

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет водного господарства та
природокористування

О. П. Дмитрів

ГЕОДЕЗІЯ
Частина I

Навчальний посібник

*Рекомендовано вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування*

Рівне – 2019

УДК 528.4(075)
Д53

Рецензенти:

Шульц Р. В., доктор технічних наук, професор Київського національного університету будівництва і архітектури;

Янчук Р. М., кандидат технічних наук, доцент Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування.*

Протокол № 5 від 14 червня 2019 р.

О. П. Дмитрів

Д53 Геодезія. Частина I : навч. посіб. [Електронне видання]. – Рівне : НУБГП, 2019. – 166 с.

ISBN 978-966-327-444-7

У навчальному посібнику «Геодезія. Частина I» висвітлено основні теоретичні та практичні положення з основ геодезії для студентів молодших курсів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». Викладено загальні відомості з геодезії, дані про форму і розміри Землі, охарактеризовано основні системи координат та картографічні проекції, що використовуються в геодезії. В книзі розкрито принципи організації геодезичних робіт, методи виконання лінійних і кутових вимірювань, вимірювань перевищень, топографічних знімальних робіт та камерального опрацювання матеріалів польових вимірювань. Крім викладу основного матеріалу навчальний посібник містить контрольні запитання, тестову програму та список літератури, яка може бути використана при самостійному вивченні навчальної дисципліни.

УДК 528.4(075)

ISBN 978-966-327-444-7

© О. П. Дмитрів, 2019

© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Вертикальне знімання місцевості	5
1.1. Загальні відомості з геодезії.....	5
1.2. Визначення перевищень та висот точок на поверхні Землі.....	22
1.3. Прилади для визначення перевищень горизонтальним променем.....	26
1.4. Перевірки нівелірів та рейок.....	34
1.5. Технічне нівелювання.....	38
1.6. Трасування лінійних споруд.....	44
1.7. Камеральні роботи та особливі випадки нівелювання.....	49
РОЗДІЛ 2. Кутові та лінійні вимірювання	55
2.1. Лінійні вимірювання.....	55
2.2. Вимірювання кутів.....	66
2.3. Загальні принципи виконання та організації геодезичних робіт.....	81
2.4. Побудова та обробка мереж геодезичної знімальної мережі.....	86
2.5. Геодезичні засічки.....	97
2.6. Сучасні геодезичні прилади.....	102
РОЗДІЛ 3. Топографічне знімання місцевості	109
3.1. Теодолітне знімання.....	109
3.2. Тахеометричне знімання.....	114
3.3. Побудова топографічного плану місцевості.....	121
3.4. Окомірне знімання та барометричне нівелювання.....	127
3.5. Оцінка точності результатів геодезичних вимірювань.....	130
Тестова програма.....	135
Предметний покажчик.....	161
Список літератури.....	165

ВСТУП

Дисципліна «Геодезія» є основою для підготовки фахівців спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». Практична діяльність таких фахівців пов'язана з виконанням геодезичних вимірювань на місцевості різними геодезичними приладами, як при створенні геодезичних мереж, так і при проведенні топографічних знімачь.

Даний посібник має своєю головною метою ознайомити майбутніх спеціалістів, студентів молодших курсів, з сутністю та методами застосування фундаментальних понять геодезичної науки, навчити працювати з традиційними геодезичними приладами та розв'язувати різноманітні геодезичні задачі.

В результаті вивчення курсу студенти повинні *знати*:

- знати теоретичні основи геодезії;
- геодезичні прилади, якими виконують кутові і лінійні вимірювання, а також технічне нівелювання;
- методи і технології створення державних геодезичних мереж та спеціальних інженерно-геодезичних мереж;
- технологію виконання топографічних знімачь та математичне опрацювання результатів вимірів;
- методи розв'язання інженерних задач на топографічних картах та планах у цифровому вигляді та паперових носіях;

вміти:

- виконувати польові та камеральні роботи при кутових та лінійних вимірюваннях для створення геодезичних знімачьних мереж з оцінкою точності результатів вимірів;
- здійснювати технічне нівелювання для визначення висот точок і трасування лінійних споруд;
- виконувати топографічні знімачьня місцевості з побудовою топографічних планів та розв'язання інженерних задач на них.

Знання математики, фізики та географії з середньої школи є необхідним для ґрунтового вивчення дисципліни.

Геодезія, як наука, є базовою для вивчення професійно-орієнтованих та фахових дисциплін, що передбачені навчальним планом з підготовки бакалавра за спеціальністю «Геодезія та землеустрій».

РОЗДІЛ 1

ВЕРТИКАЛЬНЕ ЗНІМАННІ МІСЦЕВОСТІ

1.1. Загальні відомості з геодезії

1. *Предмет геодезії*
2. *Завдання і роль геодезії в народному господарстві*
3. *Короткий історичний огляд розвитку геодезії та уявлення про форму і розміри Землі*
4. *Розвиток геодезії в Україні та організація геодезичної служби*
5. *Форма і розміри Землі*
6. *Основні системи координат, що застосовуються в геодезії*
7. *План, карта та профіль земної поверхні*
8. *Методи зображення земної поверхні на картах і планах*
9. *Вплив кривини Землі на горизонтальні віддалі та висоти точок*

1.1.1. Предмет геодезії

Геодезія – це наука про методи визначення фігури, розмірів та гравітаційного поля Землі, зображення її поверхні на планах і картах, а також способи виконання геодезичних вимірювань та їх математичне опрацювання для розв’язання різних задач народного господарства та оборони країни.

Геодезія тісно пов’язана з астрономією, географією, геологією, геоморфологією, геофізикою тощо. Методи розв’язання задач геодезії ґрунтуються на широкому використанні математики, фізики, радіоелектроніки, комп’ютерних технологій тощо.

Різноманітність наукових і практичних завдань, які вирішуються геодезією, призвела до виділення фундаментальних розділів, а саме: топографії, вищої геодезії, інженерної (прикладної) геодезії, супутникової геодезії, картографії, геодезичної астрономії, маркшейдерії.

Топографія займається детальним вивченням земної поверхні та об'єктів, які знаходяться на ній в просторовому відношенні, розробкою методів знімання та зображення великих і малих ділянок земної поверхні на топографічних планах і картах.

Вища геодезія – це наука про форму та розміри Землі, її зовнішнє гравітаційне поле, рухи земної кори, створення астрономо-геодезичної, гравіметричної та нівелірної мереж.

Картографія займається методами зображення сферичної поверхні Землі на площині у вигляді карт та технологією їх виробництва.

Прикладна (інженерна) геодезія використовує методи вищої геодезії та досліджує нові при вишукуванні, проектуванні, будівництві та експлуатації інженерних споруд, монтажі та експлуатації технологічного устаткування тощо.

Супутникова геодезія – розділ геодезичної науки, в якому вивчаються питання використання спостережень штучних та природних супутників Землі для розв'язання наукових та народногосподарських задач.

Маркшейдерія займається геодезичними роботами в підземних гірничих копальнях для складання карт і розв'язання різних інженерно-технічних задач.

1.1.2. Завдання і роль геодезії в народному господарстві

Задачі геодезії можна розділити на наукові та науково-технічні, які забезпечують розвиток народного господарства.

Управління країною, зростання продуктивних сил неможливе без достовірних відомостей про територію та об'єкти, які знаходяться на ній. Точний облік та оцінка ділянок земель різного призначення, їх раціональне використання базується на даних геодезичних робіт в комплексі з правовими та економічними аспектами. Це робить можливим введення кадастру як земель, так і нерухомості (будинки, заводи, обладнання тощо).

В даний час, використовуючи комп'ютерні технології, необхідно створювати такі геоінформаційні системи, за допомогою яких можна було б вирішувати будь-які правові,

економічні, державні, соціальні та інші завдання. *Геоінформатика* вивчає і розробляє принципи, методи і технології збору, накопичення, передачі, опрацювання даних, а також їх представлення для одержання нової інформації та знань про просторово-часові явища як у геометричному, так і у суспільному відношенні.

Проектування, будівництво та експлуатація будь-якої споруди не може обійтись без виконання геодезичних робіт.

Особливо велика роль геодезії при будівництві унікальних споруд (прискорювачі елементарних частинок, автоматичні лінії великої довжини, атомні реактори тощо). Тут потрібно виконувати монтаж обладнання з високою точністю, яку можуть забезпечити геодезичні методи.

Оборона країни потребує карт різних масштабів, без яких не можливе успішне управління військом.

У наш час важко назвати галузь народного господарства, в якій геодезія і геодезичні роботи не мали б суттєвого значення.

1.1.3. Короткий історичний огляд розвитку геодезії та уявлення про форму і розміри Землі

Геодезія, як і астрономія, є древньою наукою. Єгиптяни і греки мали знання з геодезії за декілька тисячоліть до н.е., про що свідчать пам'ятки історії.

Відомий вчений, педагог, заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Аполлінарій Львович Островський (1923-2008) зазначив: «...з грецької мови слово «геодезія» перекладається як «землерозділення». Проте, більш точно дозволяє відтворити суть геодезичної науки слово «землевимірювання». Нагадаємо, що слово «геометрія» дослівно перекладається з грецької мови як «землевимірювання», а не як «землерозділення». Отже слово «землевимірювання» найкоротше, найповніше і найкраще відтворює зміст науки «геодезія».

Перші відомості в Україні про геодезичні роботи відносяться до XI століття, коли князь Гліб міряв Керченську затоку.

Перше визначення радіусу Землі виконано Ератосфеном в III ст. до н.е.

Питаннями фігури та розмірів Землі займались багато вчених і серед них російський вчений Струве, який перший виміряв велику дугу біля 25°. В радянський період вчені-геодезисти Красовський Ф.М. та Ізотов А.А. завершили роботу з встановлення нових параметрів Землі за матеріалами астрономо-геодезичних та гравіметричних даних на території СРСР. Радянські вчені Молоденський М.С., Красовський Ф.Н., Ізотов А.А., Лебедев М.М., Левчук Г.П., Відуєв М.Г., Островський А.Л. та інші внесли великий вклад в розвиток геодезичної науки.

З Львівської школи найбільш відомими науковцями у сфері геодезії є: М.К. Мігаль; А.Л. Островський, І.Ф. Монін; Г.О. Мещеряков.

Великий внесок в розвиток сучасної геодезичної науки та у підготовку фахівців у сфері геодезії та землеустрою зробив професор завідувач кафедри геодезії Національного університету водного господарства та природокористування Черняга Петро Гервазійович.

1.1.4. Розвиток геодезії в Україні та організація геодезичної служби

На сучасному рівні роль та розвиток геодезії в Україні має велике значення. Всі дані, які стосуються управління територіями, отримують геодезичними методами, тому організація геодезичної служби в країні є одним із головних завдань.

Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр) є центральним органом виконавчої влади України, який реалізує державну політику у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності, земельних відносин, землеустрою, у сфері Державного земельного кадастру, державного нагляду (контролю) в агропромисловому комплексі в частині дотримання земельного законодавства, використання та охорони земель усіх категорій і форм власності, родючості ґрунтів.

Для вирішення цих задач у складі служби функціонує ряд підприємств, а саме, «Київгеоінформатика», «Донбасмаркшейдерія», Вінницька картофабрика, експериментальний оптико-механічний завод та НВП «Пошук» та інші. В кожному обласному центрі створені державні підприємства (у Рівному «Рівнегеокадастр»).

У даний час видаються науково-технічні журнали геодезичного спрямування, наприклад «Вісник геодезії та картографії», «Геодезія, картографія та аерофотознімання», «Інженерна геодезія».

Створено науково-дослідний виробничий інститут геодезії та картографії (НДГІК), що дозволить підвищити науковий рівень та якість виконання геодезичних робіт.

1.1.5. Форма і розміри Землі

Найбільш достовірні дані про форму та розміри Землі вкрай необхідні для різних галузей народного господарства і особливо для розвитку науки. Коли стало відомо, що Земля в першому наближенні є *еліпсоїдом обертання*, то вчені почали займатись визначенням його розмірів. До 1946 року в СРСР використовувався еліпсоїд Бесселя (німецький астроном, геодезист, математик). З 1946 року Красовський Ф.Н. та Ізотов А.А. визначили нові розміри земного еліпсоїда (рис. 1.1).

Розміри еліпсоїда характеризуються довжинами його півосей: a – велика піввісь, b – мала піввісь і полярним стисненням α .

Розміри еліпсоїда Красовського

$$a = 6378245 \text{ м,}$$

$$b = 6356863 \text{ м.}$$

Полярне стиснення

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.3}.$$

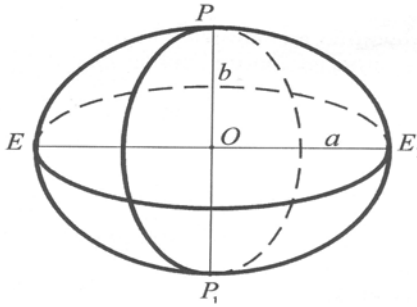


Рис. 1.1. Земний еліпсоїд

Еліпсоїд Красовського є *референц-еліпсоїдом*. Елементи референц-еліпсоїда встановлюють за умови найкращої відповідності його фігури Землі на певній частині її поверхні.

Фігура Землі представляє дуже складну поверхню, яка не є простою геометричною фігурою. Німецький фізик Лістінг назвав її геоїдом. *Геоїд* – це рівнева поверхня реального потенціалу сили ваги, що збігається з незбуреним середнім рівнем океану, уявно продовжена під материками так, щоб напрями прямовисних ліній перетинали її завжди під прямим кутом. Прямовисні лінії не перетинаються в центрі Землі, тому що їх напрямок залежить від розподілу мас у її тілі.

В 50-х роках М.С. Молоденський доказав, що форма геоїда не може бути точно визначена без знань внутрішньої будови Землі. Він запропонував замінити геоїд – *квазігеоїдом* (близьким). Поверхня квазігеоїда на морях і океанах співпадає з геоїдом, а на суші відрізняється на декілька метрів. Важливим є те, що квазігеоїд може бути побудований без знань про внутрішню будову Землі.

1.1.6. Основні системи координат, які застосовуються в геодезії

Положення точки на земній поверхні визначено тоді, коли відома її проекція на рівневу поверхню і висота, тобто, довжина перпендикуляра від точки на земній поверхні до рівневої

поверхні. Місцезнаходження точки на рівневій поверхні можна визначити за допомогою системи координат.

1.1.6.1. Географічна система координат

Вихідними площинами і лініями в цій системі координат є площина екватору і початкового меридіану. Положення точки M (рис. 1.2) визначається перетином *меридіану* і *паралелі*. Паралель задається географічною широтою φ , а меридіан – географічною довготою λ .

Лінія перетину поверхні сфери або кулі площиною, яка проходить через дану точку і малу вісь обертання Землі називається *меридіаном*. Лінія перетину поверхні сфери або кулі площиною, яка проходить через дану точку перпендикулярно до осі обертання Землі називається *паралеллю*.

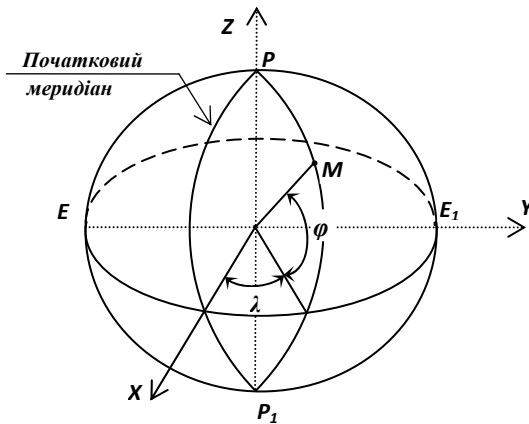


Рис. 1.2. Географічна система координат

Географічною широтою φ точки M називають кут між радіусом-вектором з центра сфери до даної точки і площиною екватора.

Географічна довгота λ – двограний кут, утворений площиною початкового меридіану та площиною меридіану, який проходить через дану точку.

1.1.6.2. Геодезична система координат

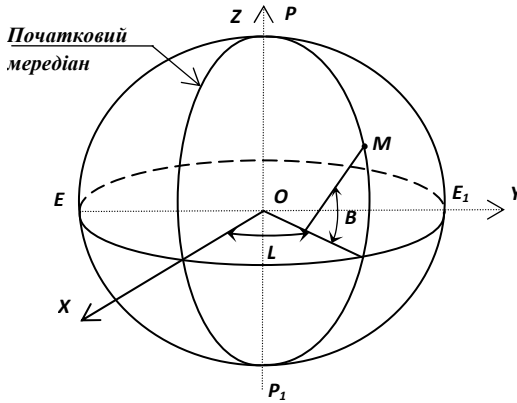


Рис. 1.3. Геодезична система координат

Геодезичною широтою B точки M називають кут, який утворений нормаллю до еліпсоїда в точці M та площиною екватора (рис. 1.3).

Геодезична довгота L точки M – двограний кут, утворений площиною початкового меридіану та площиною меридіану, який проходить через дану точку.

Геодезичною висотою точки місцевості називають віддаль по нормалі від поверхні еліпсоїда до точки на фізичній поверхні Землі.

1.1.6.3. Астрономічна система координат

Астрономічною широтою φ називається кут між прямовисною лінією в даній точці та площиною екватора.

Астрономічною довготою λ називається двограний кут, утворений площиною початкового астрономічного меридіану та площиною астрономічного меридіану, який проходить через дану точку.

Площина астрономічного меридіана – це площина, що проходить через прямовисну лінію в даній точці і паралельна осі обертання Землі.

Різниця між астрономічними та геодезичними системами координат викликана відхиленням прямовисних ліній від нормалі до прийнятого еліпсоїда (рис. 1.4). Відхилення прямовисної лінії (відхилення виска) є кут u в точці земної поверхні між напрямками mm' прямовисної лінії та нормалі nn' до поверхні земного еліпсоїда.

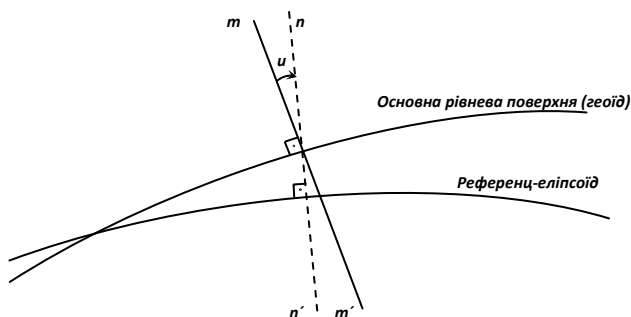


Рис. 1.4. Відхилення прямовисних ліній:
 nn' – нормаль до поверхні еліпсоїда; mm' – прямовисна лінія;
 u – відхилення виска

1.1.6.4. Геоцентрична система прямокутних просторових координат

Початок координат даної системи розміщується у центрі мас Землі (рис. 1.5). Вісь OZ направлена вздовж осі обертання Землі в сторону північного полюса. Вісь OX лежить у площинах екватора і Грінвіцького меридіана. Вісь OY лежить в площині екватора і перпендикулярна до осі OX . Координати деякої точки M в даній системі визначаються такими відрізками

$$X=OM_1=M_0M_2; Y=OM_2=M_0M_1; Z=OM_3=M_0M$$

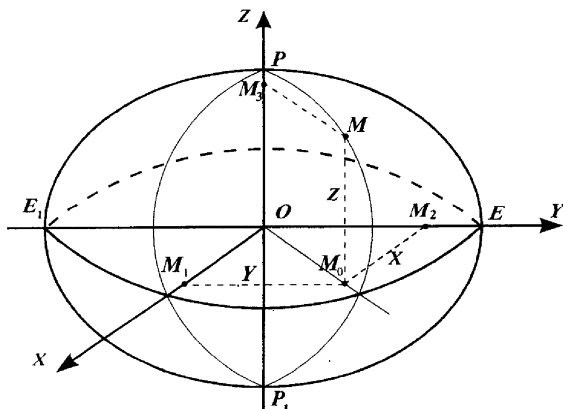


Рис. 1.5. Геоцентрична система прямокутних просторових координат

1.1.6.5. Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера

Для складання планів та карт місцевості велике значення має вибір єдиної системи координат та врахування спотворень при переході зображень з фізичної поверхні Землі до їх зображень на площині.

Для великомасштабного картографування необхідна проекція, яка забезпечувала б зображення подібності фігур при переході з поверхні Землі на площину і спотворення, які при цьому будуть виникати, мають бути мінімальні та легко враховуватись. Таким вимогам відповідає прийнята в Україні (як і в бувшому СРСР) *поперечно-циліндрична, рівнокутна проекція Гаусса-Крюгера*. Зображення поверхні еліпсоїда на площині в проекції Гаусса-Крюгера утворюється таким чином: *поверхня еліпсоїда поділяється меридіанними площинами на зони шириною 3° або 6° за довготою*; Земний еліпсоїд вписують в циліндр так, щоб площина екватора співпадала з віссю циліндра; кожна зона з центру Землі проектується на бокову поверхню циліндра. Зображення кожної зони на площині в проекції Гаусса-Крюгера утворює меридіанну координатну зону (рис. 1.6).

Середній меридіан зони називають *осьовим*. Осьові меридіани зон та лінія екватора будуть проектуватися прямими

лініями на площину, а всі інші меридіани будуть кривими, тобто спотвореними. Спотворення розмірів контурів поблизу осьових меридіанів є мінімальними та з віддаленням від них будуть збільшуватись.

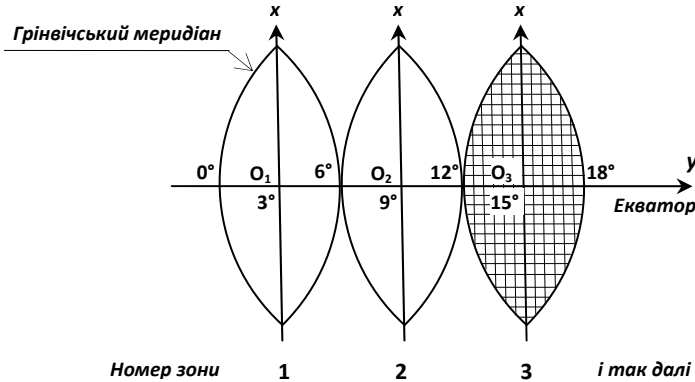


Рис. 1.6. Поділ поверхні еліпсоїда на зони у проекції Гаусса-Крюгера

За початок відліку координат в кожній зоні приймається перетин осьового меридіану і лінії екватора (рис. 1.7).

Довгота осьового меридіану в зоні дорівнює

$$L_0 = 6^\circ n - 3^\circ, \quad (1.1)$$

де n – номер зони.

Система координат в кожній зоні однакова. Україна знаходиться над екватором, тому значення абсцис будуть завжди додатними, а ординати можуть бути додатні або від'ємні (табл. 1.1). Для того, щоб ординати були додатними, прийнято умовно перенести вісь абсцис на 500 км на захід (рис. 1.8, б).

Умовні ординати обчислюють за формулою

$$\bar{y} = 500 \text{ км} + y. \quad (1.2)$$

Якщо $y_A=140234м$ та $y_B=-164293м$, то умовні ординати будуть: $\bar{y}_A=n \cdot 640234м$; $\bar{y}_B=n \cdot 335707м$. Слід зауважити, що в умовних ординатах на початку записують номер зони n .

Таблиця 1.1

Знаки координат точок у зоні

Чверть	I	II	III	IV
Координати	Пн.Сх.	Пд.Сх.	Пд.Зх	Пн.Сх.
X	+	-	-	+
Y	+	+	-	-

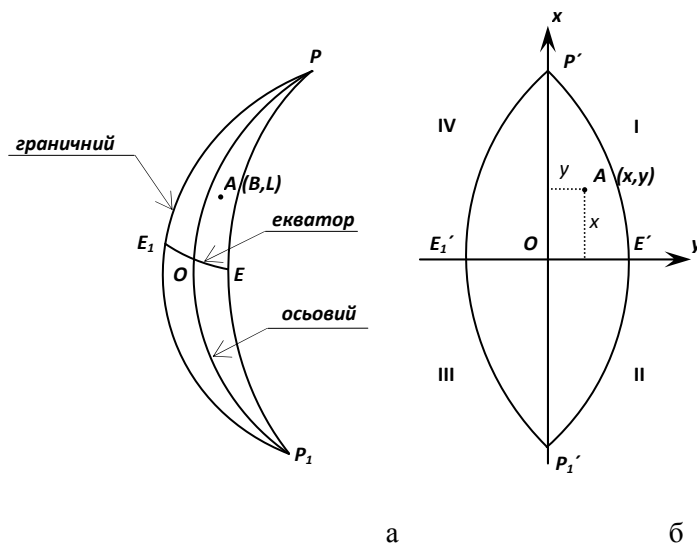


Рис. 1.7. Координатна зона: а – на еліпсоїді; б – на площині

Для зручності визначення прямокутних координат при розв'язанні практичних задач на планах і картах побудована координатна сітка, яка представляє систему взаємно

перпендикулярних ліній, що проведені через певні відстані паралельно осьовому меридіану зони (вісь x) та лінії екватора (вісь y).

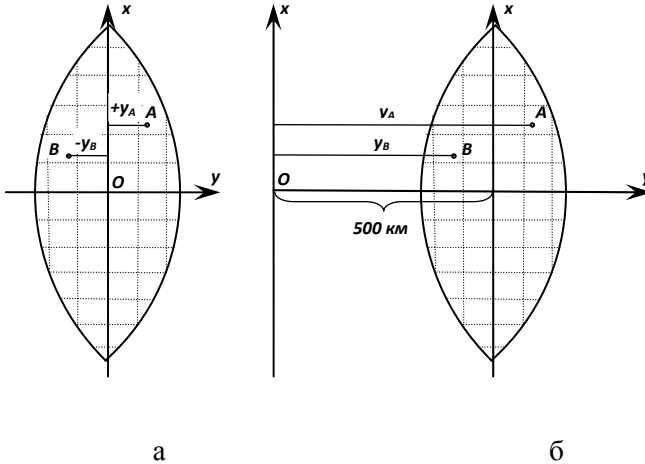


Рис. 1.8. Умовні ординати у шестиградусних зонах

1.1.6.6. Абсолютні та відносні висоти точок місцевості

Висотою точки на місцевості називають віддаль за прямовисною лінією між рівневою поверхнею цієї точки і рівневою поверхнею, яку вибрано за початок відліку висот. Абсолютною висотою точки A є відрізок Aa на рис. 1.9.

Числове вираження висоти називають *позначкою або відміткою*.

Висоти можуть бути *абсолютними* або *відносними*.

Абсолютною висотою називають відрізок прямовисної лінії від точки на фізичній поверхні Землі до рівневої поверхні, яка прийнята в Державній геодезичній мережі за вихідну (нульову).

В Україні рахунок висот виконується від нуля Кронштадтського футштока (мідна рейка на березі обвідного каналу Балтійського моря).

Відносною (умовною) висотою називають висоту (віддаль) між рівневою поверхнею даної точки і рівневою поверхнею точки, відносно якої відраховують висоту. Величина H_B^A , яка дорівнює відрізку Bb' є відносною висотою точки B над точкою A . Цю величину називають також *перевищенням* h , тобто різницею висот між двома точками.

Рівнева поверхня точки, прийнята за початок відліку висот, буде називатись *умовною рівневою поверхнею*.

