорівнює $360^\circ - A$.

Дирекційним кутом α називають горизонтальний кут між іскомою лінією і північною частиною осьового меридіана.

Дирекційний кут, аналогічно азимуту, вважається протягом годинної стрілки. Вимірюється від 0° до 360° .

Дирекційні кути ліній у всіх точках зберігають своє значення. Географічний азимут A дорівнює сумі дирекційного кута α та зближення меридіанів γ .

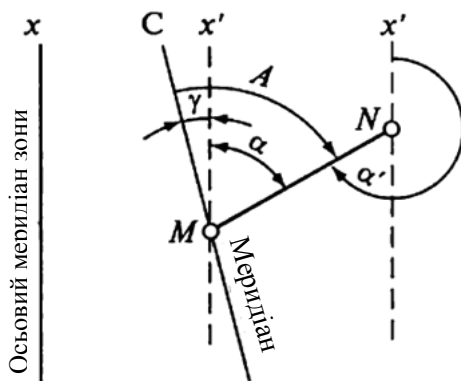


Рис. 2.3. Залежність між дирекційним кутом та справжнім азимутом лінії

Зближення меридіанів γ приймаються зі знаком «+» (тобто позитивні) для точок, які розташовуються на схід від осьового меридіана та зі знаком «-» (тобто негативні) для точок, що знаходяться на захід від нього. Зближення меридіанів можна визначити за формулою

$$\gamma = k \cdot \sin B, \quad (2.2)$$

де k – різниця довгот осьового меридіана і географічного в даній точці;
 B – геодезична широта точки.

Дирекційний кут α заданого напрямку називається прямим, а α' – це кут протилежного напрямку $\alpha' = \alpha + 180^\circ$.

Магнітним меридіаном називається напрямок магнітної вісі вільно підвішеної магнітної стрілки. Магнітним азимутом називається кут між північним напрямом магнітного меридіана та напрямом даної лінії. Магнітний азимут, аналогічно до справжнього азимуту, необхідно вважати за напрямом руху годинникової стрілки від 0 до 360°. На рис. 2.4 показаний магнітний меридіан $N_M S_M$, магнітний азимут лінії BC у точці M та істинний меридіан NS .

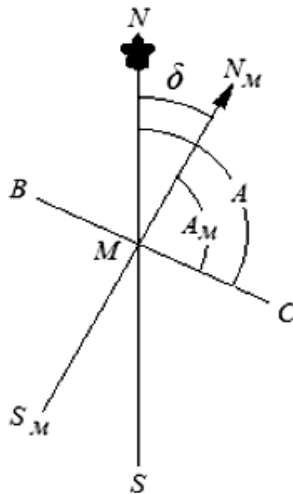


Рис. 2.4. Магнітний меридіан

Географічний полюс не збігається з магнітним, тому напрямок у певній точці магнітного та істинного меридіанів теж не збігається. Горизонтальний кут, що утворюється між цими напрямками, називається відхиленням магнітної стрілки і позначається δ . Якщо північний кінець стрілки відхиляється на схід від географічного меридіана, то ставлять знак «+» і говорять про східне відхилення.

Якщо північний кінець стрілки відхиляється на захід від географічного меридіана, то ставлять знак «-» і говорять про західне відмінування.

Величина і знак магнітного відмінування можуть змінюватися протягом 24 годин. Середня величина відміни магнітної стрілки для певної території на момент зйомки вказується під південною рамкою кожного аркуша топографічної карти. Якщо відомо відхилення магнітної стрілки у певній точці, можна встановити зв'язок між магнітним азимутом лінії та її справжнім азимутом. З рис. 2.4 отримуємо

$$A = A_M + \delta. \quad (2.3)$$

При використанні цієї формули необхідно враховувати знак відмінування.

На рис. 2.5 показана залежність магнітного азимуту та дирекційного кута.

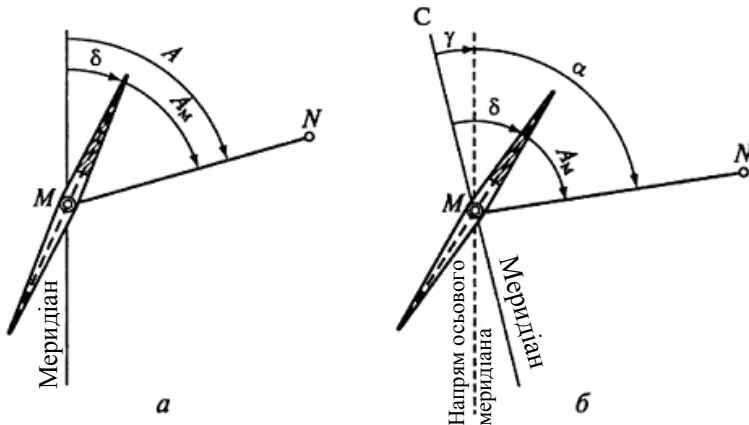


Рис. 2.5. Залежність між магнітним азимутом та дирекційним кутом

Якщо відомо відмінювання магнітної стрілки і зближення меридіана, то за виміряним магнітним азимутом лінії можна обчислити дирекційний кут цієї лінії. З рис. 2.5 отримуємо $\alpha = A_m + (\delta - \gamma)$, де різниця $(\delta - \gamma)$ – це поправка на відмінювання стрілки та зближення меридіанів (враховують при орієнтуванні топографічної карти).

2.2. Прилади, які використовують при орієнтуванні на місцевості

Для вимірювання магнітних азимутів та магнітних румбів застосовують прилади, які називають бусолі (рис. 2.5, а) та компаси (рис. 2.5, б).

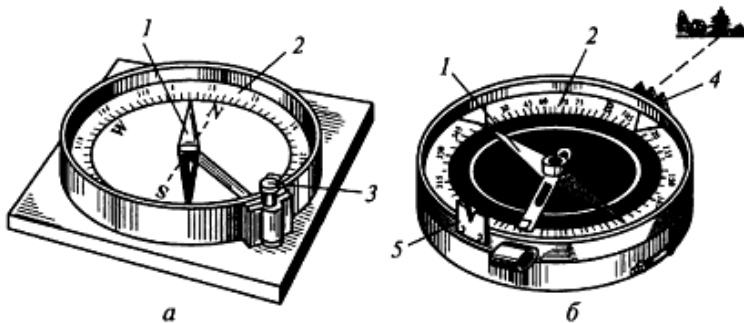


Рис. 2.5. Прилади для орієнтування на території:

а) бусоль; б) компас;

1 – магнітна стрілка; 2 – кільце; 3 – аретир; 4, 5 – діоптри

Основний елемент цих пристроїв – магнітна стрілка. Ця стрілка обертається. Північний кінець стрілки виготовляють темно-синім чи чорним. Під номером 2 показано кільце приладу. Ці кільця можуть бути румбічними або азимутальними. В азимутальному кільці поділи підписують проти напрямку руху годинникової стрілки (тобто від 0 до 360°). У румбічному кільці кінці нульового діаметра відзначають нулями. Якщо прилад знаходиться в неробочому стані, то стрілку піднято на шпилі і притиснуто до захисного скла аретиром.

Бусолі бувають ручні; настільні – вони розміщуються на карти; теодолітні – розміщують на приладі; штативні – розміщують на штативах.

Напрямок азимуту можна визначити приладом, який називають гідroteодоліт. Цей метод називається гіроскопічне орієнтування.

У бусолях і компасах є пристрої для візування, тобто наведення на точку лінії, азимут якої вимірюється. Пристосування для візування бувають предметні та очні. У бусолях лінія, що з'єднує середину діоптрів, постійно збігається з нульовим діаметром кільця. У компасах діоптри кріпляться на кришці, що обертається.

Для того, щоб виміряти азимут лінії за допомогою бусолі, необхідно нульовий діаметр бусолі поєднати з напрямом цієї лінії, а по північній частині магнітної стрілки відрахувати величину азимуту або румба.

Якщо використовувати компас, тоді північний кінець стрілки поєднують з нулем кільця, а лінію діоптрів – з напрямом шуканої лінії. Відраховувати значення азимуту шуканої лінії можна за допомогою покажчика предметного діоптра.

Глава 3

ТОПОГРАФІЧНІ ПЛАНИ І КАРТИ

3.1. Топографічні плани. Масштаби

Для того, щоб говорити про топографічні плани, слід розуміти, що таке ортогональна проекція.

Ортогональною проекцією називають зображення просторового об'єкта на площині за допомогою проєкуючих променів, які розташовані перпендикулярно до площини проєкування. Для розрахунків роблять певне узагальнення, а саме: точки, які нам потрібно проєкувати на поверхню еліпсоїда, проводять променями, які спрямовані по нормалі до поверхні еліпсоїда.

Тепер можна перейти до визначення топографічного плану.

Топографічний план – це зменшене зображення ортогональної проекції частини території. На цій території кривизна рівневої поверхні не враховуються.

Масштаб – це таке дробове число, яке вказує, у скільки разів зменшено зображення місцевості на карті або плані, порівняно з її дійсними розмірами на Землі. Масштаб на картах та планах може бути представлений у *числовому вигляді, іменованому, або графічно*:

– *числовим масштабом* топографічного плану називають дріб, чисельник якого – це довжина лінії на плані, а знаменник – довжина горизонтального прокладання цієї лінії на місцевості.

Горизонтальним прокладанням називають ортогональну проекцію лінії на горизонтальну площину.

Дуже часто числовий масштаб топографічного плану приймають у вигляді дробі, у чисельнику якого ставлять одиницю, а в знаменнику – число, яке показує, у скільки разів зменшено відстані на плані порівняно з горизонтальним на місцевості;

– *іменованний масштаб* – такий масштаб, коли біля кожного числа записана назва одиниці вимірювання. Наприклад: в 1 см – 2 км;

– *графічні мірила* бувають лінійними та поперечними:

Лінійний масштаб – відрізок, поділений на рівні частини, на якому біля кожної поділки вказане число, яке показує довжину відповідного відрізка в натурі. Найчастіше застосовують для вимірювання на плані довжини відрізка. На прямій лінії обирають відрізок, який називають основою масштабу. Потім визначають, яка кількість основ масштабу знаходиться в шуканій лінії. Основу масштабу приймають рівною 1; 2; 2,5 см. Так, наприклад, нам необхідно побудувати лінійний масштаб на відрізку CD (рис. 3.1).

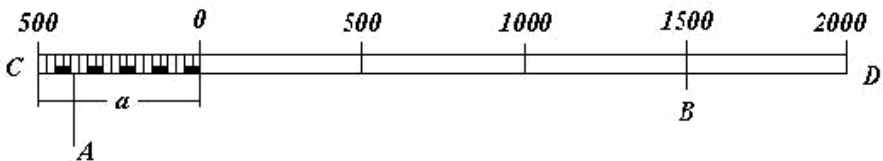


Рис. 3.1. Лінійний масштаб

Відкладаємо на цьому відрізку основу масштабу ($a = 2$ см). Потім праворуч відкладаємо ще кілька основ масштабу. Після цього

необхідно підписати лінійний масштаб. Він базується на чисельному масштабі карти, для якої він побудований. Наприклад, якщо масштаб карти 1:25000, то тоді основа масштабу дорівнюватиме 2 см, а на місцевості це буде відповідати відрізку довжиною 500 м. На кінці першого відрізка встановлюється нуль. Для більш точного визначення розмірів за лінійним масштабом перший відрізок поділяють на ще більш дрібні частини.

Якщо вимірювання необхідно проводити більш точно, застосовують *поперечний масштаб* – це номограма (спеціальне креслення, яким зображується функціональна залежність між величинами), збудована за принципом пропорційності відрізків паралельних прямих, які перетинають сторони кута (рис. 3.2).

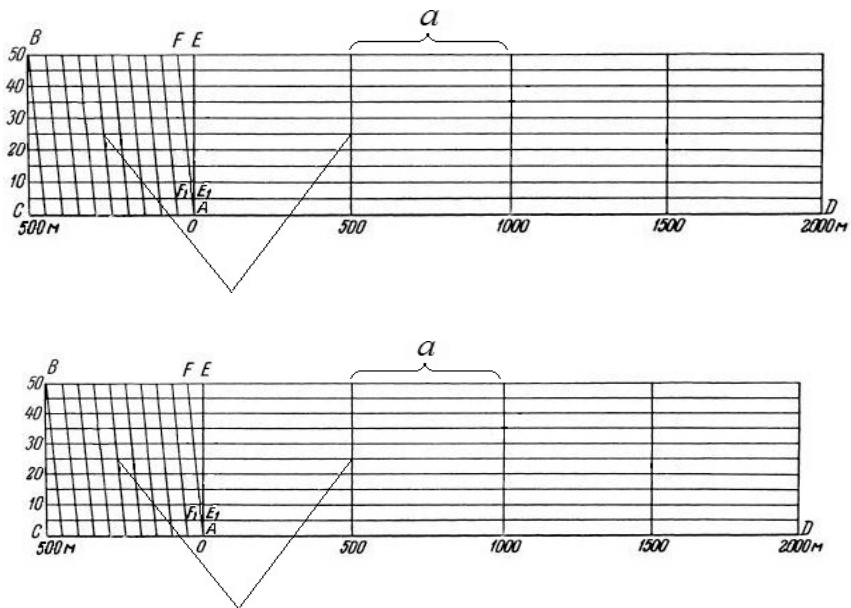


Рис. 3.2. Поперечний масштаб

Перший етап аналогічний побудові лінійного масштабу, тобто на відрізка CD відкладають основу масштабу $a = 2$ см. Потім у всіх точках будують перпендикуляри до відрізка CD . Відрізок CB розбивають на десять однакових відрізків. З кожної точки відрізка CB проводять лінії, паралельні відрізка CD . Аналогічні дії проводимо з відрізком CA . Після цього точку A з'єднуємо з точкою F . З усіх точок відрізка AC проводимо лінії паралельні відрізка AF , тобто з'єднуємо першу точку відрізка CA із другою точкою відрізка EB . Ці лінії називаються трансверселями. Найменша поділка поперечного масштабу – це відрізок F_1E_1 . Визначимо його величину. З подібності трикутників FAE та F_1AE_1 знаходимо $F_1E_1 = 0,1 \cdot FE$. Приймаємо чисельний масштаб карти як і в попередньому випадку 1:25000, тоді відрізок BE дорівнює 500 м, а довжина відрізка EF (згідно масштабу) становить 50 м. Найменша поділка масштабу F_1E_1 становить 5 м.

3.2. Топографічні карти

Картою називається зменшене узагальнене зображення великих ділянок земної поверхні на площині, побудоване в певному масштабі із застосуванням системи умовних знаків. Карти дають уявлення про місцевість.

Для того, щоб виготовити карту, потрібно перейти від геодезичних координат об'єктів до плоских координат. Ці координати називають *картографічною проекцією*. Раніше ми вже говорили, що невелика поверхня землі, відображена на площині, називається планом.

Існує багато видів карт, тому класифікація карт може бути різною: за масштабом, за змістом, за правовим статусом, за призначенням, за охопленням території, за характером і ступенем практичної направленості, за прийомами досліджень, за ступенем об'єктивності та достовірності змісту. Детальніше розглянемо класифікації карт за показниками, які використовуються найчастіше, а саме:

за масштабом – оглядові (масштаб більший ніж 1:1 000 000), оглядово-топографічні (масштаб від 1:1 000 000 до 1:500 000), дрібномасштабні (масштаб від 1:200 000 до 1:100 000), середньомасштабні (масштаб від 1:50 000 до 1:25 000), великомасштабні (масштаб від 1:10 000 до 1:5 000) та топографічні плани (масштаб від 1:2 000 до 1:5 000). Масштаб карти залежить від призначення карти. Чим більше масштаб, тим точніше і докладніше зображені деталі місцевості;

за змістом – загальногеографічні (тобто карти, які відображають Землю в цілому – рельєф місцевості, гідрографію, дороги, населені пункти і так далі) та тематичні (тобто карти, які відображають розміщення окремих елементів місцевості, взаємозв'язки і динаміку природних або суспільних явищ, населення, економіку, соціальну сферу, та, як правило, їхній зміст всебічно розкриває певну тему);

за правовим статусом – міжнародні (мають наддержавний правовий статус, створюються згідно з вимогами відповідних міжнародних організацій, уповноважених на те державами-членами), національні (створюються відповідними уповноваженими картографічними органами окремих держав і є офіційними документами для різних органів державної влади) та відомчі

(створюються окремими органами державної влади, громадськими організаціями, науково-виробничими установами заради використання з різноманітними цілями в підвідомчих закладах);

за *призначенням* – науково-довідкові (призначені для виконання за ними наукових досліджень і отримання максимально повної інформації), культурно-освітні (призначені для популяризації знань, ідей), технічні (відображають об'єкти та умови, необхідні для вирішення якихось технічних завдань), навчальні (використовуються як наочність для вивчення географії, історії, геології та інших дисциплін), туристичні та інші.

3.3. Умовні знаки планів і карт

Кarti і плани повинні бути зручними для користування. Щоб забезпечити зручне користування карт і планів застосовують систему топографічних умовних знаків. Це означає, що кожен предмет, зображений на місцевості, має свій знак, тобто своє графічне зображення. З таких знаків створюється карта місцевості (рис. 3.3).

Звідси випливає, що всі елементи на місцевості зображуються умовними знаками на карті. Це називається *картографічним зображенням*. Всі умовні знаки можна класифікувати на чотири групи:

- 1) масштабні;
- 2) позамасштабні;
- 3) лінійні;
- 4) пояснювальні.

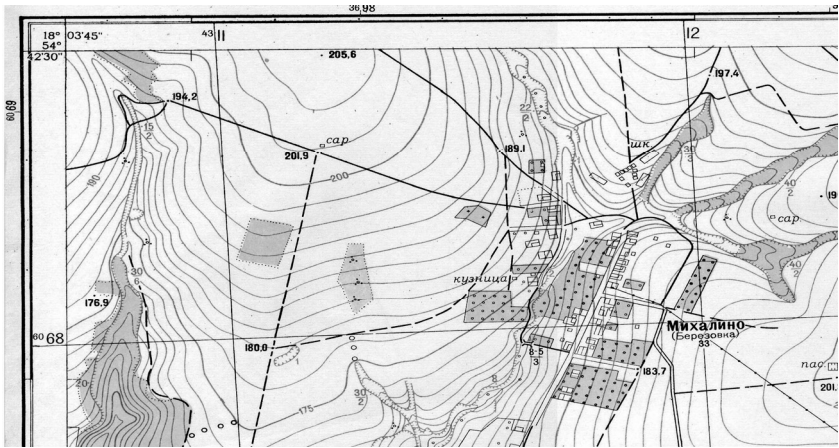


Рис. 3.3. Карта місцевості

Якщо умовні знаки виражені в масштабі карти, то вони називаються *масштабними*. Ці знаки мають чіткі обриси предметів, які вони зображують. Вони схожі на оригінал, їх контури позначають точковим пунктиром або тонкою суцільною лінією. Площа всередині знака замальовується спеціальними позначеннями.

Якщо умовні знаки на картах зображуються не за масштабом карти, то вони називаються *позамасштабними*. За цими знаками можна визначити розміри предмета. Вони показують тільки його місцезрештування.

Знаки, що показують об'єкти, які мають велику довжину і відносно малу ширину, називають *лінійними*. Поздовжня вісь умовного знака на карті показує розташування об'єкта в натурі.

Для більш детального опису об'єкта на картах використовують *пояснювальні* умовні знаки. Ці знаки можуть надавати інформацію

про ширину дороги, висоту моста, швидкість течії річки, породу лісу і так далі. Кожен напис на карті проводиться певним шрифтом.

Приклади умовних знаків надані на рис. 3.4.

Масштабні	Позамасштабні	Лінійні
   	   	   
Пояснювальні		
  	<p>Характеристика деревостою (22 — висота дерев, 0,24 — середня товщина стовбурів, 6 — середня відстань між деревами в метрах)</p> <p>Броди (0,5 — глибина, 12 — довжина в метрах, П — характер ґрунту дна, 0,1 — швидкість течії в м/с)</p> <p>Характеристика річок та каналів (137 — ширина, 6,5 — глибина в метрах, П — характер ґрунту дна)</p>	

Рис. 3.4. Приклади умовних знаків

Топографічні карти виготовляють кольоровими. Річки та озера фарбують в блакитний колір, зелені насадження – в зелений колір, рельєф – в коричневий колір. Таким чином кольори допомагають читати карту.

3.4. Рельєф місцевості на топографічних картах

Рельєф місцевості – це сукупність нерівностей земної поверхні. Зобразити рельєф Землі – дуже складне завдання. Річ тому, що рельєф

має просторову форму. А один з основних елементів топографічних карт- це рельєф місцевості. Будь-яке проектування будівель і споруд неможливо виконати без його урахування.

Існує 5 основних форм опису рельєфу місцевості:

1) *гора* – це піднесення місцевості. Вона має форму конуса. Найвища точка цього конуса називається *вершиною*, а найнижчі, що утворюють лінію – *основою* гори. Деякі гори на схилах мають майданчики. Ці майданчики називаються *уступом*;

2) *западина* – це пониження місцевості. Вона може мати різні форми, але всі ці форми мають замкнуті поглиблення. Найнижча точка западини називається *дном*. Найвищі точки, які знаходяться на рівні поверхні, можна з'єднати в лінію, що буде називатися *бровкою*;

3) *сідловина* – це зниження рельєфу між двома сусідніми горами;

4) *хребет* – це витягнута височина, що повільно знижується в одному напрямку. Хребет має певні лінії – лінії вододілу і дві лінії підшови.

Лінія вододілу – лінія на земній поверхні, що розділяє водозбори (басейни) двох або декількох річок, озер, морів або океанів, направляючи стік атмосферних опадів по двох протилежних схилах.

Лінія підшови – лінія злиття бокових скатів із оточуючою місцевістю;

5) *лощина* – це витягнута форма рельєфу, яка з одного боку поступово знижується і поглиблюється нижче рельєфу місцевості. Дно цього витягнутого зниження називається *тальвегом*. Якщо давати більш широке визначення терміну «тальвег», то можна сказати, що тальвег – це лінія, що з'єднує найнижчі (найглибші) точки

дна річки, долини, яру, балки та інших витягнутих форм рельєфу. Тальвег майже завжди є лінією найшвидшої течії в будь-якій річці. На плані він зазвичай являє собою відносно пряму або звивисту лінію.

На рис. 3.5 можна наочно побачити типові форми рельєфу.



Рис. 3.5. Типові форми рельєфу

Рельєф місцевості на топографічних картах і планах зображують за допомогою горизонталей і відміток точок місцевості. Для того, щоб зрозуміти, що таке горизонталь, можна уявити собі розріз поверхні Землі у вигляді площини, яка розташована паралельно рівневій поверхні.

Рівнева поверхня – поверхня, всюди перпендикулярна прямовисним лініям (лініям, співпадаючим із напрямком дії сили тяжіння у даній точці). В результаті цього на поверхні Землі утворюється замкнута крива, всі точки якої мають однакову висоту над рівнем моря. Отже, тепер ми можемо дати визначення горизонталі.

Горизонталь – це крива, всі точки якої мають однакову висоту.

На рис. 3.6 розглянемо зображення гори.

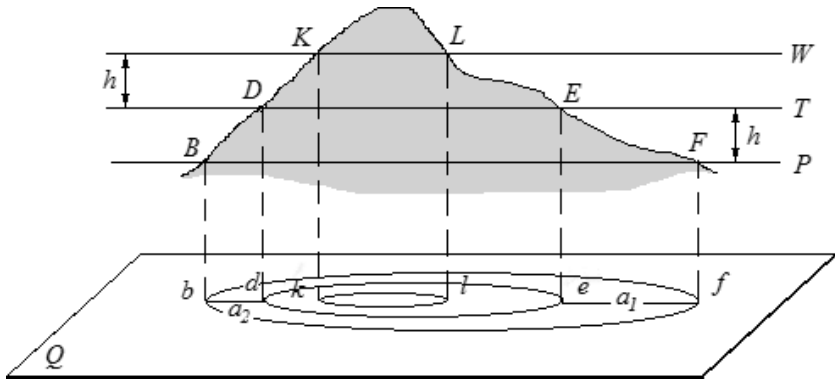


Рис. 3.6. Зображення гори

Нам необхідно спроектувати цю гору на горизонтальній поверхні (топографічній карті). Для цього ми цю гору «розрізаємо» рівневими поверхнями P , T , W . Відстань між рівневими поверхнями однакова та дорівнює h . Відстань h , яку ми обираємо між рівневими поверхнями називається *висотою перерізу рельєфу*. На горизонтальній площині ми отримали проєкції перерізу рельєфу нашими рівневими поверхнями. Порівнюючи проєкції на площину можна дати характеристику шуканої гори. Наприклад, скат гори з правого боку має меншу крутизну ніж скат гори з лівого боку. Якщо знайти відстань між проєкціями $ef = a_1$ і $bd = a_2$ та порівняти ці значення, то можна сказати, що відстань a_2 більше, ніж відстань a_1 . Це говорить про те, що при зменшенні крутизни ската відстань між горизонталями площини збільшується.

Говорячи про горизонталі ще треба зазначити, що горизонталі не можуть перетинатися між собою. Горизонталіями зображуються як гори, так і улоговини. А для того, щоб на карті можна було розрізнити форми рельєфу, використовують бергштрихи.

Бергштрихи – це короткі рисочки, які проводять перпендикулярно горизонталіям. Бергштрихи вказують на напрямок ската (рис. 3.7).

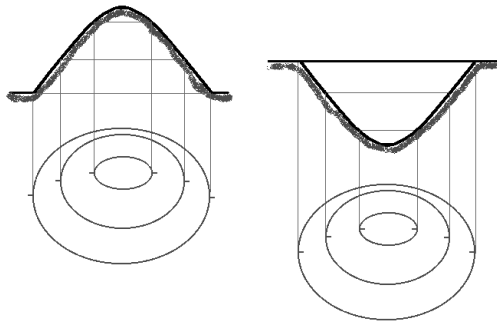


Рис. 3.7. Бергштрихи

Деякі горизонталі на картах підписують. Ці числа наносять так, щоб верх їх був спрямовано в бік підвищення ската. На картах також необхідно підписати характерні точки місцевості.

3.5. Вимірювання площ по топографічних картах і планах

Визначення площі по топографічних картах і планах можна робити трьома методами:

- 1) графічним методом;

2) аналітичним методом;

3) механічним методом.

Розглянемо кожен метод.

Графічний метод.

Цей метод включає в себе розбивку наданого участка, що знаходиться на плані, на прості фігури, тобто фігури, у яких легко обчислюються площі. Потім слід підсумувати ці площі.