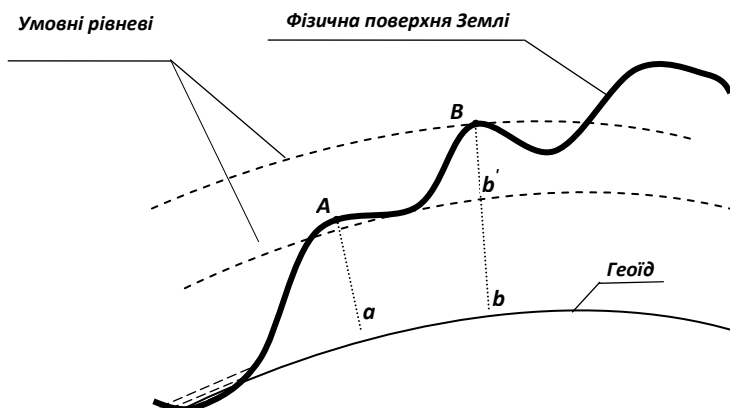


Рис. 1.9. Система абсолютних та відносних висот

1.1.7. План, карта та профіль земної поверхні

Топографічним планом називається зменшене і подібне зображення горизонтальних проекцій контурів та форм рельєфу без врахування сферичності землі.

Ступінь зменшення на плані контурів місцевості або відношення довжини ліній на плані до відповідних горизонтальних проекцій цього відрізка на місцевості називається *масштабом*.

При зображенні на площині великих ділянок Землі застосовують картографічні проекції.

Картою називається зменшене узагальнене і побудоване за відповідними математичними законами зображення ділянок земної поверхні на площині.

За масштабами карти розподіляють на:

- великомасштабні* – 1:100000 і більше. Карти таких масштабів називають топографічними;
- середньомасштабні* – 1:200000 – 1:1000000;
- дрібномасштабні* – 1:1000000 та дрібніші.

Вимоги до топографічних карт:

1. Можлива повнота, яка не утруднює читання карти.
2. Точність зображення ситуації (сукупність контурів та нерухомих об'єктів місцевості) і рельєфу повинна відповідати масштабу карти.

3. Географічна відповідність та правдоподібність.

Прийнято називати карти масштабів 1:500 – 1:5000 топографічними *планами*.

Масштабний ряд топографічних карт такий: 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Крім планів і карт складають *профілі місцевості*, які представляють собою зменшене зображення вертикального розрізу земної поверхні.

1.1.8. Методи зображення земної поверхні на картах і планах

На поверхні Землі об'єкти природного та техногенного походження мають складні просторові форми. Тому на площині їх відображають у певних *проекціях*. В геодезії для побудови планів, в основному, використовуються *ортогональні проекції*. Проекція довжини лінії на площині – завжди менша або рівна самій лінії. Якщо відомі довжини сторін в проекції та кути нахилу, а також величини перпендикулярів до поверхні, на яку проектується точки земної поверхні, то можна знайти розміри просторової фігури. На рис. 1.10 зображена ортогональна проекція.

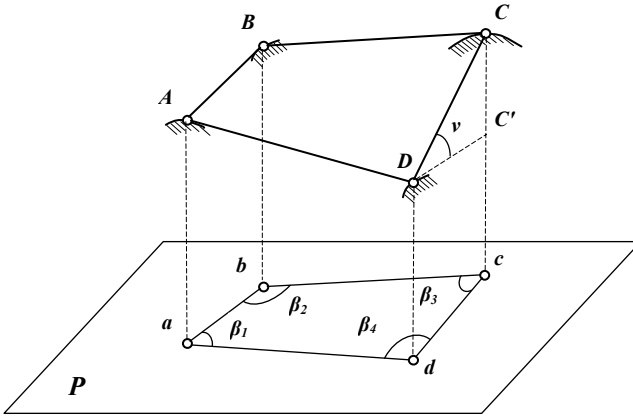


Рис. 1.10. Ортогональна проекція

В геодезії також застосовують *косокутні проекції*. Тобто лінії Aa , Bb , Cc , Dd до площини P проходять не під прямим кутом. Досить часто застосовують і *центральні проекції* (рис. 1.11). Вони лежать в основі перспективних зображень і здебільшого використовуються для аерофотознімання.

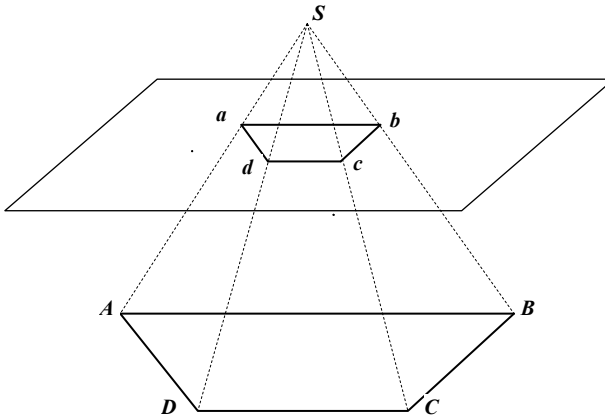


Рис. 1.11. Центральна проекція

1.1.9. Вплив кривини Землі на горизонтальні віддалі та висоти точок

У системі плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера осьовий меридіан і лінія екватора не спотворюються при проектуванні на площину. Всі інші лінії спотворюються.

Розглянемо, як кривина Землі впливає на визначення віддалей та висот точок на прикладі таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Вплив кривини Землі на визначення горизонтальних віддалей та висот

$S, \text{ км}$	$\Delta S, \text{ м}$	$\Delta h, \text{ м}$
1	0.00	0.08
5	0.00	1.96
10	0.01	2.85
20	0.07	31.39

де S – віддаль між точками на місцевості; ΔS – різниця між вимірною віддаллю та її горизонтальною проекцією; Δh – різниця між вимірною висотою і її фактичним значенням.

Із таблиці 1.2 видно, що в радіусі 10 км від точки на фізичній поверхні Землі можна рахувати віддалі горизонтальними (без спотворень). Але при визначенні висот кривину Землі необхідно враховувати вже при віддалі 1 км, де похибка рівна 0.08 м.

В проекції Гаусса-Крюгера при віддаленні від осьового меридіану спотворення контурів об'єктів збільшується.

Питання для самоперевірки

1. Що вивчає геодезія?
2. Якими є завдання та роль геодезії у народному господарстві?
3. Охарактеризуйте історичний розвиток геодезії.
4. Що Ви знаєте про геодезичну службу в Україні?
5. Яку форму має Земля та які її розміри?
6. Географічна система координат.
7. Геодезична система координат.

8. Астрономічна система координат.

9. Геоцентрична система прямокутних просторових координат.

10. Що таке висота точки земної поверхні? Абсолютні, відносні та умовні висоти.

11. Охарактеризуйте проекцію Гаусса – Крюгера.

12. В чому суть зональної системи плоских прямокутних координат?

13. Що таке план, карта і профіль?

14. В чому суть методу проекцій?

15. Назвіть проекції, які застосовуються у геодезії? Охарактеризуйте їх.

16. Які ділянки Землі на сфері можна рахувати плоскими?

1.2. Визначення перевищень та висот точок на поверхні Землі

1. *Види нівелювання*
2. *Геометричне нівелювання*
3. *Способи визначення висот точок на поверхні Землі*
4. *Вплив кривини Землі та рефракції на результати нівелювання*

1.2.1. Види нівелювання

Нівелювання – це сукупність вимірювальних робіт з визначення перевищень між точками місцевості, конструкцій споруд тощо. Перевищення використовують для обчислення висот точок на поверхні Землі та розв’язання різних задач при вишукуванні, проектуванні, будівництві та експлуатації різних об’єктів. Знання абсолютних висот необхідне для вирішення наукових задач, пов’язаних з вивченням вертикальних рухів земної кори, для відображення рельєфу на планах і картах та ін.

Нівелювання виконують різними інструментами та способами. Розрізняють нівелювання:

- 1) *геометричне* або горизонтальним променем;

- 2) *тригонометричне* або похилим променем;
- 3) *барометричне* – основане на залежності зміни атмосферного тиску від положення точки за висотою;
- 4) *механічне* (автоматичне) – розклад похилого вектора переміщення приладу на горизонтальну та вертикальну складову. Виконується профілографом, який викреслює профіль пройденого шляху або реєструє висоти точок місцевості;
- 5) *гідростатичне* – основане на законі сполучених посудин, в яких поверхня вільної рідини знаходиться на одному рівні;
- 6) *стереофотограмметричне* використовує вимірювання на фотознімках, які утворюють стереопару.

1.2.2. Геометричне нівелювання

Перевищення між двома точками при геометричному нівелюванні визначається за допомогою горизонтального променя, що створює прилад, який називають нівеліром, та двох рейок, встановлених в цих точках (рис. 1.12).

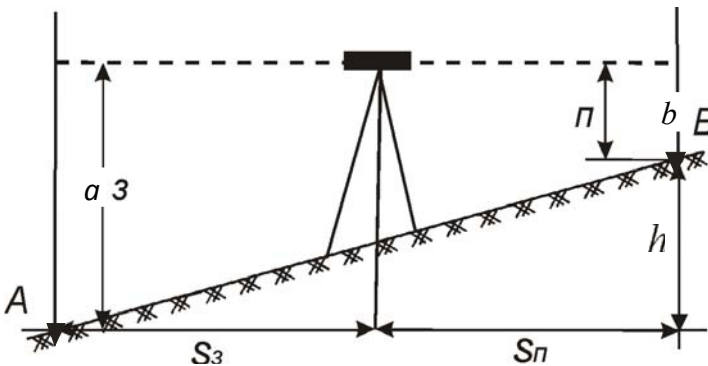


Рис. 1.12. Нівелювання з середини

Перевищення h визначається за формулою

$$h = a - b = З - П, \quad (1.3)$$

де $П$ і $З$ – відліки з передньої та задньої рейок відповідно.

На рис. 1.12 показано нівелювання з середини. Існує ще нівелювання вперед (рис. 1.13), в якому нівелір встановлюється

над точкою A . При цьому, перевищення визначається за формулою
$$h = i_n - b, \quad (1.4)$$

де i_n – висота приладу;

b – відлік по рейці, яка встановлена на точці B .

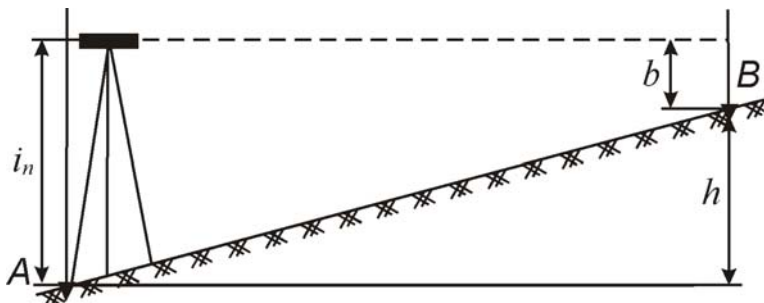


Рис. 1.13. Нівелювання вперед

1.2.3. Способи визначення висот точок поверхні

Висоти точок при нівелюванні обчислюють через перевищення або горизонт приладу. Для того, щоб визначити висоту точки 2 через перевищення, необхідно знати висоту точки 1, а також відліки за рейками в точках 1 і 2 (рис. 1.14).

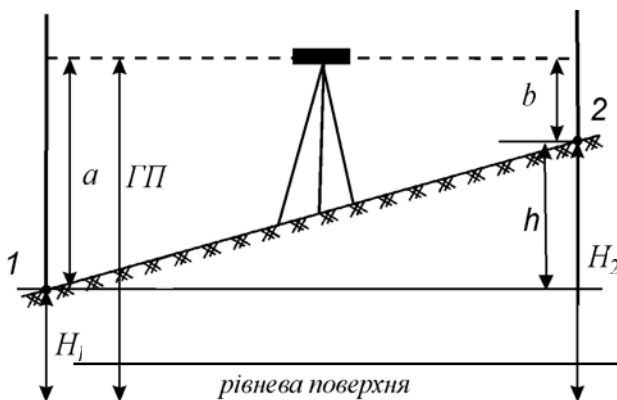


Рис. 1.14. Визначення висот точок

Висота точки 2 буде обчислена за формулою

$$H_2 = H_1 + (a-b) = H_1 + h. \quad (1.5)$$

При визначенні висоти точки 2 через горизонт приладу необхідно врахувати його величину. *Горизонт приладу (ГП)* – це віддаль від рівневої поверхні до горизонтального променя візування нівеліра (відмітка візирного променя нівеліра). Його визначають за формулою

$$\text{ГП} = H_1 + a, \quad (1.6)$$

тобто, *ГП* дорівнює висоті точки плюс відлік з чорного боку рейки, встановленої на цій точці.

Відмітку (висоту) точки 2 вираховують за формулою

$$H_2 = \text{ГП} - b, \quad (1.7)$$

де b – відлік з чорного боку рейки, яка встановлена в точці 2.

1.2.4. Вплив кривини Землі та рефракції на результати нівелювання

Поправки за кривину Землі та рефракцію можна визначити з наступних залежностей, які показано на рис. 1.15, де JB_2 – горизонтальний відрізок;

JB_1 – світлова крива з радіусом R_1 ;

JB_0 – сферична крива з радіусом Землі R ;

B_2B_0 – вплив кривини Землі k ;

B_2B_1 – вплив рефракції r ;

$f = k - r$ – загальний вплив за кривину Землі та рефракції.

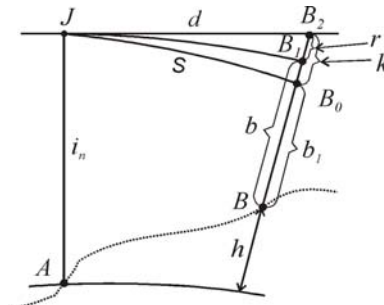


Рис. 1.15. Вплив кривини Землі та рефракції на результати нівелювання

Перевищення між точками A і B буде дорівнювати:

$$h = i_n - b = i_n - (b_1 + f). \quad (1.8)$$

Досліджено, що $R_1 \approx 7R$, тому

$$f = 0.42 \frac{d^2}{R}. \quad (1.9)$$

При нівелюванні із середини поправка за кривину Землі k компенсується, а за рефракцію r зменшується, залежно від умов нівелювання.

Питання для самоперевірки

1. Що таке нівелювання?
2. Які види нівелювання Ви знаєте?
3. В чому полягає суть геометричного нівелювання?
4. Які способи геометричного нівелювання Ви знаєте?
5. Як можна визначити висоти точок?
6. Що таке горизонт приладу і як його обчислити?
7. Який вплив кривини Землі та рефракції на результати нівелювання?

1.3. Прилади для визначення перевищень горизонтальним променем

1. *Будова нівелірів та їх характеристики*
2. *Основні частини нівелірів*
 - 2.1. *Зорова труба*
 - 2.2. *Сферичний та циліндричний рівні*
 - 2.3. *Компенсатор*

1.3.1. Будова нівелірів та їх характеристики

Нівелір – це оптико-механічний прилад, призначений для побудови у просторі горизонтального променя.

Нівеліри класифікують:

- а) за точністю:
 - високоточний – типу НІ;
 - точні – типу НЗ;
 - технічні – типу Н10.

б) за конструктивними особливостями:

- нівеліри, візирна вісь яких у горизонтальне положення встановлюється за допомогою циліндричного рівня (рис. 1.16);
- нівеліри з компенсаторами;
- за рівнем автоматизації :оптико-механічні та цифрові.

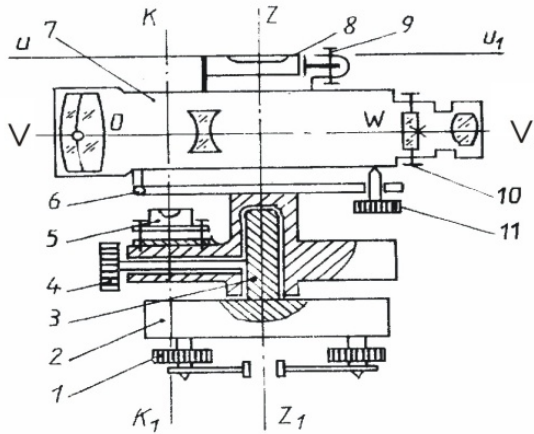


Рис. 1.16. Будова нівеліра з циліндричним рівнем та його осі:

ZZ_1 – вісь обертання нівеліра; VV_1 – візирна вісь зорової труби, яка проходить через оптичний центр об'єктива і центр сітки ниток; KK_1 – вісь сферичного рівня: нормаль до сферичної поверхні ампули, що проходить через його нуль-пункт; UU_1 – вісь циліндричного рівня: пряма, що проходить через нуль-пункт рівня, дотична до дуги поздовжнього перерізу ампули

1 – піднімальні гвинти для приведення осі нівеліра ZZ_1 у вертикальне положення; 2 – підставка; 3 – колонка; 4 – закріпний гвинт; 5 – сферичний рівень; 6 – вісь обертання; 7 – зорова труба; 8 – циліндричний рівень для приведення візирної осі VV_1 у горизонтальне положення; 9 – виправні гвинти циліндричного рівня; 10 – виправні гвинти сітки ниток; 11 – закріпний гвинт

Особливістю будови нівеліра з компенсатором є наявність компенсатора – пристрою, який автоматично встановлює промінь візування у горизонтальне положення при невеликих нахилах зорової труби.

Нівелір лазерний. Нівелір, в якому візирна вісь замінена або дублюється лазерним променем. Лазерні нівеліри також поділяють умовно на три групи: з рівнем, компенсатором та з

обертвим лазерним пучком. Найчастіше застосовуються нівеліри з обертвим лазерним пучком. Лазерний промінь за допомогою обертового оптичного блоку спрямовується і розгортається у горизонтальну або вертикальну світлову площину. Відлічування з рейки виконують за допомогою фотоелектронного блоку або візуально.

Цифрові нівеліри. Автоматичні цифрові нівеліри призначені для простої та ефективної роботи, особливо для створення геодезичної основи та розв'язку різних інженерних задач. Вони автоматично зчитують і записують дані вимірювань в цифровій формі у мінімальний час. Похибки спостерігача при цьому виключаються.

1.3.2. Основні частини нівелірів

1.3.2.1. Зорова труба

Зорова труба – оптичний прилад, призначений для візуального спостереження віддалених предметів. Вона складається із корпусу, об'єктива, окуляра, сітки ниток, фокусуючої лінзи (рис. 1.17).

Існує три осі зорової труби які проходять через :

- геометрична – через геометричні центри об'єктива та окуляра;
- оптична – через оптичні центри об'єктива та окуляра;
- візирна – через оптичний центр об'єктива та перехрестя сітки ниток.

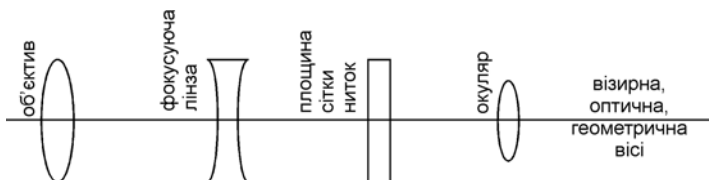


Рис. 1.17. Оптична система зорової труби

Зорові труби дають пряме та обернене зображення. Прийнято називати зорові труби з оберненим зображенням – астрономічними, а з прямим – земними.

Об'єктив і фокусуючу лінзу можна розглядати як одну збиральну лінзу (складний об'єктив). Зображення ab предмета AB , яке одержано через об'єктив, буде дійсним, оберненим і зменшеним (рис. 1.18). Для збільшення його в трубу вводять окуляр, який діє як лупа. Встановивши окуляр відносно ab так, щоб O_1C було менше $O_1\Phi$ – фокусної віддалі окуляра, одержимо уявне і збільшене зображення $a'b'$.

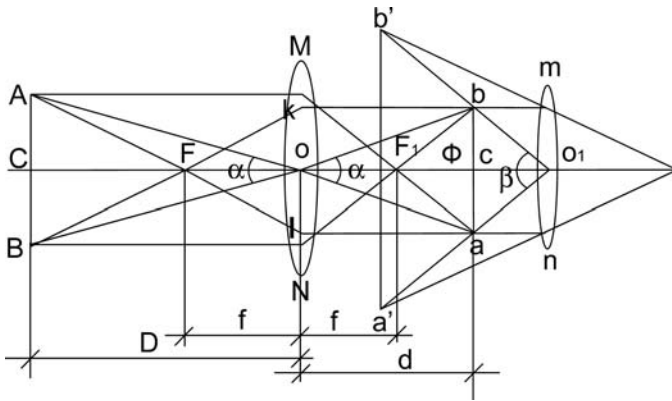


Рис. 1.18. Хід променів у зоровій трубі із зовнішнім фокусуванням:

- f – фокусна віддаль об'єктива;
- D – віддаль від об'єктива до предмета;
- d – віддаль від об'єктива до зображення ab .

Сітка ниток – це скляна пластинка з системою взаємно перпендикулярних штрихів. Перетин сітки ниток відповідає її центру.

Збільшення і поле зору труби. Збільшенням труби називається відношення кута β , під яким зображення предмета видно в трубу, до кута α , під яким предмет видно простим оком

$$g = \frac{\beta}{\alpha}. \quad (1.10)$$

Практично збільшення \mathcal{G} дорівнює відношенню фокусних віддалей об'єктива і окуляра $\mathcal{G} = \frac{f}{f_1}$, (1.11)

де f – фокусна віддаль об'єктива;
 f_1 – фокусна віддаль окуляра.

Простір, видимий в трубу при нерухомому її положенні, називається *полем зору труби*. Воно визначається кутом ξ , вершина якого знаходиться в центрі об'єктива O і променями, які проходять через край сітки ниток. Можна записати

$$\xi = \frac{38.2^\circ}{\mathcal{G}}, \quad (1.12)$$

де \mathcal{G} – збільшення зорової труби.

Якщо прийняти граничну похибку візування незброєним оком $60''$ і збільшення труби \mathcal{G} , то можна визначити похибку візування

$$\Delta b = \frac{60''}{\mathcal{G}}. \quad (1.13)$$

Поле зору труби нівеліра НЗ зображено на рис. 1.19.

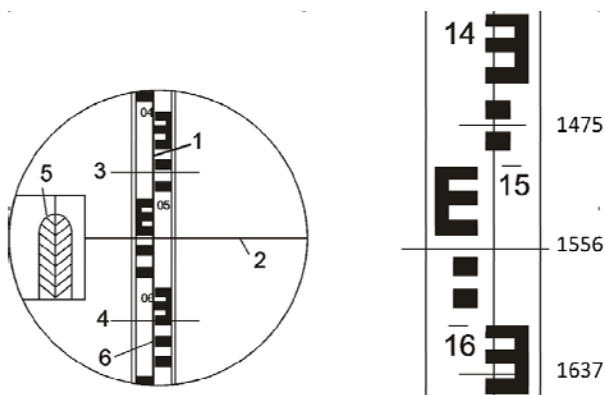


Рис. 1.19. Поле зору труби нівеліра НЗ

У полі зору труби можна побачити: сітку ниток (вертикальна нитка – 1, середня горизонтальна нитка – 2, а також верхня – 3 і нижня – 4 – далекомірні нитки); зображення суміщення кінців бульбашки циліндричного рівня – 5 і нівелірної рейки з сантиметровими поділками – 6.

Відлік за рейкою складається з чотирьох цифр і ϵ віддаллю в міліметрах від її п'ятки до горизонтальної нитки, за якою виконується відлік. Наприклад, відліки з рейки для нашого випадку показано на рис. 1.19, будуть:

- за верхньою ниткою – 1475;
- за середньою – 1556;
- за нижньою – 1637.

1.3.2.2. Сферичний та циліндричний рівні

Рівні служать для приведення осей і площин приладу в горизонтальне положення.

За формою рівні бувають циліндричні (рис. 1.20) та круглі (рис. 1.21).

Простір, заповнений парами спирту називається бульбашкою рівня.

Точка O в середині ампули називається нуль-пунктом рівня.

Винайшов циліндричний рівень французький механік Тевено в 1662 році.

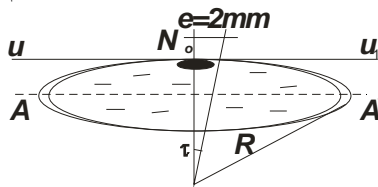


Рис. 1.20. Циліндричний рівень

На рис. 1.20 показано будову циліндричного рівня та його осі, а саме:

- N_o – середина поділок ампули (нуль-пункт);
- uu_1 – вісь циліндричного рівня – пряма, що проходить через нуль-пункт рівня і є дотичною до дуги повздожнього перерізу

(дотична до дуги поздовжнього перерізу внутрішньої поверхні рівня в його нуль-пункті);

- AA' – вісь симетрії ампули;

- R – радіус кривини внутрішньої поверхні ампули;

- τ – ціна поділки циліндричного рівня.

Ціною поділки рівня τ називається кут, на який нахилиться вісь рівня, якщо бульбашка зміститься на одну поділку, тобто

$$\tau = \frac{l}{R} \rho, \quad (1.14)$$

де l – довжина дуги, як відповідає одній поділці шкали ампули.

Чим більший радіус кривини, тим менша ціна поділки рівня і тим він чутливіший.

Під *чутливістю* рівня розуміють лінійне переміщення бульбашки, яке відповідає одиниці кута нахилу осі рівня.

Рівні контактні. При допомозі спеціальної системи призм лівий і правий кінці бульбашки передаються в поле зору труби.

Сферичний рівень. Рідинний рівень, внутрішня поверхня верхньої частини ампули якого є сферичною (рис. 1.21).

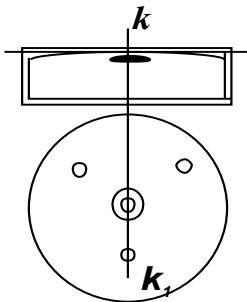


Рис. 1.21. Сферичний рівень

За нуль-пункт приймають центр кола. Віссю рівня є нормаль kk_1 , яка проходить через нуль-пункт O перпендикулярно площині, що є дотичною до внутрішньої поверхні рівня в його нуль-пункті.

1.3.2.3. Компенсатор

Компенсатор – це пристрій, який автоматично встановлює промінь візування у горизонтальне положення при невеликих нахилах зорової труби.

Компенсатор нахилу містить рухомий елемент, який займає певне положення під дією сили тяжіння, нерухомий оптичний елемент і демпфувальний (гальмівний) пристрій повітряного, магнітно-індуктивного або рідинного способу дії. В залежності від типу рухомого елемента компенсатора умовно їх можна поділити на механічні, оптико-механічні та рідинні. У механічних компенсаторах рухомим елементом є сітка ниток, яка підвішена на двох або трьох тонких металевих нитках. Оптико-механічні компенсатори (маятникові) мають вільно підвішені призми або лінзи. У рідинних компенсаторах використовують властивість вільної поверхні рідини бути горизонтальною внаслідок дії сили тяжіння.

Сутність роботи компенсатора така: коли лінія візування горизонтальна, то вона проходить через певну точку на рейці, центр об'єктива і перехрестя сітки ниток. Якщо вона нахилиться на певний допустимий кут, то замість правильного відліку ми одержимо помилковий і роль компенсатора в тому, щоб він автоматично спрямовував початковий відлік до нового положення перехрестя сітки ниток, куди воно перемістилося з початкового положення внаслідок нахилу зорової труби.

Питання для самоперевірки

1. Що таке нівелір?
2. Які нівеліри застосовуються на виробництві (за точністю, за конструкцією)?
3. Принципова схема будови нівеліра з циліндричним рівнем.
4. Назвіть основні частини нівеліра та їх призначення.
5. Як виконуються відліки з рейки?
6. За допомогою якого рівня вісь нівеліра приводиться у вертикальне положення?
7. Що таке нуль-пункт, ціна поділки рівня та його чутливість?

1.4. Перевірки нівелірів та рейок

1. *Перевірки та юстирування нівелірів*
2. *Нівелірні рейки*

1.4.1. Перевірки та юстирування нівелірів

Метою перевірок та юстирування (виправлення положення осей та пристроїв для виконання основних геометричних умов) є виявлення відхилень від ідеальної геометричної схеми нівелірів, які викликані порушенням правильного взаємного розміщення їх частин та осей.

Після перевірок та юстирування у нівелірі з циліндричним рівнем повинна виконуватись головна умова: *візирна вісь труби повинна бути горизонтальною, коли бульбашка циліндричного рівня знаходиться на середині (у нуль-пункті).*

Перед виконанням нівелірних робіт, після загального огляду нівеліра, приступають до виконання його перевірок, а саме:

- перевірки круглого рівня;
- перевірки сітки ниток;
- головної перевірки.

Перевірка круглого рівня. Вісь круглого рівня KK_1 повинна бути паралельною до осі ZZ_1 обертання нівеліра (рис. 1.16).

Для перевірки цієї умови за допомогою піднімальних гвинтів виводять бульбашку круглого рівня на середину і обертають нівелір на 180° навколо осі ZZ_1 . Якщо бульбашка залишилась в нуль-пункті, то умова задовольняється, в іншому випадку виконують юстирування. Для цього виправними гвинтами переміщують бульбашку в сторону нуль-пункту на половину дуги відхилення, а приведення її в нуль-пункт виконують підйомними гвинтами. Перевірку повторюють.

Перевірка сітки ниток. Горизонтальний штрих сітки ниток повинен бути перпендикулярним до осі обертання нівеліра ZZ_1 , або вертикальний штрих паралельним до неї.

При перевірці вертикальної нитки на віддалі 10-15 м встановлюють висок і наводять вертикальну нитку на лінію

виска. Якщо вертикальна нитка співпала з лінією виска, то умова виконана, якщо не співпала необхідно виконати юстирування. Для цього розвертають у відповідне положення сітку ниток до виконання умови, знявши окулярну кришку зорової труби і послабивши гвинти, якими кріпиться пластина сітки ниток до корпусу труби. Для контролю перевірку повторюють. Після чого пластину візирної сітки закріплюють і прикріплюють окулярну кришку.

Перевірка головної умови нівеліра. Вісь циліндричного рівня UU_1 повинна бути паралельною візирній осі VV_1 .

Перевірка виконується подвійним нівелюванням двох точок A і B , закріплених кілочками на відстані 50-70 м, на які встановлюють вертикально рейки.

При першому нівелюванні нівелір (рис. 1.22, а) встановлюють на середину, приводять в робоче положення і знімають відліки з рейок a_1 і b_1 .

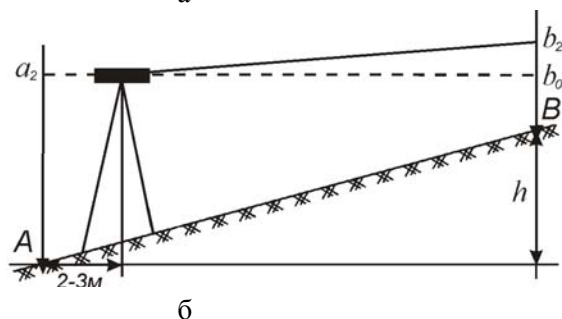
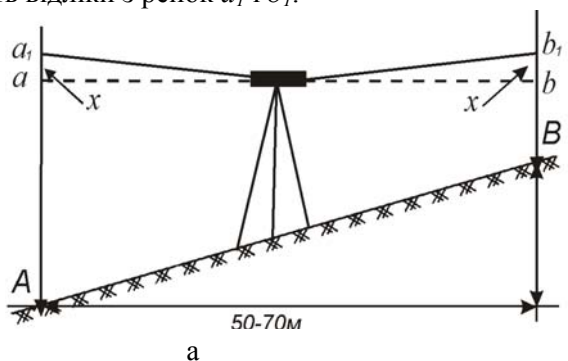


Рис. 1.22. Перевірка головної умови нівеліра Н-3

Далі обчислюють перевищення h за формулою

$$h = a_1 - b_1. \quad (1.15)$$

Перевищення h буде безпомилковим тому, що при однакових віддальх від нівеліра до рейок похибка непаралельності осей візирної та циліндричного рівня при обчисленні перевищення h буде компенсуватися, а саме

$$h = a_1 - b_1 = (a+x) - (b+x) = a - b, \quad (1.16)$$

де $a_1 = a+x$; $b_1 = b+x$;

a і b – відліки з рейок, коли осі паралельні.

Далі нівелір встановлюють біля однієї із рейок на віддалі 2-3 м. (рис. 1.22, б) і знову визначають перевищення між точками A і B .

Нехай перевищення буде h' , яке визначається за формулою

$$h' = a_2 - b_2. \quad (1.17)$$

Якщо для технічних нівелірів

$$h' - h \leq 4 \text{ мм}, \quad (1.18)$$

то паралельність осей візирної та циліндричного рівня виконується. При $h' - h \geq 4 \text{ мм}$ необхідно виконати юстирування.

Юстирування:

1. Обчислюють правильний відлік b_o , який необхідно встановити на передню рейку за допомогою елеваційного гвинта

$$b_o = a_2 - h. \quad (1.19)$$

2. Користуючись елеваційним гвинтом встановлюють відлік b_o на передню рейку. При цьому бульбашка циліндричного рівня зміститься із нуля-пункту.

3. За допомогою юстирувальних (виправних) гвинтів циліндричного рівня приводять бульбашку в нуля-пункт.

4. Перевірку повторюють.

1.4.2. Нівелірні рейки

Нівелірна рейка служить мірним приладом для визначення перевищення при нівелюванні. За старим стандартом (10528-90) існує три типи рейок вітчизняного виробництва: РН-05; РН-3; РН-10. Шифр РН – рейка нівелірна.

РН-05 – одностороння, штрихова з інварною смугою. Ціна поділки – 5мм. Призначена для нівелювання I і II класу з похибкою нівелювання на 1 км ходу – 0.5 мм.

РН-3 – двостороння шашкова. Нівелювання III, IV класів – 3 мм на 1 км ходу. В конструкцію входить круглий рівень для встановлення рейок у вертикальне положення.

Рейка *РН-10* – для технічного нівелювання, похибка до 10 мм на 1 км ходу.

Рейка *РН-3,10* – двосторонні, поділки чорні та червоні з двох боків, шашкові (рис. 1.23).

На чорному боці поділки починаються з нуля, а на червоному зміщені на деяку величину для контролю при знятті відліків. Кожний дециметр підписаний.

Для рейок передбачені такі дослідження та перевірки:

- визначення похибок дециметрових поділок;
- визначення середньої довжини одного метра;
- визначення різниці нулів червоного і чорного боків рейок;

- перевірка паралельності осей круглого рівня та рейки;
- Порядок досліджень передбачений інструкцією.

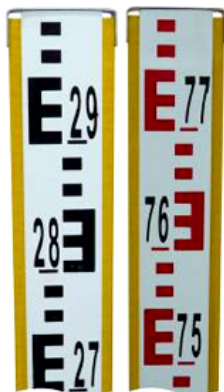


Рис. 1.23. Рейка РН-3

Питання для самоперевірки

1. Що таке перевірка?
2. Яка головна умова нівелірів з циліндричним рівнем і компенсатором ?
3. Як виконати перевірку круглого рівня?
4. Як перевірити правильність положення сітки ниток?
5. Перевірка головної умови нівеліра.
6. Що таке нівелірна рейка і для чого вона призначена?
7. Які нівелірні рейки застосовуються при геометричному нівелювання?
8. Які перевірки і дослідження рейок Ви знаєте?

1.5. Технічне нівелювання

1. *Класифікація та схеми побудови нівелірних мереж*
2. *Технічне нівелювання*
3. *Вирівнювання нівелірних ходів та обчислення висот точок*

1.5.1. Класифікація та схеми побудови нівелірних мереж

На території держави повинна бути розвинута як планова, так і висотна мережі. В Україні будують нівелірні мережі I, II, III, IV класів точності (рис. 1.24) в основному за допомогою геометричного нівелювання. Допуски точності регламентуються такими величинами:

$f_{\text{дон}} = \delta\sqrt{L}$, де L – довжина ходу в км; δ – допуск на 1 км ходу (для мереж I класу – 0.5 мм, II – 5 мм, III – 10 мм, IV – 20 мм, для технічного від 30 до 70 мм в залежності від технічних вимог проекту).

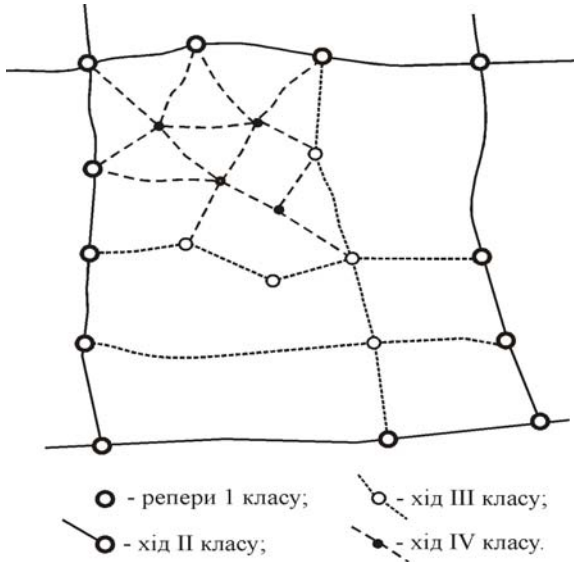


Рис. 1.24. Нівелірні мережі

Пункти нівелювання закріплюють на місцевості *нівелірними знаками* (реперами). Лінії нівелювання усіх класів фіксують на місцевості постійними реперами: ґрунтовими, скельними, стінними. У висотних мережах I і II класів закладають фундаментальні репери. На місцевості фундаментальні і ґрунтові репери обкопують і встановлюють біля них розмічувальні знаки.

1.5.2. Технічне нівелювання

Технічне нівелювання виконується для визначення висот точок знімальної основи при вишукуваннях, будівництві та експлуатації споруд, а також побудови профілю місцевості. Для визначення висот характерних точок рельєфу прокладають нівелірні ходи технічним нівелюванням.

Технічне нівелювання виконується способом з середини (див. тему 1.2) за станціями, які у сукупності утворюють нівелірний хід. *Станція* – одноразове встановлення нівеліра з

послідовним зняттям відліків з рейок, які називають *задніми*, *передніми* та *проміжними*.

При технічному нівелюванні осі лінійної споруди через певну віддадь (здебільшого 100 м) закріплюють точку у вигляді кілочка, на якій встановлюють рейку. Такі точки називаються *пікетами*. Вони може бути *зв'язуючими* або *проміжними*.

Пікети, на яких знімають відліки з чорного та червоного боків рейок, називаються *зв'язуючими*. Ситуаційні і характерні точки рельєфу на трасі є *проміжними*, які розміщені між *зв'язуючими*.

Спостереження на станції виконують у такій послідовності:

1) нівелір приводять у робочий стан (за допомогою піднімальних гвинтів приводять вісь обертання нівеліра у вертикальне положення при цьому бульбашка круглого рівня повинна бути у нуль-пункті);

2) наводять трубу на чорний бік задньої рейки, елевацийним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт і знімають відліки за середньою ниткою;

3) наводять трубу на чорний бік передньої рейки, елевацийним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт і знімають відліки за середньою ниткою;

4) знімають відлік за середньою ниткою з червоного боку передньої рейки при бульбашці циліндричного рівня в нуль-пункті;

5) наводять трубу на червоний бік задньої рейки і знімають відлік за середньою ниткою.

У нівелірах з компенсатором лінію візування приводять в горизонтальне положення за допомогою сферичного рівня.

Кожен раз при наведенні труби на рейку необхідно за допомогою кремальєри наводити чіткість її зображення.

Результат вимірювань записують у журнал технічного нівелювання (табл. 1.3) і далі у ньому визначають перевищення між пікетними точками та висоти зв'язуючих і проміжних точок.

На кожній сторінці журналу виконують посторінковий контроль

$$\Sigma Z - \Sigma П = 2\Sigma h, \quad (1.20)$$

де $\Sigma 3$ і $\Sigma 11$ – суми усіх відліків за задньою та передньою рейками відповідно.

Знаходять перевищення між точками ходу як різницю відліків за задньою та передньою рейками (за чорним і червоними їх боками).

Різниця між перевищеннями не повинна перевищувати ± 5 мм. Якщо ця умова виконується, то знаходять середнє перевищення.

Висоти проміжних точок обчислюють через горизонт приладу.

Таблиця 1.3

Журнал технічного нівелювання

№ ст.	№№ точок нівелювання	Відліки з рейки			Перевищення		Горизонт приладу	Висоти точок
		задня	передня	проміжна	обчислені	зрівноважені		
1	1	1472				+2		180.00
		6254			+122	+120		
		4782			+119	+122		
	2		1350					180.122
			6135					
			4785					
2	2	1571				+1		180.122
		6352			+43	+42		
		4781			+41	+43		
	3		1528					180.165
			6311					
			4783					
3	3	2316					182.481	180.165
		7100						
		4784				+1		
					-168	-166		
	4			1037	-164	-165		181.444
	1		2484					180.00
		7264						
			4780					
Посторінковий контроль		25065	25072		-7	$\Sigma h_{\text{пр.}} = -4$ $\Sigma h_{\text{теор.}} = 0$ $f_h = -4$		

1.5.3. Вирівнювання нівелірних ходів та обчислення висот точок

Нівелірні ходи можуть бути двох типів: зімкнені та розімкнені (рис. 1.25).

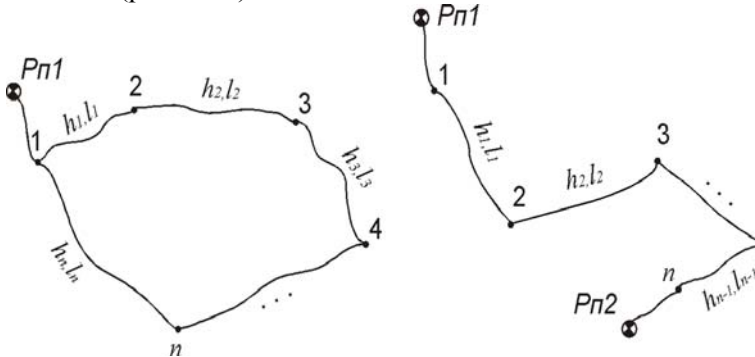


Рис. 1.25. Зімкнений та розімкнений нівелірні ходи

Вирівнювання зімкнутого ходу. Нівелювання починається на певній точці ходу і закінчується також на ній.

Вирівнювання нівелірних ходів включає:

- попереднє опрацювання матеріалів нівелювання (перевірку записів у журналах, посторінковий контроль);
- вирівнювання ходу, яке здійснюють у такій послідовності:

1. Обчислення практичної суми середніх перевищень

$$\sum h_{np.} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n; \quad (1.21)$$

2. Теоретична сума:

$$\sum h_{теор.} = 0; \quad (1.22)$$

3. Обчислення нев'язки:

$$\sum h_{np.} - \sum h_{теор.} = f_h; \quad (1.23)$$

4. Обчислення допустимої нев'язки:

$$f_{h_{дон.}} = 30 \div 70 \text{ мм} \cdot \sqrt{L}, \quad (1.24)$$

де L – довжина ходу в км;

5. Порівняння:

якщо $f_h \leq f_h^{\text{доп.}}$, то продовжуємо вирівнювання, а якщо $f_h > f_h^{\text{доп.}}$, то шукаємо похибку в обчисленнях або повторно виконуємо нівелювання;

6. Обчислення поправок у кожне перевищення:

$$g_{h_i} = \frac{-f_h}{P} \cdot l_i, \quad (1.25)$$

де P – периметр ходу; l_i – довжини між точками на дане перевищення h_i ;

7. Контроль:

$$\sum_{i=1}^n g_{h_i} = -f_h; \quad (1.26)$$

8. Обчислення вирівняних перевищень:

$$h_{i \text{ зрів.}} = h_{i \text{ сеп.}} + g_{h_i}; \quad (1.27)$$

9. Контроль:

$$\sum h_{i \text{ зрів.}} = \sum h_{\text{теор.}} = 0; \quad (1.28)$$

10. Визначення висот точок ходу:

$$H_{i+1} = H_i + h_{i \text{ зрів.}} \quad (1.29)$$

Вирівнювання розімкненого нівелірного ходу. Початкова та кінцева точки є фіксованими з відомими висотами.

Вирівнювання виконується аналогічно до зімкненого ходу, окрім визначення теоретичної суми перевищень. Вона визначається за формулою:

$$\sum h_{\text{теор.}} = H_{\text{кінц.}} - H_{\text{поч.}}, \quad (1.30)$$

де $H_{\text{кінц.}}$ і $H_{\text{поч.}}$ – відповідно висоти кінцевої та початкової точок ходу.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікують нівелірні мережі?
2. З якою точністю будують висотні мережі?
3. Які нівелірні знаки Ви знаєте?
4. Робота на станції при технічному нівелювання.

5. Що таке зв'язуючі і проміжні (плюсові) точки?
6. Посторінковий контроль журналу нівелювання.
7. Вирівнювання зімкненого і розімкненого нівелірних ходів.

1.6. Трасування лінійних споруд

1. Загальні відомості про трасу і трасування
2. Камеральне та польове трасування
3. Пікетажний журнал
4. Порядок нівелювання пікетів та поперечників

1.6.1. Загальні відомості про трасу і трасування

Елементи траси. Трасою називають вісь проектної лінійної споруди, яка намічена на місцевості, нанесена на топокарту або фотоплан чи задана координатами основних точок у цифровій моделі місцевості.

Основними елементами траси є *план* – її проекція на горизонтальну площину і *поздовжній профіль* – вертикальний розріз за проектною лінією.

Траса – складна просторова лінія. В плані вона складається із прямих ділянок різного напрямку, з'єднаних між собою горизонтальними кривими постійного або змінного радіуса. В поздовжньому профілі траса складається із ліній різного ухилу, які з'єднані між собою вертикальними кривими.

Для характеристики місцевості і проектної лінійної споруди в напрямках, які перпендикулярні до траси, складають поперечні профілі в однакових масштабах (горизонтальний і вертикальний).

Категорії трас. За топографічними умовами місцевості відрізняють траси: *долинні* (перетин найнижчих точок місцевості); *водороздільні* (найбільш високих точок місцевості); *косогірні* (розміщення на схилах гір); *поперечно-водороздільні* (перетин долин та водорозділів).

Параметри трасування. Траса повинна задовольняти відповідні вимоги, які встановлюються технічними умовами на її проектування.

Комплекс інженерно-вишукувальних робіт для вибору трас, які відповідають всім вимогам технічних умов і вимагають найменших затрат на їх створення та експлуатацію, називають *трасуванням*.

При трасуванні розрізняють планові параметри: кути повороту, радіуси горизонтальних кривих, довжини перехідних кривих, прямі вставки і висотні параметри: поздовжні ухили, довжини елементів на профілі, радіуси вертикальних кривих.

1.6.2. Камеральне та польове трасування

Якщо траса визначається за топопланами, аерофотоматеріалами та цифровими моделями місцевості, то трасування називають *камеральним*, а коли вона вибирається безпосередньо на місцевості, то – *польовим*.

Види робіт при польовому трасуванні:

1. Перенесення проекту траси в натуру, провішування ліній.
2. Визначення кутів повороту.
3. Лінійні вимірювання, розмічування пікетажу з веденням пікетажного журналу.
4. Розмічування колових та перехідних кривих.
5. Нівелювання траси. Встановлення вздовж траси реперів.
6. Закріплення траси.
7. Прив'язка траси до пунктів геодезичної основи.
8. Знімання майданчиків, переходів, перетинів.
9. Опрацювання польових матеріалів. Складання плану траси, повздовжнього та поперечного профілів.

Перенесення проекту траси в натуру. Проект траси розробляється в камеральних умовах і переноситься в натуру за даними прив'язки кутів повороту до пунктів геодезичної основи або до ближніх чітких контурів (рис. 1.26).

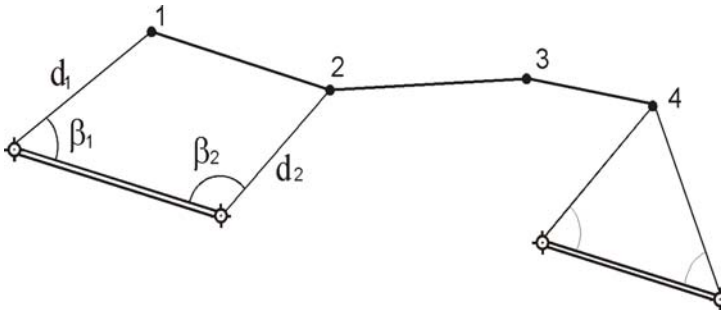


Рис. 1.26. Схема перенесення проекту траси в натуру:
 1, 2, 3, 4 – проектні точки траси;
 $\beta_1, \beta_2, d_1, d_2$ – дані прив'язки до пунктів геодезичної основи

Провіщування ліній виконуються між точками повороту траси за допомогою теодоліта або електронного тахеометра.
 Визначення кутів повороту траси (рис. 1.27)

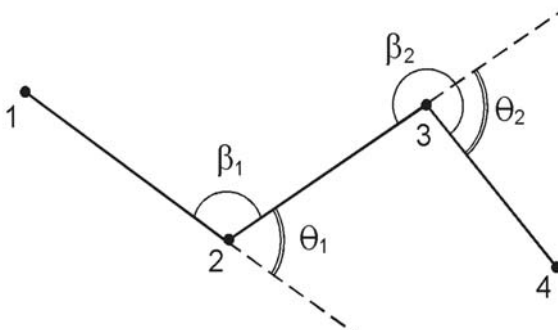


Рис. 1.27. Визначення кутів повороту траси

Маючи виміряні кути β_1 і β_2 , кути повороту траси можна обчислити за такими формулами

$$\theta_1 = 180^\circ - \beta_1; \quad (1.31)$$

$$\theta_2 = \beta_2 - 180^\circ. \quad (1.32)$$

На довгих лініях задають створні точки, які встановлюються побудовою кута 180° .

Лінійні вимірювання. При трасуванні виконують два види лінійних вимірювань:

- визначення віддалей між вершинами кутів повороту та створними точками. Воно виконується разом з вимірюванням кутів повороту. За результатами вимірювань та прив'язки до геодезичної мережі обчислюють координати кутів повороту. В теперішніх умовах лінійні і кутові вимірювання виконують електронними тахеометрами;

- лінійні вимірювання при розмічуванні *пікетажу* (пікет (*ПК*)) в перекладі з фр. означає „кілочок”, у трасуванні це точка, що закріплює визначений інтервал, як правило 100 м, на осі споруди). Пікетаж – система лічби віддалей у сотнях метрів від початку траси до інших пікетів траси. Також цей вид вимірювань служить для розмічування елементів кривих, поперечних перерізів, промірів до точок ситуації. Крім цілих пікетів визначають в натурі плюсові точки. Вони є рельєфні – характерні перегини рельєфу, та контурні – точки перетину траси з контурами різних об'єктів на місцевості.

В процесі розмічування пікетажу вводять поправку за нахил місцевості. Розмічування пікетажу через 100 м ускладнює і збільшує об'єми робіт, тому зараз рекомендують *безпікетний* спосіб польового трасування, при якому розмічають на місцевості рельєфні та контурні плюсові точки, вимірюючи між ними віддаль електронним тахеометром або віддалеміром. Їх пікетажне значення підраховують за сумами віддалей від початку траси. У виміряні віддалі вводять поправки для приведення їх до горизонтального положення.

1.6.3. Пікетажний журнал

При розмічуванні пікетажу ведуть *пікетажний журнал* (рис. 1.28). На ньому показують вісь траси у вигляді прямої лінії посередині сторінки, на якій у заданому масштабі наносять всі пікетні і плюсові точки, кути повороту, поперечні профілі та ситуацію (біля 50 м в обидві сторони від осі). Записують дані знизу вверху, щоб права і ліва сторони траси відповідали сторінкам. Кути повороту відображають стрілками і біля них вказують елементи кривої. Тут же підраховують пікетажне значення початку (*ПК*) і кінця кривої (*КК*).

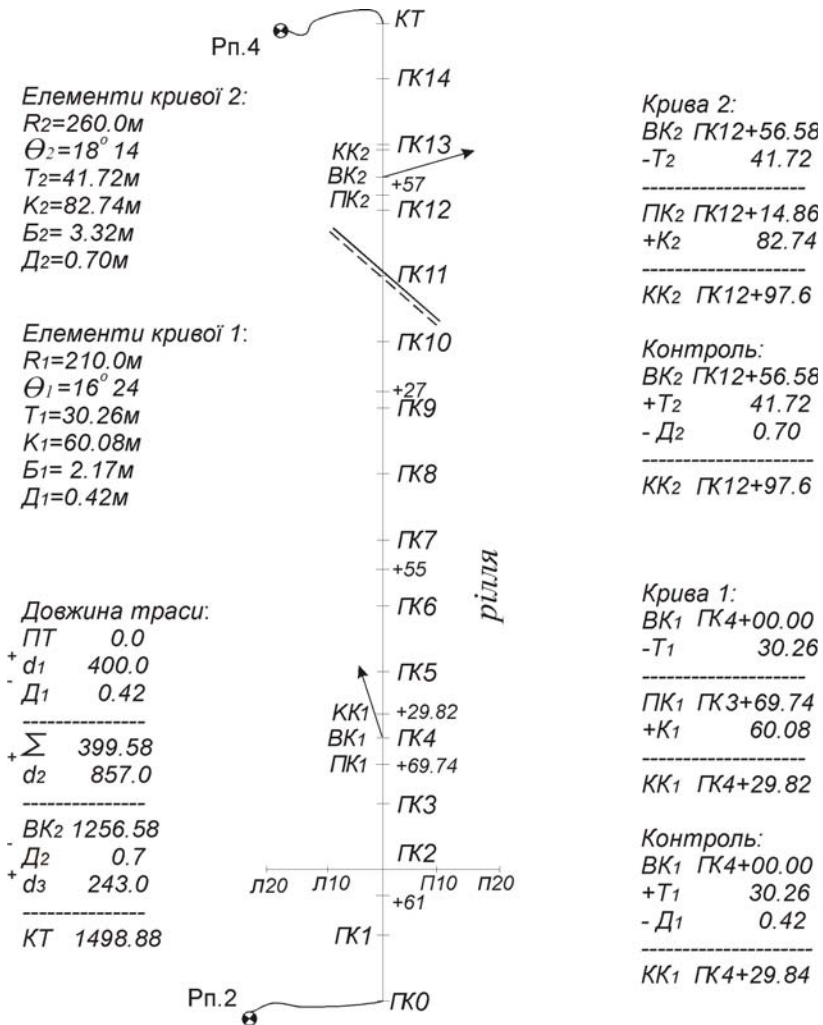


Рис. 1.28. Пікетажний журнал з плановою інформацією для будівництва дороги

Закріплення траси. Пікети і плюсові точки закріплюють кілками. Всі інші пункти траси закріплюють дерев'яними або залізобетонними стовпами. До пікетажу траси прив'язують всі

інженерно-геологічні характеристики, створи гідрометричних вимірювань тощо.

1.6.4. Порядок нівелювання пікетів та поперечників

Відліки на пікетах знімають за чорним та червоним боками рейок, а на плюсових (проміжних) точках та поперечниках тільки за чорним боком рейки.

Початок та кінець траси прив'язуються додатковими ходами до реперів.

Питання для самоперевірки

1. Що таке траса і які її елементи Ви знаєте?
2. Види трас.
3. Охарактеризуйте камеральне та польове трасування.
4. Як перенести проект траси в натуру?
5. Які види вимірювань виконують при трасуванні?
6. Що таке кут повороту траси і як його визначити?
7. Що таке пікетажний журнал?