Аналітичний спосіб

Площа фігури визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}). \quad (3.1)$$

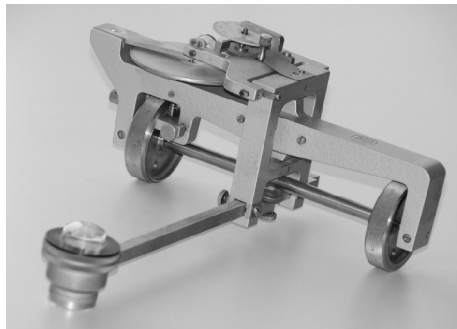
Механічний спосіб

Вимірювання площ роблять спеціальним приладом, який називається планіметром – прилад для наближеного визначення площі плоских фігур неправильної форми. Є два типи планіметрів: полярний планіметр (рис. 3.8, а) та лінійний планіметр (рис. 3.8, б). Найчастіше застосовується полярний планіметр.

Принцип дії такого приладу заснований на вимірюванні довжин дуг, описуваних на поверхні спеціальним роликком із дуже малою прямою контакту. Ролик закріплений на одному із шарнірно з'єднаних важелів найпростішого пантографічного механізму.



а)



б)

Рис. 3.8. Полярний та лінійний планіметри

Відоме положення ролика щодо ланок механізму дозволяє при обході вимірюваного контуру вимірювальним штифтом пантографа – за рахунок прокатування роликком в кожен конкретний момент часу по дузі зі строго певним радіусом – апроксимувати вимірюваний контур прямокутником із відомою довжиною сторін і площею, рівною площі вимірюваного контуру.

Глава 4

МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІР

4.1. Загальні поняття про виміри

Одна з основних частин геодезичних робіт, це різні виміри земної поверхні та об'єктів, що на ній знаходяться. Геодезичні роботи виконують для виготовлення топографічних карт і планів, визначення координат різних точок, знаходження висот і глибин точок земної поверхні тощо.

Що таке виміряти? Це означає, що ми порівнюємо вимірювану величину з ідеалом, прийнятим за одиницю міри. Україна, як і багато країн світу, прийняла метричну систему мір.

Метрична система – це загальні назви міжнародної десяткової системи одиниць, яка ґрунтується на використанні метра та кілограма.

4.2. Похибки та їх види

Похибки геодезичних вимірів (помилка результату геодезичних вимірів) – це відхилення результату геодезичних вимірів від дійсного значення геодезичної величини, що вимірюється.

Вимірювання у геодезії можна розділити на два етапи. Перший етап – кількісний. На цьому етапі ми отримуємо числове значення вимірюваної величини.

Другий етап – якісний. На цьому етапі ми визначаємо точність вимірюваної величини. Будь-які виміри, навіть якщо вони виконані кілька разів, мають похибку. З цього можна зробити висновок, що отримані результати геодезичних вимірів є не точним значенням вимірюваної величини. Точність вимірюваного значення характеризується похибкою. Випадкову похибку Δ можна записати у вигляді формули:

$$\Delta = l - \chi, \quad (4.1)$$

де Δ – похибка виміру;

l – результат виміру цієї величини;

χ – точне значення.

Похибка вимірів складається із суми багатьох факторів. Кожен фактор породжує свою похибку. Така похибка називається елементарною. З цього можна зробити висновок, що похибка вимірювань це сума всіх елементарних похибок.

Похибки вимірювань можна розділити за характером їхньої дії та за джерелом походження.

За характером дії похибки можна поділити ще на три види: *грубі, систематичні та випадкові.*

Грубими похибками називають такі похибки, величина яких більша за деяку межу, встановлену для даних вимірювань. Грубі похибки найчастіше виникають через неуважність людини, яка ці

виміри робить. Будь-які вимірювання необхідно проводити кілька разів. У процесі багаторазових вимірів можна визначити грубу похибку. Результати із грубою похибкою у геодезичних розрахунках брати не можна.

Систематичні похибки можуть повторюватися у процесі багаторазових вимірів. Ці похибки одноманітні. Наприклад, систематичні похибки можуть оброблятися під час роботи з мірним приладом, так як людина, що виробляє цю роботу неточно визначила довжину по цьому приладу.

Вплив таких похибок можна зменшити, якщо ретельніше перевіряти вимірювальні прилади, уважно підбирати методику вимірювань та вимірювальні прилади, вводити поправки в результати вимірювань.

Випадкові похибки – це такі похибки, які залишаються невідомими. Їхній вплив на кожен окремий результат виміру невідомий. Цю похибку встановити дуже важко. Вивчаючи багаторічний досвід вимірів, можна зробити висновок у тому, що випадкові похибки підпорядковуються певним імовірнісним закономірностям.

За джерелом походження похибки поділяють на *похибки приладів, зовнішні та особисті*.

Похибка приладів залежить від самих приладів. Прилади, що застосовуються в геодезії, недосконалі. Наприклад, якщо ми теодолітом вимірюємо кут, то похибка може статися через неточне приведення у вертикальне положення осі його обертання.

Причинами *зовнішніх похибок* вважається вплив навколишнього середовища, у якому виробляють виміри. Наприклад: серпанок, туман, опади.

Особисті похибки залежать від особливостей спостерігача (наприклад, у людей, які вимірюють, різна гострота зору). З усього вищесказаного можна дійти невтішного висновку, що у проведенні вимірів з необхідної точністю і оцінки результатів виконаних вимірів ґрунтуються на властивості випадкових похибок.

4.3. Властивості випадкових похибок

Аналіз експериментальних даних дозволив зробити висновок про властивості випадкових похибок:

1. *Властивість симетрії щодо нуля.* Це означає, що позитивні і негативні похибки, які по абсолютній величині, рівноймовірні, тобто їх виникнення рівноможливе.

2. *Властивість компенсації.* Це означає, що середнє арифметичне з випадкових похибок вимірів однієї й тієї величини при необмеженому зростанні числа вимірів прагне нулю. У числовому варіанті цю властивість можна записати в такому вигляді:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0, \quad (4.2)$$

де $[\Delta]$ – сума випадкових похибок, отримана в результаті вимірювань;

n – число вимірів.

3. *Властивість розсіювання.* Для деяких випадкових похибок сума квадратів, поділена на їх кількість, при необмеженому збільшенні вимірів прагне до певної межі σ^2 , величина якої залежить від умов вимірів.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta^2]}{n} = \sigma^2, \quad (4.3)$$

де σ^2 – значення середньої квадратичної похибки.

4. *Властивість обмеженості.* При проведенні виміру в певних умовах випадкові похибки за абсолютною величиною не можуть перевершити певної межі. Таку межу називають граничною похибкою. Значення граничної похибки залежить від умови виміру.

5. *Властивість пропорційності.* Це означає, що з будь-яких умов вимірів ставлення граничної похибки до значення середньої квадратичної похибки залишається незмінною.

6. *Властивість густини.* Чим більша абсолютна величина похибки, тим рідше вона зустрічається і, навпаки, чим менше за модулем випадкова похибка, тим вона частіше зустрічається.

При кінцевому числі вимірювань в арифметичній середині зберігається залишкова випадкова похибка, але від точного значення вимірюваної величини вона відрізняється менше ніж будь-який результат l безпосереднього вимірювання, тобто

$$x = \frac{[l]}{n}.$$

З цього можна дійти невтішного висновку, що навіть за кількох вимірів арифметичну середину можна прийняти за остаточне значення вимірюваної величини.

4.4. Точність вимірів

Для того щоб використовувати результати вимірювань, необхідно знати, з якою точністю вони були зроблені. Точність вимірів вказує на ступінь близькості цього виміру до справжнього значення вимірюваної величини.

Для визначення точності виміру Гаус ввів поняття середня квадратична похибка m . *Середня квадратична похибка* даного ряду вимірів фізичної величини дорівнює кореню квадратному з дробу, в чисельнику якого сума квадратів похибок вимірів, а знаменнику – кількість вимірів

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}. \quad (4.4)$$

Цю формулу можна застосовувати для тих випадків, коли відомо справжнє значення вимірюваної величини. У практиці ці випадки трапляються дуже рідко. Якщо справжнє значення вимірюваної величини невідоме, можна використовувати формулу Бесселя. Ця формула ґрунтується на такому припущенні, що навіть якщо невідомо справжнє значення вимірюваної величини, можна з вимірів отримати найдостовірніший результат – *арифметичну середину*.

За формулою Бесселя можна вирахувати середню квадратичну похибку за допомогою арифметичної середини. У чисельнику

формули Бесселя знаходиться сума відхилень окремих вимірів від арифметичної середини

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}. \quad (4.5)$$

Точність арифметичної середини завжди вище точності окремого виміру. Тому середню квадратичну похибку можна визначити за формулою

$$M = m/\sqrt{n}, \quad (4.6)$$

де m – середня квадратична похибка одного виміру, яка може бути обчислена за формулою (4.4) або (4.5).

Для більш чіткого отримання значення на практиці необхідну величину вимірюють двічі. Це означає, що роблять виміри у прямому та зворотному напрямку.

У п. 4.2 ми говорили про властивості випадкових похибок, про те, що за цих умов вимірювань існують допустимі межі, які назвали граничною похибкою. У будівельних нормах таку граничну похибку називають відхиленням, що допускається.

Точність виміру можна оцінювати відносною похибкою. Відносна похибка дорівнює відношенню похибки виміру до значення вимірюваної величини. Вона записується у відсотках або дробом, у якому чисельник дорівнює одиниці.

4.5. Оцінка точності результатів вимірів

Для оцінки точності результатів багаторазових вимірювань однієї й тієї ж величини можна скласти план послідовних дій:

1. Необхідно знайти найточніше для даних умов значення вимірюваної величини. Для цього можна використати формулу арифметичної середини

$$x = \frac{[L]}{n}. \quad (4.7)$$

2. Обчислюємо відхилення кожного значення вимірюваної величини від значення арифметичної середини.

3. Обчислюємо середню квадратичну похибку одного виміру. Для цього користуємося формулою Бесселя.

4. Обчислюємо середню квадратичну похибку арифметичної середини за формулою (4.6).

5. Якщо ми вимірюємо лінійну величину, то нам необхідно підрахувати відносну середню квадратичну похибку кожного виміру та арифметичної середини.

Розділ 2

ГЕОДЕЗИЧНІ ВИМІРИ

Глава 5

ЛІНІЙНІ ВИМІРИ

5.1. Загальні відомості про лінійні виміри

Одна з найпоширеніших завдань у геодезії – це вимірювання ліній на місцевості. Лінії необхідно вимірювати не тільки на горизонтальній площині, а й на вертикальній та похилій.

Для таких вимірювань можна використовувати металеві та дерев'яні метри, рулетки, землемірні стрічки, спеціальні дроти. Для цих цілей так само існують електронні та нитяні далекоміри.

Метри – це найпростіші конструкції. Їх часто використовують для вимірювань. Необхідно пам'ятати, що перед виміром необхідно перевірити наявність усіх ланок.

Рулетки. Вони бувають сталеві та тасьомкові. Їх випускають довжиною 1, 2, 5, 10, 30, 50 та 100 м, шириною від 10 до 12 мм, а завтовшки від 0,15 до 0,30 мм (рис. 5.1).

На рулетці зображені поділки через 1 мм у всій довжині. Ці розподіли називають штрихами. Біля кожного дециметрового поділу пишуть цифри. Для того щоб знайти відстань між двома точками, необхідно до першої точки прикласти рулетку з нульовою позначкою.

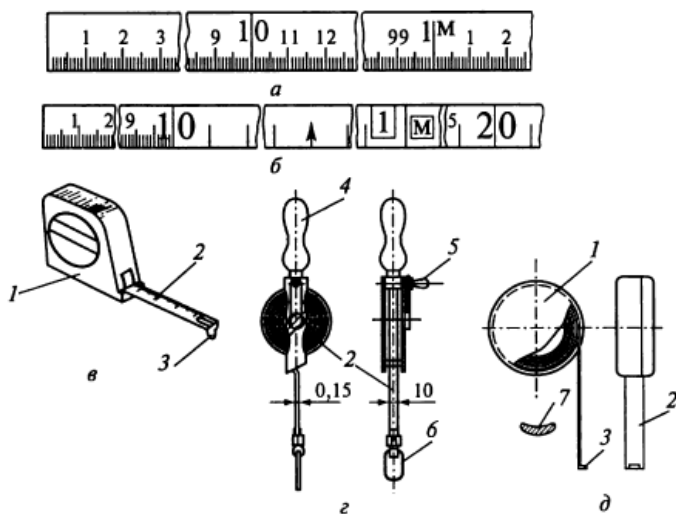


Рис. 5.1. Рулетки: *а, б* – види поділів; *в* – кишенькова, що автоматично змотується; *г* – на вилці; *д* – у футлярі;

- 1 – футляр; 2 – полотно; 3 – Г-подібні закінчення для фіксації;
4, 5 – ручки; 6 – кільце; 7 – жолобковий вид перерізу

Позначка, яка співпадає з другою точкою і буде шукане значення. Якщо друга точка не потрапляє на штрих, а лежить десь між штрихами, необхідно відстань між штрихами візуально поділити на 10 частин і «на око» оцінити відстань до найближчого штриха. Якщо користуватися рулеткою з міліметровими поділками, то відлік можна робити до 0,1 мм, а у рулетки з сантиметровими поділками – до 1 мм. Сталеві рулетки випускають у футлярі з полотном, намотаним на хрестовину. Якщо потрібно виміряти короткі відрізки, можна використовувати металеві рулетки зігнутими по ширині.

У вимірах можна використовувати довгомірні рулетки типу РХ (на хрестовині) та РВ (на вилці). Їх зручно застосовувати, коли необхідно виміряти великі відстані. З цими рулетками часто використовують прилад для натягу *динамометр*.

Тасьомочні рулетки виготовляють із щільного полотна з мідними прожилками. Полотно рулетки покрите фарбою, на якій проставлені поділки через 1 см. Тасьомочні рулетки використовують, коли немає необхідності виконувати точні вимірювання.

Стрічка землемірна (СЗ) виготовляється із сталевієї смуги. Її довжина може бути 20, 24 30 та 50 м ширина від 10 до 15 мм, товщина 0,5 мм (рис. 5.2).

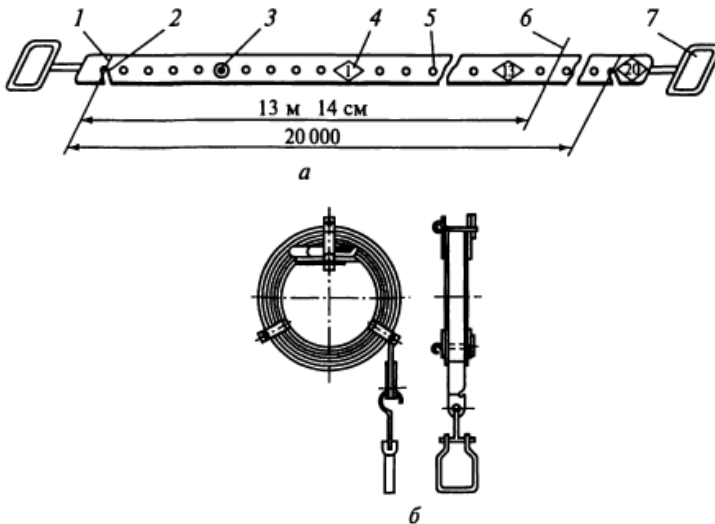


Рис. 5.2. Стрічка землемірна:

а – при вимірі; *б* – на верстаті; 1 – штрих; 2 – виріз; 3 – заклепка;
4 – пластина; 5 – отвір; 6 – лінія, до якої виконано вимір; 7 – ручка

З двох сторін на кінцях стрічки нанесено по одному штриху. Відстань між цими штрихами вважають довжиною стрічки. Біля штрихів зроблено вирізи, в які вставляються шпильки. Це допомагає фіксувати довжини вимірюваних відрізків. Наприкінці стрічки кріпиться ручка. Поділу на стрічці зображені через 1; 0,5 та 0,1 м. Позначення на стрічці зображені з двох сторін. Для того, щоб унеможливити помилки в процесі користування стрічкою, з одного боку стрічки цифри зростають зліва направо, а з іншого боку стрічки зліва на право цифри зменшуються.

На стрічці мідними пластинами відзначені метри, півметрові поділки – заклепками, дециметрові поділки – отворами. Дрібніших поділів не відзначають. В цьому випадку довжина вимірюється з точністю до сотих часток метра за допомогою розподілу дециметрових частин (відстань між отворами) «на око».

Землемірна стрічка шкалова (ЗСШ) на кінцях шкали має міліметрові поділки. Довжина відрізка на кінцях шкали з міліметровими розподілами дорівнює 10 см. Довжина стрічки – це довжина між нулями штрихових шкал. До стрічки землемірної (СЗ) та до землемірної стрічки шкалової (ЗСШ) додаються набори шпильок. Шпилька – це металевий стрижень. З одного боку шпилька закінчується кільцем – ручкою, з іншого – шпилька має загострений кінець. Для того, щоб було зручно носити шпильки під час вимірювальних робіт, їх надягають на дротяне кільце (рис. 5.3).

Для точніших вимірювань використовують спеціальні інварні дроти. Інварний матеріал – це метал, у якому міститься залізо, нікель, вуглець, марганець. Цей сплав має невеликий коефіцієнт лінійного розширення в залежності від температури, дуже твердий і пружний.

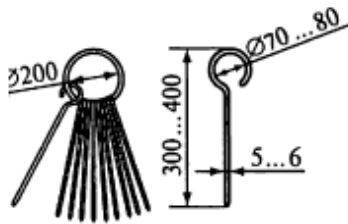


Рис. 5.3. Набір шпильок

На кінцях інварного дроту знаходяться спеціальні шкали – лінійки з розподілу 1 мм. Решту дроту не маркують. Таким дротом вимірюють відстань кратну 24 м (відстань 24 м, це відстань між штрихами інварного дроту). Якщо відстань не кратна 24 м, можна застосувати інварну рулетку.

Для вимірювання відстані можна також застосовувати:

а) *довгоміри* – виміри виробляють аналогічно вимірам за допомогою дроту;

б) *нутроміри* – складаються з елементів: вимірювальних частин та індикаторних головок із годинниковими циферблатами;

в) *катетометри* – прилади, які вимірюють маленькі вертикальні відстані. У цих приладів дуже висока точність вимірів;

г) *вимірювальні мікроскопи*.

5.2. Компарування

Компарування – це процес порівняння мірних приладів із стандартами. Компарування виробляють до початку роботи із мірними приладами. За зразки можна використовувати або відрізки ліній на території, або в лабораторії. Довжини цих відрізків ліній мають бути відомі з високою точністю. Довжину стрічки чи рулетки можна визначити рівнянням. Це рівняння у загальному вигляді записується як:

$$l = l_0 + \Delta l_k + \Delta l_t, \quad (5.1)$$

де l_0 – номінальна довжина стрічки за нормальної температури ($t = +20^\circ\text{C}$);

Δl_k – поправка, визначена компаруванням;

Δl_t – виправлення через температуру.

Наприклад, рівняння мірного приладу має вигляд при $t = 20^\circ\text{C}$. Це означає, що наш мірний прилад має довжину 24 м і при температурі 20°C має виправлення до кінцевого штриха $+2,4$ мм. На виробництві дуже часто мірні прилади еталонують на польових компараторах.

Компаратори найчастіше це вирівняні ділянки місцевості із твердим покриттям. На кінцях цих ділянок встановлюють спеціальні знаки із мітками. Відстань між цими знаками відома з високою точністю.

Для компарування в польових умовах крім довгомірних рулеток і стрічок необхідно використовувати компаратори, довжини яких не менше 120 м. Компаратори використовують таку довжину, щоб мірний прилад можна було укласти на ньому кілька разів. Мірний прилад укладають у прямому та зворотному напрямках.

Виправлення можна визначити за формулою:

$$\Delta l_k = (l_0 - l_\varepsilon) / n, \quad (5.2)$$

де l_0 – номінальна довжина стрічки за нормальної температури ($t = +20^\circ\text{C}$);

l_ε – виміряна довжина компаратора;

n – число укладання мірного приладу.

Розглянемо процес порівняння рулетки із еталоном. Цей процес називається еталонування. Рулетку необхідно розмотати та покласти вздовж компаратора. Рулетці необхідно надати натяг 100 Н. Штрихи рулетки необхідно поєднати з мітками знаків. Одна людина з бригади вимірює температуру повітря та за його командою інші члени бригади одночасно беруть відліки за шкалою рулетки з обох кінців. Усі результати вимірювань записують до журналу. Такі виміри роблять кілька разів. При кожному новому вимірі рулетку необхідно зрушувати на 2-3 см. Потім роблять розрахунки визначення поправки в довжину рулетки.

Насправді дуже часто поставлено завдання відкладати меншу довжину, ніж довжина рулетки. При такому варіанті необхідно проводити перевірку метрових та дециметрових поділів. Таке

компарування можна виконувати контрольною лінійкою. На такій лінійці мінімальні відрізки наносяться через 0,2 мм. Показання можна прочитати через мікроскоп чи збільшувальне скло.

Для того, щоб виміряти лінію, необхідно мірний прилад (це може бути стрічка або рулетка) послідовно відкладати між початковою та кінцевою точками лінії вимірювання.

Спочатку необхідно підготувати до вимірювання стулок лінії та вимірювальні прилади. Для того, щоб підготувати стулок лінії до вимірювання, необхідно кінці лінії зафіксувати. Фіксацію можна зробити кілками або штирями. Потім необхідно очистити смуги шириною близько 1,5 м від різноманітних предметів. У місцях перегинів місцевості забивають кілки або штирі. На вимірюваній лінії встановлюють віхи.

Віхи закріплюють з кроком 100 м. Вони можуть бути дерев'яні або металеві з яскравим червоно-білим забарвленням. Віхи можна встановлювати «на око» або за допомогою оптичної зорової труби. Метод установки віх «на око» менш точний, ніж метод установки віх за допомогою оптичної зорової труби.

Вішання «на око» (рис. 5.4) необхідно робити двома прийомами «від себе» та «на себе».

Коли проводиться вішення «від себе» мірник стає на вихідній точці, а на останній точці другий мірник забиває віху, висота якої повинна бути така, щоб вона була видна з вихідної точки. Потім другий мірник по створу починає встановлювати віхи. Установка віх походить від початкової точки до кінцевої. Якщо відбулося зміщення віхи, що встановлюється в створ, то перший мірник піднімає руку і робота переробляється.

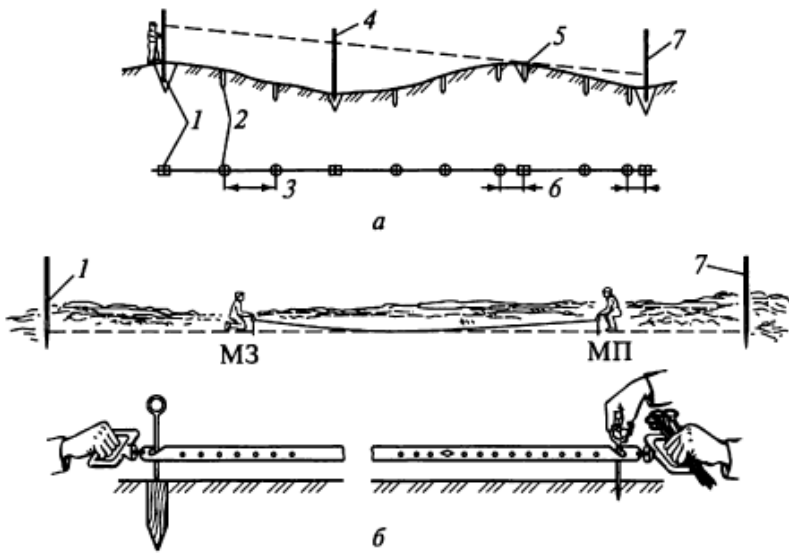


Рис. 5.4. Вішення лінії:

a – профіль та план; *б* – вимірювання лінії;

1, 4, 7 – віхи; 2, 5 – шпильки; 3, 6 – виміри

Коли проводиться вішення «на себе», то мірник встановлює віху і укладає мірну стрічку в створі двох інших віх. Ці віхи розташовуються перед мірником. Вимірювання лінії виробляють також дві людини. Перший мірник простягає передній кінець стрічки і за вказівкою другої людини прокладає цю стрічку в площину вимірюваної лінії. Потім друга людина поєднує початковий штрих заднього кінця стрічки з початком лінії. Він встановлює у виріз стрічки шпильку. Після цього перша людина натягує стрічку і теж вставляє шпильку в передній виріз стрічки. Потім друга людина

прибирає мірну стрічку, але залишає шпильку як позначку, від якої потрібно проводити подальші виміри. Друга людина підходить до залишеної позначки (шпильки) та закріплює свою частину мірної лінії на шпильку. Перша людина продовжує рух за допомогою орієнтувань другої людини. Перша людина натягує мірну стрічку і на передню частину вставляє шпильку. Потім робота триває у тому порядку. Усі розрахунки записуються у спеціальний журнал вимірів. Для контролю лінію необхідно виміряти повторно. При цьому люди змінюються місцями і початок вимірів починають з останньої точки (назад).

Остаточне значення це середнє арифметичне від двох вимірів – «прямо» та «назад». Вимірювання можна вважати проведено правильно, якщо розбіжність результатів вимірювань «прямо» та «назад» не перевищують:

- 1) 1:3000 від вимірюної довжини, якщо покриття тверде;
- 2) 1:2000 від вимірюної довжини, якщо покриття ґрунтове;
- 3) 1:1000 від вимірюної довжини, якщо покриття болотисте або сніг тощо.

Вимірювання ліній за допомогою рулетки провадиться аналогічно. При вимірі за допомогою рулетки точніше проводиться фіксація кінців вимірюваних відстаней, т.к. фіксація виконується вішками або голками.

Дуже часто результати вимірювань лінії відрізняються від її реального розміру. У зв'язку з цим до вимірюної довжини додають поправки – поправки через нерівності мірного приладу еталону та температури. Усі виміри виробляють на Землі, отже існують малі ухили, а вимірні лінії креслять на горизонтальних площинах.

Коли проводиться вимірювання ліній, можна припуститися помилки (похибки). Щоб зменшити величини похибок, необхідно звернути увагу на таке:

1. Завжди зменшує довжину відхилення кінців рулетки від створу. З цього модно дійти невтішного висновку, що похибка вимірювання тим менше, що менше відхиляються кінці від створу. При вимірі ліній дуже часто роблять укладання мірних приладів у площині за допомогою оптичних труб. При такому варіанті отримують результати з відносною похибкою менше 1:3000 від вимірюваної довжини. Якщо мірні рулетки мають довжину до 50 метрів, то відхилення від створу не повинно перевищувати 0,15 м.

2. Можливі варіанти, коли натяг приладу при еталонуванні та роботі в польових умовах різний. Це створює велику похибку. Полотно рулетки розтягується при багаторазовому використанні, тому натягувати вимірювальний прилад не рекомендовано.

3. Помилки можна допустити при фіксації мірного приладу та при відрахуванні на його кінці. Це відбувається в тому випадку, якщо неодноразово знімати відліки та під час фіксації спонукати мірний прилад. Для того, щоб уникнути цих помилок, вимірювання ліній необхідно проводити кілька разів. Різниця результатів вимірювань декількох варіантів повинна бути менше 2 мм, якщо виміри проводилися рулеткою і 1 см, якщо виміри проводилися мірною стрічкою.