1.7. Камеральні роботи та особливі випадки нівелювання

1. Побудова поздовжнього та поперечного профілів
2. Проектування елементів лінійної споруди
3. Нівелювання поверхні
4. Побудова топографічного плану за матеріалами нівелювання поверхні
5. Передача відміток в котлован

1.7.1. Побудова поздовжнього та поперечного профілів

Цей етап робіт включає:

1. Перевірку польових журналів.
2. Вирівнювання нівелірних ходів.
3. Складання відомостей прямих та кривих і плану траси.
4. Побудова поздовжнього профілю та проектування на ньому.
5. Побудова поперечних перерізів.

Дані на профілях розміщують в окремих рядках, які називають сіткою профілю (рис. 1.29). Існують стандарти складання профілю для різних лінійних споруд.

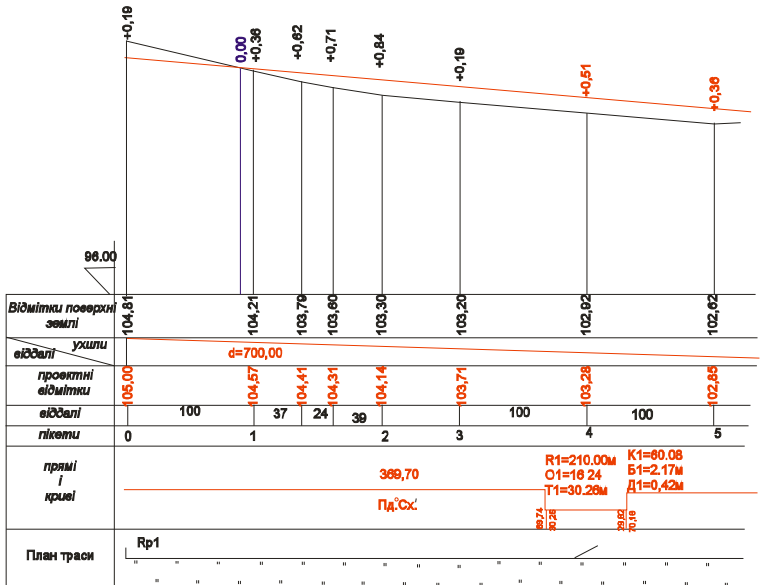


Рис. 1.29. Фрагмент поздовжнього профілю

Лінію умовного горизонту вибирають в залежності від найменшої відмітки профілю та від проектування лінійної споруди.

1.7.2. Проектування елементів лінійної споруди

Проекту лінію (вісь дороги, дно каналу, трубопровід) наносять на профіль, задаючись конкретними відмітками кінців відрізка з однаковим проектним ухилом, який обчислюють за формулою

$$i = \frac{H_2 - H_1}{d}, \quad (1.33)$$

де H_1 , H_2 – проектні відмітки кінців відрізка;
 d – довжина відрізка.

Всі проміжні проектні відмітки визначають за формулою

$$H_{j \text{ проект.}} = H_{j-1} + id_j, \quad (1.34)$$

де d_j – віддаль від проектної точки з висотою H_{j-1} .

При проектуванні автомагістралей бажано зберігати баланс земляних робіт.

Точка нульових робіт – перетин профілю місцевості з проектною лінією (рис. 1.30). Якщо ця точка знаходиться між двома пікетами, то відстань від неї до одного з пікетів визначається аналітично

$$d_1 = \frac{|h_1|}{|h_1| + |h_2|} d. \quad (1.35)$$

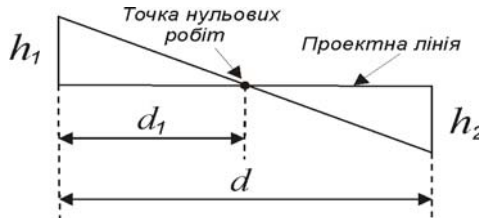


Рис. 1.30. Визначення відстані до точки нульових робіт

Основні документи польового трасування:

1. Пояснювальна записка.
2. План і поздовжній профіль траси.
3. Великомасштабні плани майданчиків.
4. Схематичні плани відводу земель.
5. Відомості про споруди на трасі.
6. Відомості закріплення траси.
7. Каталог висот реперів, координат точок повороту, схеми геодезичних мереж.

1.7.3. Нівелювання поверхні

Для розв'язання інженерних задач, які необхідні для різних аспектів при плануванні територій, виконують нівелювання поверхні місцевості зі слабо вираженим рельєфом. Нівелювання виконується за квадратами та вздовж магістралі з

поперечниками або вздовж ліній, які з'єднують точки знімальної мережі на території.

Нівелювання за квадратами. На місцевості розмічають квадрати.

Нівелювання виконують за такими правилами:

1. Площа поверхні велика і сторони квадратів більші, ніж 100 м. В цьому випадку прокладають мережу нівелірних ходів з таким розрахунком, щоб вершини квадратів були зв'язуючими точками (рис. 1.31).

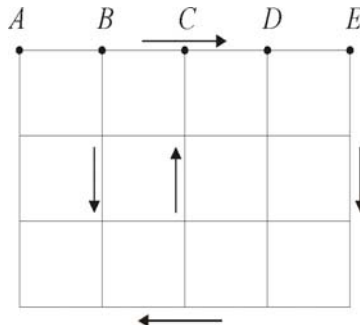


Рис. 1.31. Схема нівелювання поверхні за квадратами великих розмірів

2. При середніх розмірах ділянок (сторони квадратів до 100 м) частину вершин квадратів визначають як зв'язуючі, а частину як проміжні (рис. 1.32).

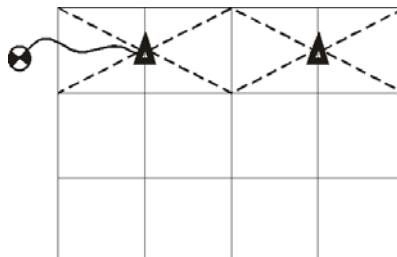


Рис. 1.32. Схема нівелювання поверхні за квадратами середніх розмірів

3. При малих площах ділянок нівелювання виконують за квадратами, сторони яких – 5, 10, 20 метрів (рис. 1.33).

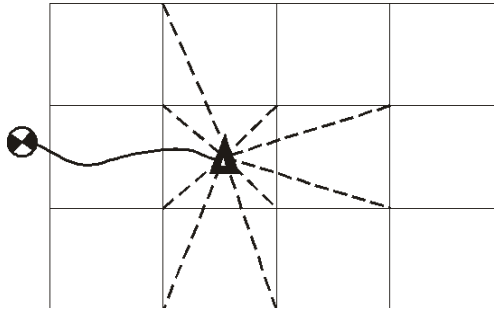


Рис. 1.33. Схема нівелювання поверхні за квадратами з невеликою площею

1.7.4. Побудова топографічного плану за матеріалами нівелювання поверхні

Побудову плану нівелювання поверхні за квадратами виконують у визначеній послідовності. В залежності від масштабу плану будують сітку квадратів з нанесенням точок знімальної мережі, до яких прив'язана сітка квадратів, для чого попередньо на папері повинна бути побудована координатна сітка. Біля кожної вершини квадрату та знімальної мережі підписують відмітки, заокруглюючи їх до сантиметра. Потім графічним способом будують горизонталі з заданою висотою перерізу рельєфу. За даними абрису наносять на план місцеві предмети і контури. При сучасних технологіях за матеріалами нівелювання будують цифрові моделі місцевості.

1.7.5. Передача відміток в котлован

Для передачі відміток в котлован використовують схему, яка показана на рис. 1.34.

Висота відмітки дна котловану обчислюється за формулою

$$H_2 = H_1 + a - (a' - b') - b. \quad (1.36)$$

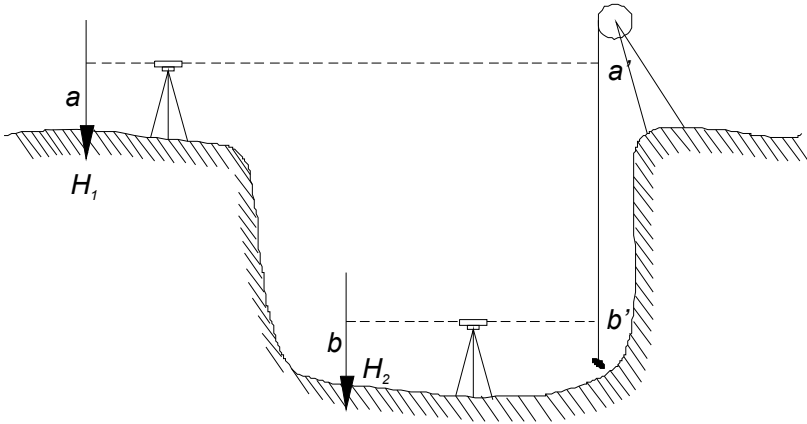


Рис. 1.34. Передача відмітки в котлован

Питання для самоперевірки

1. Побудова повздовжнього та поперечного профілів.
2. Що таке точка нульових робіт?
3. Назвіть основні документи польового трасування.
4. Для чого виконується нівелювання поверхні?
5. Які способи нівелювання Ви знаєте?
6. Як складається топографічний план за матеріалами нівелювання поверхні?
7. Як виконується передача відміток у котлован?

РОЗДІЛ 2 **КУТОВІ ТА ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ**

2.1. Лінійні вимірювання

1. *Поняття про геодезичні вимірювання*
2. *Вимірювання ліній механічними приладами та введення поправок у виміряну довжину*
3. *Визначення віддалей, які недоступні для вимірювання рулетками*
4. *Оптичні віддалеміри. Світло- та радіовіддалеміри*
5. *Тахеометри*
6. *Джерела похибок при лінійних вимірюваннях*

2.1.1. Поняття про геодезичні вимірювання

Вимірюванням називається процес знаходження фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Головне у вимірюванні – це *точність*, яка характеризує якість вимірювань, що відображає наближення їх результатів до дійсного значення вимірюваної величини.

Суть вимірювань – це порівняння вимірюваної величини з прийнятою одиницею вимірювання, яка відповідає її фізичному змісту. В геодезії, в основному, такі задачі розв’язуються за допомогою кутових та лінійних вимірювань, а також нівелювання.

Кутові вимірювання виконуються за допомогою теодолітів.

Лінійні – з використанням рулеток, оптичних та електронних віддалемірів.

Нівелювання – за допомогою нівелірів та рейок.

2.1.2. Вимірювання ліній механічними приладами та введення поправок у виміряну довжину

Для вимірювання віддалей між точками на місцевості застосовують спеціальні *лінійні мірні прилади*. В залежності від методу вимірювань застосовують підвісні мірні прилади або прилади, які вкладаються на землі.

Підвісними мірними приладами є сталеві та інварні дроти. Їх застосовують для високоточних вимірювань. В інженерних цілях, при побудові знімальної основи, вимірювання віддалей виконують *мірними стрічками* та *рулетками*. Вони відносяться до механічних мірних приладів.

Мірні стрічки (рис. 2.1) виготовлені із спеціального сплаву. Розрізняють шкалові та штрихові мірні стрічки.

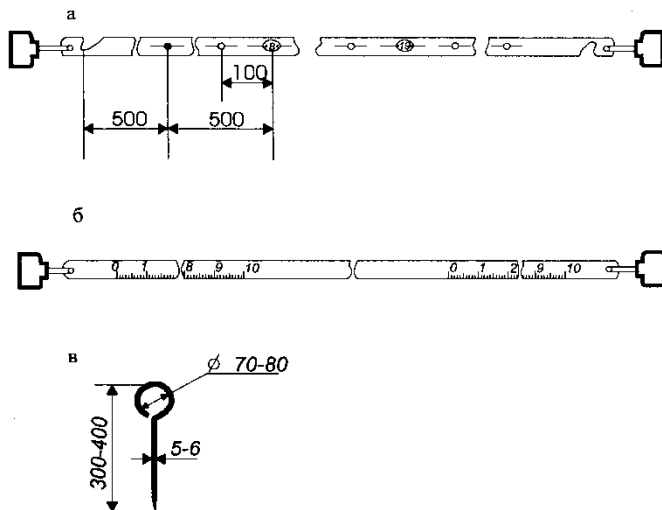


Рис. 2.1. Мірні стрічки

Штрихова стрічка (рис. 2.1, а) має на кінцях штрихи, навпроти яких розміщені спеціальні вирізи, у які вставляються шпильки (рис. 2.1, в). Віддаль між штрихами приймається за довжину стрічки. Штрихова стрічка забезпечує точність вимірювання 1:1000-1:2000 від виміряної віддалі.

Шкалова стрічка являє собою суцільну смугу, на кінцях якої є шкали довжиною по 10 см з міліметровими поділками (рис. 2.1, б). За довжину стрічки приймається віддаль між нульовими поділками шкал.

За допомогою шкалової стрічки віддаль можна виміряти з підвищеною точністю – від 1:5000 до 1:10000 віддалі.

Рулетки призначені для вимірювання коротких віддалей під час інженерно-геодезичних, маркшейдерських, будівельних та інших робіт. Вони бувають сталеві довжиною 10, 20, 30, 50 і 100 м.

Перед початком вимірювань необхідно виконати підготовчі роботи. До них входять *компарування, закріплення точок на місцевості та провішування ліній*.

Компарування – процес порівняння довжини приладу з еталоном, при якому визначається різниця Δl

$$\Delta l = l - l_0, \quad (2.1)$$

де l_0 – еталон;

l – довжина робочої стрічки.

Поправка за *компарування мірного приладу* обчислюється за формулою

$$\Delta D_k = \frac{D}{l_0} \Delta l, \quad (2.2)$$

де D – виміряна віддаль;

l_0 – номінальне значення вимірювального приладу;

Δl – різниця між фактичною довжиною приладу l і його номіналом ($\Delta l = l - l_0$).

Вимірювання за допомогою мірних стрічок чи рулеток здійснюється шляхом послідовного укладання їх між точками, які закріплені на місцевості. Віддалі вимірюються за створом між цими точками. *Створ* – це прямовисна площина, що проходить через точки, віддаль між якими потрібно визначити. Лінії на місцевості *провішують*. Це значить, що між відомими точками знаходять у створі додаткові, які закріплюють *віхами* (дерев'яні жердини довжиною 1.5-2.0 м, пофарбовані через 20 см у червоний та білий колір). Провішування ліній може виконуватись на око, за допомогою бінокля або теодоліта.

Є три види провішування ліній у залежності від виду місцевості:

- між кінцевими точками є видимість;
- видимості немає через складний рельєф (пагорб);

- створ лінії пересікає яр.

Віддаль між точками можна визначити за формулою

$$D=nl+r, \quad (2.3)$$

де D – довжина лінії;

n – кількість вкладень мірного приладу;

l – фактична довжина мірного приладу;

r – довжина залишку.

Для контролю лінію вимірюють два рази – у прямому і зворотному напрямку. За кінцевий результат беруть середнє значення.

У виміряну довжину вводять також *поправку за нахил лінії*. У більшості випадків на місцевості вимірюють лінії під кутом нахилу v до горизонту (рис. 2.2).

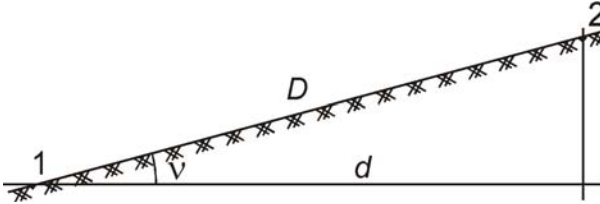


Рис. 2.2. Приведення похилої лінії до горизонту

При зображенні ліній на планах та картах необхідно знати горизонтальне положення виміряної похилої лінії. Приводять довжину лінії D до горизонту за формулою

$$d=D \cos v, \quad (2.4)$$

де d – горизонтальне положення.

Поправка за нахил лінії буде визначатись

$$\Delta D_v = d - D = D \cos v - D = -2D \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (2.5)$$

За певних температурних умов необхідно ввести поправку за температуру

$$\Delta D_t = \alpha(t_{\text{вим.}} - t_{\text{к.}})D, \quad (2.6)$$

де a – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу, з якого виготовлено мірний прилад;
 $t_{\text{вим.}}$ і $t_{\text{к.}}$ – температури стрічки під час вимірювання і компарування;
 D – виміряна довжина лінії.

2.1.3. Визначення віддалей, які недоступні для вимірювання рулетками

В геодезичній практиці доводиться визначати віддаль між точками місцевості, які розділені перешкодою (яр, ріка). Цю віддаль неможливо виміряти звичайним мірним приладом.

Нехай потрібно визначити віддаль S між точками 1 і P (рис. 2.3). На місцевості вимірюють рулеткою чи мірною стрічкою базис b між точками 1 і 2 . Довжина цього базису повинна бути такою, щоб кути у трикутнику, що утворився, були близькими до 60° .

Теодолітом вимірюють кути β_1, β_2 . За теоремою синусів знаходять шукану віддаль S

$$S = \frac{b \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}. \quad (2.7)$$

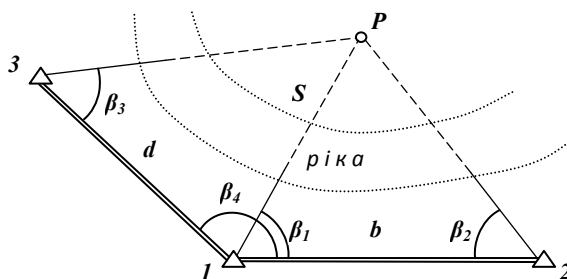


Рис. 2.3. Визначення віддалі до недоступної точки

Для контролю вимірюють величини d, β_3 та β_4 і визначають віддаль S за вищенаведеним способом.

2.1.4. Оптичні віддалеміри. Світло- та радіовіддалеміри

Віддалемірами називаються прилади, які дозволяють визначити віддаль між точками місцевості непрямим способом – геометричним (вимірюючи допоміжну віддаль) або фізичним (на основі електромагнітного випромінювання). Фізичний спосіб вимірювання застосовується у світло- та радіовіддалемірах. Геометричний спосіб вимірювання довжин покладений в основі оптичних віддалемірів. Тут визначення віддалей виконується розв'язанням рівнобедреного трикутника (рис. 2.4), в якому вимірювана лінія CD є висотою, сторона AB – основою, а точка C – вершиною кута.

Якщо основу трикутника позначити через l , то шукану віддаль D можна визначити за формулою

$$D = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}, \quad (2.8)$$

де β – паралактичний кут.

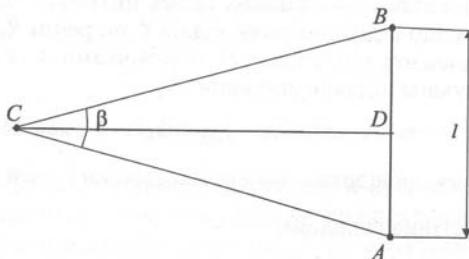


Рис. 2.4. Паралактичний трикутник віддалеміра

Оптичні віддалеміри подвійного зображення поділяються на:

- віддалеміри з постійним паралактичним кутом і змінним базисом;
- віддалеміри з змінним паралактичним кутом і постійним базисом.

Нитковий віддалемір. Нитковий віддалемір (рис. 2.5) є у зорових трубах усіх геодезичних приладів.

В оптичних віддалемірах першої групи (віддалеміри з постійним паралактичним кутом і змінним базисом) вимірюють

змінну величину l . Незмінну частину $\frac{1}{2}ctg\frac{\beta}{2}$ позначають через

κ . Формула визначення віддалі D_1 має вигляд

$$D_1 = \kappa l, \quad (2.9)$$

де κ – коефіцієнт віддалеміра.

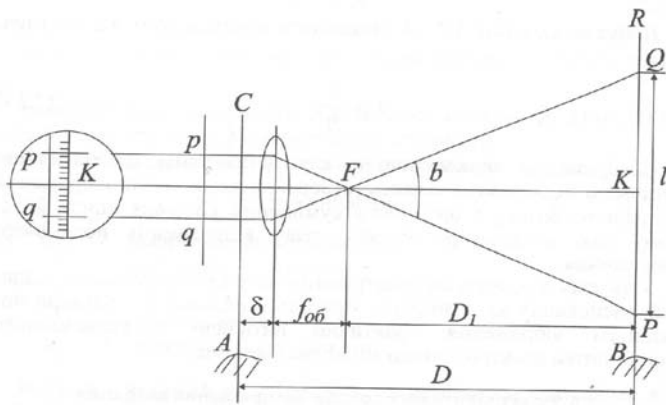


Рис. 2.5. Принципова схема ниткового далекоміру

З схеми ниткового далекоміру видно, що шукана віддаль D дорівнює

$$D = D_1 + f_{об} + \delta, \quad (2.10)$$

де $f_{об}$ – фокусна віддаль об'єктива зорової труби;

δ – постійна складова.

Враховуючи, що $D_1 = \kappa l$, а $f_{об}$ і δ є постійними для конкретного приладу (їх суму позначають через c і називають постійною віддалеміра), формула визначення віддалі D буде мати вигляд

$$D = \kappa l + c. \quad (2.11)$$

Для зручності користування нитковим віддалеміром віддалі між далекомірними штрихами сітки ниток підбирають таким чином, щоб $\kappa = 100$. Величина l є різницею відліків за рейкою, виконаних за нижньою і верхньою далекомірними нитками. Для труб з внутрішнім фокусуванням величиною c нехтують.

У віддалемірах з постійним базисом l (друга група віддалемірів) віддаль вимірюють за допомогою оптичної системи шляхом створення подвійного зображення постійного базису і оптичного суміщення кінцевих його точок. Тут формула обчислення віддалі D має вигляд

$$D = \frac{k}{\beta}. \quad (2.12)$$

Вимірювання віддалей за допомогою електромагнітного випромінювання базується на залежності довжини шляху і часу, який проходить електромагнітна хвиля (EMX). Якщо швидкість поширення EMX позначити через v , то за проміжок часу τ електромагнітна хвиля пройде шлях D , що дорівнює

$$D = v \tau. \quad (2.13)$$

Технологія вимірювання віддалей за допомогою EMX полягає в тому, що на одному кінці вимірюваної лінії встановлюють прийомопередавач, що випромінює електромагнітні хвилі, а на другому кінці – відбивач, який відбиває EMX у бік прийомопередавача з вимірювальною апаратурою. Отже, EMX проходить подвійну віддаль $2D$ за вимірюваний інтервал часу. У цьому випадку шукана віддаль визначається за формулою

$$D = \frac{1}{2} v \tau, \quad (2.14)$$

де τ – вимірюваний інтервал часу, що відповідає подвійній віддалі.

Класифікацію методів вимірювання ліній за допомогою EMX проводять за тією фізичною величиною, за допомогою якої вимірювальний пристрій визначає її зміну.

Існує три методи вимірювання ліній за допомогою EMX :

- часовий;
- фазовий;
- частотний.

У світловіддалемірах використовується електромагнітне випромінювання оптичного діапазону – видиме світло або інфрачервоне випромінювання.

Сучасні фазові віддалеміри поділяються на 4 групи:

- світловіддалеміри великої дальності дії, за допомогою яких можна виміряти віддалі до 50 км з середньоквадратичною похибкою $\pm(10\text{мм}+2\text{мм}/\text{км})$. Вони призначені для вимірювання сторін у державних геодезичних мережах, а також спеціальних інженерно-геодезичних роботах;

- світловіддалеміри малої дальності дії, визначають віддаль до 15 км з похибкою до 2 см. Призначені для вимірювання віддалей у мережах згущення і для топографічних знімачів;

- світловіддалеміри підвищеної та найвищої точності, за допомогою яких можна виміряти віддалі 0.3-5 км з похибкою 2 мм і менше. Застосовуються при розв'язуванні задач прикладної геодезії та вимірювань спеціального призначення.

У *радіовіддалемірах* використовуються радіохвилі діапазону надвисокої частоти. Радіовіддалеміри і побудовані на їхньому принципі роботи радіогеодезичні системи застосовуються при вимірюванні великих віддалей – десятків кілометрів, а радіогеодезичним системами – сотень кілометрів. Дані прилади застосовуються при вирішенні задач вищої геодезії і навігації, тобто, визначення місцеположення літаків, кораблів і т. д.

2.1.5. Тахеометри

Сучасний *тахеометр* це – кутомірний та віддалемірно-висотний геодезичний прилад, що дозволяє визначити горизонтальне прокладання і перевищення за рейкою або відбивачем без допоміжних операцій.

За типом далекоміра та способом реєстрації результатів вимірювань тахеометри поділяються на:

- оптико-механічні (з власною базою, номограмні, подвійного зображення);
- електронно-оптичні;
- електронні;
- реєструвальні.

За типом далекоміра тахеометри поділяються на:

- звичайні (ті, для вимірювання відстаней з якими використовуються спеціальні відбивачі: призмові або плівкові);

- безвідбивачеві (ті, що здатні виконувати вимірювання на точки, розташовані на будь-якій твердій поверхні об'єктів зйомки).

Більшість сучасних тахеометрів є безвідбивачевими.

Тахеометри призначені для вимірювання кутів і віддалей, отримання горизонтальних відстаней, перевишень, приростів координат під час топографічних знімальних мереж та згущення знімальних мереж.

У наш час випускаються електронні тахеометри двох типів – високоточні та прилади для виконання робіт технічної точності.

Серед загальних функціональних можливостей електронних приладів можна виділити наступні:

- наявність вбудованої пам'яті обсягом, необхідним для збереження результатів вимірювання протягом дня;
- наявність компенсатора, що дозволяє автоматично вводити поправку за нахил лінії;
- можливість запису даних у модуль пам'яті;
- можливість введення даних з клавіатури;
- застосування камер, підсвіток і т. д.

За допомогою електронного тахеометра є можливим:

- вимірювати окрему величину;
- вимірювати всі величини зразу;
- робота в двох режимах: точному та режимі відслідковування;
- обчислення просторових даних;
- можливість кодування точок знімання в полі, що дозволяє практично відмовитись від рисування абрисів.

2.1.6. Джерела похибок при лінійних вимірюваннях

На похибку вимірювання віддалей віддалемірами на основі електромагнітного випромінювання впливає неточне знання швидкості розповсюдження *ЕМХ* в атмосфері, нестабільність довжини хвилі випромінювача і похибки фаз вимірювального пристрою.

Більшість похибок враховуються за допомогою поправочних коефіцієнтів, наведених у паспорті приладу.

Віддаль, виміряна віддалеміром, обчислюється за формулою

$$D=D_m+10^{-5} D_m(k_n+k_f)+\Delta D_u, \quad (2.15)$$

де D_m – середнє значення відліків, що відповідають вимірюваній віддалі;

k_n – поправочний коефіцієнт, що враховує зміни показника заломлення за рахунок атмосферних умов (температури, тиску);

k_f – поправочний коефіцієнт, що враховує температуру зміни кварцового генератора (нестабільність довжини хвилі випромінювання), визначається по кривій залежності його від контрольного відліку;

ΔD_u – поправка за циклічну похибку фазовимірювального пристрою.

Питання для самоперевірки

1. Які лінійні прилади Ви знаєте? Охарактеризуйте їх.
2. За якою формулою можна визначити віддаль між точками за умови використання лінійних мірних приладів?
3. Назвіть поправки, які вводяться у виміряну довжину.
4. Що таке віддалеміри? На які типи вони поділяються?
5. Як можна визначити віддаль між точками за допомогою віддалеміра?
6. В чому суть вимірювання віддалей за допомогою ЕМХ?
7. Які методи вимірювання віддалей за допомогою ЕМХ Ви знаєте?
8. Що таке світловіддалеміри і на які типи вони поділяються?
9. Дайте характеристику тахеометрам.
10. Які існують джерела похибок при лінійних вимірюваннях?

2.2. Вимірювання кутів

1. Принцип кутових вимірювань і схема теодоліта
2. Класифікація теодолітів
3. Конструкція теодоліта технічної точності
4. Перевірки теодолітів технічної точності
5. Способи вимірювання горизонтальних кутів
6. Вимірювання кутів нахилу
7. Джерела похибок кутових вимірювань
8. Тригонометричне нівелювання

2.2.1. Принцип кутових вимірювань і схема теодоліта

Нехай потрібно виміряти горизонтальний кут BOA (рис. 2.6), який утворюється лініями місцевості OB , OA . Цей кут буде відповідати його проекції $b'o'a'$ на горизонтальній площині H .

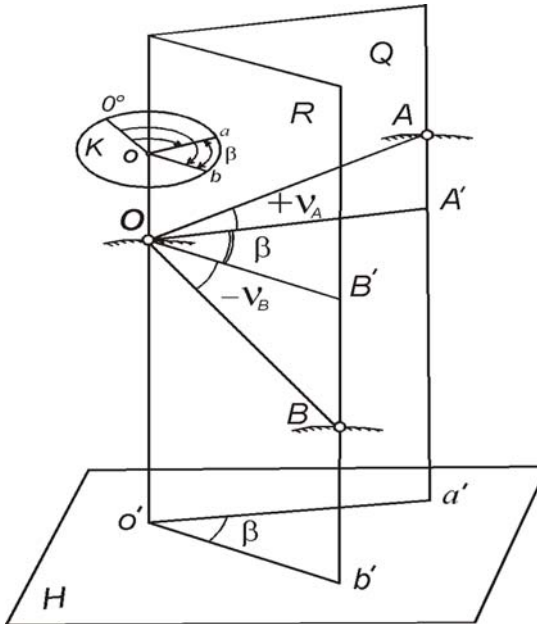


Рис. 2.6. Схема вимірювання кутів на місцевості

Кут BOA – горизонтальний кут, який утворений перетином двох вертикальних площин Q і R , що проходять відповідно через A і B , а також через перпендикулярну лінію, що проходить через точку O . Такий кут можна виміряти за допомогою кутомірного круга, який встановлено горизонтально так, щоб перпендикулярне ребро Oo' двогранного кута проходило через його центр o . Радіуси oa і ob знаходяться в площинах Q і R . Якщо даний круг оцифрувати, то за відліками a і b можна визначити горизонтальний кут β , який обчислюють за формулою

$$\beta = b - a. \quad (2.16)$$

Для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів застосовують прилад, який називають теодолітом.

Для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів застосовують прилад, який називають *теодолітом*.

Основні елементи теодоліта (рис. 2.7):

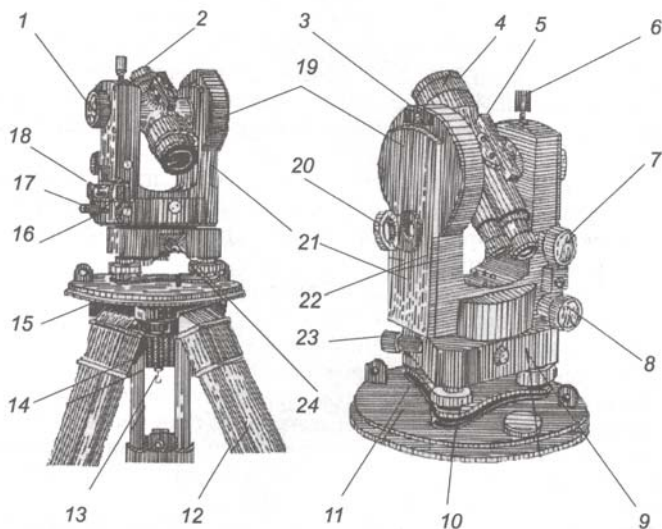


Рис. 2.7. Основні елементи теодоліта:

1 – кремальєра; 2 – окуляр; 3 – місце для закріплення бусолі; 4 – об'єктив; 5 – зорова труба; 6 – закріпний гвинт зорової труби; 7, 8 – навідні гвинти зорової труби; 9 – підставка; 10 – підймальні

гвинти; 11 – підставка футляра для теодоліта; 12 – штатив; 13 – кронштейн; 14 – становий гвинт; 15 – головка штатива; 16 – виправні гвинти циліндричного рівня; 17 – закріпний гвинт аліадади; 18 – циліндричний рівень; 19 – вертикальний круг; 20 – дзеркало; 21 – колонка, на яку кріпиться зорова труба; 22 – мікроскоп; 23, 24 – навідний і закріпний гвинти лімба

Вперше термін „теодоліт” використав англієць Л. Діггсон (1552 р.), а скомпонував його перший варіант технічної точності механік Д.Сіссон (Англія, 1730 р.).

За допомогою теодоліта можна вимірювати як горизонтальні, так і вертикальні кути. При вимірюванні вертикальних кругів теодоліт повинен мати вертикальний круг.

Виходячи з принципіальної схеми вимірювання кутів у теодоліті започатковані такі елементи:

□ *осі* (рис. 2.8):

- ZZ_1 – вісь обертання;
- HH_1 – горизонтальна вісь обертання зорової труби;
- UU_1 – вісь циліндричного рівня;
- MM_1 – вісь візування;

□ *площини*:

- горизонтального та вертикального кутомірних кругів;
- колімаційна, яку описує візирна вісь, коли вона перпендикулярна до осі обертання зорової труби.

Вказані елементи повинні розміщуватись таким чином, щоб забезпечити основні геометричні умови кутових вимірювань, а саме:

- вісь циліндричного рівня UU_1 повинна бути перпендикулярна до осі обертання ZZ_1 ;
- вісь візування MM_1 перпендикулярна до горизонтальної осі HH_1 ;
- вісь обертання HH_1 перпендикулярна до осі ZZ_1 .

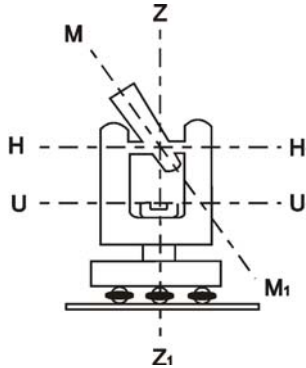


Рис. 2.8. Основні геометричні елементи

2.2.2. Класифікація теодолітів

Теодоліти класифікують за такими основними ознаками:

- за призначенням та сферою застосування;
- за будовою;
- за точністю.

За призначенням та сферою застосування теодоліти розрізняють як: *астрономічні, геодезичні, маркшейдерські, автоколімаційні та спеціальні.*

За конструкцією вони поділяються на *прості, повторювальні, механічні, оптичні, електронні та лазерні.*

Простим називають теодоліт, лімб якого має тільки закріпний гвинт або пристрій для повороту і фіксації його у різних положеннях.

Існують теодоліти повторювальні – їх конструкція дозволяє обертати алідаду як окремо, так і разом з лімбом.

Механічні теодоліти мають металеві відлікові круги, оптичні – скляні кутомірні круги.

Електронні теодоліти – це такі прилади, схеми яких основані на електронному забезпеченні їх функціонування.

Лазерні – візирна вісь у таких теодолітах будується променем лазера.

За точністю теодоліти поділяються:

- високоточні – горизонтальні кути вимірюють з середньою квадратичною похибкою від 0.5'' до 1.0'' (теодоліти серії Т05,Т1);

- точні – горизонтальні кути вимірюють з середньою квадратичною похибкою – від 2'' до 10'' (Т2 (3Т2), Т5, Theo-010, Theo-020);

- технічні – горизонтальні кути вимірюють з середньою квадратичною похибкою – більше 10'' (Т15, Т30, Т60, Theo-030).

Високоточні використовуються для побудови державних геодезичних мереж, а також виконання спеціальних геодезичних вимірювань.

Точні теодоліти використовуються для побудови геодезичних мереж нижчих класів, мереж згущення та в інженерно-геодезичних роботах.

Теодоліти технічної точності використовуються для побудови знімальних мереж під час топографічних знімальних місцевості та при інженерно-геодезичних вишукувальних роботах.

2.2.3. Конструкція теодоліта технічної точності

Технічний теодоліт складається з двох частин: рухомої (верхньої) і нерухомої (нижньої).

Піднімальні гвинти та підставка служать для приведення осі обертання приладу у вертикальне положення. Це здійснюється за допомогою циліндричного рівня.

Зорова труба – оптичний пристрій, призначений для візуальних спостережень віддалених предметів.

Сітка ниток – система штрихів, розташованих у площині зображення.

Лімб – горизонтальний кутомірний круг з поділками. При вимірюваннях кутів лімб є нерухомим, а верхня частина теодоліта рухається разом з *алідадою*. На алідаді нанесено початковий штрих, за допомогою якого виконується відлік за горизонтальним кругом. За таким принципом виконуються відліки і з вертикального круга. У теодолітах застосовуються для виконання відліків штрихові або шкалові мікроскопи.

Для прикладу на рис. 2.9 показано поле зору теодоліта 2Т30

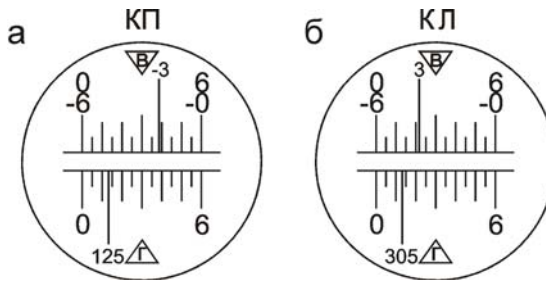


Рис. 2.9. Поле зору теодоліта 2Т30:
 а) відлік з ГК – $125^{\circ}13.5'$; відлік з ВК – $-3^{\circ}21.0'$;
 б) відлік з ГК – $305^{\circ}13.5'$; відлік з ВК – $+3^{\circ}21.0'$

2.2.4. Перевірки теодоліта технічної точності

В теодоліті повинні задовольнятися вищесказані геометричні умови і для дотримання цих умов необхідно виконувати перевірки.

Зупинимось на основних перевірках теодолітів технічної точності, а саме:

Перевірка 1. Вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта (вісь UU_1 перпендикулярна до ZZ_1).

Виконання перевірки. Встановлюють теодоліт в робоче положення. Розташовують циліндричний рівень на горизонтальному крузі за напрямком двох піднімальних гвинтів і, обертаючи їх в різні сторони, приводять бульбашку рівня на середину. Після цього обертають горизонтальний круг на 180° . Якщо бульбашка рівня змістилась від нуля-пункта не більше однієї поділки, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування.

Юстирування. За допомогою шпильки обертають виправний гвинт циліндричного рівня так, щоб бульбашка повернулась до нуля-пункта на половину дуги відхилення. Після

цього перевірку повторюють, щоб переконатися, що умова виконується.

Перевірка 2. Візирна вісь зорової труби (MM_1) повинна бути перпендикулярною до осі обертання труби (NN_1).

Виконання перевірки. На місцевості вибирають далеку точку, яку добре видно, і наводять на неї зорову трубу при $КП$. Знімають відлік з горизонтального круга $КП_1$. Після цього відкріплюють закріпні гвинти аліади горизонтального круга та зорової труби, переводять трубу через зеніт і при $КЛ$ наводять її на ту ж саму точку. З горизонтального круга знімають відлік $КЛ_1$. Для теодолітів Т30 і 2Т30 повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки $КЛ_2$ і $КП_2$. При цьому горизонтальний круг відкріплюють у підставці і обертають його приблизно на 180° .

За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють *колімаційну похибку* за формулою

$$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^D) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^D)}{4}. \quad (2.17)$$

Якщо $c < 1'$, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування.

Юстирування. Обчислюють відлік за горизонтальним кругом, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до осі її обертання, за формулою

$$КЛ_o = КЛ_2 - c \quad \text{або} \quad КП_o = КП_2 + c. \quad (2.18)$$

За станом зорової труби, наведеної на вибрану точку, і відліком, рівним $КЛ_2$ або $КП_2$, знімають ковпачок в окулярній частині труби, який закриває доступ до виправних гвинтів сітки ниток. Обертають навідний гвинт аліади горизонтального круга і встановлюють відлік $КЛ_o$ (або $КП_o$). В цьому випадку центр сітки ниток зійде з точки. Обертаючи за чергою правий і лівий виправні гвинти (один відкручують, а другий закручують за допомогою шпильки) пересувають пластинку з візирною сіткою так, щоб центр сітки ниток співпав із зображенням точки наведення. Виконання перевірки повторюють.

Перевірка 3. Сітка ниток повинна бути встановлена правильно, тобто горизонтальна нитка повинна займати горизонтальне положення, а вертикальна – вертикальне.

Виконання перевірки. Приводять вертикальну вісь приладу в прямовисне положення і наводять центр сітки на нитку виска, закріпленого в 15-20 м від приладу. Якщо при підніманні і опусканні труби вертикальна нитка співпадає з лінією виска, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування.

Юстирування. Відкрочують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають чотири гвинти, за допомогою яких кріпиться окуляр до труби. Після цього повертають діафрагму так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Далі закріплюють гвинти.

Перевірка 4. Горизонтальна вісь обертання зорової труби (HH_1) повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта (ZZ_1).

Виконання перевірки. На відстані від стіни будинку 20-30 м встановлюють теодоліт. Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку, яка розташована в верхній частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта проєктують точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її проєкцію. Після цього переводять трубу через зеніт і при другому положенні круга таким же способом одержують другу проєкцію. Якщо обидві точки знаходяться в межах бісектору сітки ниток, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування тільки в спеціальних майстернях.

Визначення місця нуля (M_0) вертикального круга. Місце нуля (M_0) – це відлік за вертикальним кругом, коли візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка циліндричного рівня при вертикальному крузі знаходиться в нуль-пункті (тобто, візирна вісь зорової труби і вісь циліндричного рівня при BK горизонтальні).

Місце нуля вертикального круга повинно бути постійним і близьким до нуля.

Визначення M_0 :

1. Встановлюють теодоліт на місцевості і приводять вісь його обертання у вертикальне положення.

2. Вибирають на місцевості чітко видимою точку і наводять на неї центр сітки ниток. При двох положення *BK* виконують відліки. При цьому необхідно зафіксувати положення нулів аліади вертикального круга. В залежності від конструкції теодоліта нулі фіксуються за допомогою циліндричного рівня при *BK*, компенсатора (пристрою для встановлення нулів аліади у відповідне положення). Для деяких конструкцій теодолітів – за допомогою циліндричного рівня при *GK*.

3. Маючи два відліки з *BK*, а саме *KL* і *KП*, в залежності від конструкції теодоліта і оцифрування вертикального круга обчислюють *M0* за відповідними формулами.

$$\text{Для теодоліта Т30 } M0 = (KL + KП) / 2. \quad (2.19)$$

Приведення осі обертання теодоліта у вертикальне положення:

1. Встановивши теодоліт на штативі, циліндричний рівень розміщують паралельно двом піднімальним гвинтам і за допомогою них приводять бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт.

2. Повертаючи верхню частину теодоліта на 90° і, діючи третім піднімальним гвинтом, підводять бульбашку рівня в нуль-пункт. Якщо виконувалась умова перпендикулярності осі циліндричного рівня до осі обертання теодоліта (перевірка № 1), то вісь обертання теодоліта буде розміщена вертикально.

2.2.5. Способи вимірювання горизонтальних кутів

Незалежно від способу вимірювання горизонтальних чи вертикальних кутів теодоліт необхідно привести в робочий стан:

1) попередньо відцентрувати теодоліт над точкою, яка є вершиною кута;

2) привести вісь обертання теодоліта у вертикальне положення;

3) виконати точне центрування приладу з відхиленням на 2-4 мм;

4) встановити чітке зображення сітки ниток та відлікових шкал;

5) за допомогою кремальєри добитися чіткого зображення на точку спостереження і виконати відліки з *ГК*.

Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.
Даний спосіб застосовується у випадку, коли потрібно виміряти 1 або 2 кути (2 або 3 напрями візування) (рис. 2.10). Він пролягає у послідовному виконанні відліків з *ГК* при спостереженні на точки за ходом годинникової стрілки спочатку при розташуванні *ВК* зліва (відліки – *КЛ*), а потім – при крузі *ВК* праворуч (*КП*). Спостереження при обох кругах *КП*, *КЛ* називається прийомом, а при одному крузі – півприйомом.

Горизонтальний кут знаходять як різницю відліків на праву і ліву точки $\beta = a - b$. (2.20)

Вимірювання записують у польовий журнал (табл. 2.1).

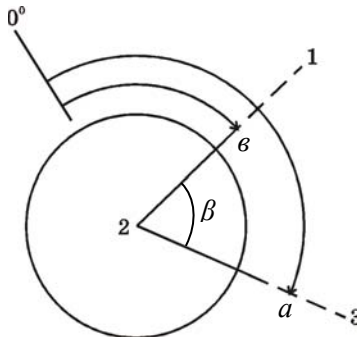


Рис. 2.10. Спосіб прийомів

Технічними інструкціями накладається вимога змінювати відлік при одному з положень круга на декілька мінут, щоб уникнути грубих похибок.

Таблиця 2.1

Журнал вимірювань горизонтальних кутів способом прийомів

№ ст.	№ точки візув.	Відліки з ГК		Значення кута з півприйому		Середнє значення кута	
		°	'	°	'	°	'
1	2	3	4	5	6	7	8
2		КЛ					
	1	197	16				
				115	28		
	3	312	44				
						115	27.5
2		КП					
	1	17	16				
				115	27		
	3	132	43				

Спосіб кругових прийомів. Він застосовується у випадках, коли з вершини кута виходять декілька напрямків (рис. 2.11) і полягає у повторному (контрольному) виконанні відліків на початкову точку, як при КЛ, так і при КП.

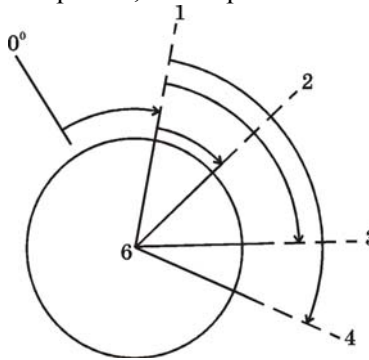


Рис. 2.11. Спосіб кругових прийомів

Перший півприйом: вимірювання може виконуватись при будь-якому положенні вертикального круга (КЛ або КП). Наприклад, робота розпочинають при КЛ. На точку 1 встановлюють відлік, близький до нуля, і за годинниковою стрілкою візують і виконують відліки на точки 2, 3, 4 та

повторно на точку 1. Результати вимірювання записуються у журнал (табл. 2.2). Далі трубу переводять через зеніт і ВК буде знаходитись праворуч від труби.

Другий півприйм: виконують спостереження при КП. Спостереження ведуть проти годинникової стрілки послідовно на всі точки згідно схеми їх розміщення у журналі (на точки 1, 4, 3, 2 і повторно на точку 1). Обчислюють приведений початковий напрямок $0^{\circ}02'.1$ як середнє значення $0^{\circ}02'.2$ і $0^{\circ}02'.0$. Значення напрямків обчислюють, віднімаючи від значень у колонці б приведений напрям.

Таблиця 2.2

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Станція	Точки спост.	Полож. ВК	Відлік з ГК	2с	$\frac{(КП+КЛ)}{2}$	Значення напрямку	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8
6	1	КЛ КП	$0^{\circ}02.5'$ $180^{\circ}02.0'$	$+0.5'$	$\frac{0^{\circ}02.1'}{0^{\circ}02.2'}$	$0^{\circ}0.0'$	
	2	КЛ КП	$39^{\circ}18.0'$ $219^{\circ}18.0'$	$0.0'$	$39^{\circ}18.0'$	$39^{\circ}15.9'$	
	3	КЛ КП	$92^{\circ}34.0'$ $272^{\circ}34.5'$	$-0.5'$	$92^{\circ}34.2'$	$92^{\circ}32.1'$	
	4	КЛ КП	$168^{\circ}13.5'$ $348^{\circ}13.5'$	$0.0'$	$168^{\circ}13.5'$	$168^{\circ}11.4'$	
	1	КЛ КП	$0^{\circ}02.0'$ $180^{\circ}02.0'$	$0.0'$	$0^{\circ}02.0'$	$0^{\circ}0.0'$	

2.2.6. Вимірювання кутів нахилу

Вертикальним кутом називається кут між горизонтальною площиною, що проходить через вісь обертання зорової труби, і напрямком візирної осі на точку спостереження.

Порядок визначення кутів нахилу:

1. Встановлюють теодоліт над точкою і приводять його у робочий стан.

2. Наводять зорову трубу на точку, за напрямком якої потрібно визначити вертикальний кут.

3. Здійснюють вимірювання вертикальних кутів за допомогою вертикального круга (*BK*). *BK* з лімбом і алідадою, закріплений на горизонтальній осі труби.

4. Переводять трубу через зеніт і при другому положенні *BK* здійснюють всі попередні дії щодо визначення кута.

5. За формулою визначають кут нахилу ν .

Залежно від конструкції теодоліта робочі формули для визначення $M0$ і кута нахилу ν є різні. Для теодолітів типу Т30 вони мають такий вигляд

$$M0 = (KL + KP) / 2, \quad (2.21)$$

$$\nu = KL - M0, \quad (2.22)$$

$$\nu = M0 - KP, \quad (2.23)$$

$$\nu = (KL - KP) / 2. \quad (2.24)$$

Для зручності і прискорення робіт при визначенні кутів нахилу $M0$ приводять до нуля, а для цього необхідно:

- 1) визначити $M0$ і кут нахилу ν ;
- 2) встановити цей кут за *BK*, при цьому центр сітки ниток (коли $M0$ не дорівнює нулю) зміститься з візирного предмету;
- 3) діючи виправними гвинтами сітки ниток встановлюють її центр на зображення візирного предмету.

2.2.7. Джерела похибок кутових вимірювань

На точність вимірювання горизонтальних кутів впливають наступні похибки:

- центрування – неточне положення вертикальної осі теодоліта над центром геодезичного знаку;
- редукції – неточне положення візирних марок над центром точок;
- приладу;
- власне вимірювання кута через похибки візування, відліку і особистої похибки спостерігача;
- вплив зовнішніх умов.

Критерієм оцінки точності вимірювань, що не залежить від знаків окремих порівняно великих похибок є *середньо квадратична похибка*. Це міра розсіювання результатів вимірювань навколо істинного значення вимірюваної величини.

Середні квадратичні похибки (скп) горизонтального кута складають:

- вимірюного одним прийомом

$$m_{\beta} = \sqrt{m^2_B + m^2_O} ; \quad (2.25)$$

- вимірюного n прийомами

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{m^2_B}{n} + \frac{m^2_O}{n}} ; \quad (2.26)$$

Середні квадратичні похибки вертикального кута складають:

- вимірюного одним прийомом

$$m_{\nu} = \sqrt{\frac{m^2_B + m^2_O}{2}} ; \quad (2.27)$$

- вимірюного n прийомами

$$m_{\nu} = \sqrt{\frac{m^2_B + m^2_O}{2n}} . \quad (2.28)$$

У формулах m_B – похибка візування, m_O – похибка відліку, n – кількість прийомів.

Для теодоліті 2Т30 **скп** горизонтального кута складає 30", скп вертикального кута – 45".

2.2.8. Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання полягає у визначенні перевищення за допомогою похилого променя візування.

Нехай необхідно визначити перевищення h між точками A і B на фізичній поверхні за допомогою тригонометричного нівелювання (рис. 2.12).

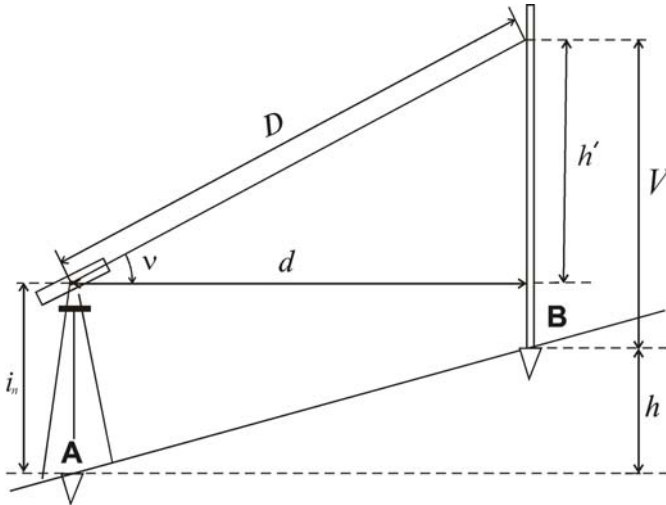


Рис. 2.12. Тригонометричне нівелювання

Порядок виконання робіт:

1. Над точкою *A* встановлюють теодоліт і приводять його в робоче положення.

2. Наводять трубу на рейку, яка встановлена у точці *B* на певний відлік *V* і виконують відліки з *BK* при *KП* і *КЛ*.

3. Вимірюють висоту приладу i_n , це віддаль від точки *A* до осі обертання зорової труби.

4. Визначають кут нахилу ν .

5. Визначають перевищення за формулою (2.29) при відомій віддалі *d*:

$$h = h' + i_n - V, \quad (2.29)$$

де $h' = d \operatorname{tg} \nu$. (2.30)

Якщо *d* невідоме, то визначають віддалемірну віддаль *D*. Тоді перевищення h' обчислюють за формулою:

$$h' = \frac{D}{2} \sin 2\nu. \quad (2.31)$$

Питання для самоперевірки

1. Яка принципова схема вимірювання горизонтальних кутів?

2. Як класифікують теодоліти?
3. Для чого у теодоліті служить циліндричний рівень при горизонтальному крузі?
4. Які осі є в зоровій трубі? Дати визначення.
5. Як виконати перевірку перпендикулярності осі циліндричного рівня до осі обертання теодоліта?
6. Що таке колімаційна помилка і як знайти її значення?
7. Як перевірити правильність встановлення сітки ниток?
8. Що таке місце нуля (M_0) вертикального круга і як його визначити?
9. Які способи вимірювання горизонтальних кутів Ви знаєте?
10. Що таке півприйм та прийом вимірювання кутів?
11. Що таке вертикальний кут і як його визначити?
12. Чим відрізняється вертикальний кут від кута нахилу?
13. Назвіть похибки, які впливають на точність вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів, і як можна їх визначити?
14. В чому суть тригонометричного нівелювання?

2.3. Загальні принципи виконання та організації геодезичних робіт

1. *Основні принципи організації геодезичних робіт*
2. *Методи створення планових геодезичних мереж та їх класифікація*
3. *Розрядні мережі згущення. Знімальні геодезичні мережі*
4. *Висотні геодезичні мережі*
5. *Закріплення пунктів геодезичних мереж на місцевості*

2.3.1. Основні принципи організації геодезичних робіт

Одною із основних задач геодезичних робіт є виконання і побудова топографічних карт і планів шляхом знімання місцевості.

Зніманням місцевості називається сукупність вимірів з метою складання карт або планів у заданому масштабі.

Знімання місцевості класифікують як:

- *горизонтальне* – на карті чи плані зображується тільки ситуація;
- *вертикальне* – визначаються висоти точок, за якими будують рельєф місцевості в горизонталях;
- *топографічне* – сукупність горизонтального та вертикального знімання.

Для того, щоб одержати карту певної території або країни, необхідно створити єдину систему координат, з вихідними даними планових координат x і y та висот H . Враховуючи, що кожні вимірювання, в тому числі і геодезичні, супроводжуються похибками, то для зменшення їх впливу використовують принцип «від загального до часткового». При чому спочатку будується з високою точністю мережа із відносно великими віддалями між пунктами. Далі від цієї мережі будується мережа згущення з меншою точністю і т. д. В залежності від точності одержання координат пунктів мережі ставляться вимоги до приладів, точності вимірювання та методів їх обробки.