4. При роботі з рулеткою необхідно звернути увагу на вигин мірного приладу у вертикальній площині. Від того, як точно визначено перевищення, залежить похибка визначення поправки за нахил.

5. Похибка розрахунків залежить від температурного режиму. У розрахунки, звичайно, вводять поправки на відмінність температури, але вони не завжди повністю збігаються з температурою навколишнього середовища, де проводять вимірювання. Різниця температури навколишнього середовища та мірного приладу вимірюють з похибкою не більше 5°C .

6. Помилка результатів вимірювань може статися через погане закріплення точок, між якими вимірюють. Якщо ґрунт м'який, то шпилька, яку встановлюють у землю, може змінювати своє становище.

5.3. Вимірювання довжини ліній далекомірами

Далекомір – це геодезичний прилад, за допомогою якого можна виміряти відстань між двома точками непрямым чином. Далекімири бувають *оптичні* та *електронні*.

Оптичні далекоміри ділять на два види:

- а) із постійним базисом;
- б) із постійним паралактичним кутом.

Електронні далекоміри ділять на:

- а) електронно-оптичні (світлодалекімири);
- б) радіоелектронні (радіодалекімири).

5.4. Нитяний далекомір

Найпростіший оптичний далекомір із постійним кутом – це нитяний. Нитяний далекомір знаходиться у всіх зорових трубах геодезичних приладів. Якщо подивитися в трубу приладу, ми побачимо три горизонтальні нитки. Дві нитки розташовані симетрично щодо середньої нитки. Ці дві нитки називають далекомірними. При роботі з нитяним далекоміром рекомендовано використовувати нівелірну рейку. Нівелірна рейка поділена на сантиметрові поділки. Нитяні далекоміри застосовують для вимірювання ліній довжиною до 300 м, похибка таких вимірювань може становити 1:300 від довжини. Для того, щоб виміряти лінію необхідно на одному її кінці встановити прилад, а на іншому її кінці – рейку. Візирна вісь труби знаходиться у горизонтальному положенні. На рис. 5.5 зображена схема роботи нитяного далекоміра.

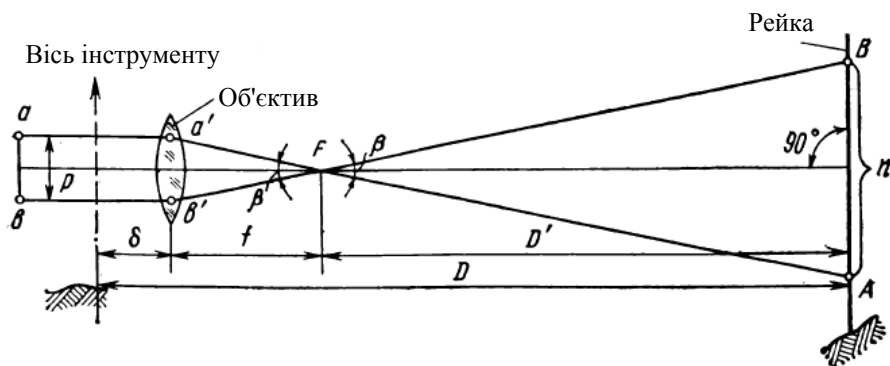


Рис. 5.5. Нитяний далекомір

Промені від далекомірних ліній a і b проходять через об'єкти в передній фокус F . Потім вони перетинають рейку в т. A і т. B . Розглянемо два трикутники ΔAFB і $\Delta a'Fb'$. З подоби цих трикутників отримуємо

$$\frac{D'}{n} = \frac{f}{p}. \quad (5.3)$$

З формули (5.3) витікає

$$D' = \left(\frac{f}{p}\right) \cdot n, \quad (5.4)$$

де f – фокусна відстань об'єкта;

p – відстань між далекомірними нитями.

Дріб $\frac{f}{p} = k$ для даного приладу постійна величина і називають її коефіцієнтом далекоміра.

З рис. 5.5 видно, що

$$D = D' + f + \delta, \quad (5.5)$$

де δ – відстань від об'єкта до вісі обертання труби.

Сума двох величин і це значення називається постійним складником далекоміра. Для визначення необхідної відстані отримуємо формулу

$$D = k \cdot n + c. \quad (5.6)$$

У сучасних приладах часто постійний доданок далекоміра не враховують, т.я. це значення мало. Тоді формула (5.6) набуває вигляду:

$$D = k \cdot n. \quad (5.7)$$

Якщо фокусна відстань об'єктивів $f = 200$ м, то відстань між далекомірними нитями дорівнює $p = 2$ мм. У цьому варіанті $k = \frac{f}{p} = 100$. Формула (5.6) справедлива у випадках, коли рейка встановлена перпендикулярно до візирної вісі труби. У реальних умовах такий варіант трапляється дуже рідко. При похилому положенні візирної вісі рейку необхідно встановити вертикально. Такий варіант показано на рис. 5.6.

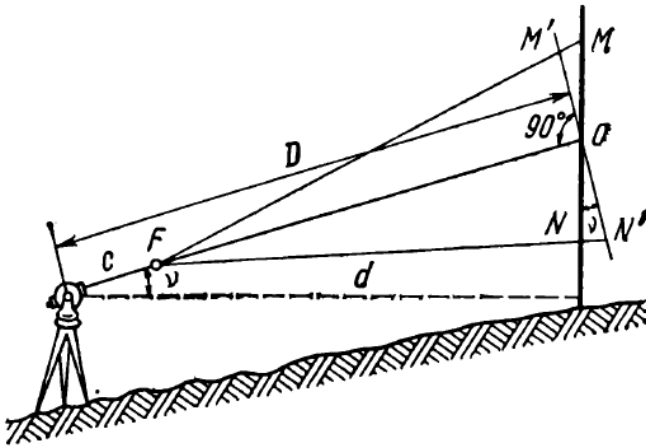


Рис. 5.6. Вимірювання відстані нитковим далекоміром

Якщо рейка нахилена до візирної вісі на кут ν , то замість правильного відліку $M'N' = n'$ отримуємо відлік $MN = n$. Між собою ці значення можна записати як формули

$$n' = n \cos \nu. \quad (5.8)$$

Підставивши значення (5.8) у формулу (5.6), отримуємо

$$D = k \cdot n' + c = k \cdot n \cdot \cos \nu + c. \quad (5.9)$$

З рис. 5.7 отримуємо

$$d = D \cdot \cos \nu, \quad (5.10)$$

тоді

$$d = k \cdot n \cdot \cos^2 \nu + c \cdot \cos \nu. \quad (5.11)$$

Значення c і ν малі, значить

$$d \approx (k \cdot n + c) \cos^2 \nu. \quad (5.12)$$

5.5. Далекоміри подвійного зображення

Принцип роботи далекоміра подвійного зображення ґрунтується на відхиленні візирного променя оптичним клином, призмою або лінзою.

Оптичний клин необхідно встановити перед об'єктивом зорової труби. Цей клин має закрити половину об'єктива. Схема роботи далекоміра подвійного зображення показано на рис. 5.7.

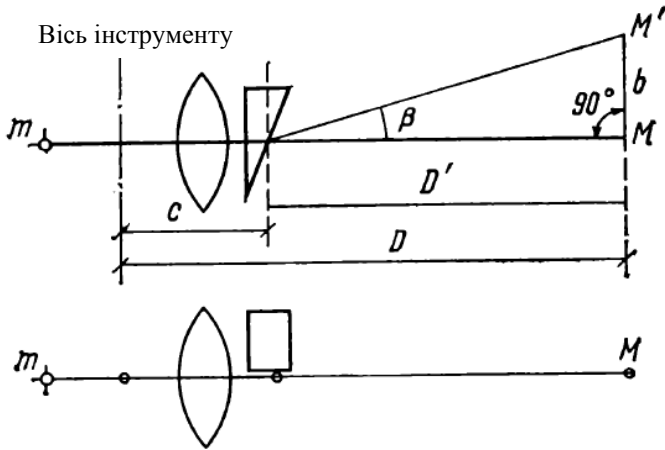


Рис. 5.7. Далекомір з оптичним клином

Через відкриту частину об'єктива проходить промінь світла. Він йде від сітки ниток m , перетинає рейку в точці M . Через закриту клином частину об'єктива промінь йде від центру сітки ниток і перетинає рейку в точці M' . Промені, що йдуть через відкриту та закриту частину об'єктива дають два зображення. Ці зображення зміщені відносно одне одного.

Оптичні далекоміри подвійного зображення можуть бути з постійним базисом та з постійним паралактичним кутом.

Принцип роботи оптичних далекомірів подвійного зображення з постійним базисом полягає в наступному: за допомогою переміщення оптичного клина поєднують зображення кінців базису в полі зору труби. Значення паралактичного кута визначають за спеціальним відліковим пристосуванням. Принцип роботи оптичних далекомірів подвійного зображення з постійним паралактичним кутом полягає в наступному: так як у полі зору таких приладів одночасно видно зображення двох поділів рейки, необхідно перший поділ поєднати з початком відліку, а другий зміститися від початкового відліку на паралактичний кут β . Необхідно зробити відлік зміщеного поділу рейки та визначити величину змінного базису b . Потім за формулою (5.13) знаходить відстань D

$$D = D' + c = b(\operatorname{tg} \beta + c). \quad (5.13)$$

Далекомір ДН-8. На рис. 5.8 зображена схема роботи далекоміра ДН-8.

Такий тип далекоміра відноситься до далекомірів подвійного зображення з постійним базисом. Далекомір складається з далекомірної насадки до теодоліту та комплекту з двох рейок.

Далекомірна рейка представляє собою штангу. На цій штанзі жорстко закріплено дві пари марок. Відстань між марками утворюють базис b . За допомогою візира рейку встановлюють у горизонтальне положення. Визначення горизонтального положення виробляють за рівнем, перпендикулярним до вимірюваної лінії. У середині штанги знаходиться термометр.

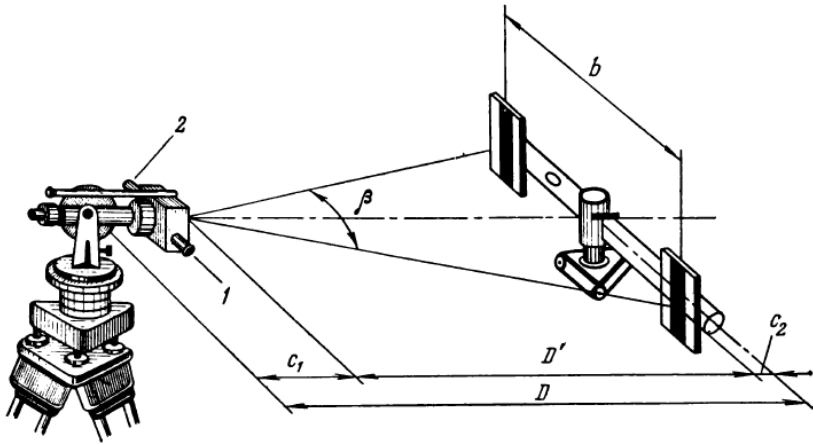


Рис. 5.8. Схема роботи далекоміра ДН-8:

- 1 – гвинт вимірювальної частини компенсатора;
- 2 – гвинт установчої частини компенсатора

Для того, щоб виміряти лінію необхідно в одному кінці встановити теодоліт з далекоміром, в іншому кінці – далекомірну рейку. Знаходить відстань D за формулою (5.13')

$$D = D' + c_1 + c_2, \quad (5.13')$$

де c_1 – відстань від осі обертання теодоліту до вершини паралактичного кута;

c_2 – відстань від площини марок до осі рейки.

Відстань

$$D' = \left(\frac{b}{2}\right) \operatorname{ctg}\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (5.14)$$

де D' – відстань від вершини паралактичного кута до поверхні марок.

Оскільки паралактичний кут малий, то

$$D' = \frac{b \cdot p}{\beta} = \frac{k}{\beta}, \quad (5.15)$$

де $k = b \cdot p$ – коефіцієнт далекоміра.

Якщо підсумувати відстань від осі обертання теодоліту до вершини паралактичного кута (c_1) та відстань від площини марок до осі рейки (c_2), то отримуємо формулу (5.16)

$$D = \frac{k}{\beta} + c, \quad (5.16)$$

де $c = c_1 + c_2$.

Для того, щоб отримати повну формулу для визначення горизонтальних положень лінії, необхідно до формули (5.16) додати поправку на вимірювання довжини рейки під дією температури і поправку на приведення лінії до горизонту.

Отримуємо

$$d = \frac{k}{\beta} + c + \Delta D_t + \Delta D_v. \quad (5.17)$$

Виправлення на вимірювання довжини рейки під впливом температури визначають за формулою (5.18)

$$\Delta D_t = \Delta\alpha(t - t_0) \cdot D, \quad (5.18)$$

де $\Delta\alpha = 16 \cdot 10^{-6}$ – різниця коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів, з яких виготовлені штанга та далекомір на рейка;

t – температура повітря під час вимірювання лінії;

t_0 – температура під час визначення коефіцієнта далекоміра.

Виправлення на приведення лінії до горизонту

$$\Delta D_v = -2D \sin^2\left(\frac{v}{2}\right). \quad (5.19)$$

На рис. 5.9 показана схема вимірювання паралактичного кута далекоміром ДН-8.

При вимірі ліній можна визначити одинарний чи подвійний паралактичний кут. Якщо визначати одинарний кут, тоді гвинтом вимірювальної частини компенсатора потрібно поєднати зображення марок рейки a і a' , b і b' (див. рис. 5.9, а, 1). У такому положенні знімають відлік n_1 за шкалою далекоміра.

Після зняття відліку гвинтом вимірювальної частини компенсатора поєднують зображення половинок рейки із зображеннями марок a і b' (див. рис. 5.9, а, 2). У цьому варіанті знімають показання n_2 .

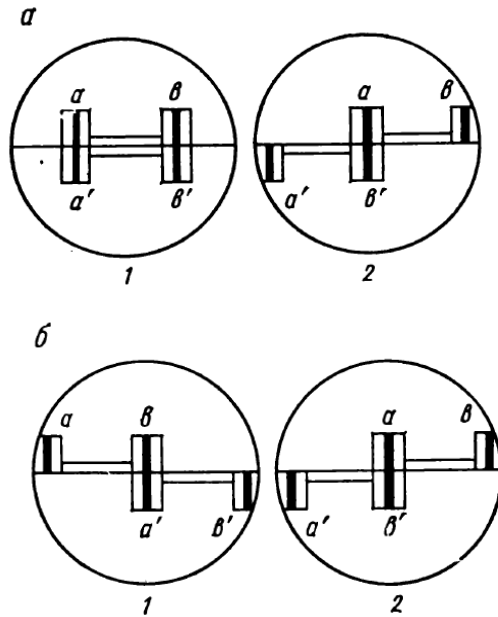


Рис. 5.9. Схема вимірювання паралактичного кута далекоміром ДН-8:
a – ординарного; *б* – двійного

Одинарний паралактичний кут дорівнює подвоєної різниці відліків, тобто.

$$\beta = 2(n_2 - n_1). \quad (5.20)$$

Для кожної пари марок визначається коефіцієнт далекоміра *k*. Для цього необхідно виміряти базову лінію. Довжина цієї лінії відома

з більшою точністю. Відносна похибка, яку визначили (k), не повинна бути більшою за 1:800.

Аналогічні дії проводять щодо подвійного паралактичного кута.

За допомогою далекоміра ДН-8 можна виміряти лінії довжиною від 50 м до 700 м. При цьому середня квадратична похибка приблизно дорівнює 8 см на кожні 100 м довжини.

Далекомір Д-2. Цей пристрій відноситься до приладів подвійного зображення з постійним базисом у вигляді горизонтальної рейки.

Принцип роботи далекоміра Д-2 полягає у вимірі паралактичного кута β між кінцями базису, довжина якого b та визначення відстані D . Для визначення відстані D користуємося формулою (5.16).

Далекомір оснащений спеціальним компенсатором, який може вимірювати великі паралактичні кути з високою точністю. Паралактичний кут, складається із суми двох кутів – кута (постійний) β_k та кута (змінний) β_u .

$$\beta = \beta_k + \beta_u. \quad (5.21)$$

Постійний кут утворюється перекидним оптичним клином. Змінний кут вимірюють компенсатором.

Визначати коефіцієнт далекоміра k та постійний кут оптичного клина β необхідно перед початком робіт на кількох інтервалах базису. Щоб визначити постійний кут, користуються короткими лініями

базису. Щоб визначити коефіцієнт далекоміра користуються довгими лініями базису.

Далекомір Д-2 призначений для вимірювання ліній довжиною від 40 м до 400 м. При цьому середня квадратична похибка становить приблизно 2 см на кожні 100 м відстані.

Далекомір ДНР-5. Це далекомір подвійного зображення з постійним паралактичним кутом. У далекомірі ДНР-5 встановлено пристрій для редуції, який автоматично перетворює похилі відстані в горизонтальні положення. До далекоміра дається насадка, яку надягають на об'єктив труби теодоліту, противагу та дві вертикальні рейки.

Коефіцієнт далекоміра ДНР-5 дорівнює 100, а у рейки поділу по 2 см, тому для того, щоб отримати довжину лінії, необхідно відлік по далекоміру збільшити в два рази. Відлік по рейці роблять двічі, а довжину лінії визначають як суму двох відліків.

Далекомір ДНР-5 використовують при вимірі горизонтального прокладання лінії, довжина якої може становити від 20 м до 120 м. Середня квадратична похибка при таких розрахунках становить приблизно 5 см на кожні 100 м відстані.

5.6. Загальні відомості про світлодалекоміри

Вимірювання довжини лінії світлодалекоміром засноване на визначенні часу, яке необхідно світловим хвилям для проходження вимірюваного відрізка в прямому та у зворотному напрямках. Для

цього необхідно на кінцевій точці вимірюваної лінії встановити приймально-передавальний пристрій, а на іншій встановити відбивач. Передавач посилає світлові хвилі на відбивач, а відбивач спрямовує їх на приймач (рис. 5.10).

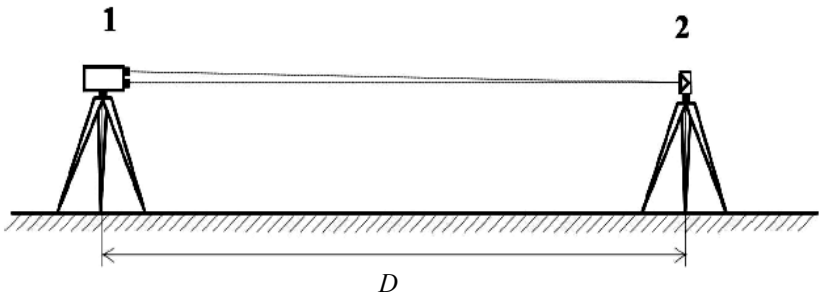


Рис. 5.10. Схема вимірювання довжини лінії світлодалекоміром:

1 – приймач встановлений на штативі;

2 – відбивач встановлений на спеціальній вішці чи штативі

Нехай V – швидкість поширення світлових хвиль, t – час проходження світлових хвиль від передавача до приймача, тоді довжину лінії можна визначити за формулою

$$D = \frac{Vt}{2}. \quad (5.22)$$

Швидкість світлових хвиль у повітрі можна визначити через швидкість розповсюдження світлових хвиль у вакуумі. Швидкість поширення світлових хвиль у вакуумі відома з великою точністю

$$V = \frac{V_0}{n}, \quad (5.23)$$

де V_0 – швидкість поширення світлових хвиль у вакуумі;
 n – коефіцієнт заломлення повітря.

Коефіцієнт заломлення повітря визначається за температурою, тиском та вологістю.

Час проходження світлових хвиль від передавача до приймача (через відбивач) можна вимірювати двома способами – безпосереднім чи непрямим методами. У зв'язку з цим, далекоміри бувають *імпульсні* та *фазові*.

В *імпульсному далекомірі* знаходиться передавач, який є генератором коливань з пристроєм для утворення імпульсів. У приймачі знаходяться чутливі елементи та пристрої для перетворення сигналів, що надходять, які зручні для вимірювань. Імпульсні далекоміри не мають високої точності.

Фазові світлодалекоміри

Їхня робота заснована на визначенні часу t за допомогою вимірювання різниці фаз незатухаючих коливань у декількох діапазонах частот. Вимірювання фазовими далекомірами дуже точні.

Далекоміри зі змінною частотою

У такому далекомірі перебуває пристрій, який повільно змінює частоту коливань, тобто довжину хвилі λ . Довжина хвилі λ змінюється до того часу, поки дробова частина періоду

дорівнюватиме нулю. У цей час у подвійній відстані впаде ціле число хвиль. Довжину лінії можна виразити у вигляді:

$$D = \left(\frac{V}{2f_1} \right) \cdot N, \quad (5.24)$$

де V – швидкість;

f_1 – частота коливань (її необхідно виміряти);

N – кількість цілого числа періодів.

Далекомір з фіксованими частотами

У такому далекомірі знаходиться пристрій, який фіксує частоти коливань. Довжину лінії визначають двічі. Перший раз із фіксованою частотою f_1 , другий раз із фіксованою частотою f_2 .

Існує ще кілька видів разових далекомірів з фіксованими частотами модуляції (наприклад, світлодалекомір 2 СМ-2 і світлодалекомір ЕОК 2000).

Відбивачі бувають двох типів – *призмові* та *плівкові*. У призмовому відбивачі основний елемент це скляна трипельпризма, що відбиває світлові промені. Для того, щоб збільшити дальність вимірів використовують багатопризмові відбивачі.

Основа плівкового відбивача, це пластикова плівка, що відбиває світло. Цю плівку наносять симетричний рисунок. Дальність вимірів з плівковим відбивачем менше, ніж із призмовим. Проте на вимірювальних роботах плівковий відбивач значно зручніше, т.я. його можна закріпити будь-де, навіть там, де призмовий відбивач встановити неможливо. Наприклад, плівковий відбивач можна

закріпити на стіні будівлі. Плівковим відбивачем доцільно користуватися під час спостереження за деформацією споруди тривалий час.

Для вимірювальних робіт можна застосовувати світлодалекоміри з пасивним відображенням. Такі світлодалекоміри вимірюють відстань без відбивача. У таких світлодалекомірах використовується відбивна властивість самих предметів. Наприклад, світлодалекомір ДИМ-2. Його похибка вимірювання відстані становить трохи більше 20 см.

Далекомір, який випускає швейцарська фірма, може вимірювати відстань до 50 м з похибкою 2 мм.

Існують лазерні рулетки німецької фірми, які вимірюють відстань від 0,2 м до 60 м із похибкою 3 мм. Лазерні рулетки, як і деякі види далекомірів, вимірюють відстані до об'єкта без відбивача (рис. 5.11).

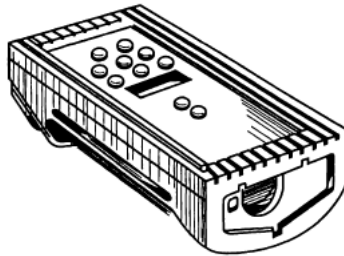


Рис. 5.11. Лазерна рулетка

Проте, недолік лазерних рулеток у тому, що при низьких температурах (-10°C) ними працювати неможливо. При яскравому сонці також виникають проблеми з дальністю вимірювань.

Глава 6

НІВЕЛІРИ

6.1. Загальні відомості про нівеліри

Нівелювання – це комплекс геодезичних робіт, який використовується для визначення перевищення точок, обчислення висоти над рівневою поверхнею, складання топографічних планів та карт, проектування та винесення в натуру інженерних споруд, вивчення форм рельєфу.

Основний геодезичний прилад, яким роблять виміри, називається *нівеліром*. Основна частина нівеліра – це зорова труба.

Зорова труба є оптичною системою. Ця оптична система знаходиться у металевому корпусі (трубі). З одного боку труби розташовано об'єктив (1), з іншого боку – окуляр (5). Між цими елементами розміщена двовгнута лінза (2). Біля окуляра знаходиться скляна пластина (4). На плані зображені сітки ниток (рис. 6.1, в).

Людину, яка працює з нівеліром або з іншими вимірювальними приладами, які мають зорові труби, називають *спостерігачем*. Під час роботи з нівеліром спостерігачеві необхідно поєднати перехрестя сітки ниток із предметом, що спостерігається.

Лінія, яка з'єднує оптичний центр об'єктива та перехрестя сітки ниток, називається *візирною віссю труби*, а сама робота з наведення зорової труби на точку спостереження називається *візуванням*.

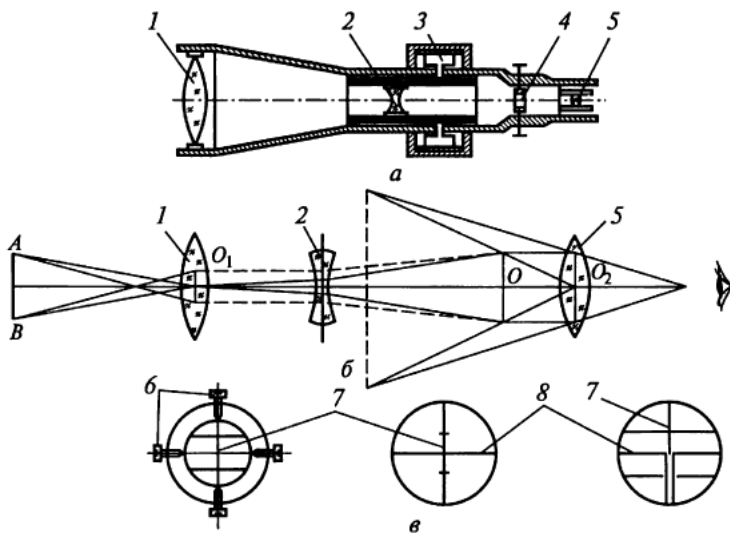


Рис. 6.1. Зорова труба нівеліру:

a – розріз; *б* – оптична схема; *в* – поле зору та сітки ниток у різних приборах; 1 – об'єктив; 2 – лінза; 3 – кремальєра; 4 – скляна пластина; 5 – окуляр; 6 – регулюючі вінти; 7, 8 – вертикальні та горизонтальні нити

Для того, щоб отримати чітке зображення предмета, що спостерігається, необхідно обертати фокусувальне кільце або кремальєру (3). При обертанні переміщується лінза фокусування (2). Таку дію називають *фокусуванням*. Фокусувати зображення сітки можна за допомогою переміщень окуляра (5) щодо сітки ниток. Сам окуляр переміщується за допомогою обертання окулярного кільця.

На всіх геодезичних приладах запроєктовано рівні. Рівні геодезичних пристроїв можуть бути *циліндричні* або *круглі*.

Циліндричний рівень показано на рис. 6.2.