2.3.2. Методи створення планових геодезичних мереж та їх класифікація

До традиційних належать три методи створення геодезичної мережі, а саме:

- *триангуляція*. Метод полягає в тому, що на місцевості закріплюють пункти так, щоб утворилися трикутники (рис. 2.13), в яких вимірюють всі кути. Якщо відома координата вихідного пункту, наприклад пункту A , довжина вихідної сторони AB та її дирекційний кут, то за теоремою синусів можна обчислити довжини інших сторін, їх дирекційні кути, а потім координати пунктів, які є вершинами трикутників;

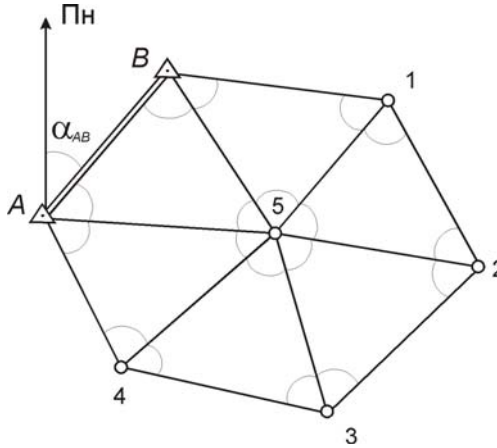


Рис. 2.13. Метод триангуляції

- *трилатерація*. Мережа трикутників у трилатерації будується так само, як і у триангуляції. В даних трикутниках вимірюють тільки довжини сторін. Розв'язують трикутники за теоремою косинусів і, маючи довжини сторін та величини кутів у трикутниках, знаходять координати пунктів за допомогою розв'язку геодезичних задач;

- *полігонометрія*. Даний метод полягає у побудові на місцевості ходів (рис. 2.14). У полігонометричних ходах вимірюють довжини сторін d_{A1} , d_{12} , d_{23} , d_{3C} і кути повороту β_A , β_1, \dots, β_C . Маючи координати вихідної точки і дирекційний кут вихідного напрямку, обчислюють дирекційні кути всіх сторін та координати вершин полігонометричного ходу.

Державна геодезична мережа України (ДГМ) включає в себе:

- ряди триангуляції 1 класу;
- заповнюючі мережі триангуляції і полігонометрії 1-2 класу;
- геодезичні мережі 3 і 4 класів;
- нівелірні мережі I, II, III, IV класів.

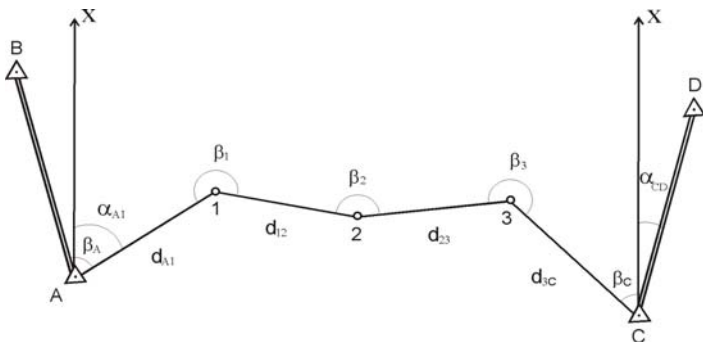


Рис. 2.14. Метод полігонометрії

Постановою Кабінету Міністрів від 8 червня 1998 р. затверджені «Основні положення створення Державної геодезичної мережі України». Згідно цих положень планова геодезична мережа складається з:

- астрономо-геодезичної мережі 1 класу. Будується у вигляді однорідної за точністю просторової геодезичної мережі пунктів, віддалених один від на 50-150 км. Положення пунктів визначається методами супутникової геодезії;
- геодезичної мережі 2 класу. Вона є вихідною для побудови геодезичних мереж згущення 3 класу та геодезичних мереж спеціального призначення. Положення пунктів визначається методами супутникової геодезії та традиційними геодезичними методами;
- геодезичної мережі згущення 3 класу. Будується з метою збільшення кількості пунктів до щільності, яка забезпечує створення геодезичної основи великомасштабних топографічних та кадастрових знімачь.

2.3.3. Розрядні мережі згущення. Знімальні геодезичні мережі

Згущення геодезичної основи виконується через розвиток мереж згущення (мереж місцевого значення) і знімальної основи. Планові геодезичні мережі згущення поділяються на 2 розряди і створюються у вигляді триангуляції, трилатерації та полігонометрії.

Тріангуляція 1 розряду будується у вигляді суцільної мережі, рядів трикутників або окремих пунктів на основі державної геодезичної мережі. Тріангуляція 2 розряду розвивається у вигляді мереж, окремих пунктів або груп пунктів між пунктами ДГМ, а також між пунктами тріангуляції 1 розряду.

Полігонометрія 1 та 2 розрядів створюється у вигляді окремих ходів або систем ходів з вузловими точками.

На всі пункти геодезичних мереж згущення передаються висоти нівелюванням IV класу або технічним нівелюванням.

В даний час мережі згущення та знімальна геодезична основа створюється за допомогою супутникових методів визначення координат.

2.3.4. Висотні геодезичні мережі

Висотна геодезична мережа складається з:

- нівелірної мережі I і II класів;
- нівелірної мережі III, IV класів.

Висотна геодезична основа I і II класів є головною для розв'язування наукових задач і служить для створення мереж згущення III, IV класів, з метою забезпечення топографічного знімання та вирішення різних інженерних задач і управління територіями.

2.3.5. Закріплення пунктів геодезичних мереж на місцевості

Пункти геодезичних мереж повинні надійно закріплюватися на місцевості таким чином, щоб забезпечувалась незмінність їх положення та цілісність протягом тривалого часу. Пункти планових ДГМ закріплюються спеціальними геодезичним спорудами, які складаються з двох частин: підземної – центра пункту та зовнішньої – геодезичного знака. Типи центрів залежать від фізико-географічних умов району. Зовнішні геодезичні знаки поділяються на: тури, піраміди, прості і складні сигнали.

Лінії нівелювання усіх класів закріплюють на місцевості постійними реперами: ґрунтовими, скельними, стінними. У

висотних мережах I і II класів закладають фундаментальні репери.

Питання для самоперевірки

1. Що таке знімання місцевості та як його класифікують?
2. Які є методи створення геодезичних мереж?
3. Дайте характеристику триангуляції, трилатерації, полігонометрії.
4. Що включає в себе сучасна державна геодезична мережа України?
5. Чим відрізняється мережа згущення від знімальної мережі?
6. Яким чином закріплюються пункти геодезичної мережі?

2.4. Побудова та обробка мереж геодезичної знімальної мережі

1. *Побудова мереж геодезичної знімальної основи. Загальні відомості*
2. *Теодолітні ходи. Польові роботи при побудові теодолітних ходів*
3. *Пряма та обернена геодезичні задачі*
4. *Камеральне опрацювання вимірювань, які виконують при побудові теодолітних ходів*

2.4.1. Побудова мереж геодезичної знімальної основи Загальні відомості

Геодезична знімальна основа являє собою сукупність опорних пунктів на місцевості, що служать основою для виконання топографічного знімання. Це мережі, які можуть бути створені різними методами: прокладанням теодолітних, тахеометричних і мензульних ходів, побудовою мереж мікротриангуляції і трилатерації, прямими та комбінованими засічками. Вибір методу залежить від умов місцевості, потрібної точності та приладів, що застосовуються.

2.4.2. Теодолітні ходи. Польові роботи при побудові теодолітних ходів

Теодолітний хід являє собою систему ліній, які утворюють замкнений чи розімкнений полігон. Кути такого ходу вимірюють теодолітом, а сторони – механічними мірними приладами.

Проектування теодолітних ходів здійснюється за картами великого масштабу. При цьому повинні виконуватись такі вимоги:

- розміщення ходів має відповідати призначенню і меті прокладання ходів;
- можливість контролю вимірювань;
- розміщення сторін ходу на місцевості повинно виконуватись так, щоб було зручно проводити вимірювання чи знімання;
- дотримуватись протяжності ходу між вихідними пунктами (згідно до масштабу знімань чи інструкції);
- здійснювати прив'язку ходу до пунктів державної геодезичної мережі.

Етапи робіт при прокладанні теодолітних ходів:

1. Польові роботи (рекогносцирування).
2. Вимірювання кутів повороту на пунктах теодолітних ходів.
3. Вимірювання ліній.
4. Камеральне опрацювання результатів вимірювань.

2.4.3. Пряма та обернена геодезичні задачі

Пряма та обернена геодезичні задачі є головними геодезичними задачами, на яких базуються геодезичні побудови та обчислення при топографічних зніманнях, перенесеннях проєктів в натуру, розв'язаннях інженерних задач тощо.

Пряма геодезична задача. Сутність цієї задачі полягає в тому, що за заданими координатами X_A , Y_A точки A , горизонтальною віддаллю d_{AB} та дирекційним кутом α_{AB} необхідно знайти координати точки B (рис. 2.15).

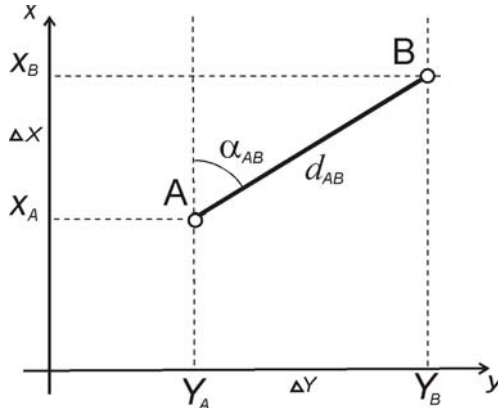


Рис. 2.15. Прямая та обернена геодезичні задачі

Координати точки B можна визначити за наступними формулами

$$X_B = X_A + (X_B - X_A) = X_A + \Delta X; \quad (2.32)$$

$$Y_B = Y_A + (Y_B - Y_A) = Y_A + \Delta Y. \quad (2.33)$$

У даних формулах ΔX і ΔY називають приростами координат і їх можна обчислити за формулами

$$\Delta X = d_{AB} \cos \alpha_{AB}, \quad (2.34)$$

$$\Delta Y = d_{AB} \sin \alpha_{AB}. \quad (2.35)$$

Обернена геодезична задача. Сутність даної задачі полягає у визначенні d_{AB} , α_{AB} за відомими координатами точок A і B (рис. 2.15).

Для обчислення дирекційного кута користуються формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}, \quad (2.36)$$

$$\alpha_{AB} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (2.37)$$

Горизонтальну віддаль AB обчислюють за формулою

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (2.38)$$

Контроль:
$$d_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (2.39)$$

2.4.4. Камеральне опрацювання вимірювань, які виконують при побудові теодолітних ходів

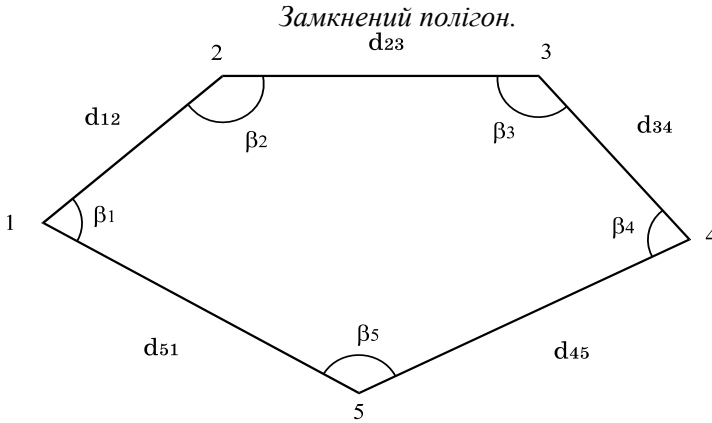


Рис. 2.16. Замкнений полігон

Кутову нев'язку при замкнутому полігоні (рис. 2.16) обчислюють за формулою

$$f_{\beta} = \sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим.}} - 180^\circ(n-2), \quad (2.40)$$

де $\sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим.}}$ – сума вимірених внутрішніх кутів полігону;

n – кількість сторін (чи кутів) полігону.

Якщо
$$f_{\beta} \leq f_{\beta \text{ доп.}} = 1' \sqrt{n}, \quad (2.41)$$

то кутова нев'язка розподіляється з протилежним знаком між вимірними кутами у вигляді поправки $\mathcal{G}_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n}$. (2.42)

Поправки округлюють до десятих мінути.
Контроль вирівнювання кутів здійснюють за формулою

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{G}_{\beta_i} = -f_{\beta}. \quad (2.43)$$

Дирекційні кути сторін полігону можна одержати за формулами:

для правих кутів

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180 - \beta_i \quad (2.44)$$

для лівих кутів

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180 + \beta_i, \quad (2.45)$$

якщо відомий дирекційний кут вихідної сторони.

Горизонтальні проекції d_i вимірних довжин сторін полігону лінійними мірними приладами обчислюють за формулою

$$d_i = D_i \cdot \cos v_i, \quad (2.46)$$

де v_i – кут нахилу відповідної сторони.

Обчислення приростів координат точок ходу виконують за формулами

$$\begin{aligned} \Delta x_{i \text{ обч.}} &= d_i \cdot \cos \alpha_i, \\ \Delta y_{i \text{ обч.}} &= d_i \cdot \sin \alpha_i. \end{aligned} \quad (2.47)$$

Далі знаходять нев'язку приростів

$$\begin{aligned} f_{\Delta x} &= \sum_{i=1}^n \Delta x_{i \text{ обч.}}, \\ f_{\Delta y} &= \sum_{i=1}^n \Delta y_{i \text{ обч.}}. \end{aligned} \quad (2.48)$$

На основі $f_{\Delta x}$ та $f_{\Delta y}$ обчислюють абсолютну та відносну нев'язку за формулами

$$f_{абс} = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2}, \quad (2.49)$$

$$f_{відн.} = \frac{f_{абс.}}{P} = \frac{1}{P / f_{абс.}}, \quad (2.50)$$

де $P = \sum_{i=1}^n d_i$ – периметр полігону.

Величина допустимої відносної нев'язки теодолітного ходу становить $\frac{1}{2000}$.

Значення $\square x$ та $\square y$ обчислюють з точністю до $\square 1$ см.

Якщо відносна нев'язка не перевищує встановленої допустимої величини, то нев'язки $f_{\Delta x}$ та $f_{\Delta y}$ розподіляються з протилежними знаками між відповідними обчисленими приростами координат пропорційно довжинам відповідних їм сторін шляхом введення поправок

$$g_{\Delta x_i} = \frac{-f_{\Delta x}}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i, \quad (2.51)$$

$$g_{\Delta y_i} = \frac{-f_{\Delta y}}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i.$$

Контроль обчислень здійснюють за формулами

$$\sum_{i=1}^n g_{\Delta x_i} = -f_{\Delta x}, \quad (2.52)$$

$$\sum_{i=1}^n g_{\Delta y_i} = -f_{\Delta y}.$$

В результаті обчислень знаходять виправлені прирости координат

$$\Delta x_i \text{ випр.} = \Delta x_i \text{ обч.} + g_{\Delta x_i}, \quad (2.53)$$

$$\Delta y_i \text{ випр.} = \Delta y_i \text{ обч.} + g_{\Delta y_i},$$

Причому
$$\sum_{i=1}^n \Delta x_{i \text{ вунр.}} = \sum_{i=1}^n \Delta y_{i \text{ вунр.}} = 0. \quad (2.54)$$

Далі обчислюють координати вершин полігону, використовуючи формули:

$$\begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + \Delta x_{i-1,i \text{ вунр.}}, \\ Y_i &= Y_{i-1} + \Delta y_{i-1,i \text{ вунр.}}, \end{aligned} \quad (2.55)$$

починаючи від вихідної вершини з відомими координатами. В результаті послідовного обчислення координат вершин полігону до відомих координат вихідної вершини, що є контролем обчислень.

Наявність кутової та лінійної нев'язок обумовлено похибками, які допущені при проведенні відповідно куткових та лінійних вимірів.

Розімкнений хід

Розімкнений теодолітний хід (рис. 2.17) прокладають між окремими твердими пунктами та сторонами, а також у вигляді діагоналі в середині замкнутого теодолітного ходу. В обох випадках розрізняють поняття початкових та кінцевих дирекційних кутів, сторін та координат пунктів, на які опирається хід, а також лівих чи правих вимірних горизонтальних кутів.

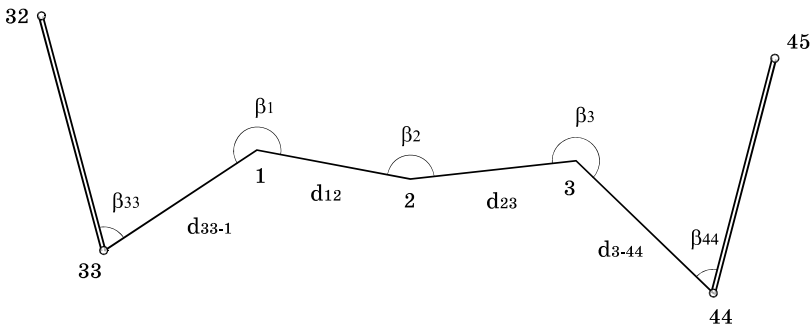


Рис. 2.17. Розімкнений хід

Обчислення кутової нев'язки виконують за такими формулами:

$$f_{\beta} = \sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим.}} - [\alpha_k - \alpha_n + 180^\circ(n-1)] \quad (2.56)$$

для лівих вимірних кутів або

$$f_{\beta} = \sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим.}} - [\alpha_n - \alpha_k + 180^\circ(n-1)] \quad (2.57)$$

- для правих кутів.

Тут α_n та α_k – початковий та кінцевий дирекційні кути, n – кількість сторін ходу.

Якщо хід прокладений між пунктами геодезичного обґрунтування, то допустиму кутову нев'язку оцінюють за формулою (2.41) з врахуванням того, що кількість вимірних кутів дорівнює $n+1$. Якщо хід є діагональним, то

$$f_{\beta_{\text{дон}}} = 2t\sqrt{n+1}, \quad (2.58)$$

де t – точність виконання відліку з горизонтального круга.

Розподіл кутової нев'язки, якщо вона знаходиться в межах допуску, а також обчислення дирекційних кутів сторін здійснюють аналогічно викладеним вже правилам для замкненого полігону, причому в результаті послідовного обчислення дирекційних кутів останнім повинно бути отримане відоме значення α_k дирекційного кута кінцевої твердої сторони ходу.

Горизонтальні проекції вимірних довжин сторін полігону обчислюють згідно з (2.46), прирости координат згідно з (2.47) та нев'язки в приростах координат за формулами

$$f_{\Delta x} = \sum_{i=1}^n \Delta x_{i \text{ обч.}} - (X_k - X_n), \quad (2.59)$$

$$f_{\Delta y} = \sum_{i=1}^n \Delta y_{i \text{ обч.}} - (Y_k - Y_n),$$

де X_n, Y_n та X_k, Y_k – відомі координати початкового та кінцевого твердих пунктів. Абсолютну та відносну нев'язку обчислюють згідно з формулами (2.49) та (2.50).

Якщо відносна нев'язка не перевищує допустимої межі ($\frac{1}{1500}$), то виконують вирівнювання приростів та обчислюють координати вершин розімкненого полігону, причому

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_{i \text{ випр.}} = X_k - X_n, \quad (2.60)$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta y_{i \text{ випр.}} = Y_k - Y_n.$$

В результаті послідовного обчислення координат вершин повинні бути одержані відомі координати X_k та Y_k кінцевого твердого пункту.

Зрівноваження висотних мереж знімальної основи

Тригонометричне нівелювання. Вихідними даними є: виміряні значення кутів нахилу, довжин сторін та висоти вихідних пунктів.

Перевищення між точками теодолітного ходу знаходять за формулою

$$h = d \operatorname{tg} v + i_n - V. \quad (2.61)$$

Висотна нев'язка обчислюється наступним чином:

- для розімкненого ходу

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i - (H_k - H_n), \quad (2.62)$$

- для замкненого ходу

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2.63)$$

де H_k, H_n – відомі висоти початкової і кінцевої точок.

Порівнюємо нев'язку з допустимою

$$f_{h_{доп.}} = \frac{0.04P}{\sqrt{n}} \text{ (м)}, \quad (2.64)$$

де P – периметр ходу в сотнях метрів.

Якщо $|f_h| \leq f_{h_{доп.}}$, то виконують вирівнювання перевищень, вводючи в них поправки за формулою

$$g_{h_i} = -\frac{f_h}{P} d_i, \quad (2.65)$$

де g_{h_i} – поправка у перевищення i -тої сторони з довжиною d_i .

Контроль зрівноваження

$$\sum_{i=1}^n g_{h_i} = -f_h. \quad (2.66)$$

Обчислюють виправлені перевищення за формулою

$$h_i' = h_i + g_{h_i}. \quad (2.67)$$

Формула обчислення висот точок ходу має вигляд

$$H_{i+1} = H_i + h_i', \quad (2.68)$$

де H_{i+1} , H_i – висоти відповідно попередньої та наступної точок ходу.

Геометричне нівелювання. Вихідними даними для вирівнювання є відліки з рейки та висоти вихідних пунктів ходу.

Роботу починають з посторінкового контролю. Для цього повинно виконуватися співвідношення

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{\sum h}{2} = \sum h_{сер.}, \quad (2.69)$$

де $\sum a$ і $\sum b$ – сума усіх відліків за задньою та передньою рейками відповідно.

Далі обчислюють висотну нев'язку

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_{i_{сер.}} - \sum h_{теор.}, \quad (2.70)$$

де $h_{i_{сер.}}$ – середнє перевищення на i -тій станції;

n – загальна кількість станцій;

$\sum h_{теор.}$ – загальне теоретичне перевищення ходу.

Для розімкненого нівелірного ходу

$$\sum h_{теор.} = H_k - H_n, \quad (2.71)$$

де H_k, H_n – відомі висоти відповідно початкової та кінцевої точок ходу.

У замкненому нівелірному ході $H_k=H_n$, тому

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_{i_{сер.}}. \quad (2.72)$$

Допустима висотна нев'язка дорівнює

$$f_{h_{доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (2.73)$$

де L – довжина нівелірного ходу в кілометрах.

Якщо $f_h \leq f_{h_{доп.}}$, то виконуємо вирівнювання перевищень, вводячи в них поправки \mathcal{G}_h

$$\mathcal{G}_h = -\frac{f_h}{n}. \quad (2.74)$$

Контроль
$$\sum \mathcal{G}_h = -f_h. \quad (2.75)$$

Виправлені значення середніх перевищень обчислюють за формулою

$$h_{i_{сер.випр.}} = h_{i_{сер.}} + \mathcal{G}_h. \quad (2.76)$$

Висоти точок ходу визначають за виправленими перевищеннями послідовно, починаючи з висоти початкової точки ходу H_n , за формулою

$$H_{i+1} = H_i + h_{i_{сер.випр.}}. \quad (2.77)$$

Питання для самоперевірки

1. Які польові роботи виконуються при прокладанні теодолітних ходів?
2. Що таке пряма і обернена геодезичні задачі?
3. Як обчислюють кутові нев'язки в замкненому і розімкненому теодолітному ходах?
4. Як розподіляються кутові нев'язки?
5. Як обчислюють нев'язку в сумах приростів координат і як визначити допустимість нев'язок?
6. Розподіл нев'язок в приростах координат теодолітного ходу.
7. Що таке лінійна нев'язка в теодолітному ході?
8. Геометричний зміст лінійної нев'язки?
9. Як обчислюють координати точок?

2.5. Геодезичні засічки

1. *Пряма кутова засічка*
2. *Обернена кутова засічка*
3. *Лінійна засічка*

2.5.1. Пряма кутова засічка

Пряма кутова засічка полягає у визначені координат точки, що вбудовується в опорну мережу, за результатами кутових вимірювань, виконаних з двох пунктів цієї мережі. Вона застосовується там, де місцевість перешкоджає або є незручною для вимірювання довжин сторін або точка, координати якої потрібно визначити, віддалена від вихідних пунктів.

Нехай потрібно знайти координати точки P (рис. 2.18). Пункти I і 2 є вихідними, їх координати відомі. На місцевості виміряні кути β_1 і β_2 .

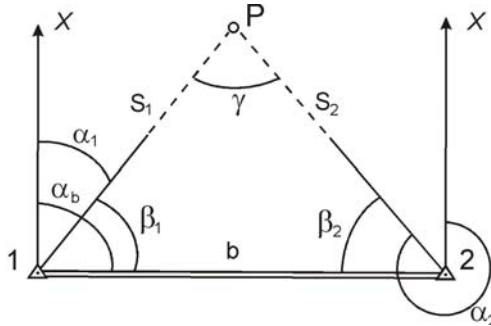


Рис. 2.18. Пряма кутова засічка

Координати шуканої точки P знаходять за формулами Юнга

$$X_P = \frac{X_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + X_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - Y_1 + Y_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}, \quad (2.78)$$

$$Y_P = \frac{Y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + Y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + X_1 - X_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}. \quad (2.79)$$

Якщо є відомі не виміряні кути β_1 і β_2 , а дирекційні кути α_1 і α_2 напрямків з вихідних пунктів на невідому точку, то її координати знаходять за формулами Гаусса

$$X_P = \frac{X_1 \operatorname{tg} \alpha_1 - X_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - Y_1 + Y_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (2.80)$$

$$Y_P = Y_1 + (X_P - X_1) \operatorname{tg} \alpha_1 = Y_2 + (X_P - X_2) \operatorname{tg} \alpha_2. \quad (2.81)$$

У випадках, коли значення кутів α_1 і α_2 виявляються близькими до 900 або 2700, обчислення ведуть за формулами котангенсів

$$Y_P = \frac{Y_1 \operatorname{ctg} \alpha_1 - Y_2 \operatorname{ctg} \alpha_2 - X_1 + X_2}{\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2} \quad (2.82)$$

$$X_P = X_1 + (Y_P - Y_1) \operatorname{ctg} \alpha_1 = X_2 + (Y_P - Y_2) \operatorname{ctg} \alpha_2. \quad (2.83)$$

У випадку, коли можливо виміряти віддаль b між вихідними пунктами та дирекційний кут α_b , то розв'язок прямої кутової засічки, з використанням теореми синусів, буде мати вигляд

$$\frac{b}{\sin \gamma} = \frac{S_1}{\sin \beta_2}, \quad \frac{b}{\sin \gamma} = \frac{S_2}{\sin \beta_1}, \quad (2.84)$$

$$S_1 = \frac{b \sin \beta_2}{\sin \gamma}, \quad S_2 = \frac{b \sin \beta_1}{\sin \gamma}. \quad (2.85)$$

Дирекційні кути α_1 і α_2 визначаємо за формулами

$$\alpha_1 = \alpha_b - \beta_1, \quad \alpha_2 = \alpha_b + \beta_2 \pm 180^\circ. \quad (2.86)$$

Формули обчислення координат мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} X_P &= X_1 + S_1 \cos \alpha_1, \\ Y_P &= Y_1 + S_1 \sin \alpha_1, \\ X_P &= X_2 + S_2 \cos \alpha_2, \\ Y_P &= Y_2 + S_2 \sin \alpha_2. \end{aligned} \right\} \quad (2.87)$$

Середня квадратична похибка планового положення точки, що вставляється в мережу, може бути обчислена за формулою

$$M_P = \frac{m_\beta}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (2.88)$$

де m_β – середня квадратична похибка вимірювання кутів, сек;
 γ – кут засічки ($\gamma = 180^\circ - \beta_1 - \beta_2$ або $\gamma = \alpha_1 - \alpha_2$);
 S_1, S_2 – віддалі від вихідних пунктів до шуканої точки.

При визначенні координат точки P з більше двох відомих точок і дирекційних кутів на шукану точку розв'язують задачу, яку називають *прямою багаторазовою засічкою*.

2.5.2. Обернена кутова засічка

Обернена кутова засічка полягає у визначенні координат точки, що вставляється в опорну мережу, за результатами вимірювання на цій точці кутів між напрямками на три пункти даної мережі (рис. 2.19). Таку задачу називають задачею Потенота (автор способу розв'язання задачі).

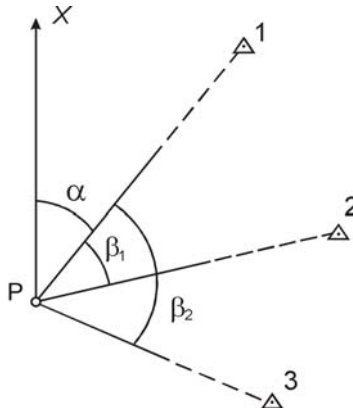


Рис. 2.19. Обернена кутова засічка

Для визначення координат X_P, Y_P точки P необхідно виміряти кути β_1 і β_2 між напрямками на пункти 1, 2, 3, які мають відомі координати $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$.

Дирекційні кути напрямків знаходять згідно формул:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{Y_1 - Y_P}{X_1 - X_P}, \\ \operatorname{tg}(\alpha + \beta_1) &= \frac{Y_2 - Y_P}{X_2 - X_P}, \\ \operatorname{tg}(\alpha + \beta_2) &= \frac{Y_3 - Y_P}{X_3 - X_P}. \end{aligned} \right\} \quad (2.89)$$

У системі (2.89) невідомими є дирекційний кут початкового напрямку α і координати X_P і Y_P . Використавши відомі математичні залежності та здійснивши деякі математичні перетворення знаходять дирекційний кут α за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(X_3 - X_2) + (Y_1 - Y_3) \operatorname{ctg} \beta_2 - (Y_1 - Y_2) \operatorname{ctg} \beta_1}{(Y_2 - Y_3) + (X_1 - X_3) \operatorname{ctg} \beta_2 - (X_1 - X_2) \operatorname{ctg} \beta_1}. \quad (2.90)$$

Підставивши рівняння (2.90) у систему рівнянь (2.89), знаходять X_P та Y_P .

2.5.3. Лінійна засічка

Лінійна засічка полягає у вимірюванні віддалей від точки, що вставляється в опорну мережу, до двох вихідних пунктів цієї мережі з відомими координатами і обчислення на основі цих даних координат невідомої точки.

На місцевості вимірюють віддалі S_{1P} , S_{2P} від пунктів 1 і 2 до точки P (рис. 2.18).

Для розв'язання даної задачі використовують спосіб Баландіна. Спочатку визначають кути β_1 , β_2

$$\cos \beta_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{b}{S_{1P}} + \frac{S_{1P}}{b} - \frac{S_{2P}^2}{S_{1P}b} \right), \quad (2.91)$$

$$\cos \beta_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{b}{S_{2P}} + \frac{S_{2P}}{b} - \frac{S_{1P}^2}{S_{2P}b} \right). \quad (2.92)$$

Далі обчислюють дирекційні кути α_{1P} і α_{2P} напрямків з вихідних пунктів на невідому точку

$$\alpha_{1P} = \alpha_{12} - \beta_1, \quad (2.93)$$

$$\alpha_{2P} = \alpha_{12} + \beta_2 \pm 180^\circ. \quad (2.94)$$

Розв'язуючи пряму геодезичну задачу, знаходять координати шуканої точки P

$$\left. \begin{aligned} X_P &= X_1 + S_{1P} \cos \alpha_{1P}, \\ Y_P &= Y_1 + S_{1P} \sin \alpha_{1P}, \\ X_P &= X_2 + S_{2P} \cos \alpha_{2P}, \\ Y_P &= Y_2 + S_{2P} \sin \alpha_{2P}. \end{aligned} \right\} \quad (2.95)$$

Середня квадратична похибка планового положення точки P визначається за формулою

$$M_P = \frac{m_S}{\sin \gamma} \sqrt{2}, \quad (2.96)$$

де m_S – середня квадратична похибка вимірювання сторони засічки.

Питання для самоперевірки

1. Суть прямої одноразової кутової засічки.
2. Розв'язання прямої одноразової кутової засічки.
3. Суть оберненої одноразової кутової засічки.
4. Розв'язання оберненої одноразової кутової засічки.
5. Як обчислити середню квадратичну похибку планового положення точки, визначеної прямою одноразовою кутовою та оберненою одноразовою кутовою засічками?
6. Суть лінійної засічки та її розв'язування.
7. Оцінка точності координат точок, визначених за допомогою лінійної засічки.

2.3. Сучасні геодезичні прилади

На даний час особливого розвитку та популярності набуває інженерна геодезія у різних сферах, особливо у сфері будівництва. Це розділ геодезії, в якому розглядаються методи, техніка і організація геодезичних робіт.

Достовірність даних при проектуванні споруд та будівель, визначення згідно проектної документації основних осей на місцевості, забезпечення геометричних форм будівельної конструкції – одні з основних цілей інженерної геодезії. Не менш важливим тут є виявлення відхилень в просторовому відношенні згідно проектної документації. Їх визначають не тільки процесі будівництва, а й під час спостереження (моніторингу) за деформаціями об'єкта та поверхні під ним упродовж тривалого часу по завершенні будівельних робіт.

Не менш важливу роль в переліку інженерно-геодезичних робіт займають вишукування. Вони дають можливість комплексно оцінити територію будівництва для подальшого прийняття проектних рішень. Основою тут служить топографічне знімання місцевості, результатом якого є топографічний план (1:500-1:1000) з нанесеними на нього елементами ситуації і інженерними мережами. Як правило топографічний план виконують в масштабі 1:500 -1:1000.

Допомагають значно удосконалити виконання геодезичних робіт *сучасні геодезичні прилади*. Геодезисти в даний час на озброєнні мають приладами лазерного вимірювання та супутникової навігації.

Широкого розповсюдження та популярності для геодезичних робіт у сфері будівництва набули електронні тахеометри. Прилади, які дозволяють швидко та якісно виконувати різні види на будівельному майданчику від вишукувань до робіт з супроводу.

Продукти фірм Leica, Sokkia, Topcon, Trimble, Nikon та інших є постачальниками світового ринку найсучаснішими багатофункціональними геодезичними приладами автоматизованого типу. Вироблені ними *електронні тахеометри* оснащені графічними дисплеями і панелями, яка необхідні для управління інструментом. Наявне програмне забезпечення і прикладні програми дозволяють вирішити велику кількість задач інженерної геодезії. Це задачі:

- обчислення площі земельної ділянки;
- визначення горизонтального прокладання, перевищення або ухилу між точками поверхні;
- визначення висоти недоступного об'єкту;
- визначення просторових координат точок: X, Y, H;
- перенесення проектних елементів на місцевість та ін.



Рис. 2.20. Тахеометр електронний LEICA TS06 plus 5'' R500

Електронні тахеометри є різноманітної точності. Нові моделі тахеометрів ідеально підходять для виконання високоточних геодезичних робіт, для моніторингу деформацій споруд та інших робіт, що вимагають високої точності. Точність кутових вимірювань коливається в межах від 0.5'' до 7'', а лінійних, в залежності від довжини лінії, від 0.5мм до 3мм. Дальність вимірювання відстаней на призму відбивача може доходити до 10 км, у режимі без відбивачу - в діапазоні від 1 метра до 1 км.

На базі сучасних електронних тахеометрів створюються повністю роботизовані станції, здатні без участі людини згідно певної розробленої програми вести постійні спостереження за об'єктами, що дозволяє визначити деформацію земної поверхні, крени і зсуви будівель та інженерних споруд.

Широкого розповсюдження на будівництві отримали *електронні (цифрові) нівеліри*. Це сучасні геодезичні прилади, які поєднують у собі функції високоточного оптичного нівеліра, електронного пристрою, для збереження інформації і

програмного забезпечення для обробки результатів геодезичних вимірювань. Для виконання вимірювань користувачеві досить навести на рейку і натиснути всього одну клавішу. Вбудований електронний пристрій знімає відлік скануванням з спеціальної нівелірної рейки з великою точністю. Після чого нівелір обчислить перевищення і виміряє відстань. Результати вимірювань виводяться на екран і можуть бути збережені в пам'яті приладу.

На сучасному етапі використовуються цифрові нівеліри, що мають похибку від 0,3...1,0 мм/км. Цифрові нівеліри виготовляють провідні фірми світу Trimble-Zeiss, Sokkia та інші. За точністю цифрові нівеліри можна характеризувати як високоточні та точні.



Рис. 2.21. Електронний нівелір SOKKIA SDL1X

Для внутрішньої обробки приміщень, встановлення обладнання, вирівнювання стін і підлоги, встановлення стельових конструкцій, установки перегородок, монтажу настінного устаткування, нівелювання настінних полиць і багато іншого використовують багатофункціональні *автоматичні лазерні нівеліри*.



Рис. 2.22. Лазерний нивелір Bosch GLL 3-80 P Professional + L-Boxx(0601063305)

Технологія тривимірного *наземного лазерного сканування* набуває широкого використання для вирішення великої кількості задач з будівництва, промисловості, архітектури. Розробленням лазерних систем займаються фірми Leica, Z+F, Topcon, Trimble, Optech.



Рис. 2.23. Наземний лазерний сканер Leica Rugby 640 RE160

Суть технології лазерного сканування полягає у визначенні просторових координат точок поверхні об'єкта. Результатом роботи являється множина точок з відомими тривимірними координатами.

За допомогою лазерного сканера виконують швидко та точно знімання на всіх етапах будівництва. Визначають відхилення реального об'єкта від проектних показників на всіх стадіях будівництва, крени будівель, відхилення від горизонталі або вертикалі, ступені прогину окремих елементів. Отримують плани та перерізи. Визначають об'ємів виїмок чи насипів при кар'єрних та земляних роботах. На основі лазерного сканування розробляють проекти споруд.

Для вимірювання віддалей до 200м лінійним способом використовують лазерні рулетки. Ці прилади успішно замінюють класичні мірні стрічки та рулетки, які ще масово використовують на виробництві. Робота ними більш якісна. Точність вимірювання становить до 1мм.



Рис. 2.24. NIVEL SYSTEM DM-120 - далекомір, лазерна рулетка

Для проведення геодезичних робіт необхідно обрати або розробити оптимальні методи та застосувати прилади, які забезпечили б необхідну точність побудови геодезичних мереж і виконання спостережень на них. Доцільним тут є використання супутникових технологій. GPS-вимірювання дозволяють

ефективно вирішувати такі завдання геодезичного моніторингу як створення опорних мереж та виконання знімальних робіт. Вони мають низку переваг перед традиційними геодезичними методами. Геодезичні спостереження з використанням GPS-обладнання можна виконувати у будь-який час доби, у будь-яку погоду, при відсутності прямої оптичної видимості між точками. Прилади працюють в автоматичному режимі та в результаті моніторингу одночасно визначаються всі три координати точки їх стояння.



Рис. 2.25. GPS приймач - LEICA GS08 Plus RTK

Достовірність інформації залежить не тільки від приладів, а також від професіоналізму виконавців даного виду робіт. Послуги інженерної геодезії необхідні не тільки під час будівельного процесу, а й під час експлуатації будівель та споруд.

РОЗДІЛ 3 ТОПОГРАФІЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

3.1. Теодолітне знімання

1. Суть теодолітного знімання
2. Елементи ситуації, що підлягають зніманню
3. Способи виконання теодолітного знімання
4. Камеральне опрацювання теодолітного знімання

3.1.1. Суть теодолітного знімання

Теодолітне знімання – контурне знімання місцевості, у результаті якого отримують план місцевості без зображення рельєфу. Для цього створюють на місцевості знімальну основу відомими методами.

Теодолітне знімання, в основному, виконують у масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000 у рівнинній місцевості в умовах складної ситуації.

Середні похибки в положенні на плані зображень предметів і контурів місцевості з чіткими контурами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0.5 мм, а в гірських та лісових районах – 0.7 мм.

Результати вимірювань записують у журналах теодолітного знімання. При цьому знімання супроводжується веденням схематичного креслення – зарису. На зарисі показують опорні пункти і лінії, з яких проводилось знімання, розміщення місцевих предметів та контурів з пояснювальними записами і результатами вимірювання, отриманими під час знімання. Журнали і зариси використовують при камеральному опрацюванні.

При складанні зарису потрібно дотримуватись наступних вимог:

- 1) зариси виконувати простим олівцем;
- 2) знімальний хід наносити однією або двома лініями;
- 3) всі предмети місцевості, контури зарисовувати у довільному масштабі в умовних знаках;
- 4) на контурах виконувати пояснювальні записи, прямі лінії проводити під лінійку;

5) при детальному зніманні деякі елементи об'єктів виносити на окремий рисунок з даними вимірювань;

6) переписування зарисів не дозволяється.

При використанні електронних тахеометрів величини вимірювання при зніманні заносять у накопичувач тахеометра. Після цього всі дані переносять в комп'ютер і далі використовують для розв'язку задач у необхідному масштабі.

3.1.2. Елементи ситуації, що підлягають зніманню

Вимоги до об'єктів знімання та їх детальності змінюються в залежності від масштабу знімань. Для знімання у великих масштабах (1:500-1:2000) потрібно контурні об'єкти ситуації, які виражаються в масштабі плану, знімати в обов'язковому порядку, або ж їх зображення передавати умовними знаками. До них належать:

- пункти геодезичних мереж, закріплені постійними знаками;
- будинки і споруди;
- дорожні мережі і споруди на них;
- гідрографія та гідротехнічні споруди;
- закріплені на місцевості межі;
- рослинний покрив, ґрунти.

Під час знімання забудов територій на планах показують межі кварталів забудов, усі будинки і споруди, архітектурні виступи і уступи із будинків, які виражаються у масштабі і величина їх більше 0.5 мм у масштабі плану. У забудованій території показують межі володінь, ситуацію в середині кварталу та всі інженерні комунікації. На планах також показують шляхи сполучення, водні мережі, берегові лінії. Якщо на плані ширина струмка більше 3 мм, то виконують знімання обох його берегів. При зніманні контурів на план наносять характеристики угідь. Найменші площі контурів мають складати 20 мм² на плані. Здійснюється також знімання окремих дерев. При нанесенні боліт на плани показують глибину, прохідність, характер рослинного покриву. У закарстованій місцевості показують всі воронки. Не підлягають зніманню тільки тимчасові споруди.

3.1.3. Способи виконання теодолітного знімання

Визначення положення контурів і окремих предметів ситуації може проводитись електронними тахеометрами або різними способами, а саме (рис. 3.1-3.6): перпендикулярів, полярним, прямих кутових засічок, лінійних засічок, створів, обходу.

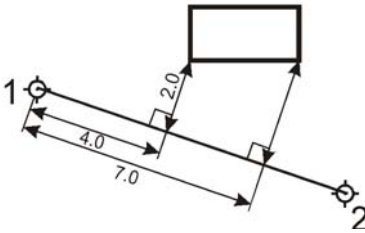


Рис. 3.1. Спосіб перпендикулярів

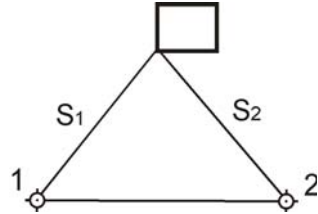


Рис. 3.4. Спосіб лінійних засічок

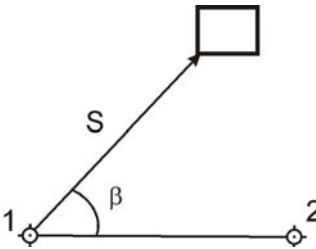


Рис. 3.2. Полярний спосіб

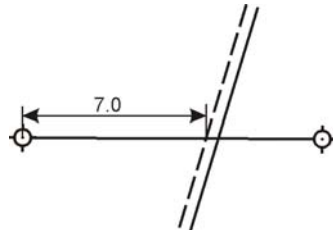


Рис. 3.5. Спосіб створів

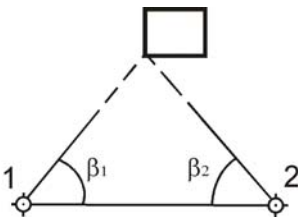


Рис. 3.3. Спосіб прямих кутових засічок

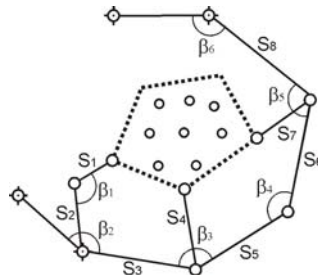


Рис. 3.6. Спосіб обходу

Вибір геодезистом способу знімань залежить від складності ситуації та можливості (зручності) виконання вимірювальних робіт на місцевості.

Теодолітне знімання є горизонтально контурним. При його виконанні виміряні віддалі у всіх способах приводяться до горизонту, якщо кут нахилу місцевості більший 2° . Вертикальні кути від 2° до 10° можна виміряти екліметром з точністю $15-20'$, а кути нахилу більше 10° – теодолітом з точністю $1'$.

Знімання будівель виконують одним з вищезгаданих способів, але знімаються лише основні точки будівлі (рис. 3.7). Для нанесення на план решти елементів проводять обмір будівлі рулеткою чи стрічкою.

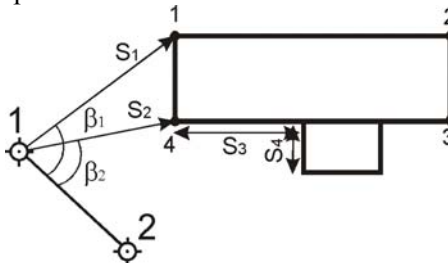


Рис. 3.7. Знімання будівель

Після виконання польових робіт виконують камеральну обробку польових матеріалів, на основі яких буде побудовано план місцевості.

3.1.4. Камеральне опрацювання теодолітного знімання

Результатом камерального опрацювання теодолітного знімання є побудова плану. Будують план на якісному креслярському папері.

Роботу виконують у такій послідовності:

1. Побудова координатної сітки

Від точності побудови її залежить точність плану. Сітка будується у вигляді квадратів з сторонами 10 на 10 см, загальним розміром 50 на 50 см. Найбільш розповсюдженим способом побудови координатної сітки є лінійка Ф.В. Дробишева (це своєрідний циркуль). Принцип – побудова

прямокутного трикутника з катетами, що дорівнюють 50 см і гіпотенузою – 70.711 см.

2. Нанесення пунктів ходів за прямокутними координатами

Після підписання кілометрових значень сітки визначають квадрат, у якому буде розміщена точка. На обох його вертикальних сторонах відкладають уверх за допомогою поперечного масштабу і вимірника залишок (приріст) абсциси точки. На горизонтальних – вправо відкладають залишок ординати. Перетин ліній, що з'єднують горизонтальні та вертикальні штрихи, дасть положення шуканої точки.

3. Нанесення ситуації

Процес здійснюється за зарисами при допомозі звичайного транспортира та масштабної лінійки. Ситуацію наносять у відповідності до способу знімання ситуації (полярний, кутових і лінійних засічок, спосіб обходу і т.д.).

4. Офортлення плану виконується в туші

При нанесенні ситуації залишається багато допоміжних побудов, тому креслення потрібно виконувати тонкими лініями. В туші викреслюють предмети місцевості, контури і заповнюють їх встановленими умовними знаками. На плані вказують масштаб і виконують всі необхідні надписи.

Кінцевим результатом теодолітного знімання є план та технічна документація, яка містить відомості обчислення координат теодолітного ходу і всі матеріали польових знімань.

Питання для самоперевірки

1. Суть теодолітного знімання.
2. У яких масштабах виконується теодолітне знімання?
3. Що таке зарис? Яких вимог потрібно дотримуватись при складанні зарису?
4. Які елементи ситуації підлягають знімнанню?
5. Дайте характеристику способам теодолітного знімання.
6. Чи потрібно при теодолітному зніманні виміряні віддалі приводити до горизонту?
7. Які особливості знімання будівель?
8. Побудова плану за результатами теодолітного знімання.

3.2. Тахеометричне знімання

1. *Суть та сфери застосування тахеометричного знімання*
2. *Основні формули тахеометричного знімання*
3. *Прилади тахеометричного знімання*
4. *Робота на станції при тахеометричному зніманні*
5. *Обґрунтування вибору масштабу і висот перерізу рельєфу для топографічного знімання*
6. *Виконання топографічного знімання електронними тахеометрами*

3.2.1. Суть та сфери застосування тахеометричного знімання

Тахеометрія – це один з видів топографічного знімання, коли спільно визначають планове і висотне положення точок місцевості. Вимірювання виконуються теодолітами-тахеометрами або електронними тахеометрами.

Суть тахеометричного знімання полягає в тому, що з станції одночасно визначають три просторові координати X , Y , H .

Горизонтальний кут β (рис. 3.8) відрховується за ліббом горизонтального круга ($ГК$), кут нахилу ν визначається за даними знятими з вертикального круга ($ВК$), віддаль D від станцій до рейкової точки вимірюється віддалеміром. Горизонтальну віддаль d і перевищення h обчислюють за відповідними формулами.

Тахеометричне знімання є найбільш розповсюдженим і швидким видом роботи. Це обумовлено тим, що вимірювання виконуються комплексно і одним приладом – тахеометром.

Планове положення пунктів знімальної основи визначається прокладанням теодолітних ходів, геодезичними засічками та ін. Висотне положення знімальних точок визначається геометричним нівелюванням технічної точності або тригонометричним нівелюванням.

Недоліком тахеометричного знімання є те, що виконавець не бачить місцевості при складанні плану. В такому випадку в

камеральних умовах можуть виникати похибки, допущені виконавцем.

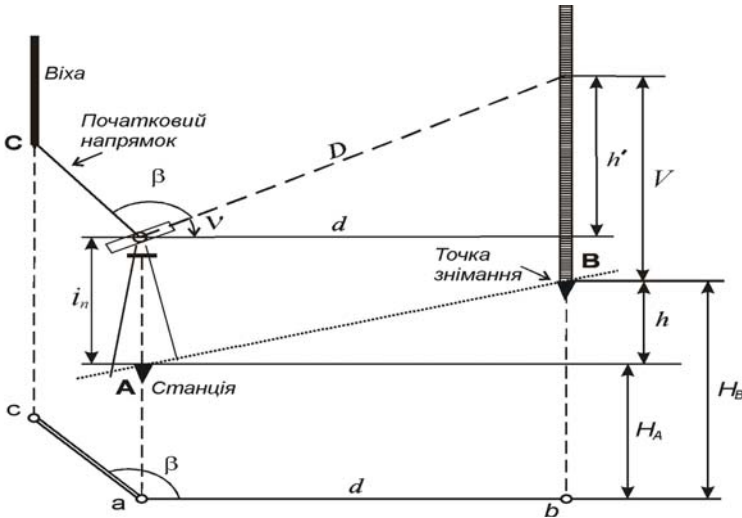


Рис. 3.8. Геометричні елементи тахеометричного знімання

3.2.2. Основні формули тахеометричного знімання

Планове положення рейкової точки (т. *B*, рис. 3.8) визначається полярними координатами β і d , висотне положення визначається за формулою

$$H_B = H_A + h, \quad (3.1)$$

$$h + V = i_n + h', \quad (3.2)$$

$$h = h' + i_n - V, \quad (3.3)$$

де H_A – висота станції;

h – перевищення рейкової точки B над станцією A ;

V – висота наведення на рейку;

i_n – висота приладу;

h' – попереднє перевищення обчислюється за формулою

$$h' = d \operatorname{tg} \nu, \quad (3.4)$$

d – горизонтальна віддаль;

ν – кут нахилу.

Отже, висотне положення точки B можна визначити за формулами

$$H_B = H_A + h' + i_n - V. \quad (3.5)$$

$$H_B = H_A + d \operatorname{tg} v + i_n - V. \quad (3.6)$$

Формула 3.6 – є основною при тахеометричному зніманні.

При вимірюванні віддалі D нитковим віддалеміром формула визначення горизонтальної віддалі буде мати вигляд

$$d = (k l + c) \cos^2 v, \quad (3.7)$$

де $d = D \cos^2 v. \quad (3.8)$

У цьому випадку висотне положення точки B можна визначити за формулою

$$H_B = H_A + D \cos^2 v \operatorname{tg} v + i_n - V, \quad (3.9)$$

$$H_B = H_A + \frac{1}{2} D \sin 2v + i_n - V, \quad (3.10)$$

де $h' = \frac{1}{2} D \sin 2v. \quad (3.11)$

Рівняння 3.10 – основне рівняння тахеометричного знімання.

3.2.3. Прилади тахеометричного знімання

Приладами тахеометричного знімання є *тахеометри*. Це геодезичні прилади, які містять кутомірний та віддалемірно-висотний пристрій, що дозволяє визначати горизонтальну віддаль і перевищення за рейкою або відбивачем без допоміжних операцій. Тахеометри поділяються на електронні та номограмні. Характеристика електронних тахеометрів наведена у темі 8.

Номограмні тахеометри – це прилади, у полі зору зорових труб яких вводяться спеціальні номограми. Це набір кривих, які переміщуються при нахилі зорової труби, при цьому віддаль між кривими вздовж вертикального штриха змінюється. На рис. 3.9 показано поле зору номограмного тахеометра при положенні KL , де, крім вертикальної нитки, можна побачити криві номограми, нанесені на вертикальний круг тахеометра. Крива 2 називається основною і проходить через нуль-пункт

рейки, криві 1 і 3, відповідно визначають горизонтальне прокладання та перевищення.

Горизонтальну віддаль та перевищення обчислюють за формулами

$$d = k_d l_d, \quad (3.12)$$

$$h = k_h l_h, \quad (3.13)$$

де l_d, l_h – відліки, тобто відрізки, що відсікаються на рейці;

k_d, k_h – коефіцієнти відповідних кривих.

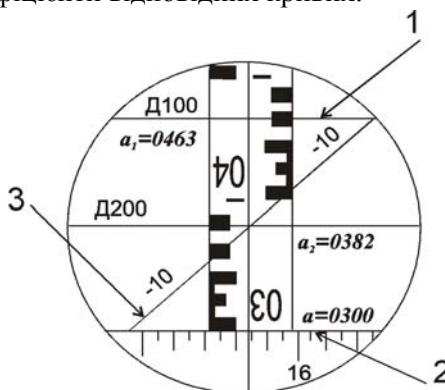


Рис. 3.9. Поле зору номограмного тахеометра

За зображенням на рис. 3.9 можна визначити наступні величини горизонтальної віддалі і перевищення:

$$d = 100 \cdot 163 \text{ мм} = 16300 \text{ мм} = 16.3 \text{ м},$$

$$h = -10 \cdot 82 \text{ мм} = -820 \text{ мм} = -0.82 \text{ м}.$$

Типовим представником номограмних тахеометрів є тахеометр 2ТаН.

У комплект тахеометра входять дві складні рейки з рівнями і розсувними елементами для встановлення початкового індексу рейки на висоту приладу.

3.2.4. Робота на станції тахеометричного знімання

При тахеометричному зніманні вимірювання ситуації і рельєфу може виконуватись одночасно з прокладанням тахеометричних ходів або після того, як вони прокладені.

Роботу на станції тахеометричного знімання можна поділити на такі етапи:

1. Встановлення тахеометра на станції (центрування приладу, приведення його у робочий стан, орієнтування, встановлення зорової труби для спостереження).
2. Виконання висоти приладу i_n .
3. Виконання відліків з вертикального круга для визначення MO .
4. Наведення зорової труби на рейку, яка встановлена на точці (пікеті), що знімається.
5. Виконання відліків: за нитковим віддалеміром для визначення віддалі до пікету; з горизонтального круга для визначення кута між напрямками на пікет та пункт орієнтування горизонтального круга (точку основи); з вертикального круга для визначення кута нахилу.