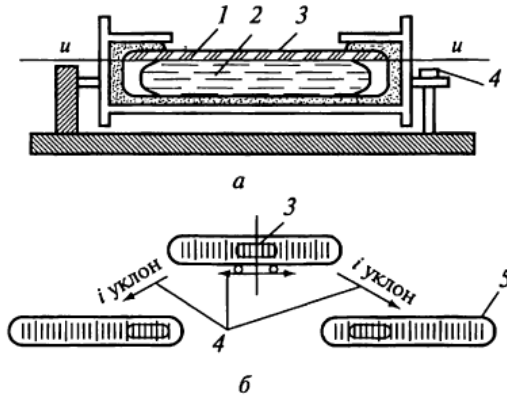


Рис. 6.2. Циліндричний рівень та ухил при положенні бульбашки:

- a* – вид збоку; *б* – вид зверху; 1 – ампула; 2 – рідина;
- 3 – бульбашка; 4 – виправний гвинт; 5 – ухил ампули

Циліндричний рівень складається із скляної ампули, яка заповнена спиртом чи ефіром. Частина простору, який заповнений парами цієї рідини, називають *бульбашкою*. Внутрішня поверхня ампули відшліфована дугою певного радіусу. На верхню зовнішню поверхню ампули наносяться двоміліметрові поділки. Середня точка шкали 0 називається *нуль-пунктом*. Дотична лінія *uu* в нуль-пункті до дуги внутрішньої поверхні рівня називають *віссю циліндричного рівня*.

Властивість бульбашки займати найвище положення лежить в основі використання рівня. Якщо бульбашку рівня перемістити хоча б на одну поділку щодо вихідного положення, то вісь рівня нахилиться на величину τ . Величина τ називається *ціною поділки рівня*. Ціна поділки циліндричного рівня, що розташований у геодезичних приладах, становить від 2" до 60".

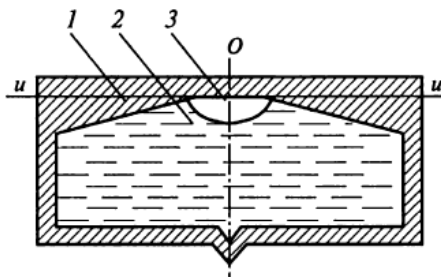


Рис. 6.3. Круглий рівень: 1 – ампула; 2 – рідина; 3 – бульбашка

У *круглому* рівні його верхня частина відшліфована по сферичній поверхні. Поділки на зовнішній стороні представлені у вигляді концентричних кіл, а віссю рівня є радіус сфери, який проходить через нуль-пункт. Ціна поділки круглого рівня, розташованого у геодезичних приладах, може коливатися від кількох одиниць до кількох десятків хвилин.

Для кріплення та встановлення геодезичних приладів служать підставка та штатив. Зміну положення вертикальної осі обертання приладу виробляють за допомогою гвинтів підйомної підставки. При цьому змінюють положення всі інші частини приладу.

Вісь приладу встановлюють в отвір та закріплюють у підставці гвинтом. Становим гвинтом кріплять підставку на столику штатива. Штатив виготовляють із трьома дерев'яними або металевими ніжками. Ці ніжки шарнірно з'єднані із головкою штатива. Ніжки можуть бути розсувні чи цілісні. На кінцях ніжок є металеві наконечники. Штатив забезпечує стійкість приладу. За допомогою плечового ремня штатив переносять у зібраному вигляді.

6.2. Види нівелювання

Нівелювання можна проводити різними інструментами та способами.

Існує п'ять основних способів:

1) геометричне нівелювання – його роблять горизонтальним променем;

2) тригонометричне (геодезичне) нівелювання – його роблять похилим променем;

3) стереофотограмметричне нівелювання – це визначення висот точок місцевості за допомогою вимірювання стереопар аерокосмічних знімків;

4) барометричне нівелювання – засноване на визначенні перевищення по різниці атмосферного тиску у різних точках місцевості;

5) гідростатична нівелювання – засноване на властивості рідини, що знаходиться у сполучених посудинах, залишатися на одному рівні.

Розглянемо ці методи докладніше.

Геометричне нівелювання. Цей спосіб найпоширеніший. Таке нівелювання виконується за допомогою нівеліру. Нівелір задає горизонтальну лінію візування. Суть геометричного нівелювання полягає у наступному: нівелір закріплюють горизонтально. У точках A та B встановлюють рейки. За поділками на рейках визначають перевищення h . Перевищення h – це різниця між відрізками a і b , тобто $h = a - b$. Це показано на рис. 6.4, a .

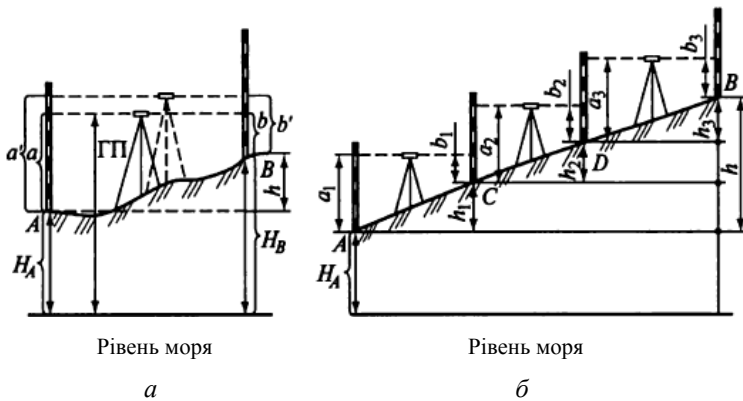


Рис. 6.4. Схеми нівелювання:
 a – простого; b – складного

Позначку H_B точки B можна знайти як суму відомої позначки H_A точки A та перевищення h .

$$H_B = H_A + h, \quad (6.1)$$

де H_A – позначка точки A ;

H_B – позначка точки B ;

h – перевищення.

Для того, щоб у знаку перевищення не було помилок, точку, у якої відома позначка, вважають задньою, а точку, у якої потрібно знайти перевищення-передньою. З цього можна дійти висновку, що *перевищення* – це різниця відліків назад й уперед.

Місце, де встановлюють нівелір, називається *станцією*. Навіть якщо рейки встановлені в багатьох точках, достатньо буде брати звіт щодо них з однієї станції. Висота нівеліра над землею не впливає на значення перевищення між точками. На рис. 6.4, *a* видно, що якщо встановити нівелір вище, то відліки *a* і *b* будуть більшими на однакову величину, а це означає, що різниці між ними будуть однакові.

Для визначення позначки необхідної точки можна використовувати схему обчислення через горизонт приладу (ГП). Цю схему зручно застосовувати, коли необхідно проводити нівелювання кількох точок з однієї станції. Якщо значення позначки точки *A* скласти зі значенням відліку по рейці на точці *A*, то отримаємо позначку візирної осі нівеліру. Цю позначку називають *горизонтом приладу*. Якщо з горизонту приладу відняти відліки на всіх точках, які взяті на цій станції, отримаємо позначки цих точок.

Якщо перевищення між точками *A* і *B* можна визначити за допомогою одноразової установки приладу, таку схему називають *простим нівелюванням*.

Якщо перевищення між точками *A* і *B* можна визначити лише після двох і більше установок нівеліру, таку схему називають *складним нівелюванням* (рис. 6.4, *б*). У такій схемі необхідні додаткові точки *D* та *C*, які називаються *сполучними*. Перевищення між сполучними точками *D* та *C* можна визначити за схемою простого

нівелювання. За формулою (6.2) визначають відношення між точками A та B при складному нівелюванні.

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i. \quad (6.2)$$

Якщо відмітка точки A відома, то визначити позначку точки B можна за такою формулою:

$$H_B = H_A + \sum_{i=1}^n h_i. \quad (6.3)$$

Така схема нівелювання називається *нівелірним ходом*. Декілька ходів, які мають загальну початкову або кінцеву точку, утворюють *нівелірну мережу*.

Точність нівелювання може бути різною залежно від того, яка точність визначення позначок потрібна.

Нівелювання ділять на *1 – 4-ий класи та технічне*.

Нівелювання 1-го класу використовують при прокладанні залізниць та шосейних доріг. Через кілька років після робіт з нівелювання можна повторити розрахунки щодо визначення перевищення в тих же точках. Це дає можливість точніше вивчити рух земної кори та вирішити інженерні завдання.

Ходи нівелювання *2-го класу*, які прокладають уздовж доріг та річок, утворюють полігони, пов'язані з точками нівелювання 1-го класу.

Ходи нівелювання *3-го класу* прокладають між пунктами нівелювання 1-го та 2-го класів.

Нівелірну мережу високого класу можна доповнити точками, які відзначають при технічному нівелюванні та нівелюванні 4-го класу. Ці мережі є висотним обґрунтуванням для топографічних зйомок при складанні планів та карт, а також будівельних робіт.

Ходи нівелювання нижчих класів необхідно «прив'язувати» до пунктів ходів вищих класів. Позначки пунктів ходів вищих класів беруть за основу.

На рис. 6.5 показано схему нівелювання для перенесення позначок на будівництві.

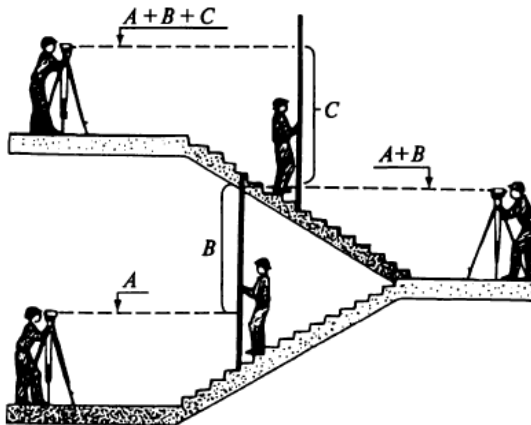


Рис. 6.5. Використання нівеліра для переносу відміток на будівництві

На великих ділянках місцевості можна застосувати схему, що називається *нівелюванням поверхні за квадратами*. На рис. 6.6 показано схему нівелювання за квадратами.

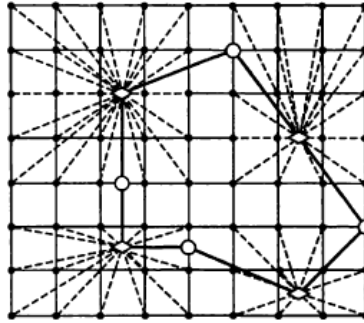


Рис. 6.6. Схема нівелювання по квадратам:

—○— станція; ●----- точки та напрямлення

Ділянку, на якій необхідно зробити нівелювання, слід поділити на квадрати, сторони яких дорівнюють 10, 20, 50 або 100 м. Якщо ділянка плоска, то точки, які необхідно нівелювати, розташовуватимуться на ділянці рівномірно, і довжини сторін квадратів можна збільшити.

Якщо рельєф складний, можливо зменшення розмірів квадратів і, при необхідності, встановлення додаткових точок з відмітками. Тому схему нівелювання вершин квадрата залежить від складності рельєфу.

Нівелірний хід по квадратах виробляють за правилами *технічного нівелювання* чи нівелювання 4-го класу. Усі точки ходу необхідно закріпити кілками чи спеціальними підкладнем. Рейку встановлюють на підкладень. При нівелюванні квадратами ведуть спеціальний журнал, куди записують всі відліки. Відліки можна записувати на схемі квадратів відповідно до кожної вершини. Межі роботи на станції відзначають пунктирною лінією.

Потім проводять обробку результатів вимірювань. Перший етап – визначають перевищення та позначки сполучних точок входу. Другий етап-розраховують через горизонт приладу позначки вершин квадратів.

Тригонометричне нівелювання показано на рис. 6.7.

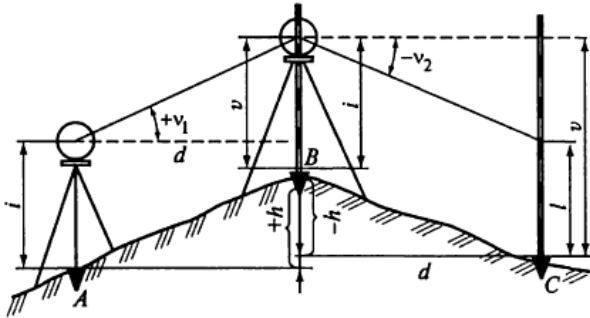


Рис. 6.7. Схема тригонометричного нівелювання

Це нівелювання виконується теодолітами. *Теодоліти* – це геодезичні прилади, якими вимірюють вертикальні кути.

Перевищення між точками можна підрахувати за формулою (6.4), вимірявши кут нахилу ϑ і визначивши горизонтальні прокладання d .

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \vartheta + i - V - f, \quad (6.4)$$

де i – висота теодоліту над точкою;

V – висота наведення при вимірі кута нахилу;

f – поправка на кривизну землі та рефракцію.

Рефракція – це заломлення, тобто зміна напряму променя. Візирний промінь пристрою, проходячи через шар атмосфери різної

щільності, заломлюється. Поправка f – це поправка в результаті спільного впливу кривизни землі та рефракції на результати нівелювання. Це значення вибирають із спеціальних таблиць, а таку поправку застосовують у разі, якщо відстань між точками більше 300 м. Якщо кут нахилу позитивний ($+\vartheta$), то перевищення має знак «плюс», якщо негативний ($-\vartheta$), то перевищення має знак "мінус".

Гідростатичне нівелювання показано на рис. 6.8.

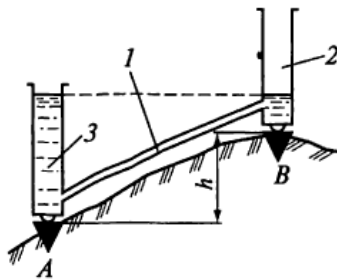


Рис. 6.8. Схема гідростатичного нівелювання:

1 – з'єднувальний шланг; 2, 3 – сосуди

За основу гідростатичного нівелювання приймають властивості рідини, що знаходиться у сполучених посудинах, залишатися на одному рівні.

На рис. 6.8 показані точки A та B . Перевищення h між цими точками можна знайти як різницю відліків за шкалами посудин 2 та 3. Цей метод дуже простий та швидкий. Однак цей метод має невисоку точність.

Барометричне нівелювання. При такому варіанті нівелювання перевищення визначають за різницею атмосферного тиску різних по

висоті точках місцевості. Нівелювання роблять барометром-анероїдом або мікробарометром. Барометричне нівелювання можна застосувати, наприклад, коли точки з'єднані між собою замкненим шляхом, і час, за який можна пройти цей шлях, становить не більше 2 – 3-х годин. У початковій точці шляху необхідно виміряти температуру повітря t_a , температуру приладу (анероїда) t_{np} , його висоту над точкою, а далі слід зняти показання. Потім переходять на другу точку і роблять такі самі виміри. Далі переходять на третю точку тощо. За барометричними таблицями знаходять висоти точок, припускаючи, що у першій точці температура повітря та тиск повітря змінювалися пропорційно часу.

6.3. Типи нівелірів

Існує *три варіанти* класифікації нівелірів:

- 1) за конструкцією (оптичний, цифровий, лазерний);
- 2) щодо встановлення лінії візування (рівневий, з компенсатором);
- 3) за точністю (високоточний, точний, технічний).

Розглянемо класифікацію нівелірів *за конструкцією*:

1) *оптичні нівеліри* – нівеліри, в корпус яких вмонтована зорова труба зі збільшувальним склом і об'єктивом.

2) *цифрові нівеліри* – на відміну від оптичних нівелірів, проектують з електронним пристроєм, який знімає відліки за спеціальною штрих-ковою рейкою. Принцип роботи полягає в наступному: спостерігачеві необхідно нанести нівелір на рейку,

сфокусувати зображення та натиснути кнопку. На екрані дисплея з'являться значення відліку за рейкою та відстань до неї. Працюючи з цифровими нівелірами значно зменшується кількість помилок;

3) *лазерні нівеліри* – використовують при необхідності виконання геодезичних розбивних та будівельно-монтажних робіт. Лазерний нівелір передає видимий (червоний) промінь і працює без приймача випромінювання. Такий нівелір дуже добре зарекомендував себе при роботі у слабко освітлених умовах, але при яскравому сонці радіус дії променя зменшується.

Розглянемо класифікацію нівелірів *щодо встановлення лінії візування*:

1) *рівневий* – з циліндричним рівнем;

2) *з компенсатором* – є самовстановлювальна лінія візування.

За точністю всі нівеліри (ДСТУ 10528-90 "Нівеліри. Технічні умови") класифікують на 3 групи:

1) *високоточні* – цими приладами визначають перевищення з середньою квадратичною помилкою не більше 0,5 мм на 1 км подвійного ходу (Н-05. Ці нівеліри призначені для робіт I та II класів);

2) *точні* – цими приладами визначають перевищення із середньоквадратичною помилкою не більше 3 мм на 1 км подвійного ходу (Н-3 та його модифікації. Ці прилади застосовують для робіт III та IV класів);

3) *технічні* – цими приладами визначають перевищення середньої квадратичної помилки не більше 10 мм на 1 км подвійного ходу (Н-10 та його модифікації. Ці прилади призначені для робіт, які роблять для отримання висотного обґрунтування топографічних зйомок та інженерно-геодезичних вишукувань).

У шифрі нівеліру за літерою Н стоять цифри, наприклад, Н-05; Н-3; Н-10. Ці цифри позначають середню квадратичну похибку (мм) вимірювання перевищення на 1 км подвійного ходу. Раніше було згадано, що в геодезичних приладах можуть бути два варіанти пристроїв, які використовуються для приведення візирної осі в горизонтальне положення. Раніше згадувалося, що нівеліри випускаються з двома варіантами цих пристроїв: з *рівнем* при зоровій трубі і *компенсатором* кутів нахилу. Якщо в нівелірі знаходиться компенсатор кутів нахилу, то до шифру цього приладу додається буква К.

Нівеліри можуть виготовлятися з лімба для вимірювання горизонтальних кутів. У такому варіанті в шифр приладу додається буква Л. Наприклад, нівелір Н-3, який має компенсатор і лімб, матиме шифр Н-3КЛ.

Нівеліри типу Н-3 дуже широко використовують у геодезичних вимірах. ДСТУ передбачено 6 основних параметрів для нівелірів Н-3:

- 1) середня квадратична похибка перевищення на станції повинна бути не більше 2 мм на відстані від приладів до рейок 100 м;
- 2) збільшення зорової труби не менше 30°;
- 3) щонайменше відстань візування має бути більше 2 м;
- 4) коефіцієнт нитяного далекоміра $100 \pm 1\%$;
- 5) ціна розподілу рівня має становити 2 мм;
- 6) маса нівеліру має бути не більше 3 кг.

На рис. 6.9 показаний точний нівелір Н-3.



Рис. 6.9

У нівеліра на рис. 6.9 показаний циліндричний контактний рівень 1, елеваційний гвинт 2, підставка (трегер) 3. Зорова труба приладу має внутрішнє фокусування. Фокусування виконується за допомогою гвинта 4. Завдяки установчому (круглому) рівню 5 проводять попереднє встановлення осі приладів у вертикальне положення. Зорову трубу закріплюють за допомогою гвинта 6. навідний гвинт 7 використовують для точного наведення труби на рейку. На підставці приладу (трегер) знаходяться три підйомні гвинти 8. Нівелір зі штативом скріплюється за допомогою гвинта. Становий гвинт загвинчується у втулку 9 з різьбленням.

На рис. 6.10 показана схема оптики труби та приземна система рівня.

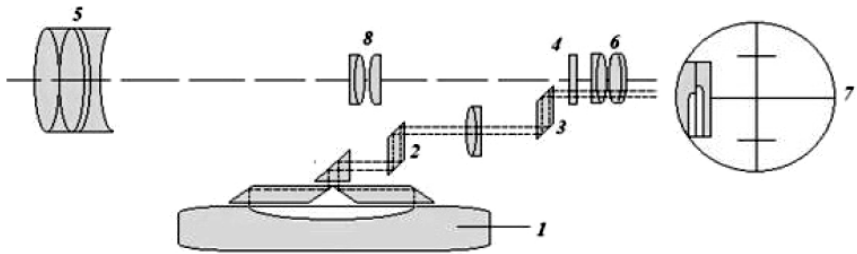


Рис. 6.10

1 – рівень із призменним блоком; 2, 3 – ромбічні призми.

Ці призми зміщують промінь, не змінюючи напрямок; 4 – сітка ниток;

5 – трьохлінзовий об'єктив; 6 – окуляр

За допомогою призменної системи рівня можна зробити оптичне об'єднання кінців бульбашки циліндричного рівня з нуль-пунктом. У полі зору окуляра 7 виводиться зображення кінців бульбашки.

На рис. 6.11 зображений точний нівелір з компенсатором і лімба-нівеліром Н-ЗКЛ.



Рис. 6.11

Такі нівеліри використовуються для продовження нівелірних мереж і в проектуванні багатьох видів розбивних робіт, тому такий прилад має лімб для вимірювання горизонтальних кутів. На рис. 6.11 показано:

- 1 – нівелір;
- 2 – знімна підставка (трегер);
- 3 – підйомні гвинти;
- 4 – об'єктив;
- 5 – окуляр;
- 6 – мікрометр, який необхідний для зняття звітів по горизонтальному колу;
- 7 – настановний круглий рівень дзеркальцем;
- 8 – навідний гвинт;
- 9 – оптичний коліматор для грубого наведення нівеліру на рейку.

На рис. 6.12 показано зняття відліків по горизонтальному колу. І тому використовують простий індексний мікроскоп. Прилад готують до роботи в робоче положення за допомогою гвинтів трегера і установочного рівня. Ціна поділу цього рівня дорівнює $10'$.

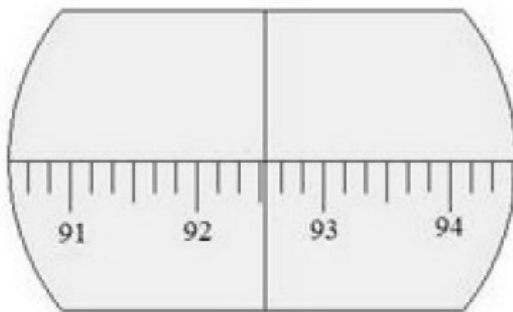


Рис. 6.12

На рис. 6.13 показана схема установки візирної осі зорової труби у горизонтальне положення. Нівелір запроєктований із призмним компенсатором, який відпрацьовує похибку установки осі обертання приладу в межах $15'$. На рис. 6.13 під номерами 3 та 6 показані дві прямокутні призми компенсатора. Ці призми забезпечують передачу зображення, побудоване об'єктивом 1 в площину сітки ниток 4.

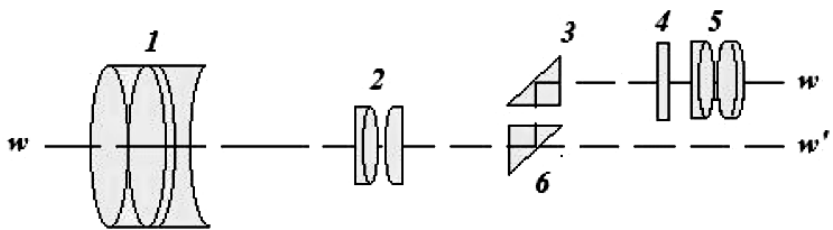


Рис. 6.13

Якщо положення візирної осі горизонтально, то промінь ww' , який проходить через лінзу 2, що фокусує, відображається від центральної точки скошеного краю призми 6 під кутом 90° . Відбитий промінь потрапляє на центральну точку скошеного краю призми 3 і відбившись під кутом 90° , з'явиться на перехресті сітки ниток. Зображення, яке побудує об'єктив, буде зміщене щодо сітки ниток на лінійну величину кута нахилу зорової труби.

Демпфер, яким забезпечений компенсатор, гасить коливання призми 6. Час, за який гасяться коливання, становлять близько двох секунд.

Перед тим, як починати знімати відлік по рейці, необхідно постукати по штативу олівцем або пальцем. При легкому постукуванні сітка нитки виконує коливальні рухи щодо рейки вгору-вниз. Такі коливання показують правильну роботу компенсатора. Якщо сітка нитки не коливається, компенсатор несправний.

На рис. 6.14 та 6.15 показані сучасні модифікації нівеліру Н-ЗКЛ. На рис. 6.14 зображено нівелір 3НЗ-КЛ, а на рис. 6.15 – нівелір 4Н-ЗКЛ.



Рис. 6.14



Рис. 6.15

Нівелір 4Н-ЗКЛ відносять до нівелірів технічної точності. Нівелір складається із оптико-механічного блоку. До складу оптико-механічного блоку входить зорова труба прямого зображення з нитковим далекоміром; самовстановлюваний компенсатор, який автоматично приводить візирну вісь зорової труби в горизонтальне положення; лімб, що вимірює горизонтальні кути; рівень (який заповнений спиртом чи ефіром) для встановлення нівеліра у робоче становище.

6.4. Нівелірні рейки

Нівелірні рейки виготовляються із двох дерев'яних брусів двотаврового перерізу, які з'єднані між собою металевою фурнітурою. Таку рейку зручно складати під час транспортування. Рейки бувають *двосторонніми* та *односторонніми*. Двосторонні рейки використовують частіше. Двосторонні рейки мають градування з обох боків. У односторонніх рейок шкала розташована на одному боці. Односторонні рейки застосовують лише у комплекті з високоточними нівелірами. Штрихові шкали наносять по всій довжині рейки з похибкою 0,5 мм, а цифри – через 1 дм. Висота цифри має бути не менше 40 мм. На основній шкалі рейки шашки наносяться чорним кольором (фон білий), а на додатковому (другому) боці – червоним кольором (фон білий).

На додатковій шкалі початковий відлік виражається будь-яким довільним числом. Таке оцифрування рейки зменшує ймовірність помилки. Різниця відліків з різних боків рейки повинна залишатися постійною. Це є контролем нівелювання на станції.

Для більш зручної та швидкої установки нівелірну рейку іноді проектують із круглим рівнем та ручкою. До торців нівелірної рейки кріплять п'ятки у вигляді металевих смуг товщиною 2 мм.

З вищесказаного можна відзначити, що рейки випускаються *3-х типів*:

1) *РН-05* – односторонні штрихові рейки довжиною 3000 мм або 1200 мм для нівелювання з похибкою 0,5 мм на 1 км ходу;

2) *РН-3* – двосторонні шашкові рейки довжиною 1500 мм, 3000 мм або 4000 мм для нівелювання з допустимою похибкою 3 мм на 1 км ходу;

3) *РН-10* – двосторонні шашкові рейки довжиною 4000 мм для нівелювання з похибкою 10 мм на 1 км ходу.

Рейки застосовують у будь-яку пору року. Їх використовують як за різних мінусових температур, так і за різних плюсових температур.

Нівелірні рейки можна встановлювати на дерев'яні кілки, бретналі або підкладені.

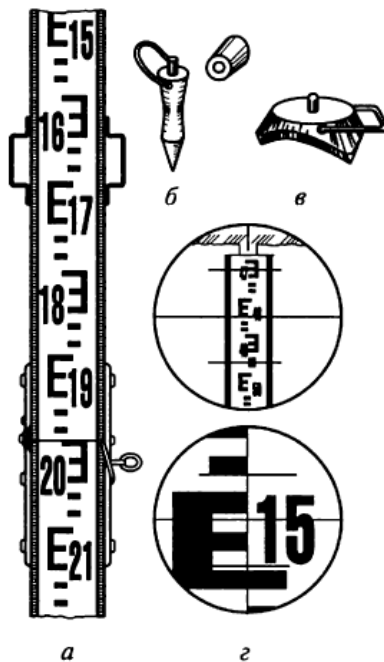


Рис. 6.16. Нівелірна рейка:

а) зовнішній вигляд; б) бретналь; в) підкладень;

г) відліки по рейці

Металевий стрижень зі сферичною шляпою з одного боку і загострений з іншого боку, називається *бретналем*.

Трикутна або кругла товста металева пластина на трьох ніжках називається *підкладнем*. Рейки спирають на стрижень зі сферичною шляпою, яка знаходиться в середині пластини. Якщо немає рівня, то рейку можна встановлювати вертикально «на око». Працюючи «на око» показання за рейкою беруть під час похитування її у бік нівеліра і від нього. Потім обирають найменше показання. Воно відповідає вертикальному положенню рейки.

Відлік за рейкою необхідно проводити за середньою ниткою нівеліру, тобто за місцем, де проекція середньої нитки перетинає рейку.

Здійснити відлік за рейкою – це означає визначити висоту візирної осі нівеліра над нулем (основою) рейки. Цифри необхідно підраховувати за такою *схемою*:

- 1) рахують менший підпис, який видно поблизу середньої нитки (сотні міліметрів);
- 2) потім до цієї цифри слід додати ціле число поділів, на яке нитка сітки віддалена від меншого підпису у бік більшого (десятки міліметрів);
- 3) найменший десятиміліметровий відрізок ділять «на око» (число міліметрів).

Отже, відлік записується у міліметрах.

6.5. Повірки та юстування рівнених нівелірів

Насамперед перед початком робіт з будь-яким геодезичним приладом його необхідно оглянути. При зовнішньому огляді прилад не повинен мати пошкоджень. Потім починають роботу, тобто роблять повірки нівеліру. *Повірки* – це дії, за допомогою яких можна проконтролювати правильність розташування основних осей приладу. Якщо під час повірок виявляється невідповідність взаємного розташування елементів приладу, необхідно провести юстировку нівеліра. *Юстування* – частина робочого знімального процесу. Полягає в налаштуванні правильної позиції інструменту та розташування його елементів. Юстування нівеліру роблять виправними гвинтами.

Розглянемо повірки, які *необхідно робити нівеліру з циліндричним рівнем* перед вимірами:

1) *повірка круглого (установного) рівня*. Це означає, що вісь круглого рівня *uu* має бути паралельна осі обертання *jj* нівеліру (рис. 6.17, а). Двома підйомними гвинтами наводять бульбашку рівня в нуль-пункт. Верхню частину нівеліра повертають на 180° . Якщо після повороту бульбашка залишилася в нуль-пункті (тобто в центрі), прилад вважається справним. Якщо бульбашка змістилася, прилад несправний. Ця несправність легко виправляється. Виправними гвинтами переміщують бульбашку до центру на першу половину дуги, а на другу половину дуги бульбашку переміщують за допомогою підйомних гвинтів;

2) перевірка правильності встановлення сітки ниток. Це означає, що горизонтальна нитка AA сітки має бути перпендикулярна до осі обертання jj нівеліру (рис. 6.17, б). Цю умову гарантує завод під час виготовлення приладів. Однак невеликі виправлення та доведення можуть бути здійснені виконавцем.

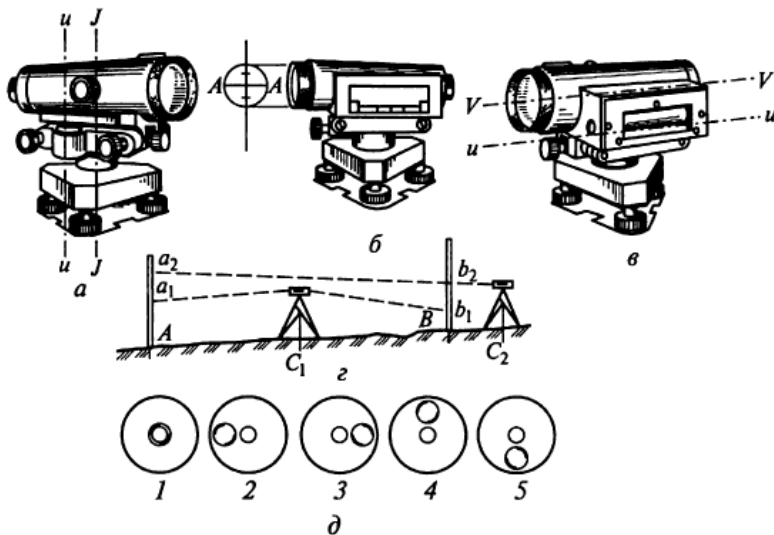


Рис. 6.17. Повірка нівеліру

Дану перевірку правильності установки сітки ниток нівеліра у свою чергу необхідно виконувати у три етапи:

- за круглим рівнем вісь обертання нівеліра приводять у прямовисне положення;
- встановлюють рейку з відривом 20-30 м від нівеліра;

– роблять відлік. Спочатку наводять лівий кінець середньої горизонтальної нитки на рейку і беруть відлік, потім гвинтом переміщують трубу в горизонтальній площині до перетину правого кінця середньої горизонтальної нитки і беруть відлік. Якщо значення за рейкою залишилося незмінним чи змінилося не більше ніж на 1 мм, то умову виконано, і нівеліром можна працювати. Якщо значення змінюється більше ніж на 1 мм, необхідно усунути несправність. Для цього послаблюють виправні гвинти сітки та повертають сітку ниток у потрібний бік;

3) *перевірка головної геометричної умови*. Це означає, що візирна вісь *IV* зорової труби повинна бути паралельна осі *III* циліндричного рівня.

У свою чергу цю *перевірку головної геометричної умови* виконують у наступній послідовності:

– на місцевості потрібно обрати дві точки *A* та *B*. Відстань між точками *A* та *B* може коливатися від 70 до 80 м. Точки необхідно закріпити кілками, а нівелір встановити в точці *C*₁;

– після встановлення нівеліра беруть відліки *a*₁, *b*₁ за рейками;

– потім розраховують перевищення $h_1 = a_1 - b_1$;

– після знаходження *h*₁ нівелір переносять у точку *C*₂ на відстань від 3 до 5 м до однієї з рейок;

– за рейками беруть відліки *a*₂ та *b*₂ та розраховують перевищення $h_2 = a_2 - b_2$. Якщо перевищення *h*₁ і *h*₂ рівні або різниця між цими значеннями менше 4 мм, то нівелір готов до роботи. Якщо різниця перевищень більше 4 мм, то елеваційним гвинтом наводять середню нитку сітки на відлік за дальньою рейкою, що дорівнює $a_2 = b_2 + h_1$. У такому випадку бульбашка рівня відхилиться від

середини. Потім послаблюють бічні виправні гвинти рівнів і повертають вертикальними гвинтами бульбашку рівня на середину або зміщують сітку ниток її виправними гвинтами. Якщо нівелір самоустановлюваний, то горизонтальну нитку сітки встановлюють на відлік $a_2 = b_2 + h_1$ за допомогою гвинтів сітки ниток.

Розглянемо перевірки, які *необхідно робити нівеліру, у якого є компенсатор (самоустановлюваний пристрій)*. У такому разі слід виконати перевірку основної умови, якій повинні задовольняти нівеліри з компенсаторами. Ця умова полягає в наступному: лінія візування має бути горизонтальною при нахилах осі приладу в межах розрахункового кута компенсації.

Таких повірок для нівелірів з компенсаторами є дві:

1) *перевірка установочного рівня та положення сітки ниток.*

Її виконують у наступній послідовності:

– встановлюють дві рейки з відривом близько 100 м друг від друга;

– між рейками посередині встановлюють нівелір;

– взявши відліки a_1 і b_1 при цьому визначають перевищення $h_1 = a_1 - b_1$;

– після цього зміщують бульбашку круглого рівня ще чотири рази. Положення зміщеної бульбашки круглого рівня показані на рис. 6.17, д. При кожному зміщенні бульбашки круглого рівня беруть два відліки за рейками, тобто a_1 і b_1 , a_2 і b_2 , a_3 і b_3 , ..., a_5 і b_5 ;

– визначають перевищення h_2, h_3, h_4, h_5 .

– порівнюють перевищення, отримані при положеннях бульбашки рівня у 2-му, 3-му, 4-му і 5-му варіантах з перевищенням, отриманим при першому положенні. Якщо перевищення

відрізняються більш ніж на 5 мм, то прилад підлягає юстуванню в заводських умовах;

2) перевірка головної геометричної умови виробляють аналогічно нівелірам інших видів.

Глава 7

КУТОВІ ВИМІРИ. РОБОТИ З ТЕОДОЛІТОМ

7.1. Класифікація теодолітів

Теодоліт – геодезичний інструмент, який призначений для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів, а також довжин ліній для визначення координат та висот окремих точок місцевості.

Своєю назвою теодоліт завдячує двом словам з грецької мови, які означають «дивлюся» і «далеко». Перший раз прилад був згаданий як «теодолітос» у документальному джерелі у 1571 році.

Сучасні теодоліти *класифікують за чотирма ознаками:*

- 1) *за принципом роботи;*
- 2) *за точністю;*
- 3) *за конструкцією;*
- 4) *за виглядом.*

За принципом роботи розрізняють такі теодоліти:

1) *механічний теодоліт* – це вимірювальний прилад, конструкція якого не оснащена електронним та оптичним компонентами та має механічну систему наведення;

2) *оптичний теодоліт* – це прилад, який у своїй конструкції оснащений оптичним звітним пристроєм для обчислення координат точок;

3) *електронний (цифровий) теодоліт* – це прилад, який оснащений мікропроцесором та дисплеєм для обчислення та запам'ятовування координат точок на місцевості;

4) *лазерний теодоліт* – це електронний прилад, у який вбудований лазер;

Кожен із видів теодолітів має свої конструктивні особливості, сферу використання та точність виміру.

Залежно від *точності вимірювання горизонтального кута одним прийомом у лабораторних умовах*, теодоліти поділяються на три типи:

1) *високоточні теодоліти* – середньоквадратична помилка при вимірюванні такими приладами становить від $\pm 0,5''$ до $1,0''$;

2) *точні теодоліти* – середньоквадратична помилка при вимірюванні такими приладами становить від $\pm 2''$ до $\pm 10''$;

3) *технічні теодоліти* – середньоквадратична помилка при вимірюванні таким приладом становить від $\pm 15''$ до $\pm 30''$;

В умовне позначення теодоліту входить позначення типу та конструкції теодолітів. *За типом* існує така класифікація теодолітів:

1) *з рівнем при вертикальному колі* (традиційні, позначення не застосовуються);

2) *з компенсатором кутів нахилу – К*;

3) *з автоколімаційним окуляром (автоколімаційний) – А*. Автоколімаційний окуляр містить маленьку призмочку (з джерелом світла) для підсвічування сітки ниток. Сітка ниток переривчаста з хрестом посередині та без далекомірних ниток;

4) *із зоровою трубою прямого бачення (зображення) – П*;

5) *маркшейдерський – М*. Теодоліти, що відповідають маркшейдерському виконанню, призначені для робіт у вибухонебезпечних підземних гірничих виробках;

6) *електронний – Е*.

Теодоліти за конструктивною особливістю також поділяються на:

1) *повторювальний теодоліт* – має спеціальну повторювальну систему осей лімба та алідади, що дозволяє лімб разом з алідадою обертатися навколо власної осі окремо або спільно. Такий теодоліт дозволяє послідовним обертанням алідади кілька разів відкладати (повторювати) на лімбі величину вимірюваного горизонтального кута, що збільшує точність вимірів;

2) *простий теодоліт* – це теодоліт, де лімб може повертатися, але спільного з алідадою обертання не має.

Для більш універсального використання теодолітів промисловість випускає цілу низку пристосувань до них: комплекти візирних цілей, оптичні двосторонні центрири, накладні рівні, бусолі, центрувальні плити, комплект електроустаткування тощо.

7.2. Конструкція теодолітів

Будь-яка конструкція теодоліту складається із *семи основних елементів*. Розглянемо їх.

На рис. 7.1 показано схему будови теодоліту. Теодоліт має металеве або скляне коло, яке називається *лімбом 1*. По скошеному краю лімба нанесені поділки від 0° до 360° . Збільшення градусів позначають за ходом годинникової стрілки. На прямовисну лінію встановлюють центр лімба. При вимірі кута лімб перебуває у нерухомому горизонтальному положенні. Над лімбом знаходиться верхня частина теодоліту, що обертається навколо прямовисної лінії.

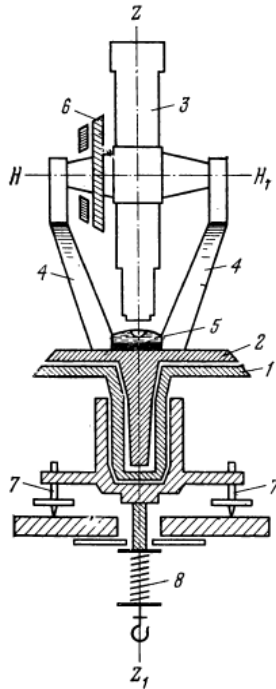


Рис. 7.1. Схема будови теодоліту

Вона містить *алідаду 2 і зорову трубу 3*. Під час обертання зорової труби навколо горизонтально встановлюваної на *колонках 4* осі HH_1 відтворюється вертикальна площина, яка називається *колимационной*. Осі лімбу та алідади збігаються. Вісь ZZ_1 обертання алідади називають *вертикальною віссю приладу*. На алідаді є *індекс*, який дозволяє фіксувати її положення на шкалі лімба.

Для підвищення точності звіту на теодоліті встановлено спеціальний *відліковий пристрій*. До алідади прикріплений *металевий кожух*, який закриває лімб та алідаду. За допомогою *підйомних гвинтів 7 по циліндричному рівню 5* вертикальну вісь теодоліту

встановлюють у вертикальне положення, а площину лімба – у горизонтальне положення.

Зорову трубу можна повернути на 180° навколо горизонтальної осі. Цю дію називають *переведенням зорової труби через зеніт*. На одному з кінців осі обертання труби кріпиться вертикальне коло б. Це коло наглухо з'єднане з віссю і обертається разом з нею. Вертикальне коло запроектоване аналогічно горизонтальному. Його використовують для вимірювання вертикальних кутів (кутів нахилу). Вертикальний круг може бути встановлений праворуч або ліворуч від зорової труби. Для визначення розташування вертикального кола (ліворуч або праворуч) необхідно дивитися на нього з боку окуляра.

У комплект теодоліту входять *бусоль*, *штатив* і *висок*. За допомогою *бусолі* вимірюють магнітні азимуту та румби. На *штатив* встановлюється теодоліт. Прилад кріплять до голівки штатива за допомогою *станового гвинта* δ .

Висок використовують для центрування приладу над точкою, тобто для установки центру лімба над вершиною вимірюваного кута. Для того, щоб обертові частини теодоліту фіксувати в нерухомому стані, використовують *закріплювальні гвинти*. Для того, щоб обертові частини були зафіксовані використовують *навідні гвинти* для повільного обертання.

7.3. Зорова труба

7.3.1. Загальні відомості про зорові труби

У розділі 6 «Нівеліри» були детально розглянуті питання пов'язані з оптичною системою зорової труби. Доповнимо деякими

визначеннями. У зорової труби є дві осі – візирна та оптична. Пряма, яка з'єднує оптичний центр об'єктива із центром сітки ниток, називається *візирною віссю труби*. Пряма, яка з'єднує оптичні центри об'єктива та окуляра, називається *оптичною віссю труби*.

7.3.2. Збільшення труби

Збільшенням труби ν називається відношення кута β , під яким зображення предмета видно у трубу, до кута α , під яким предмет видно неозброєним оком (рис. 7.2, а), тобто.

$$\nu = \beta/\alpha. \quad (7.1)$$

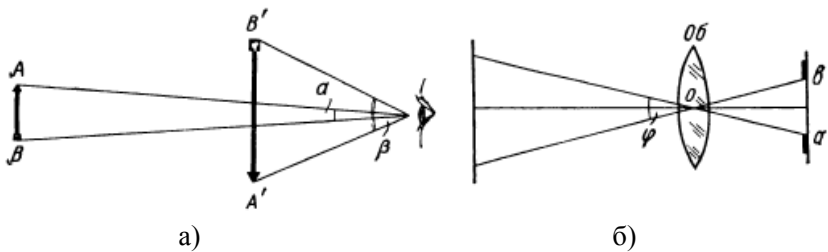


Рис. 7.2. Оптичні показники зорової труби:

а) збільшення; б) поле зору

У геодезичних розрахунках збільшення труби розраховують як відношення фокусної відстані об'єктива ($f_{об}$) до фокусної відстані окуляра ($f_{ок}$), тобто.

$$v = f_{об} / f_{ок}. \quad (7.2)$$

Труби геодезичних приладів мають збільшення від 15 до 50 і більше.

7.3.3. Поле зору труби

Поле зору називають простір, який видно в трубу при нерухомому її положенні. Поле зору визначають кутом зору (рис. 7.2, б). Вершина кута зору φ знаходиться у оптичному центрі об'єктива, а сторони спираються на діаметр ab сіткової діафрагми. Величину поля зору можна визначити за такою формулою:

$$\varphi = 38,2^\circ / v, \quad (7.3)$$

де v – збільшення труби.

З формули (7.3) видно, що чим більше збільшення труби, тим менше її поле зору.

Поле зору труби в геодезичних інструментах знаходиться в межах від $30'$ до 2° .

7.3.4. Точність візування зоровою трубою

Похибка візування неозброєним оком дорівнює $60''$, тому що роздільна здатність ока людини приблизно дорівнює одній хвилині. *Роздільна здатність* – це гранично малий кут, при якому око спостерігача ще сприймає окремо дві точки.

Якщо ми розглядаємо зображення предмета в зорову трубу, то похибка візування зменшується обернено пропорційно до збільшення труби v і дорівнює

$$m_v = 60'' / v. \quad (7.4)$$

У сучасних геодезичних приладах використовують труби із дзеркально-лінзовими об'єктивами. Такі об'єктиви мають невелику довжину (близько 210 мм) та велике збільшення.

7.4. Вимірювання кутів на місцевості

Розглянемо три точки A, B, O . Одна з цих точок, наприклад, точка O , є вершиною кута AOB (рис. 7.3).

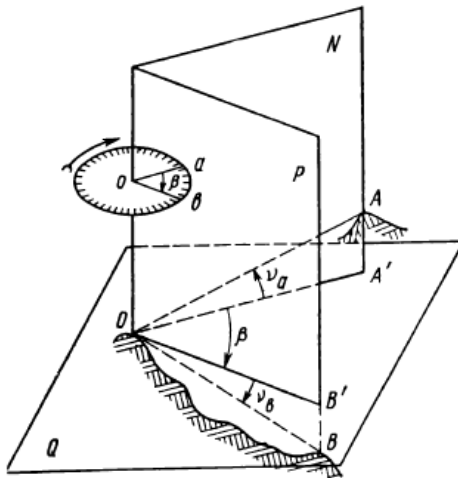


Рис. 7.3. Схема вимірювання кутів на місцевості

На сторонах OA і OB кута AOB побудуємо дві вертикальні площини N і P . Через вершину кута AOB проводимо горизонтальну площину Q . Для визначення положення точки необхідно виміряти горизонтальний кут.

Горизонтальним кутом називають двогранний кут між площинами N і P . Він визначається як кут між проєкціями сторін OA та OB на горизонтальну площину Q , тобто кутом AOB' . Горизонтальний кут може набувати значень від 0° до 360° .

Щоб визначити перевищення між точками, необхідно виміряти вертикальні кути (кути нахилу). *Вертикальний кут* – це кут між стороною та її проєкцією на горизонтальну площину. На рис. 7.3 показано, що вертикальний кут сторони OA – це кут $A'OA = \nu_a$. Вертикальні кути завжди відраховуються від проєкції до сторони. Кут вважають додатним, якщо сторона знаходиться вище за проєкцію. Якщо сторона знаходиться нижче за проєкцію, такий кут вважають від'ємним. На рис. 7.3 вертикальний кут $A'OA = \nu_a$ – додатний, а вертикальний кут $B'OB = \nu_b$ – від'ємний. Вертикальний кут може набувати значень від -90° до $+90^\circ$.

Для того, щоб виміряти горизонтальний кут, над його вершиною розташовують градуйоване коло (лімб). Центр кола сполучають з прямовисною лінією, яка проходить через вершину кута O , а саме коло розташовують у горизонтальній площині. Тоді кут β між радіусами oa і ob (перетинами кола вертикальними площинами N і P) дає горизонтальний кут між напрямками місцевості OA і OB . Якщо поділки на колі підписані за ходом годинникової стрілки, а відлік за градуйованим колом позначити через a і b , то $\beta = b - a$.

7.5. Відлікові пристрої

У якості відлікових пристроїв застосовують *штрихові та шкалові мікроскопи*, а також *оптичні мікрометри*.

Розглянемо кожен пристрій:

1) на рис. 7.4, а зображено поле зору *штрихового мікроскопа* із зображенням штриха та лімба з ціною поділки у $10'$. Десяті частки розподілу лімбу оцінюють «на око». Відлік за штрихом мікроскопа можна зробити з точністю до $1'$;

2) *шкалові мікроскопи* дають точніший відлік. На рис. 7.4, б показано поле зору шкалового мікроскопа з ціною поділки лімбу у 1° . Довжина шкали, яка відзначена на склі, дорівнює однієї поділці лімба. Оскільки шкала розділена на 60 поділоків, то з цього отримуємо, що ціна однієї поділки дорівнює $1'$. Оцінюючи десяти частки розподілу шкали «на око», можна взяти відлік за шкалою з точністю $0,1'$. На рис. 7.4, б зображено дві шкали. При вимірах ми одночасно спостерігаємо зображення горизонтального та вертикального кіл;

3) *оптичні мікрометри* з рухомими клинами використовують у високоточних теодолітах (рис. 7.4, в). У лівій частині поля зору видно зображення діаметрально протилежних штрихів лімбу. Ціна поділки становить $20'$. У правій частині – відліковий диск з ціною поділки $1''$.

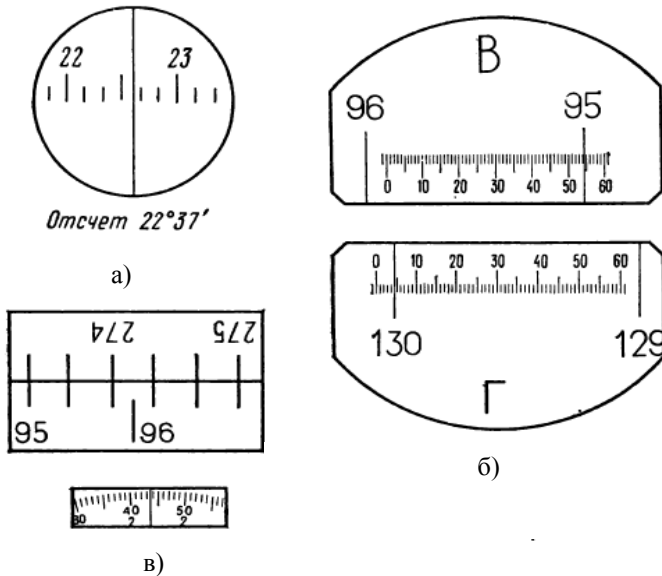


Рис. 7.4. Відлікові пристрої: а) штриховий мікроскоп;
 б) шкаловий мікроскоп; в) оптичний мікроскоп

Порядок відрахування:

– необхідно сполучити зображення видимих у полі зору нижніх та верхніх штрихів лімбу;

– знайти штрихи градусів на діаметрально протилежному боці. На рис. 7.4, в показані такі значення. Це 95° та 275° . Число поділок між цими штрихами дорівнює 5 (число 5 отримано у нашому варіанті). Якщо кількість поділок помножити на $10'$, то отримаємо кількість десятків хвилин, тобто $50'$. Наступний відлік хвилин, секунд та їх десятих часток необхідно проводити за відліковим диском $2'43,5''$. Отже, повний відлік дорівнюватиме $95^\circ 52' 43,5''$.

7.6. Прилади для центрування

Центрування – це установка центру лімба теодоліту над вершиною кута, що вимірюється. Центрування здійснюють за допомогою висків (ниткового виску та механічного центриру) або оптичних центрирів.

Найпростішим пристроєм для центрування є *нитковий висок*. Такий висок складається з гнучкої нитки (шнура). На кінці нитки закріплюють вантаж. Пристрої для центрування показано на рис. 7.5.

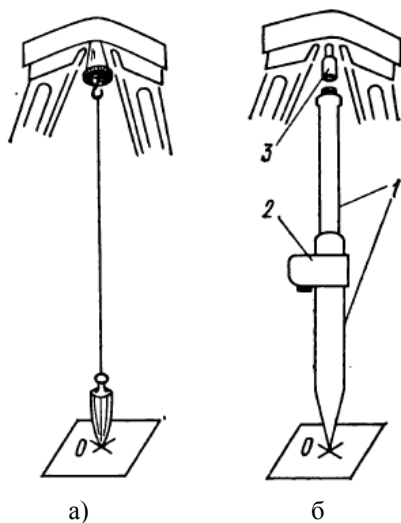


Рис. 7.5. Пристрої для центрування:
а) нитковий висок; б) механічний центрир

Для того, щоб зробити центрування, необхідно прикріпити нитку виску до станового гвинта і переміщувати підставку теодоліту, поки загострений кінець вантажу не встановиться над вершиною кута O . Похибка такого центрування залежить від погоди. Наприклад, під дією вітру нитка виску може значно відхилитися від вертикального положення. У такому випадку похибка може перевищувати 1-2 см. У безвітряну погоду центрування може бути здійснене з похибкою близько 0,5 см. Для того, щоб підвищити точність центрування та виключити вплив вітру, можна використовувати *механічний центрир*. Цей пристрій показано на рис. 7.5, б. Центрир складається з *розсувної (телескопічної) трубки 1* і *круглого рівня 2*. Нижня частина трубки загострена, а верхня з'єднується з *гвинтом 3* теодоліта. Під час центрування загострений кінець трубки необхідно поєднати з вершиною кута O , а підставку теодоліту разом зі становим гвинтом переміщують на головки штатива до тих пір, поки бульбашка круглого рівня не встановиться в нуль-пункт. Середня квадратична похибка при такому центруванні становить приблизно 1-2 мм.

Оптичний центрир є частиною теодоліту, оскільки він вбудований в алідаду горизонтального кола. На рис. 7.6 показано схему оптичного центрира.

Центрир оснащений *окуляром 1*, *прозорою пластинкою 2* (на неї нанесена сітка ниток), *фокусуючою лінзою 3*, *кремальєрою 4*, *об'єктивом 5* і *призмою 6*. Призма повертає промінь на 90° . При центруванні алідаду теодоліту необхідно за допомогою циліндричного рівня встановити у горизонтальне положення. В такому випадку візирна вісь центру $O'O''$ теж займає горизонтальне положення, а промінь $O'O$ строго вертикально.

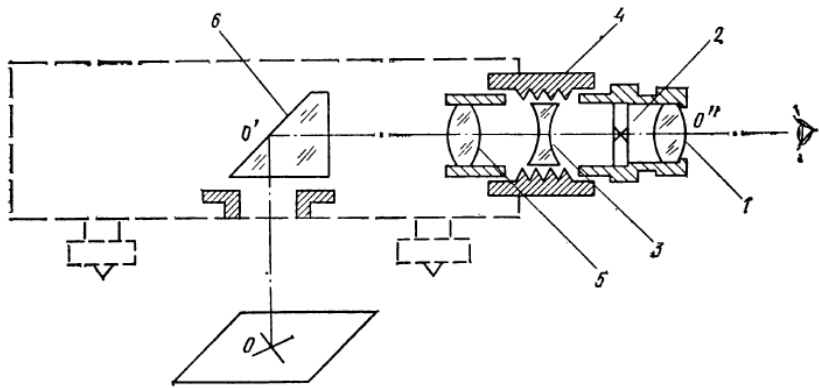


Рис. 7.6. Оптичний центрир

У поле зору центрира потрапляє зображення вершини кута точки O та хрест сітки ниток. Потім пересувають підставку теодоліту по голівці штатива, домагаючись тим самим, щоб хрест сітки ниток збігся із зображенням точки O . Середня квадратична похибка такого центрування становить приблизно 0,5 мм.

7.7. Приклади теодолітів

Розглянемо пристрій найчастіше застосовуваних теодолітів. Теодоліт ЗТ5КП зображений рис. 7.7.

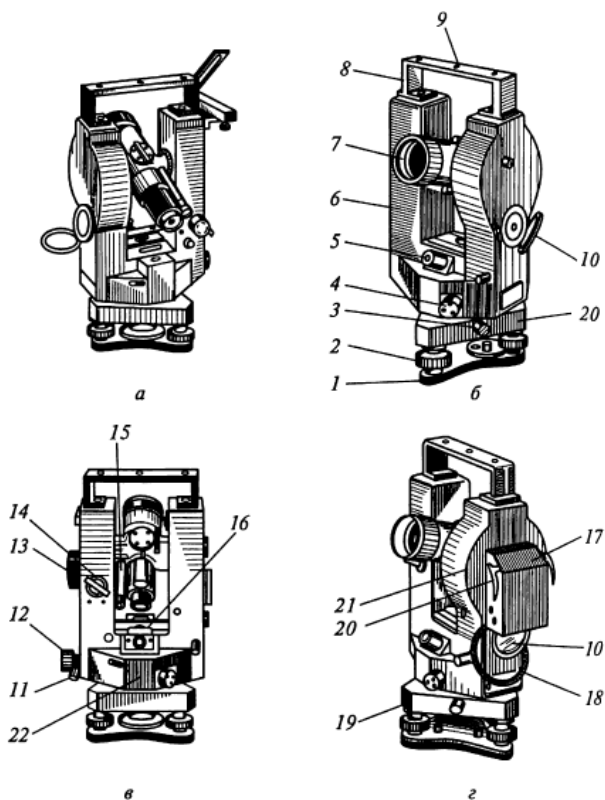


Рис. 7.7. Теодоліт ЗТ5КП у робочому стані:

а) з бусоллю; б ... г) у різних ракурсах;

- 1 – притискна пластина; 2 – підйомні гвинти; 3, 11, 12, 14 – затискні гвинти; 4 – гвинт установки відліків; 5 – окуляр центриру; 6 – стійка; 7 – об'єktiv труби; 8 – ручка для перенесення; 9 – отвір для установки віхи; 10 – дзеркало підсвічування; 13 – гвинт суміщення шкали вертикального кола; 15 – мікроскоп; 16 – рівень; 17 – електроосвітлювальний пристрій; 18 – електрокабель; 19 – трегер; 20 – клямка; 21, 22 – вертикальне та горизонтальне кола

Назва теодоліту ЗТ5КП можна розшифрувати так: З – третя модифікація, Т – теодоліт, 5 – середня квадратична похибка вимірювання кута з одного прийому (5"), К – компенсатор вертикального кола, П – пряме зображення.

Найчастіше теодоліти доукомплектовують елементами, які значно розширюють сферу їх застосування. У стандартну комплектацію такого теодоліту входить: бусоль, лінзова насадка на об'єктив, окулярна насадка на зорову трубу, відліковий мікроскоп, електроосвітлення відлікових шкал (застосовують електроосвітлення при роботі в нічний час), візирна вішка.

Теодоліт такого типу запроектовано з повною циліндричною системою осей обертання горизонтального кола. *Затискним гвинтом 3* фіксують верхню частину приладу. *Відлікові шкали горизонтального кола* розташовані під кожухом. *На одній із стійок 6* закріплена шкала для відліків на вертикальному колі *21*. Центрування теодоліту проводять за допомогою вбудованого в алідаду *оптичного центрира 5*. Через систему заломлюючих *призм* проходять відліки за шкалами вертикального і горизонтального кіл. Ціна поділки лімба дорівнює 1° .

На рис. 7.8 у поле зору мікроскопа ми бачимо дрібніші поділки шкали- мінути. Відлік ми визначаємо за штрихом лімба на відліковій шкалі. Наприклад, за рис. 7.8 ми можемо зробити відлік за горизонтальним колом Г, він дорівнює $174^{\circ}55,2'$, а за вертикальним колом В – $2^{\circ}0,43'$. Якщо штрих збігається з цілою поділкою, то десяті частки найдрібнішої поділки визначають «на око». У нашому випадку це будуть десяті частки мінути.

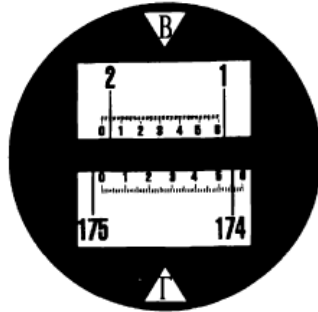


Рис. 7.8. Поле зору відлікового мікроскопа теодоліту ЗТ5

На рис. 7.9 зображений теодоліт ЗТ30.

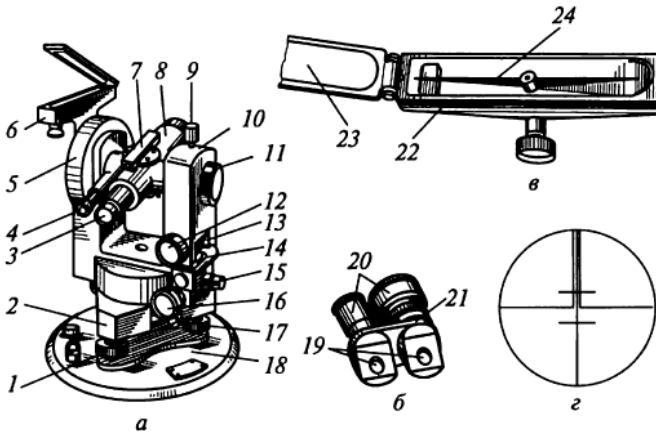


Рис. 7.9. Теодоліт ЗТ30:

а) зовнішній вигляд; б) окулярна насадка;

в) загальний вигляд орієнтир-бусолі; г) поле зору труби;

1, 9, 11 ... 13, 15 ... 17 – гвинти; 2 – підставка; 3, 4 – окуляри;
5 – вертикальне коло; 6 – орієнтир-бусоль; 7 – візир; 8 – зорова труба; 10 – колонка; 14 – рівень; 18 – основа; 19, 20 – призми;
21 – обойма; 22 – корпус; 23 – дзеркало; 24 – магнітна стрілка

Його відмінність від теодоліту ЗТ5КП полягає в тому, що в його відліковому пристрої немає шкали. Ціна поділки лімбу становить $10'$.

У такому теодоліті відліки за колами необхідно виконувати за вертикальним відрахунковим штрихом *l*. На рис. 7.10 показано поле зору відлікового мікроскопа теодоліту ЗТ30.

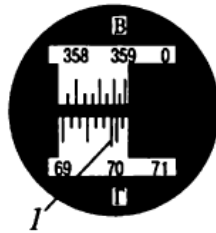


Рис. 7.10. Поле зору відлікового мікроскопа теодоліту ЗТ30:
1 – відліковий штрих

Мінути визначають "на око". Наприклад, у нашому варіанті:

– за горизонтальним колом $70^{\circ}05'$;

– за вертикальним колом $358^{\circ}48'$.

Зорову трубу 8 теодоліту ЗТ30 можна використовувати для центрування над точкою. Для цього необхідно використовувати окулярну насадку. Цю ж насадку за необхідності використовують для візування вертикально вгору.

Гвинтом-кремальєрою 11 можна фокусувати труби. За допомогою обертання кільця *окуляра* 3 можна змінювати різкість зображення сітки в залежності від гостроти зору спостерігача.

Необхідно пам'ятати, що у спостерігача зір має бути в межах ± 5 діоптрій. В іншому випадку спостерігачеві необхідно працювати в окулярах. Повертаючи зорову трубу у горизонтальній площині, її наводять на предмет. При цьому *затискний гвинт 15* має бути опущений. При підведенні труби до цілі, її закріплюють затискним гвинтом, а *навідним гвинтом 16* точно вводять в бісектор.

Бісектор – це простір, обмежений двома вертикальними штрихами сітки ниток зорової труби.

Навідним гвинтом 12 наводять зорову трубу на предмет у вертикальній площині.

Закріплювальний гвинт 9 при точному підведенні необхідно затиснути. Навідний гвинт розташований на підставці теодоліту. За допомогою *навідного гвинта 1* і *закріплювального гвинта 17* можна проводити наведення зорової труби разом з лімбом і алідадою. За допомогою *оптичного візира 7*, який розташований на зоровій трубі, можна «на око» наводити на предмет трубу. Біля окуляра зорової труби знаходиться *окуляр відлікового мікроскопа 4*. У теодоліта встановлено скляне коло з поділками від 0° до 360° .

За *циліндричним рівнем 14* вертикальну вісь приладу можна встановити у прямовисне положення. Рівень оснащений *юстирувальними гвинтами 15*. Теодоліт запроектований із *незнімною підставкою 2*, яка жорстко скріплена з *основою 18*. Основа служить одночасно дном футляра, який одягається на теодоліт після роботи.

Окулярна насадка показана на рис. 7.9, б. Її надягають на окуляр зорової труби та відлікового мікроскопа. *Призма 19* змінює напрямок візирної вісі на 90° . *Призма 20* поміщена в оправу, а оправу знаходиться в *обоймі 21*. Оправа, в якій знаходяться призма, вільно

обертається в обоймі. На кришці теодоліту проектується спеціальне місце для встановлення *орієнтир-бусолі б*.

Орієнтир-бусоль показана на рис. 7.9, в. Вона знаходиться у *металевому корпусі 22* з кришкою. Для зручності спостережень у кришці встановлено дзеркало. У корпусі намальовані два *індекси*, і встановлена *магнітна стрілка 24*. Для того, щоб магнітну стрілку можна було врівноважити, на її південний кінець надягають вантаж, який можна переміщати вздовж стрілки. Орієнтир-бусоль необхідно кріпити до теодоліту так, щоб лінія, яка проходить через індекси, була паралельна до візирної осі труби. Перед роботою стрілку бусолі необхідно зняти із закріпленого положення для того, щоб вона могла вільно обертатися у горизонтальній площині. Трубу теодоліту ЗТ30 можна встановити строго горизонтально. Для цього на теодоліті необхідно зняти візир і на його місце розташувати рівень.

7.8. Візирні цілі та еккери

Територія, на якій роблять геодезичні вимірювання, буває нерівною і може мати значну рослинність. Тому безпосереднє візування на точку, яка закріплена в ґрунті знаком, іноді важко зробити. Для того, щоб знак було видно, над ним розташовують візирні цілі, віхи, шпильки, марки. На рис. 7.11, а показаний *комплект візирних цілей (КВЦ)*. КВЦ використовують для вимірювання кутів із великою точністю.

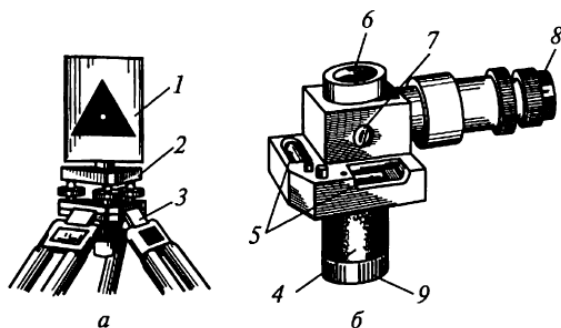


Рис. 7.11. Елементи установки візорних цілей:

а) комплект візорних цілей; б) оптичний висок;

1 – марка; 2 – підставка; 3 – штатив; 4 – вертикальна вісь; 5 – рівень;
6, 9 – об'єктиви; 7 – перемикач напрямків; 8 – окуляр

У КВЦ входить *візорна марка 1, підставка 2, штатив 3*. У набір також входять акумулятори, шнури з вилками та електричні лампи для роботи у нічний час.

Для центрування візирної марки над точкою використовують *оптичний двосторонній висок (ОДВ)*. Він показаний на рис. 7.11, б.

Центрувати марку можна так: над точкою необхідно встановити штатив. Головка штатива має бути приблизно горизонтальна. Центр штатива необхідно встановити над точкою. На голівку штатива встановлюють підставку з ОДВ. Дивлячись в *окуляр 8*, зміщують по голівці штатива підставку з ОДВ до збігу хреста сітки ниток з точкою. У цьому положенні її закріплюють. Засуваючи та висуваючи ніжку штатива наводять бульбашки взаємно-перпендикулярних *рівнів 5* у нуль-пункт. Під час таких дій може

порушитись наведення хреста сітки ниток на крапку. Для того, щоб відновити порушене в попереднє положення, необхідно трохи відкріпити гвинт і, переміщуючи підставку, знову навести ОДВ на точку. Якщо при цьому трохи порушиться вертикальна вісь ОДВ, то відновити її можна підйомними гвинтами підставки. Центрування та приведення осі ОДВ у вертикальне положення необхідно повторити кілька разів. Домогшись збігу хреста сітки ниток візирної труби висуку з точкою при положенні рівнів в нуль-пункті, роботу закінчують. Після цього ОДВ знімають, а на його місце у підставку кріплять візирну марку.

Веха – інструмент, що використовується для фіксації точки на місцевості під час роботи з геодезичним обладнанням. Цей пристрій використовується для встановлення відбивача, GNSS приймача, приймача GPS або його зовнішньої антени. Матеріалами для виготовлення вішок зазвичай є алюмінієвий сплав, високотехнологічний карбон і скловолокно. Алюмінієві віхи завдяки доступній ціні є найпопулярнішими, але сучасні карбонові та фібергласові віхи поєднують у собі легкість, довговічність та міцність, тому користуються заслуженою повагою серед професіоналів. Віху загостреною частиною встановлюють у центр точки. Вертикальне положення віхи можна перевірити за вертикальною ниткою сітки труби теодоліту (рис. 7.12).

Центр сітки труби необхідно поєднати з її основою.



Рис. 7.12. Поле зору труби при наведенні на віху
(зображення перевернуто)

Шпильки доцільно використовувати при вимірі кутів із короткими сторонами. Шпильки встановлюють у центрі знака. Після цього необхідно перевірити вертикальне положення шпильки. Аналогічно перевірки вертикального положення віхи, шпильку також перевіряють за вертикальною ниткою сітки труби.

За допомогою оптичного висуку теодоліт центрують аналогічно ОДВ. Похибка центрування становить від 0,5 мм до 1,0 мм.

Якщо на місцевості необхідно побудувати кути з невеликою точністю, застосовують *дводзеркальний геодезичний еккер* (ЕГ).

Розглянемо рис. 7.13.

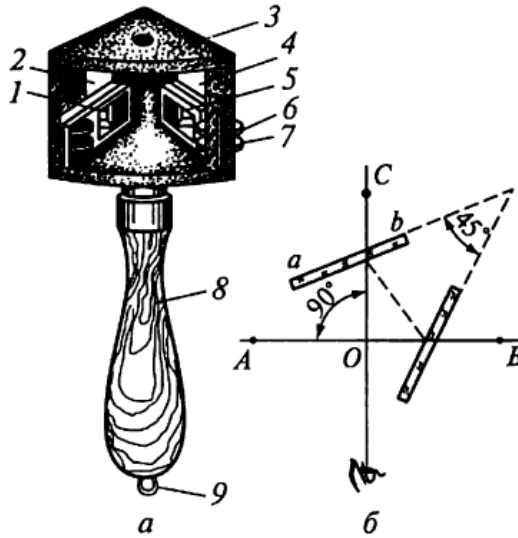


Рис. 7.13. Двохдзеркальний ЕГ:

- а) зовнішній вигляд; б) побудова прямого кута екером над точкою;
 1, 5 – дзеркала; 2, 4 – вікна; 3 – корпус;
 6, 7 – гвинти; 8 – ручка; 9 – кільце

ЕГ складається з тригранного *металевого корпусу 3*. З внутрішньої сторони до граней цього корпусу під кутом 45° кріпляться *дзеркала 1 і 5*. Кут між цими дзеркалами можна регулювати *гвинтами 6 і 7*. Над дзеркалами в металевому корпусі вирізані *вікна 2 і 4*. До корпусу пригвинчується *ручка 8*. Для того, щоб побудувати прямий кут, спостерігач центрує ручку екера над точкою. Для зручності роботи на ручці ЕГ знаходиться *кільце 9*, до

якого кріпиться нитковий висок. На рис. 7.13, б показана схема побудови прямого кута в точці O до створу AB . Для цього потрібно, щоб у дзеркалі av була видна початкова візирна ціль, встановлена в точці A . Одночасно за створом у вікні над дзеркалом av «на око» виставляють другу візирну ціль. Цю ціль переміщують по створу, доки її зображення не співпаде із зображенням початкової візирної цілі. Візирна ціль встановлюється в точці, від якої має бути опущений перпендикуляр до створу AB до суміщення візирних цілей, що видно у вікні.

Перевірку роботи еккера можна зробити таким чином:

– у точці C створа лінії AB необхідно двічі відновити перпендикуляр. Перший раз орієнтуючись по точці A , другий раз – по точці B ;

– кут між дзеркалами повинен дорівнювати 45° , тоді візирні цілі, встановлені в точці C , збігатимуться. Якщо візирні цілі не збігаються, то можна виправити це за допомогою *регулювальних гвинтів б і 7*.

7.9. Повірки та юстування теодолітів

До початку повірки теодоліт необхідно оглянути зовні і перевірити його стійкість на штативі, плавність ходу підйомних і навідних гвинтів, а також міцність фіксації частин, що обертаються, закріплювальними гвинтами.

Потім необхідно провести повірки теодоліту, які визначають правильність взаємного розташування осей приладу. На рис. 7.14 показано розташування геометричних осей теодоліту.

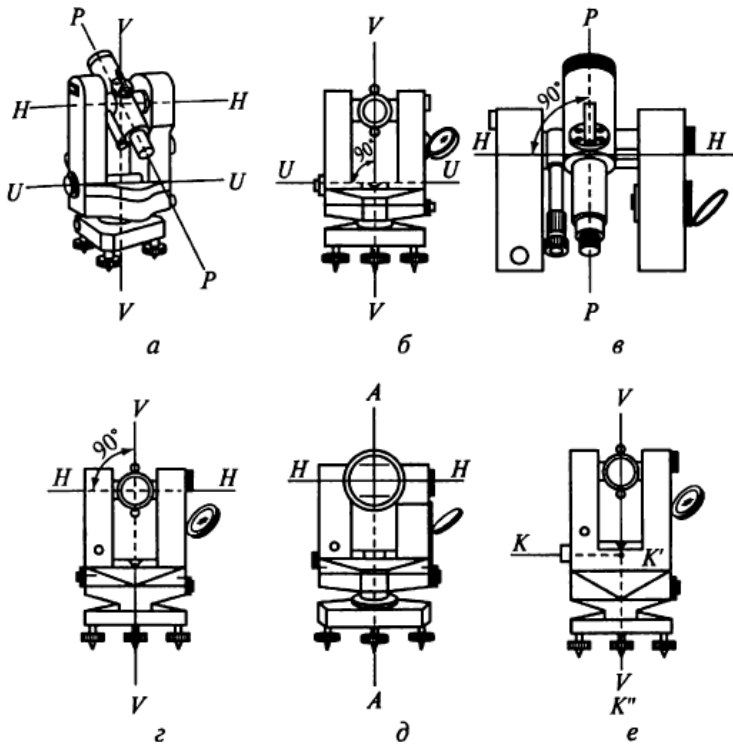


Рис. 7.14. Розташування геометричних осей теодоліту

Для роботи з теодолітом необхідно переконаватися, що він у справному стані, а значить зробити перевірки. Розглянемо ці перевірки:

1) вісь UU циліндричного рівня горизонтального кола повинна бути перпендикулярна до осі VV обертання приладу (рис. 7.14, б).

Цю перевірку можна виконати у такому порядку:

– теодоліт на штатив необхідно встановити так, щоб рівень був розташований у напрямку двох будь-яких підйомних гвинтів;

– далі підйомні гвинти обертають у різні боки, поки бульбашка рівня не досягне нуля-пункту;

– після цього необхідно повернути горизонтальне коло теодоліту на 180° . Якщо після цих дій бульбашка залишається на середині або відхилиться не більше ніж на одну поділку, то це означає, що теодолітом можна працювати. Якщо більше, ніж одна поділка, необхідно виправити положення осі рівня;

– для цього виправними гвинтами рівня необхідно перемістити бульбашку на половину дуги відхилення його від середини ампули, а за допомогою підйомних гвинтів переміщують бульбашку рівня на другу половину дуги відхилення;

– після виконання цих дій необхідно перевірити робочий стан теодоліту. Для цього горизонтальне коло повертають на 90° , бульбашку циліндричного рівня встановлюють на середину і повертають горизонтальне коло в довільну сторону;

– перевірка вважається виконаною, якщо при різних положеннях кола щодо підйомних гвинтів бульбашка рівня залишається в нуля-пункті;

2) *візирна вісь PP труби має бути перпендикулярна до осі HH обертання труби (рис. 7.14, в).*

Для виконання цієї перевірки необхідно виконати такі дії:

– вертикальну вісь теодоліту необхідно встановити у вертикальне положення;

– потім встановлюють рівень теодоліту у напрямку двох підйомних гвинтів. Починають обертати ці гвинти в різні боки, приводячи бульбашку в нуля-пункт;

– після цього теодоліт повертають на 90° . Бульбашка найімовірніше відхилиться від середини ампули. Повертають третій підйомний гвинт, приводячи бульбашку знову на середину;

– далі необхідно навести трубу теодоліту на віддалену, але ясно видиму точку;

– закріпивши лімб беруть відлік a за горизонтальним колом;

– відпускають затискний гвинт зорової труби для переведення її через зеніт;

– потім відпускають затискний гвинт аліади, наводять трубу на ту саму точку для повторного відліку a_2 ;

– порівнюються відліки a_1 і a_2 . Якщо вони однакові або відрізняються не більше ніж на подвійну точність відлікового пристрою, теодоліт знаходиться у справному стані. Якщо відліки a_1 і a_2 різні, необхідно усунути несправність;

– для цього визначають середнє арифметичне цих відліків ($a_{\text{ср}} = (a_1 + a_2) / 2$). На горизонтальному колі теодоліту за допомогою мікрометренного гвинта встановлюють відлік $a_{\text{ср}}$. Ймовірно, зображення точки зміститься від вертикальної нитки;

– для того, щоб все повернути в попереднє положення, необхідно зняти з окулярного коліна труби ковпачок, послабити вертикально розташовані гвинти та за допомогою обертання бічних виправних гвинтів змістити перехрестя сітки ниток до збігу її з точкою візування;

– після цього юстування необхідно закріпити всі гвинти;

– трапляються випадки, коли кут вимірюють при порушеному співвідношенні осей. У такому випадку необхідно взяти відліки при

лівому (Л) положенні труби та правому (П) положенні труби. З цих значень обчислюють середнє;

3) *вісь НН обертання труби повинна бути перпендикулярна до осі VV обертання приладу* (рис. 7.14, г).

Повірку можна виконати у наступній послідовності:

- теодоліт розташовують на відстані 10-15 м від стіни будівлі;
- потім приводиться лімб в горизонтальне положення;
- трубу наводять на високо розташовану точку A на будівлі;
- потім закріплюють горизонтальне коло;
- трубу теодоліту опускають до горизонтального положення, відзначають олівцем на стінці точку a_1 , у яку проектується центр сітки ниток;

- переводять трубу через zenit, відкріплюють алідаду за допомогою закріплювального гвинта і знову наводять на ту саму точку A ;

- далі аналогічно намічають на стіні точку a_2 . Якщо дві проекції (a_1 та a_2) точки A збігаються, то теодоліт знаходиться в робочому стані. Якщо не збігаються, то приладом працювати не можна;

- у сучасних конструкціях теодолітів підставка труби не має виправних гвинтів, тому цю похибку можна усунути лише на заводі, де виготовляють ці прилади;

4) *вертикальна нитка AA сітки зорової труби повинна бути перпендикулярна до осі НН її обертання* (рис. 7.14, д).

Повірку необхідно виконати у наступній послідовності:

- вертикальну вісь обертання теодоліту встановлюють у вертикальне положення;

- відступивши 8-10 м від теодоліту встановлюють висок;

– вертикальну нитку труби теодоліту наводять на восок. Якщо ця нитка збігається з ниткою виску, це означає, що теодоліт перебуває у справному стані. Якщо ні, необхідно це виправити;

– знімають ковпачок з окулярного коліна труби, послаблюють виправні гвинти сітки та повертають діафрагму так, щоб вертикальна нитка сітки збіглася з ниткою виску;

5) *компенсатор вертикального кола повинен забезпечувати незмінний відлік за вертикальним колом при нахилах вертикальної осі теодоліту в межах $\pm 2'$. Така перевірка виконується лише для теодолітів типу ЗТ5К.*

Виконується така повірка у наступній послідовності:

– вертикальну вісь обертання теодолита встановлюють у вертикальне положення, при цьому один з підйомних гвинтів розташовують у напрямку обраної на місцевості точки. Точку необхідно вибрати на відстані близько 50 м від теодоліту;

– трубу приладу наводять на точку та закріплювальними гвинтами фіксують її та горизонтальне коло;

– обертаючи підйомні гвинти, теодоліт нахиляють на 3-4 поділки рівня, потім знову наводять трубу на ту саму точку і роблять відлік за вертикальним колом;

– після цього необхідно повторити ті ж дії, нахиливши теодоліт на 3-4 поділки рівня в інший бік. Теодоліт перебуває у справному стані, якщо різниця відліків, які отримали при першому та другому нахилах теодоліту не перевищує $\pm 0,1'$;

– якщо ці умови не виконуються, то теодоліт відправляють на завод-виробник;

б) візирна вісь $KK'K''$ оптичного вису повинна збігатися з віссю $K'K''$ обертання теодоліту, тобто з віссю VV (рис. 7.14, е).

Повірку необхідно виконати у такій послідовності:

– вертикальну вісь обертання теодоліту встановлюють у вертикальне положення;

– на місцевості обирають точку, в яку проектується центр вису, що спостерігається в окуляр;

– потім теодоліт повертають на 180° і відзначають проекцію центру вису вдруге. Якщо теодоліт перебуває у справному стані, то проекції точок співпадуть до 1 мм;

– якщо проекції точок не збігаються до 1 мм, необхідно зняти кришку, під якою знаходяться два гвинти, що скріплюють висока з теодолітом;

– потім слід відкрутити гвинти та пересунути окулярну частину теодоліту до поєднання проекцій першої та другої точок. Якщо розбіжність проекцій центру вису більше 3 мм, то теодоліт відправляють на завод-виробник.

ГЕОДЕЗИЧНІ ЗАВДАННЯ. МАСШТАБ КАРТ

Д.1.1. Задача 1

Дана карта 1:25 000. Довжина ділянки $l = 2,34$ см. Необхідно визначити довжину відповідного горизонтального прокладання лінії території A .

Розв'язання: $A = 2,34 \cdot 25000 = 58500$ см = 585 м.

Д.1.2. Задача 2

Довжина горизонтального прокладання лінії місцевості $A = 320$ м. Визначити її довжину l , якщо масштаб карти 1:2 000.

Розв'язання: $l = 320 : 2000 = 1,6$ см.

ПРЯМА ТА ЗВОРОТНЯ ГЕОДЕЗИЧНІ ЗАДАЧІ

Д.2.1. Пряма геодезична задача

Розглянемо прямокутну геодезичну систему координат (рис. Д.2.1).

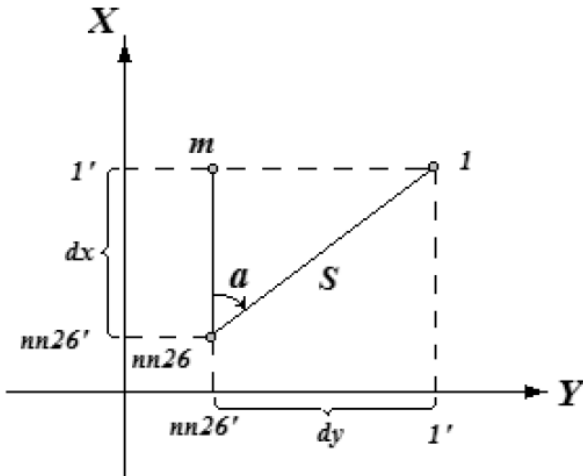


Рис. Д.2.1

У цій системі координат нам дано напрям $nn\ 26-1$ і точка 1 . Даний напрямок нам задано дирекційним кутом α до точки 1 . Відстань S відома. Необхідно визначити приріст координат dx і dy від точки $nn\ 26$ до точки 1 і визначити прямокутні координати x_{y1} .

Для вирішення цієї задачі необхідно спроектувати точки $mn\ 26$ та I на осі координат. З рисунка видно, що відрізок $I' - mn\ 26'$ відповідає приросту dx на осі x та dy на осі y . Проводимо лінію, паралельну осі x із $mn\ 26$. Перетин лінії $I-I'$ та лінії паралельної осі x із $mn\ 26$ дають нам точку m . Розглянемо прямокутний трикутник. Його вершини позначені точками $mn\ 26$, m , I . Із трикутника визначаємо dx та dy . Косинус кута прямокутного трикутника дорівнює відношенню прилеглого катета до гіпотенузи, тобто

$$\cos \alpha = \frac{m - mn26}{S} = \frac{dx}{S}, \quad (\text{Д.2.1})$$

тоді

$$dx = S \cos \alpha. \quad (\text{Д.2.2})$$

Синус кута прямокутного трикутника дорівнює відношенню протилежного катета до гіпотенузи, тобто

$$\sin \alpha = \frac{I - m}{S} = \frac{dy}{S}, \quad (\text{Д.2.3})$$

тоді

$$dy = S \sin \alpha. \quad (\text{Д.2.4})$$

Ці формули використовуються для обчислення приросту координат. З рис. Д.2.1 визначаємо координати точки I :

$$x_I = x_{mn26} + dx, \quad (\text{Д.2.5})$$

$$y_I = y_{mn22} + dy. \quad (\text{Д.2.6})$$

Д.2.2. Зворотня геодезична задача

Розглянемо рис. Д.2.2.

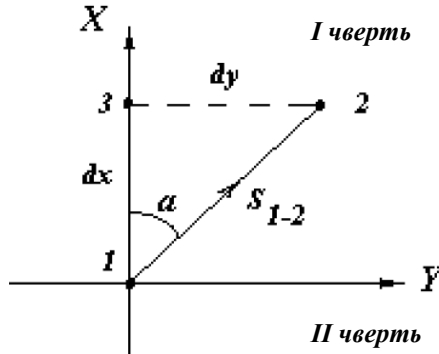


Рис. Д.2.2

Нам задані координати точок 1 і 2 . Необхідно обчислити дирекційний кут напрямку $1-2$ та довжину горизонтального прокладання між ними.

Знаходимо приріст координат точки 2 щодо точки 1 . З рисунка видно, що:

$$dx_2 = x_2 - x_1, \quad (\text{Д.2.7})$$

$$dy_2 = y_2 - y_1. \quad (\text{Д.2.8})$$

Розглянемо прямокутний трикутник (рис. Д.2.2).

$$S = \sqrt{dx^2 + dy^2}, \quad (\text{Д.2.9})$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx}. \quad (\text{Д.2.10})$$

Таке розв'язання можна використовувати, якщо точка 2 знаходиться у I четверті системи прямокутних координат. Але якщо точка 2 буде розташована у II четверті, то за цими формулами ми знайдемо не дирекційний кут α , а румб r (рис. Д.2.3).

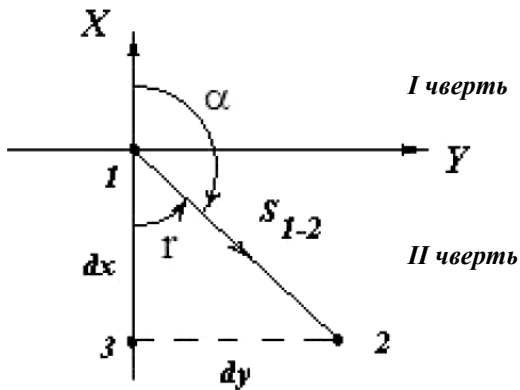


Рис. Д.2.3

З рис. Д.2.3 випливає, що тангенс румба дорівнює відношенню dy та dx , тобто:

$$\operatorname{tg} r = \frac{dy}{dx}. \quad (\text{Д.2.11})$$

Для того, щоб перейти від румба до дирекційного кута, необхідно виконати кілька перетворень, які показані на рис. Д.2.4.

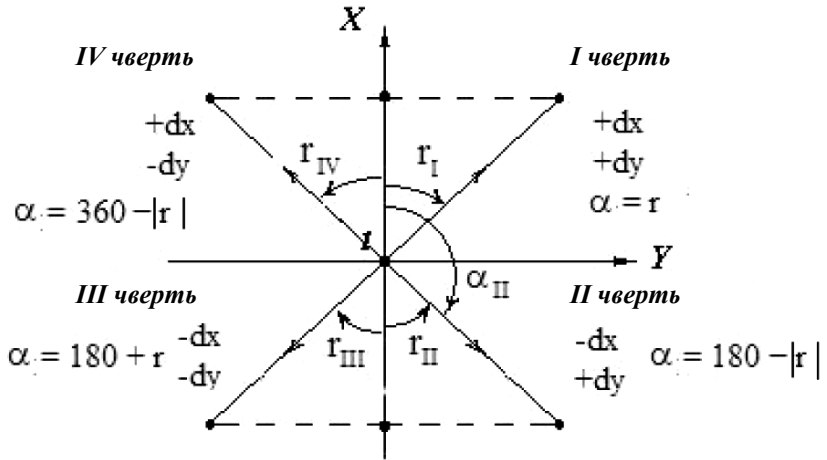


Рис. Д.2.4

ВИМІРЮВАННЯ НА КАРТІ (ПЛАНІ) КУТІВ ОРІЄНТУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТ ТОЧОК

Для того, щоб виміряти *дирекційний кут лінії*, можна через початкову її точку провести лінію паралельну осі абсцис. Потім у цій точці виміряти дирекційний кут.

На практиці зручніший спосіб – це продовжити дану пряму лінію до перетину нею координатної лінії. Потім необхідно виміряти дирекційний кут у точці перетину.

Для того, щоб виміряти *географічний азимут лінії*, необхідно через початкову її точку провести меридіан. Меридіан проходить паралельно до східної або західної рамки листа. Потім відносно меридіану вимірюють азимут. Але проведення меридіана буває важким, тому можна використовувати більш легкий спосіб. Спочатку обчислюють дирекційний кут шуканого напрямку, а потім за формулою визначають азимут:

$$A = \alpha + \gamma, \quad (\text{Д.3.1})$$

де γ – зближення меридіанів.

Його беруть із допоміжного креслення. Допоміжне креслення зображують за південною рамкою листа карти.

Приклад графіка кутів орієнтування показано на рис. Д.3.1.

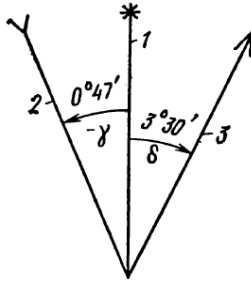


Рис. Д.3.1. Графік кутів орієнтування:
 1 – географічний меридіан; 2 – осьовий меридіан;
 3 – магнітний меридіан

На цьому рисунку зображено магнітне схилення, завдяки якому можна визначити магнітний азимут:

$$A_m = A - \delta = \alpha + \gamma - \delta, \quad (\text{Д.3.2})$$

де δ – магнітне схилення.

Для визначення висоти точки скористаємось рис. Д.3.2.

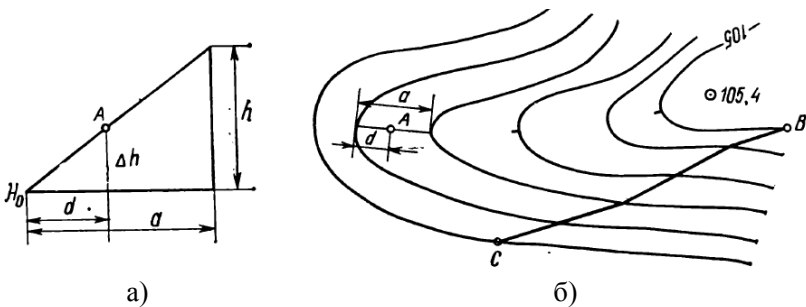


Рис. Д.3.2. Розв'язання задач на плані з горизонталями:

- а) визначення відмітки точки А;
- б) проведення лінії заданого ухилу

На рис. Д.3.2 б зображено ділянку карти з горизонталями. Висоту H_A точки A можна визначити за висотою поблизької горизонталі. Для цього через точку A проведемо пряму перпендикулярну горизонталі та знайдемо перевищення Δh точки A над нею (рис. Д.3.2 а). Висоту H_A точки A можна визначити за формулою:

$$H = H_0 + \Delta h, \quad (\text{Д.3.3})$$

де H_0 – висота найближчої до точки горизонталі;
 Δh – перевищення точки над цією горизонталлю.

Якщо припустити, що висоти точок змінюються пропорційно до закладення, можна визначити перевищення точки над цією горизонталлю такою формулою:

$$\Delta h = (d / a) \cdot h, \quad (\text{Д.3.4})$$

де a – закладення між послідовними горизонталями;
 d – відстань від точки до найближчої горизонталі;
 h – висота перерізу рельєфу горизонталями.

**ВИЗНАЧЕННЯ КРУТОСТІ СКАТА.
ПОБУДОВА ЛІНІЇ ІЗ ЗАДАНИМ УХИЛОМ**

Крутизна схилу у напрямку закладення визначають двома значеннями – це ухил i та кут нахилу v . З рис. Д.4.1 можна визначити тангенс кута нахилу та ухил:

$$\operatorname{tg} v = h/a = i, \quad (\text{Д.4.1})$$

де h – висота перерізу рельєфу;

a – закладення ската.

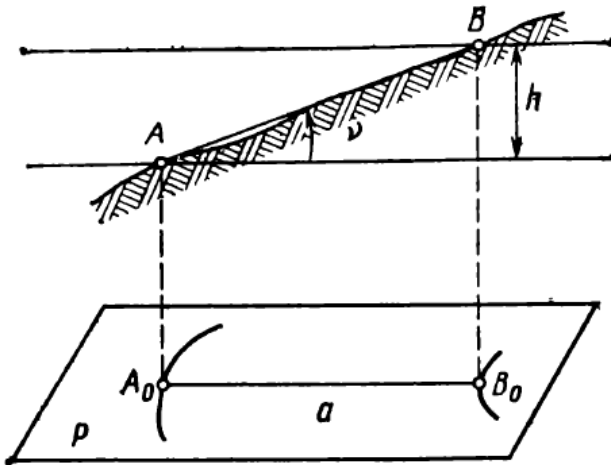


Рис. Д.4.1. Елементи скату:

h – висота перетину рельєфу; a – закладення схилу;

v – кут нахилу; P – горизонтальна площина

Визначати кут нахилу v можна графічним способом. Для цього має бути задано закладення a , масштаб M та висота перерізу рельєфу h . Будується графік закладання (рис. Д.4.2, а).

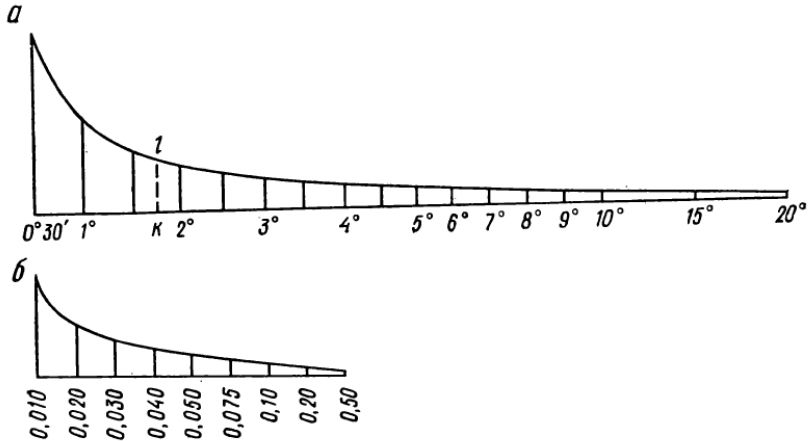


Рис. Д.4.2. Графіки додатків:
а) для кутів нахилу; б) для ухилів

Уздовж прямої лінії основи графіка відкладають точки, які відповідають значенням кутів нахилу. За перпендикуляром до основи графіка цих точок відкладають відрізки у масштабі карти. Ці відрізки дорівнюють відповідним закладенням, тобто:

$$a = h \operatorname{ctg} v . \quad (\text{Д.4.2})$$

Кінці цих відрізків з'єднують плавною кривою. Такий графік розміщують за південною рамкою топографічної карти. Отже, по осі x у нас відкладені кути нахилу v , по осі y – закладання a .

Аналогічно можна побудувати графік закладень не для кутів нахилу, а для ухилу. Цей графік схожий на попередній, але тільки по осі x відкладають ухили (i).

Для визначення крутизни схилу за шкалою закладень необхідно виміряти циркулем відстань між двома поближкими горизонталями і прикласти циркуль до шкали закладень. Відлік унизу на шкалі проти ніжки циркуля вкаже крутість ската в градусах. Докладніше це описано в *главі 3*.

Дуже часто під час проектування трас каналізації, водопроводу та інших лінійних споруд ми стикаємося з такими завданнями: на карті визначено точку, і необхідно провести лінію із заданим ухилом i за заданим напрямом.

Для вирішення цієї задачі необхідно обчислити значення закладення a (значення i та h нам відомі), тому

$$a = h/i. \quad (Д.4.3)$$

Потім вимірником слід відміряти отримане значення a . Після цього ставимо одну його ніжку в початкову точку, а іншою засікаємо найближчу горизонталь і відзначаємо точку траси.

ПОБУДОВА ПРОФІЛЮ ПО ТОПОГРАФІЧНІЙ КАРТІ

Профіль місцевості – це зменшення вертикального розрізу місцевості за заданим напрямком.

Якщо на карті, на якій зображені горизонталі, провести лінію, то для будь-якої точки можна визначити горизонтальну відстань (*видалення*) від початкової точки і висоту. Далі, відкладаючи на осі x (абсцис) горизонтальну відстань (*видалення*) від початкової точки, на осі y (ордината) – відповідну висоту, а потім з'єднавши отримані точки плавної кривої, ми отримаємо зображення вертикального розрізу земної поверхні вздовж шуканої лінії. Найчастіше масштаб горизонтальних відстаней приймають таким самим, як і масштаб карти, а масштаб висот – більшим.

Основа профілю, тобто *початок відліку висот*, починають не з нуля, а з зручного для розрахунку висоти. Цю висоту називають *умовним обрієм*.

При побудові профілю можна брати тільки ті точки, в яких лінія профілю змінює ухил, тобто *крутість ската*. Це означає, що по даному напрямку необхідно намітити лінії вододілів, водозливів і точки перегинів земної поверхні, що перетинаються.

ВИКОНАННЯ ТЕХНІЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

Д.6.1. Загальні відомості

Технічне нівелювання зводиться до визначення перевищення h_i між сусідніми точками і відмітці їх висоти H_i .

Нехай позначка висоти точки $nn1$ (вихідної точки) нам відома. Необхідно виконати нівелювання та визначити позначки висот точок 2, 3, 4 замкнутого нівелірного ходу.

Нівелір встановлюють послідовно між точками ходу (рис. 6.1).

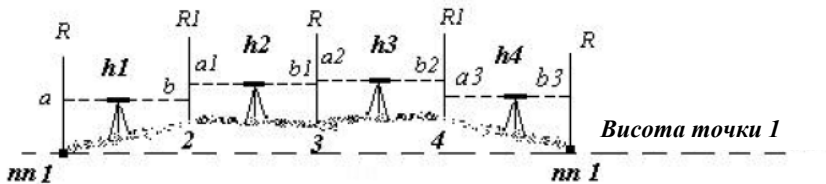


Рис. Д.6.1. Схема установки нівеліра між точками ходу

На точки ходу, які закріплені на місцевості, встановлюють рейки R та RI , як показано на рис. Д.6.1.

План розташування точок ходу на місцевості показаний на рис. Д. 6.2.

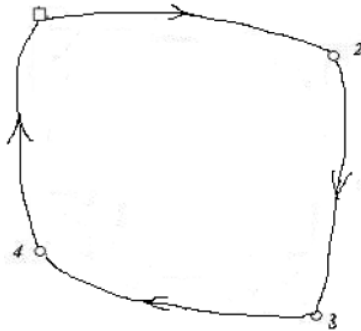


Рис. Д. 6.2. План розташування точок ходу на місцевості

Д.6.2. Хід роботи під час виконання технічного нівелювання

Робота виконується у такому порядку:

1) штатив необхідно встановити, як показано на рис. Д.6.1. між точками ходу на рівних відстанях до рейок. Верхній майданчик штатива (головка) має бути в горизонтальному положенні, ніжки штатива висунуті на довжину, яка зручна для спостереження. Обов'язково перед початком роботи необхідно перевірити стійкість штатива;

2) нівелір приводять у горизонтальне положення за допомогою круглого рівня, тобто пристрій горизонтують. *Горизонтування* – це процес приведення осі обертання приладу у вертикальне положення.

Нівелір необхідно закріпити на штативі за допомогою гвинта. Підйомні гвинти підставки (трегера) повинні бути в середньому положенні. Потім за допомогою підйомних гвинтів встановлюють бульбашку рівня в центр ампули, тобто в нуль-пункт. На рис. Д.6.3 показані вищесказані дії.

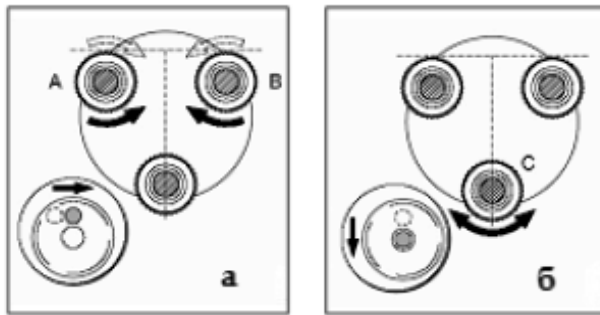


Рис. Д.6.3

Спочатку необхідно обертати гвинти *A* та *B* одночасно у протилежних напрямках (рис. Д.6.3, а). Такими обертаннями добиваються установки бульбашки рівня на прямій перпендикулярній лінії, що з'єднує центр гвинтів *A* і *B* і проходить через центр гвинта *C*. Після цього необхідно обертати тільки гвинт *C* для того, щоб бульбашку круглого рівня привести до центру (рис. Д.6.3, б);

3) потім необхідно встановити зорову трубу для спостережень. Для цього ми маємо:

- навести зорову трубу на рейку за допомогою візира;

– встановити зорову трубу «по оку» так, щоб спостерігач чітко бачив зображення сітки ниток. Чіткого зображення можна досягти за допомогою обертання окулярного кільця;

– встановити зорову трубу «по предмету». Це можна зробити за допомогою обертання фокусувального гвинта, поки зображення рейки в полі зору труби не стане чітким, як показано на рис. Д.6.4;

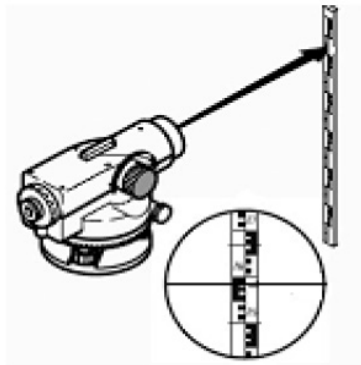


Рис. Д.6.4. Зображення рейки у полі зору труби

4) за допомогою навідного гвинта призводять точне наведення. Потім необхідно перевірити положення бульбашки рівня, яка повинна залишатися в нуль-пункті;

5) проводять відліки за рейками.

Д.6.3. Послідовність робіт під час прокладання ходу технічного нівелювання

Далі розглянемо *прокладання ходу технічного нівелювання*. Для цього роблять такі виміри:

1) знімаються відліки за чорною та червоною стороною *задньої рейки* (*a* та *a'*);

2) знімаються відліки за чорною та червоною стороною *передньої рейки* (*b* і *b'*).

Усі відліки записуються до журналу технічного нівелювання. Журнал має спеціальну форму. Вона наведена у табл. Д.6.1.

Таблиця Д.6.1

Журнал нівелювання точок знімального об'єкту

№ станції	№ точок нівел.	Відліки по рейці		Проміжна чорна	Обчислені перевищення		Середні перевищення, мм		Виплавлені перевищення, мм		Горизонт, інстр., м	Відмітки, Н м		
		Задн.	Перед.		+	-	+	-	+	-				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	пп 1	0073		0696	1539 1539	1539		+3 1539		1536	82,715	82.642		
		4759												
	+30.0		1612											
	2		6298											81.106
2	2	1255			776 777			+3 776		773		81.106		
		5939												
	3		2031											80.333
			6716											
3	3	1415			476 478			+3 477		474		80.333		
		6097												
	4		1891											79.859
			6575											
4	4	2936			2782 2778		+3 2780		2783			79.859		
		7619												
	пп 1		0154											82.642
			4841											
Контрольні обчислення		30093	30118		$\Sigma 5560$	$\Sigma 5585$	$\Sigma 2780$	$\Sigma 2792$						
		$\Sigma(3) - \Sigma(4) = -25$			$[\Sigma(6) + \Sigma(7)]/2 = -12.5$		$f_h = \Sigma(8+9) = -12$		$\Delta h_{\text{зап}} = 0,000$			$\Delta h = 0,000$		
		$\Sigma(3) - \Sigma(4) = -12.5$												

Д.6.4. Запис та обробка журналу технічного нівелювання

Порядок запису та обробки журналу технічного нівелювання:

1) *колонка 1* – туди записують номер станції нівелювання. *Станція нівелювання* – це порядковий номер установки нівеліра для виконання вимірювань;

2) *колонка 2* – туди записують номери точок, у яких визначаємо висоти. На ці точки встановлюють рейки (рис. Д.6.1). Уявимо, що з відривом 30 м від *пн 1* (*пн* – пункт геодезичного ступеня) перебуває характерна точка рельєфу. Хоча ця точка не є точкою ходу, ми все одно маємо визначити її висоту. Така характерна точка рельєфу зветься «плюсова», і її записують у журналі як «+30», тобто точка знаходиться у створі між точками ходу *пн 1* та *2* на відстані 30 м від точки *пн 1*;

3) *колонка 3* – туди записують звіти за чорною та червоною сторонами задньої рейки. Наприклад, для станції №1 в колонці 3 навпроти точки ходу *пн 1* записують два відліки – 0073 – відлік за чорною стороною задньої рейки, що стоїть на *пн 1* і 4759 відлік за тією ж рейкою по червоній стороні. Для плюсової точки необхідно брати відлік тільки за чорною стороною рейки та отримане значення потрібно записати навпроти відповідної точки у колонку 5;

4) *колонка 4* – туди записують звіти за чорною та червоною сторонами передньої рейки. Наприклад, для станції №1 у колонці 4 навпроти точки ходу *2* записуються два звіти – відлік за чорною стороною передньої рейки, що стоїть на точці ходу *2* і відлік за тією ж

рейкою по червоній стороні. Припустимо, що відлік за чорною стороною рейки дорівнює 1612, а за червоною – 6298;

5) колонки 6 і 7 – туди записують розраховані перевищення на станції за формулою

$$h = a - b,$$

де a – відлік за чорною або червоною стороною задньої рейки;

b – відлік за чорною або червоною стороною передньої рейки.

Залежно від знака перевищення записують у 6 або 7 колонку. Визначити правильність вимірювань можна шляхом контролю значень перевищень, отриманих при обчисленні чорних і червоних сторін рейок. Розбіжності у перевищеннях не повинні перевищувати ± 7 мм;

б) колонки 8 і 9 – в них записують середні перевищення.

Тепер розглянемо події після закінчення роботи на станції. Нівелір переносять на наступну станцію. Передня рейка залишається на місці, а задню рейку переносять на наступну точку, яка розглядається.

Приклад: на *пн1* знаходиться задня рейка, а передня рейка знаходиться на точці 2. При переході на станцію 2 передня рейка залишається на місці, тобто на точці 2, а задня рейка переноситься з *пн 1* на точку ходу 3 (рис. Д.6.1). Дії, які були описані у пунктах 1-6, повторюються. Розрахунки виконуються на усіх станціях. У нашому прикладі це чотири станції.

Д.6.5. Посторінковий контроль журналу

Виконують контрольні обчислення у журналі вимірювань. Розраховують останній рядок табл. Д.6.1 «Контрольні обчислення».

1-2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Контроль- ні обчис- лення	30093	30118		Σ5560	Σ5585	Σ2780	Σ-2792			
	Σ(3)- Σ(4)=-25			[Σ(6)+Σ(7)]/2=-12,5		$f'_h = \Sigma(8+9) = -12$		$\Delta_{h_{\text{вср}}} = 0,000$		$\Delta_h = 0,000$
	Σ(3)- Σ(4)=-12,5									

Оскільки розглянутий нами хід замкнений (починається в пп 1 і закінчується в пп 1), то сума теоретичних перевищень, отриманих за ходом, повинна дорівнювати нулю (колонка 12).

$$\Delta h = \sum h_{\text{теор}} = H_{\text{кін}} - H_{\text{нач}} = 82,642 - 82,642 = 0, \quad (\text{Д.6.1})$$

де $\sum h_{\text{теор}}$ – теоретична сума перевищень за ходом;

$H_{\text{кін}}$ – висота кінцевої точки ходу;

$H_{\text{нач}}$ – висота початкової точки ходу.

Д.6.6. Контрольні обчислення за вимірами

У колонці 3 записані звіти за задньою рейкою. Просумувавши всі відліки з чорної та червоної сторони рейок, отримуємо

$\Sigma(3) = 30093$. У колонці 4 записані відліки за передньою рейкою. Просумувавши всі відліки з чорної та червоної сторони рейок, отримуємо $\Sigma(4) = 30118$.

Різницю суми задніх і передніх відліків називають *подвійним перевищенням*. Перевищення називають подвійним, тому що виміри виконуються двічі – за чорною та червоною стороною рейки.

$$2h_{\text{прак}} = \Sigma(3) - \Sigma(4) = -25 \text{ мм.} \quad (\text{Д.6.2})$$

Якщо значення формули Д.6.1 поділити на 2, отримуємо практичне перевищення. Перевищення називають *практичним*, тому що це перевищення отримано з практичних вимірювань.

$$h_{\text{прак}} = -12,5 \text{ мм.} \quad (\text{Д.6.3})$$

Далі необхідно визначити похибку наших вимірів, тобто визначити нев'язку ходу за висотою.

$$\int h - \Sigma h_{\text{прак}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}) - \Sigma h_{\text{прак}} - \Sigma h_{\text{теор.}} \quad (\text{Д.6.4})$$

Отримана нев'язка не має перевищувати певну величину. Для технічного нівелювання вона не повинна бути більшою за 50 мм на 1 км ходу або 5 мм на одну станцію. За n станцій

$$f_{h_{\text{доп}}} \leq 10\sqrt{n}. \quad (\text{Д.6.5})$$

Якщо отримана нев'язка більша за допустиму, це означає, що якість нівелювання низька, і роботу необхідно переробити. За формулою (Д.6.4) визначимо нев'язку ходу за висотою.

Оскільки у нас $\sum h_{\text{теор}} = 0$ формула (Д.6.1), то $f_h = \sum h_{\text{прак}}$:

Звідси можна дійти висновку, що сума перевищень, яку отримали за замкненим ходом, дорівнює похибці вимірів.

Д.6.7. Контроль за обчисленими перевищеннями

У колонках 6 і 7 підсумовуємо відліки з чорних та червоних сторін (аналогічно попереднім обчисленням).

$$\sum(6) = 5560; \quad \sum(7) = -5585.$$

Знаходимо загальну суму перевищень:

$$2h_{\text{практ}} = \sum(6) + \sum(7) = -25 \text{ мм.} \quad (\text{Д.6.6})$$

Розділимо значення формули Д.6.5 на 2 та отримаємо практичне перевищення за ходом. Отримуємо $h_{\text{практ}} = -12,5$ мм.

У нашому прикладі $h_{\text{практ}}$ для колонок 3 і 4 збігається з $h_{\text{практ}}$ для колонок 6 і 7. На практиці бувають не великі розбіжності. Ці розбіжності не повинні перевищувати ± 5 мм.

Д.6.8. Контроль за обчисленими середніми перевищеннями

Аналогічно підсумовуємо колонки 8 та 9. Отримуємо

$$\sum(8) = 2780; \quad \sum(9) = -2792.$$

Підсумовуємо середні перевищення та отримуємо *остаточне значення* для нашого ходу:

$$h_{\text{практ}} = \sum(8) + \sum(9) = f_h = -12 \text{ мм.} \quad (\text{Д.6.7})$$

Д.6.9. Обчислення висот точок нівелірного ходу

Перед тим, як обчислювати висоти точок, необхідно розподілити отриману під час розрахунків нев'язку $h_{\text{практ}}$ із *протилежним знаком*. Її розподіляють пропорційно числу вимірних перевищень. У нашому випадку поправку V_i , яку потрібно підсумувати з кожним перевищенням у точці, дорівнює:

$$V_i = \frac{f_h}{n} = \frac{12 \text{ мм}}{4} = \pm 3 \text{ мм,} \quad (\text{Д.6.8})$$

де f_h – нев'язка ходу за висотою;

n – число точок входу.

У колонках 8 та 9 над цифрами дописується поправка. Поправка підсумовується із середнім перевищенням (з урахуванням знака перевищення) і записується в колонках 10 та 11. Сумарне значення колонок 10 та 11 має дорівнювати нулю. Це означає, що сума виправлених перевищень має дорівнювати сумі теоретичних перевищень.

$$\sum h_{\text{випр}} = \sum h_{\text{теор}} = 0, \quad (\text{Д.6.9})$$

де $\sum h_{\text{випр}}$ – сума виправлених перевищень, тобто колонки 10 та 11.

Потім необхідно врахувати висоти точок ходу.

У колонці 13 навпроти початкової точки ходу необхідно вписати її висоту $H_{\text{ни}} = 82,642$ м. Далі до цієї висоти додаємо виправлене перевищення на передню точку ходу. Необхідно пам'ятати, що на станції №1 у нас крім точок нівелювання (1 та 2) була відзначена характерна точка рельєфу, висоту якої необхідно визначити. Це плюсова точка (+30), і ми її записали в журнал у колонку 2. Ця точка не входить у хід нівелювання, і вона є передньою точкою ходу 2. Запишемо допустиму нев'язку для цієї точки:

$$f_{h_{\text{дон}}} = 50\text{мм}\sqrt{L} = 26 \text{ мм}, \quad (\text{Д.6.10})$$

де L – довжина ходу в км.

Для «плюсових точок» обчислюють горизонт інструменту (для швидкого визначення висот «плюсових точок») та записують у колонку 12. Горизонт інструменту можна визначити за формулою:

$$H_{z,i} = H_{\text{задня}} + (3)_{\text{чорна}}, \quad (\text{Д.6.11})$$

де $H_{z,i}$ – висота горизонту інструменту (це висота візирного променя над рівнем моря);

$H_{\text{задня}}$ – висота задньої точки;

$(3)_{\text{чорна}}$ – відлік за чорною стороною задньої рейки.

Висота «плюсової точки» визначається так:

$$H_{+30} = H_{z,i} - (5)_{+30}, \quad (\text{Д.6.12})$$

де $H_{z,i}$ – висота горизонту інструменту;

$(5)_{+30}$ – відлік за рейкою на «плюсову» точку.

Висота точки ходу 2 визначається як сума висоти задньої станції та виправлене перевищення на передню точку. Отже, висота точки 2 дорівнює:

$$H_2 = H_{\text{ни1}} + h_{\text{випр2}} = 82,642 \text{ м} + (-1536 \text{ мм}) = 81,106 \text{ м}.$$

Отримане значення вписують навпроти точки 2 у колонку 13. Далі всі дії повторюються. Перевірити обчислені висоти можна так: отримані висоти останньої точки ходу повинні дорівнювати вихідній позначці.

ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТА ВЕРТИКАЛЬНИХ КУТІВ НА МІСЦЕВОСТІ

Д.7.1. Вимірювання горизонтального кута на місцевості

Вимірювання горизонтального кута на місцевості показано на рис. Д.7.1.

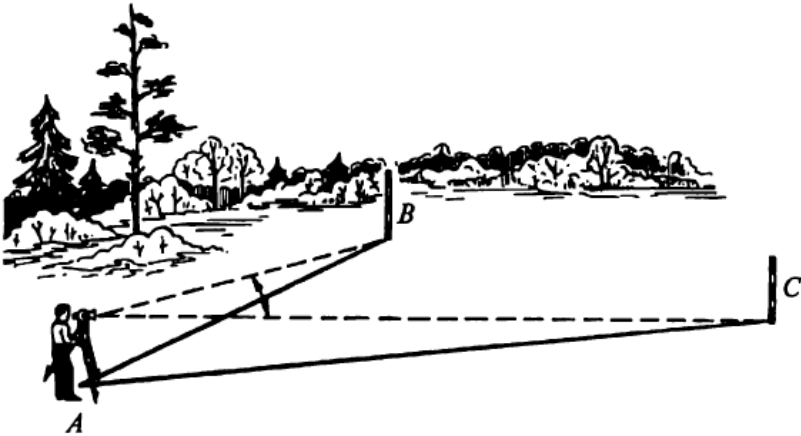


Рис. Д.7.1. Вимірювання горизонтального кута

У вершину кута, що вимірюється, встановлюють теодоліт. Головка штатива повинна бути приблизно над знаком. Верхній майданчик штатива приводиться у горизонтальне положення. Ніжки

штативу вдавлюють у ґрунт. Над точкою *A* спостерігач центрує теодоліт і за рівнем на алідаді горизонтального кола, обертаючи підйомні гвинти, встановлює вісь обертання теодоліту у вертикальне положення. Точки *B* та *C* фіксують напрямки, між якими нам необхідно виміряти горизонтальний кут. У цих точках необхідно встановити візирні цілі. Це можуть бути марки, віхи чи шпильки. Потім, залежно від гостроти зору, спостерігач встановлює сітку ниток труби. Для цього трубу треба навести на світлий фон (це може бути небо або біла стіна) і обертати кільце окулярне до тих пір, поки в полі зору труби не з'явиться чітке зображення сітки ниток. Дивлячись поверх труби, необхідно поєднати хрест візира із візирною ціллю. Це означає, що візирна ціль з'явиться у полі зору труби. Після того, як візирна ціль потрапила в поле зору труби, необхідно зафіксувати напрямки. Це роблять за допомогою затиску закріплювальних гвинтів алідади та труби. Потім необхідно досягти різкого зображення візирної цілі. Для цього обертають фокусуючу кремальєру. Далі необхідно поєднати центр сітки із зображенням візирної цілі. Щоб зробити це, обертають навідні гвинти. Для виміру кутів можна використати кілька способів. Найпростіший – це суміщення нулів лімба та алідади. Цей спосіб ще називають «від нуля». При цьому способі нуль алідади поєднують з нулем лімбу, закріплюючи алідаду. Потім необхідно навести трубу на візирну ціль та закріпити лімб. Після цього алідаду відкріплюють, наводять трубу на іншу візирну ціль і знову закріплюють алідаду. Відлік за лімбом вимірюють двічі, але все одно цей спосіб недостатньо точний. Якщо потрібно виміряти кут з більшою точністю, то краще застосувати *метод прийомів*. Під

час такого способу трубу можна поєднувати з першою візирною ціллю за будь-якого відліку за лімбом.

Вимірювання кута при одному положенні кола називається *напівприйомом*. Вимірювання кута на точці роблять *повним прийомом*, тобто вимір проводять при правому і при лівому положеннях вертикального кола. Якщо виміри виконувати кількома прийомами, то результати будуть більш точними. Усі результати вимірів записуються в польовий журнал (табл. Д.7.1).

Таблиця Д.7.1

Станція	Точка спостереження	Відлік			Кут	
		1-й	2-й	середній	у напів-прийомі	середній
А		Л				35°23,2'
	4	273°18,6'	18,8'	273°18,7'	35°23,5'	
	6	308°42,3'	42,2'	308°42,2'		
		П				
	4	155°44,9'	44,9'	155°44,9'	35°22,8'	
	6	120°22,1'	22,1'	120°22,1'		

У таблицю записують 1-й та 2-й звіти на ліву точку (точка 4) та на праву точку (точка 6). Підраховують середнє значення. Різниця середніх відліків (*П-Л*) є вимірним значенням кута. Розбіжність значень вимірного кута в напівприйомах не повинна перевищувати полуторну точність відліку. Якщо вимірювання проводити кількома прийомами, тоді лімб між цими прийомами необхідно переставити на кут γ ,

$$\gamma = \frac{180^\circ}{n},$$

де n – число прийомів.

Д.7.2. Вимірювання вертикальних кутів

Такі вимірювання можна проводити теодолітом за допомогою вертикального кола. На рис. Д.7.2 зображено лімб вертикального кола 1.

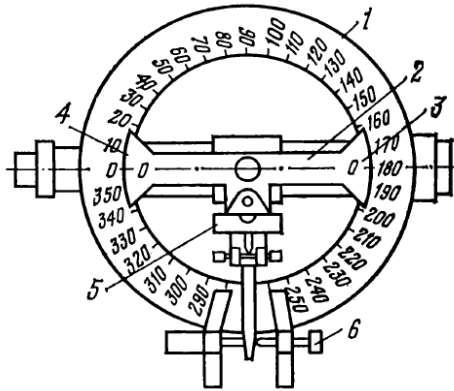


Рис. Д.7.2. Влаштування вертикального кола

Цей лімб жорстко скріплений із віссю, тому він обертається разом із віссю. Алідада 2 розташована на осі обертання труби, але вона не скріплена з трубою. Під час обертання труби алідада залишається нерухомою. Алідада має два *верньєри* 3 і 4 та забезпечена *циліндричним рівнем* 5. За допомогою *установного гвинта* 6 алідади вертикального кола бульбашку рівня приводять в нуль-пункт. Для того, щоб було зручно обчислювати вертикальні кути, необхідно виконати таку умову: якщо візирна вісь зорової

труби та вісь рівня при алідаді знаходяться в горизонтальному положенні, то нульові поділки алідади повинні збігатися з нульовими поділками вертикального кола. Під час виконання вимірів ця умова порушується. Візирна вісь труби може бути в горизонтальному положенні, бульбашка може перебувати в нуль-пункті, а відлік за вертикальним колом не дорівнює нулю. Відлік за вертикальним колом, у якому візирна вісь труби перебуває у горизонтальному стані, а бульбашка рівня – в нуль-пункті, називається місцем нуля вертикального кола. Позначається MO .

На рис. Д.7.3 показано, як вимірюються кути нахилу:

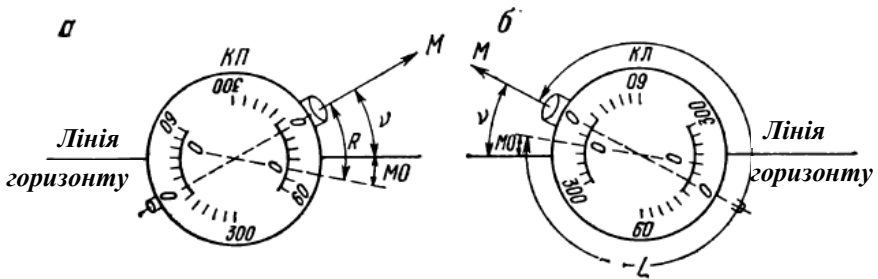


Рис. Д.7.3. Вимірювання вертикальних кутів:

а) за правим колом; б) за лівим колом

При $KП$ зорову трубу наводять на уявну точку M . Потім наводять бульбашку рівня в нуль-пункт і беруть відлік R за вертикальним колом. З рис. Д.7.3 а видно, що відлік виходить більше кута нахилу ν на величину MO . З цього можна записати, що:

$$v = R - MO, \quad (Д.7.1)$$

де R – відлік;

MO – місце нуля.

Такі ж дії робимо при KL . З рис. Д.7.3, б видно, що відлік збільшується на величину MO . У цьому варіанті отримуємо:

$$v = 360^\circ - L + MO, \quad (Д.7.2)$$

або

$$v = MO - L. \quad (Д.7.3)$$

де L – показання за лівим колом;

MO – місце нуля вертикального кола.

Розв'язавши рівняння Д.7.1 та Д.7.3 щодо MO та v , знаходимо:

$$MO = (R + L) / 2, \quad (Д.7.4)$$

$$v = (R - L) / 2, \quad (Д.7.5)$$

де R – показання за правим колом;

L – показання за лівим колом.

Якщо відліки кута нахилу та MO малі (від 0° до 60°), то до них необхідно додавати 360° .

Працюючи з різними теодолітами формулу для визначення MO можна дізнатися з паспорта теодоліта. Наприклад, під час роботи з теодолітом ЗТ30 MO обчислюють за такою формулою:

$$MO = (R + L + 180^\circ) / 2, \quad (\text{Д.7.6})$$

де R – показання за правим колом;

L – показання за лівим колом.

Якщо у нас в роботі теодоліт ЗТ5КП, то місце нуля обчислюють за формулою Д.7.4.

Приведення МО вертикального кола до 0° . Місце нуля може бути будь-яким значенням, головне, щоб під час вимірювань вертикальних кутів воно залишалося постійним. Однак, для зручності обчислень бажано, щоб MO дорівнювало нулю. Місце нуля можна виправити. Для цього необхідно кілька разів визначити значення місця нуля за допомогою наведення горизонтальної нитки сітки зорової труби на кілька точок за двох положень вертикального кола. Потім за формулою (Д.7.4) обчислюють MO .

Якщо значення MO більше подвійної точності відлікового пристрою, його потрібно зменшити. Для цього за допомогою настановного гвинта при алідаді вертикального кола необхідно встановити бульбашку рівня в нуль-пункт. За допомогою настановного гвинта труби ставлять на вертикальному колі відлік, який дорівнює середньому обчисленому значенню місця нуля. Візирна вісь труби в цьому випадку займатиме горизонтальне положення. Після цього необхідно повернути алідаду так, щоб при горизонтальному положенні осі рівня та візирної осі труби, відлік дорівнював 0° . Для цього потрібно настановним гвинтом алідади поєднати нуль відлікового пристрою та нуль вертикального кола. При цьому бульбашка рівня зміститься із середини. Потім виправними

гвинтами рівня бульбашку приводять у нуль-пункт. Для контролю перевірку необхідно повторити.

Для визначення вертикального кута необхідно:

- встановити теодоліт;
- привести його у робоче положення;
- знайти добре видиму точку та навести на неї трубу при колі «ліво» (КЛ);
- на вертикальному колі привести бульбашку рівня в нуль-пункт і взяти відлік за вертикальним колом;
- обчислити середнє арифметичне;
- трубу перевернути через зеніт;
- теодоліт повернути на 180° ;
- знову, але вже при колі «право» (КП) необхідно навести хрест сітки ниток на вже обрану точку;
- знову на вертикальному колі привести бульбашку рівня в нуль-пункт і взяти відлік за вертикальним колом;
- знайти середнє арифметичне.

Значення кута визначають за формулою (Д.7.5).

Для перевірки вимірювання вертикальних кутів необхідно перевіряти *МО*. Коливання *МО* під час вимірювання вертикальних кутів не повинні перевищувати подвійну точність відлікового пристрою.

ПОНЯТТЯ ТЕОДОЛІТНОГО ХОДУ

Послідовне вимірювання на місцевості кутів і ліній для того, щоб можна було визначити прямокутні координати поворотних точок, називається *теодолітним ходом*.

Теодолітні ходи бувають *розімкненими* (рис. Д.8.1 а), тобто є ламаною лінією, і *замкнутими* (рис. Д.8.1 б), тобто являють собою полігон.

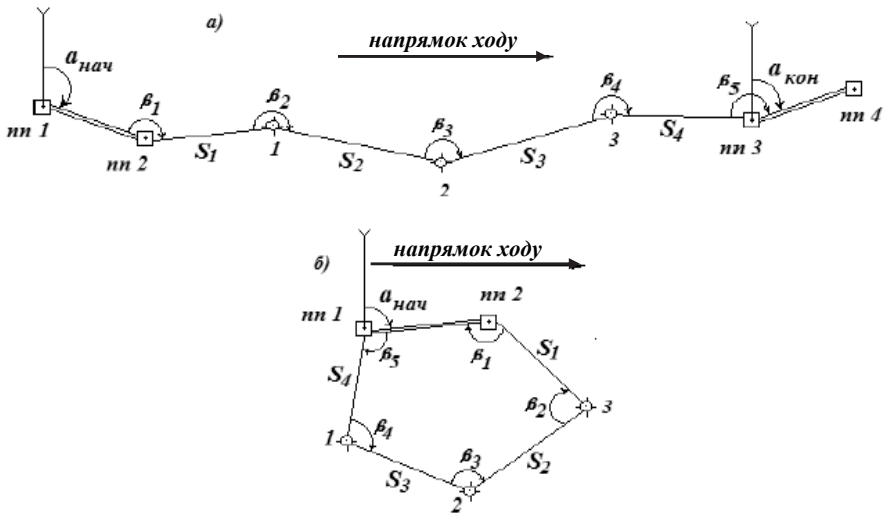


Рис. Д.8.1. Теодолітні ходи

На схемі замкнутого теодолітного ходу показані виміряні по ходу (праві, внутрішні) горизонтальні кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$. У замкнутих ходах зручніше вимірювати внутрішні кути, тому що відомо, що сума виміряних кутів багатокутника дорівнює:

$$\sum \beta_{теор} = 180(n - 2),$$

де n – кількість виміряних кутів.

Це дозволяє легко контролювати виміряні по ходу кути.

У розімкнутій схемі теодолітного ходу показано пункти геодезичної мережі (*пп 1, пп 2, пп 3, пп 4*). Ці пункти мають координати. На схемі зображено точки *1, 2, 3*. Координати цих точок потрібно визначити. $\alpha_{поч}$ і $\alpha_{кон}$ – це початковий і кінцевий дирекційні кути. Ці кути обчислені із зворотньої геодезичної задачі. $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – виміряні по ходу (ліві) горизонтальні кути. S_1, S_2, S_3, S_4 – горизонтальні прокладання виміряних похилих відстаней (D_1, D_2, D_3, D_4). Нагадаємо, що *горизонтальне прокладання лінії* – це проекція лінії місцевості на горизонтальну площину.

У розімкнутій системі теодолітного ходу проконтролювати теоретичну суму виміряних кутів також можливо. Формула теоретичної суми виміряних кутів розімкнутого ходу:

$$\sum \beta_{теор} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач} + 180^\circ \times n,$$

де n – кількість виміряних кутів у ходу.

Розглянемо схему розімкнутого геодезичного ходу. Під час обстеження ділянки було виявлено, що в районі робіт збереглося *чотири пункти Державної геодезичної мережі* (це пункти *пп 1, пп 2,*

nn 3, nn 4). Їх можна взяти за основу для визначення координат поворотних точок теодолітного ходу. Потім на місцевості необхідно кілочками чи арматурою закріпити точки теодолітного ходу. Їх необхідно встановити так, щоб між суміжними точками була пряма видимість. Точка 1 обрана так, щоб була пряма видимість на nn 2 і точку 2, а точка 3 обрана так, щоб була пряма видимість на nn 3 і точку 2.

Для того, щоб обчислити координати шуканих точок з прямої геодезичної задачі, необхідно знати дирекційні кути напрямків – α_{nn2-1} α_{1-2} α_{2-3} α_{3-nn3} . Необхідно також знати горизонтальні прокладання $S_1S_2S_3S_4$ вимірних відстаней $D_1D_2D_3D_4$. Початкові дирекційні кути $\alpha_{поч}$ і $\alpha_{кін}$ обчислюють із зворотної геодезичної задачі (за координатами пунктів геодезичної мережі у напрямку руху по ходу).

Для визначення кутів (α_{nn2-1} α_{1-2} α_{2-3} α_{3-nn3}) потрібно виконати вимірювання кутів (лівих та правих) по ходу $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ між відповідними напрямками.

Кути β_1 і β_5 називають *примичними кутами*. Вимірний кут β_1 застосовується для передачі дирекційного кута $\alpha_{поч}$ на бік ходу *nn1-1*. Цей вимір примикає до спрямування *nn1 – nn2 Державної геодезичної мережі*, тому кут назвали «примичним», а сам вимір цього кута називають «прив'язкою» до геодезичної мережі. У нашому варіанті назва «примичний» носить і кут β_5 . Завдання кута β_5 полягає в тому, щоб передати обчислений дирекційний кут останнього напрямку α_{3-nn3} на відомий напрямок $\alpha_{кін}$, утворений пунктами *nn3 – nn4* геомережі. При такому варіанті можна проконтролювати якість кутових вимірів.

Прив'язка до пунктів геомережі називається «*безпосередньою*». Цей вид прив'язки найпростіший. Таку прив'язку можна використовувати за наявності пари суміжних пунктів геомережі на початку та в кінці ходу. Більш складні види прив'язок ми розглянемо у другій частині навчального посібника «Інженерна геодезія».

ЛІТЕРАТУРА

1. Геодезичний енциклопедичний словник / за ред. В. Літинського. Львів: Євровіт, 2001. 668 с. URL: <https://studfile.net/preview/6654807/>.
2. Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. Геодезія: навчальний посібник. Ужгород, 2020. 248 с. URL: https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geodeziya_5.pdf.
3. Романчук С.В., Кирилюк В.П., Шемякін М.В. Геодезія: навчальний посібник. Київ, 2008. с. 293. URL: https://lagao.at.ua/ld/0/46_GEODEZIA-ROMANC.pdf.
4. Білокриницький С.М. Геодезія: навчальний посібник. Чернівецьк: ЧНУ, 2011. 576 с. URL: http://document.kdu.edu.ua/info_zab/193_309.pdf.
5. Грабовий В.М. Геодезія: навчальний посібник. Житомир: ЖДТУ, 2004. 455 с. URL: <https://studfile.net/preview/5651448/>.
6. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві: навчальний посібник. Київ, 2006. 278 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Kyzmin_2006_278.pdf.
7. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.
8. www.gki.com.ua – Науково-дослідний інститут геодезії і картографії.
9. www.land.gov.ua – Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру.
10. www.dgm.gki.com.ua – Державна геодезична мережа України.
11. www.cadastre.com.ua – геоінформаційна система містобудівного кадастру України.

Навчально-методичне видання

ФЕДОРОВА КАТЕРИНА ЮРІЇВНА

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Навчальний посібник

Частина 1

Підписано до друку 14.01.2022.
Обсяг 11,25 друк. арк. Формат 60x88/16. Зам. № 0158/22
Наклад 100 прим.

Надруковано у ФОП Бондаренко М. О.
м. Одеса, вул. В. Арнаутська, 60
т. +38 0482 35 79 76
info@aprel.od.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців ДК № 4684 від 13.02.2014 р.