Всі результати вимірювань записують у журнал та супроводжують веденням зарису.

Робота на станції тахеометричного знімання виконується у двох випадках:

- 1) при побудові знімального обґрунтування, яке будується у вигляді тахеометричних ходів;
- 2) при виконанні топографічного знімання ситуації та рельєфу.

При побудові обґрунтування на задню точку ходу встановлюють рейку. Знімають відліки за далекомірними нитками, а також з вертикального та горизонтального кругів тахеометра. Якщо координати задньої точки відомі і відомий горизонтальний кут на ній між сторонами тахеометричного ходу, то можна визначити координати точки, на якій стоїть прилад. Для визначення координат передньої точки виконують такі ж вимірювання на рейку, як і на задню точку та обчислюють її координати.

3.2.5. Обґрунтування вибору масштабу і висот перерізу рельєфу для топографічного знімання

Перед початком знімання геодезичне обґрунтування необхідно довести до такої щільності, щоб ситуація і рельєф

відповідали необхідній точності зображення на плані. В залежності від масштабу побудови плану мінімальна кількість точок, що знімаються на 1 км^2 , залежить від чіткості або нечіткості контурів (табл. 3.1).

Якщо густина точок одержана при прокладанні теодолітного ходу не відповідає їх кількості, то виконують згущення знімальної мережі. Це можна виконати за допомогою тахеометричних ходів та одиночних ходів. Одиночні ходи опираються на пункти знімальної основи. Для прокладання тахеометричного ходу на кожній станції виконують кутові та лінійні вимірювання.

Таблиця 3.1

Мінімальна кількість точок, що знімаються на 1 км^2

Масштаб	Мінімальна кількість точок			
	чіткі контури		нечіткі контури	
	на 1 км^2	на 1 планшет	на 1 км^2	на 1 планшет
1:5000	22	89	10	40
1:2000	50	50	22	22
1:1000	80	20	36	9
1:500	142	9	64	4

Нормативні параметри тахеометричного знімання наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Нормативні параметри тахеометричного знімання

Масштаб знімання	Висота перерізу рельєфу, <i>м</i>	Максимальна віддаль між пікетами, <i>м</i>	Максимальна віддаль від інструменту до рейки при зніманні рельєфу, <i>м</i>	Максимальна віддаль від інструменту до рейки при зніманні контурів, <i>м</i>
1:500	0.5	15	100	50
	1.0	15	150	60
1:1000	0.5	20	150	80
	1.0	30	200	80
1:2000	0.5	40	200	100
	2.0	50	250	100

3.2.6. Виконання топографічного знімання електронними тахеометрами

Особливістю і перевагою виконання тахеометричного знімання електронним тахеометром є *вільний вибір станції* (рис. 3.10). В реальних умовах завжди існує небезпека втратити пункт мережі. Якраз метод вільного вибору станції дозволяє уникнути такої небезпеки.

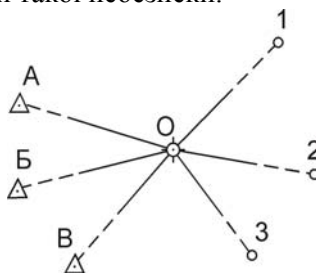


Рис. 3.10. Тахеометричне знімання електронним тахеометром:
А, Б, В – вихідні пункти з відомими координатами X, Y, H;
1, 2, 3 – пікети (рейкові точки);
О – станція (місце встановлення тахеометра)

Електронний тахеометр встановлюється у будь-якій точці за умов видимості мінімум трьох вихідних пунктів. Координати тахеометра визначаються з оберненої засічки (у залежності від польових умов та способів знімання – кутового, лінійного та лінійно-кутового і їх комбінації) безпосередньо у полі. З клавіатури вводяться координати вихідних пунктів. Далі виконується знімання пікетних точок. Перевагою методу вільної станції є:

- тахеометр не центрується;
- обчислення виконуються в полі;
- висока точність робіт та швидкість.

Питання для самоперевірки

1. В чому суть тахеометричного знімання?
2. Яким способом визначають планове положення точок при тахеометричному зніманні?
3. Основні формули тахеометричного знімання.

4. Яку формулу називають основною формулою тахеометричного знімання?
5. Які тахеометри застосовують при тахеометричному зніманні?
6. Що таке номограмний тахеометр? Будова, принцип визначення перевищень та віддалей.
7. Які роботи і в якій послідовності виконуються на станції при тахеометричному зніманні?
8. Обґрунтуйте вибір масштабу та висоти перерізу для топографічного знімання.
9. Що таке електронний тахеометр?
10. Як визначають перевищення та віддалі електронним тахеометром?

3.3. Побудова топографічного плану місцевості

1. *Камеральні роботи при побудові топографічного плану*
2. *Побудова на плані точок знімальної основи, рейкових (пікетних) точок, ситуації та проведення горизонталей*
3. *Позарамкове оформлення топоплану*

3.3.1. Камеральні роботи при побудові топографічного плану

Камеральні роботи при побудові топографічного плану включають наступні етапи:

- перевірка польових журналів та схем знімання;
- обчислення координат і висот точок тахеометричного ходу;
- обчислення у журналах висот усіх точок знімання;
- побудова на плані точок знімальної основи, рейкових (пікетних) точок, ситуації та проведення горизонталей;
- позарамкове оформлення топоплану.

3.3.2. Побудова на плані точок знімальної основи, рейкових (пікетних) точок, ситуації та проведення горизонталей

Роботи по складанню плану виконують в такій послідовності:

1) на аркуші креслярського паперу необхідного розміру викреслюють координатну сітку та підписують її відповідно до значення координат точок теодолітного ходу, згідно заданого масштабу.

2) наносять точки теодолітних ходів за їх прямокутними координатами. Для побудови точки необхідно за її координатами, знайти квадрат сітки, в якому вона буде знаходитись, а потім від південно-західного кута квадрату сітки вздовж його сторін у напрямку осей абсцис та ординат відкласти різниці координат точки і кута квадрата

$$\begin{aligned}\Delta x &= x - x_0; \\ \Delta y &= y - y_0.\end{aligned}\tag{3.14}$$

Аналогічно виконують побудову всіх інших точок теодолітного ходу. Кожну з них наколюють голкою діаметром 0.1 мм і позначають умовним знаком „Точки планових знімальних мереж (тривалого закріплення)”. Ліворуч підписують номер або назву точки, а праворуч – висоту точки до сотих долей метра. Правильність нанесення точок контролюють, порівнюючи віддалі між ними визначені на плані з відповідними горизонтальними прокладаннями;

3) за даними з журналу тахеометричного знімання наносять на план рейкові точки. Для побудови точок центр транспортира суміщають зі станцією, яку приймають за полюс, а 0° транспортира суміщають з вихідним напрямком орієнтування. За дугою геодезичного транспортира відкладають горизонтальні кути за годинниковою стрілкою. В отриманих напрямках від станції відкладають горизонтальні прокладання в масштабі плану, користуючись вимірником і лінійкою поперечного масштабу. З правого боку від точки у вигляді звичайного дробу підписують її номер і висоту (до 0.01 м), взяті з журналу тахеометричного знімання;

4) у відповідності з абрисами (зображення одного з абрисів представлено на рис. 3.11) тахеометричного знімання на план наносять ситуацію, яку викреслюють згідно існуючих умовних знаків;



Рис. 3.11. Абрис на станції 2

5) способом графічного інтерполювання викреслюють на плані горизонталі. При цьому доцільно використовувати палетку (рис. 3.12). Палетка – лист прозорого паперу на якому проведені паралельні лінії з інтервалом 5-10 мм між ними. На кожній лінії палетки підписують значення висоти горизонталі, обов'язково кратне висоті перерізу рельєфу.

Накладають палетку на лінію, за якою виконується інтерполювання, і задають їй такий поворот, щоб точки з відомими висотами розташовувались між паралельними лініями відповідно до значень своїх висот (на рис. 3.12 – точки 1 і 2). Переколюють на план точки перетину ліній палетки з лінією інтерполювання та підписують олівцем їх висоти. Аналогічні операції виконують за іншими лініями. Точки з однаковими висотами з'єднують плавними кривими і отримують горизонталі.

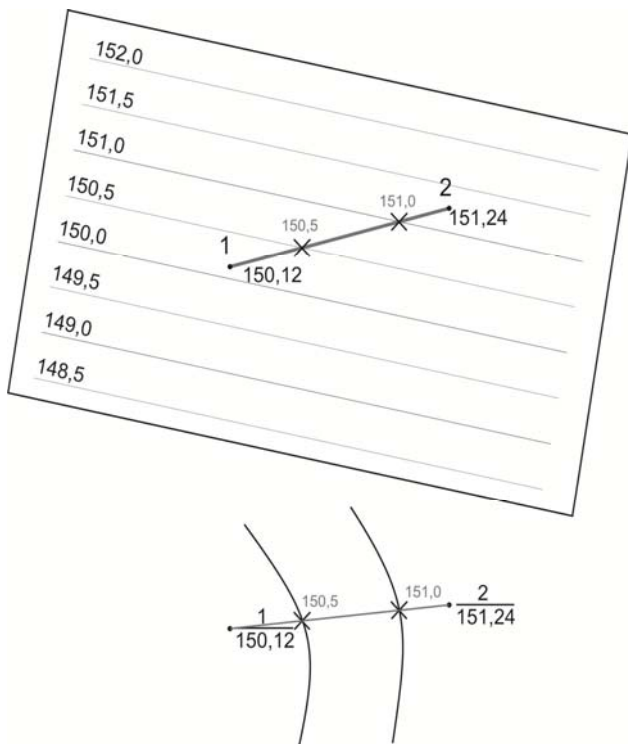


Рис. 3.12. Графічне інтерполювання за допомогою палетки

Основні горизонталі повинні мати товщину 0.12-0.15 мм, а потовщені – 0.25-0.30 мм. Крім того всі потовщені горизонталі мають бути підписані (верх цифр повинен бути направлений в бік підвищення місцевості). На характерних вигинах горизонталей викреслюють бергштрихи – короткі штрихи, які показують напрямок схилу;

б) виконують редагування плану, яке полягає у видаленні зайвих підписів точок в місцях їх скупчення і там, де вони заважають ситуації. Ситуацію, рельєф та позарамкове оформлення плану викреслюють згідно умовних знаків. Умовні знаки та шрифти написів за характером викреслювання та розмірами повинні відповідати умовним знакам та зразкам шрифтів, встановлених для планів даного масштабу. Приклад

оформлення фрагменту топографічного плану за матеріалами тахеометричного знімання наведено на рис. 3.13.

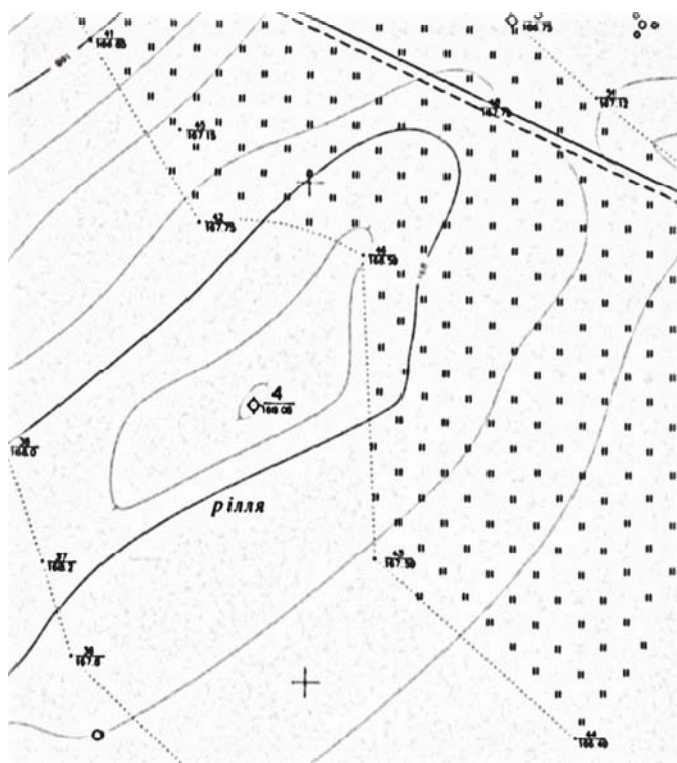


Рис. 3.13. Фрагмент топографічного плану за матеріалами тахеометричного знімання

3.3.4. Позарамкове оформлення топоплану

Позарамкове оформлення карти (плану) – це сукупність даних, які розташовуються за зовнішньою рамкою карти для полегшення користування нею. Усі сторони рамки аркушів карт зображають прямими лініями. У заголовку аркуша робиться надпис найбільшого населеного пункту з числа тих, що зображені на карті. У випадках, коли на території, що зображена

на карті, немає населених пунктів, у заголовку розташовують назву іншого важливого об'єкта – великого озера, гори тощо.

Над рамкою ліворуч вказують політико-адміністративну приналежність території, яка зображена на плані; праворуч над рамкою – гриф, номенклатуру та рік видання. Зі східної сторони рамки аркуша карти, за необхідності, можна розташовувати інші відомості (про геодезичну основу, прохідність місцевості тощо), а також додаткові умовні знаки, що не передбачені таблицями умовних знаків.

Під нижньою стороною (південною) рамки карти (плану) ліворуч наводять дані про схилення магнітної стрілки, зближення меридіанів та поправки в напрям. Крім легенди про схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів визначена величина магнітного схилення на рік видання карти наведена величина його річної зміни та схематичний рисунок з поправкою у дирекційний кут. Усі зазначені величини подані як у градусній мірі, так і в поділках кутоміра.

Посередині під південною рамкою розміщують числовий та лінійний масштаби, зазначають величину масштабу та висоту основного перерізу рельєфу. Для визначення стрімкості схилу правіше надрукована шкала закладення.

Праворуч під рамкою в текстовій формі надані дані про час знімання, спосіб складання та матеріали, які були використані як під час складання, так і під час оновлення картографічного матеріалу.

У розриві північної зовнішньої лінії рамки праворуч (під шифром номенклатури) розташовують надпис – *Стан місцевості на 20 ... р.*

Питання для самоперевірки

1. Які камеральні роботи виконують при складанні топографічного плану?
2. Послідовність робіт при побудові плану.
3. Побудова рельєфу на плані.
4. Що таке палетка?
5. Охарактеризуйте позарамкове оформлення плану.

3.4. Окомірне знімання та барометричне нівелювання

1. *Суть окомірного знімання*
2. *Інструменти та приладдя для окомірного знімання*
3. *Визначення віддалей під час окомірного знімання*
4. *Методика виконання окомірного знімання*
5. *Загальні основи барометричного нівелювання*
6. *Прилади барометричного нівелювання*

3.4.1. Суть окомірного знімання

Окомірне знімання місцевості – це знімання, при якому застосовуються найпростіші прилади. Результат цього знімання використовують для поповнення та редагування застарілих карт. Воно дає можливість отримати за короткий час наближений план місцевості.

При окомірному зніманні віддалі оцінюють на око, кроками або найпростішими приладами. Кути визначають графічним способом. Це знімання є кутонарисним. Існує площинне окомірне знімання та маршрутне знімання.

3.4.2. Інструменти та приладдя для окомірної знімання

Для окомірного знімання застосовують:

- 1) планшет з прикріпленим на ньому креслярським папером. На папері можуть бути нанесені координатна сітка у заданому масштабі, пункти геодезичної основи. Планшет тримають у руках або ж кладуть на спеціальний штатив;
- 2) компас – для орієнтування планшета на місцевості;
- 3) крокомір – служить для підрахунку кроків;
- 4) екліметр – служить для визначення крутизни схилу;
- 5) візирна лінійка – для візування і накреслення напрямку, відкладання віддалей;
- 6) вимірювач – призначений для відкладання віддалей у заданому напрямку при вимірюванні її кроками.

3.4.3. Визначення віддалей під час окомірного знімання

При визначенні віддалі кроками попередньо встановлюють довжину кроку і будують кроковий масштаб. Це

робиться за допомогою підрахунку кількості кроків, які поміщаються у 100 м. 100 м відповідає приблизно 66 кроків. Відрізок 100 м на місцевості складає на карті 10 мм (1 см). Отже, 100 крокам відповідає віддаль 15 мм. Далі будують лінійний масштаб, основою якого є відрізки довжиною 15 мм. Тут потрібно враховувати, що при підніманні вгору чи сходженні вниз кроки стають меншими.

3.4.4. Методика виконання окомірною знімання

Робота на станції при окомірному зніманні включає наступні дії:

а) приведення планшета у горизонтальне положення на око (розміщують планшет над точкою геодезичної основи);

б) орієнтування планшета на місцевості за допомогою компаса. При цьому враховується поправка ($\delta - \gamma$), де δ – магнітне схилення; γ – зближення меридіанів;

в) вибір напрямку ходу за будь-яким помітним на місцевості орієнтиром – дерево, вершина гори і т. д. За допомогою лінійки накреслюють напрям обходу. Будують ситуацію навколо станції та рельєф за допомогою горизонталей. Напрямок схилів показують стрілками.

Далі планшет переносять на іншу станцію і виконують вищенаведені дії. Лінійна нев'язка не повинна перевищувати 1/50.

3.4.5. Загальні основи барометричного нівелювання

У випадку, коли потрібно швидко визначити висоти точок, які розміщені на значних віддальях одна від одної, особливо у гірській місцевості, застосовують барометричне нівелювання. Його перевагою є необов'язковість видимості між точками. Точність становить 0.5-1 м у рівнинній місцевості, 1.0-2.5 м у передгірських і гірських районах.

В основу барометричного нівелювання закладена залежність атмосферного тиску від висоти над рівнем моря.

Повна барометрична формула має вигляд

$$h = 18428(1 + \alpha \cdot \bar{t})(1 + 0.378 \frac{\bar{e}}{\bar{P}})(1 + 0.002642 \cos 2\bar{\varphi})(1 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot \bar{H}) \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad (3.15)$$

де $\alpha = \frac{1}{273}$ – коефіцієнт об'ємного розширення повітря;

\bar{e} – середній парціальний тиск водяної пари;

\bar{P} – середній атмосферний тиск;

P_1, P_2 – величини атмосферного тиску на точках, перевищення між якими визначається;

$\bar{\varphi}$ – середня широта місця спостереження.

Нехтуючи впливом вологості повітря і прийнявши для території України $\bar{\varphi} = 49^\circ$, $\bar{H} = 150$ м отримаємо

$$h = 16000 \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} (1 + \alpha \cdot \bar{t}) - \text{формула Бабіне.} \quad (3.16)$$

3.4.6. Прилади барометричного нівелювання

Для вимірювання атмосферного тиску використовуються прилади:

- а) рідинні;
- б) газові;
- в) барометри-анероїди;
- г) гіпсотермометри.

Барометри-анероїди вимірюють тиск атмосфери шляхом зрівноваження його силами пружності пружини. Зовнішній тиск атмосфери значно перевищує тиск коробки, яка є основною частиною пружинного барометра і прагне її здавити. Пружини – тонкостінні гофровані мембрани, що знаходяться у цій коробці, наповненій інертним газом – не дають зробити цього. При зміні тиску коробка деформується, натягуючи пружину, до якої прикріплений відліковий шкаловий механізм, з якого знімають відлік P_o .

Атмосферний тиск обчислюють за формулою

$$P = P_o + \Delta_u + \Delta_t + \Delta_\delta, \quad (3.17)$$

де Δ_u – шкалова поправка;

Δ_t – температурна поправка;

Δ_δ – додаткова поправка.

Значення поправок наведені у паспорті приладу.

Для вимірювання температури застосовують:

- *термометр-прац ТМ-8*. Це ртутний термометр з діапазоном вимірювання від -36° до $+50^\circ\text{C}$. Вимірювання виконують шляхом обертання цього термометра над головою в площині, паралельній поверхні з швидкістю 1-2 *об/сек* (не менше 100 разів);

- *аспіраційний психрометр* – одночасно визначає температуру і вологість повітря.

Питання для самоперевірки

1. В чому суть окомірного знімання?
2. Виконання окомірного знімання.
3. Що таке барометричне нівелювання?
4. Які прилади застосовуються при барометричному нівелювання?
5. Які основні формули барометричного нівелювання?
6. Виконання барометричного нівелювання і обчислення висот точок.

3.5. Оцінка точності результатів геодезичних вимірювань

1. *Види вимірів і класифікація похибок*
2. *Властивості випадкових похибок*
3. *Принцип арифметичної середини*
4. *Середня квадратична похибка одного вимірювання*
5. *Відносна похибка*
6. *Нерівноточні вимірювання, їх ваги та оцінка точності*

3.5.1. Види вимірів і класифікація похибок

Під вимірюванням деякої фізичної величини розуміють порівняння її з іншою фізичною величиною такого ж роду, яку прийнято за одиницю вимірювань.

Вимірювання поділяють:

а) за фізичним виконанням – на прями (безпосередні) і посередні;

б) за кількістю – на необхідні і додаткові;

в) за точністю – на рівноточні та нерівноточні;

г) за умовами вимірювань – на незалежні та залежні.

Будь-які вимірювання супроводжуються похибками. Під похибкою σ результату вимірювань l деякої величини L розуміють різницю

$$\sigma = l - L. \quad (3.18)$$

Говорять: «Те, що є, мінус те, що має бути». Теорія похибок відіграє велику роль в геодезичних роботах. Вона вивчає причини виникнення і закони похибок спостережень та їх властивості.

Основні задачі теорії похибок такі:

1. Вивчення законів розподілу похибок спостережень.
2. Оцінка точності безпосередньо виконаних результатів спостережень та їх функція.
3. Знаходження найбільш надійного значення величини, яку треба визначити, і характеристики її точності.
4. Встановлення допусків, які обмежують використання результатів спостережень в заданих межах точності.

Похибки поділяються на грубі, систематичні і випадкові.

Грубі – це промахи. Систематичні – це такі, що виходять від деякого джерела і мають певний знак і величину. Випадкові похибки – це величини, які за знаком або величиною повторюються при безмежності вимірювань. Вони проявляються або не проявляються, можуть бути більшими і меншими, додатними або від’ємними.

3.5.2. Властивості випадкових похибок

В теорії похибок приймаються два постулати:

а) на похибки σ розповсюджується нормальний закон розподілу;

б) середнє арифметичне випадкових похибок при $n \rightarrow \infty$ (n – число вимірювань) дорівнює нулеві.

Виходячи з цього, випадкові похибки мають такі властивості:

1. Випадкові похибки за абсолютною величиною не можуть перевищувати відповідної величини.

2. Додатні і від'ємні похибки – рівноможливі.

3. Середнє арифметичне із значень випадкових похибок при безмежному зростанні числа спостережень має границею число нуль

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} = 0. \quad (3.19)$$

4. Малі за абсолютною величиною випадкові похибки зустрічаються частіше, ніж великі.

3.5.3. Принцип арифметичної середини

Нехай деяку величину L міряють n разів. Вимірювання рівноточні: $l_1, l_2, l_3, l_4 \dots l_n$.

Тоді

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= l_1 - L; \\ \sigma_2 &= l_2 - L; \\ \sigma_n &= l_n - L. \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} - L, \quad (3.21)$$

якщо $n \rightarrow \infty$, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} = L. \quad (3.22)$$

Границя середнього арифметичного при безмежному зростанні кількості вимірювань однієї і тієї ж величини прямує до істинного значення. Але кількість вимірів завжди обмежена, тому має місце вираз

$$\frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} - L = \varepsilon, \quad (3.23)$$

де ε – мала величина, яка має границею число нуль при $n \rightarrow \infty$.

Якщо позначити $\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}$, то кажуть, що \bar{l} – середнє

арифметичне з однаково точних вимірів і воно є найбільш надійним значенням вимірюваної величини.

3.5.4. Середня квадратична похибка одного вимірювання

Для оцінки точності необхідно встановити такий критерій, який не залежав би від знаків окремих похибок і на якому було б чіткіше відображено наявність порівняно великих окремих похибок.

Таким вимогам задовольняє запропонована Гауссом середньоквадратична похибка

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}}, \quad (3.24)$$

де Δ – істинна похибка.

Істинна похибка, як правило, є невідомою, тому середньоквадратичну похибку обчислюють за відхиленнями \mathcal{G}_i окремих результатів l_i від середнього арифметичного

$$m = \sqrt{\frac{\sum \mathcal{G}_i^2}{n-1}} - \text{формула Бесселя.} \quad (3.25)$$

Гранична

$$\Delta l_{i,gr} = 3m. \quad (3.26)$$

3.5.5. Відносна похибка

Оцінку точності виміряних величин дуже часто виконують за допомогою відносної похибки. Відносною похибкою називається відношення абсолютної похибки до значення вимірюваної величини. Вона завжди записується у вигляді дробу, чисельник якої – абсолютна похибка, знаменник – виміряне значення даної величини.

3.5.6. Нерівноточні вимірювання, їх ваги та оцінка точності

Вимірювання, що виконують в умовах, при яких результати не можна рахувати однаково надійними, називають *нерівноточними*.

Ступінь довіри до результату виміру називають *вагою* цього результату. Чим більш надійний результат, тим більша його вага.

Вага обернено пропорційна до середньоквадратичної похибки

$$p = \frac{c}{m^2}. \quad (3.27)$$

Середньо вагове значення результатів вимірювань дорівнює

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad (3.28)$$

де $p_i = \frac{\mu^2}{m_i^2}$.

μ – середньоквадратична похибка вирівнювання, вага якого дорівнює

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{\sum p}}. \quad (3.29)$$

Питання для самоперевірки

1. Які види помилок ви знаєте?
2. Властивості випадкових величин.
3. Що таке абсолютна і відносна помилки вимірів?
4. Що таке середньоквадратична помилка вимірів?
5. Чому дорівнює середньоквадратична помилка середнього значення?
6. Що таке вага вимірів?

Тестова програма

1. Еліпсоїд Красовського – це:
 - геоїд;
 - сфера;
 - референц-еліпсоїд;
 - квазі-геоїд;
 - куля.
2. Рівневу поверхню реального потенціалу сили ваги, що збігається з незбуреним середнім рівнем океану, уявно продовжена під материками так, щоб напрями прямовисних ліній перетинали її завжди під прямим кутом називають:
 - земною сферою;
 - топографічною поверхнею;
 - геоїдом;
 - січною поверхнею;
 - еліпсоїдом.
3. У якій системі координат положення точки визначається перетином меридіана та паралелі?
 - плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера;
 - Балтійській;
 - географічній;
 - умовній;
 - полярній.
4. Паралель характеризується:
 - географічною широтою;
 - напрямком нормалі;
 - географічною довготою;
 - зближенням меридіанів;
 - схиленням магнітної стрілки.

5. Двогранний кут, утворений площиною початкового меридіану та площиною меридіана, який проходить через дану точку називають:

- кутом засічки;
- географічною широтою;
- полярним стисненням;
- астрономічною широтою;
- географічною довготою.

6. В проекції Гаусса-Крюгера поверхня еліпсоїда поділяється меридіанними площинами на зони:

- 2° або 4°
- 3° або 6°
- 4° або 8°
- 5° або 10°
- 10° або 20°

7. Для картографування в Україні прийнята:

- поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера;
- конічна проекція Бесселя;
- ортогональна проекція;
- великомасштабна проекція;
- нормальна проекція.

8. Значення абсцис (X) для території України у системі плоских прямокутних координат можуть бути:

- додатними та від'ємними;
- лише додатними;
- лише від'ємними;
- від 0° до 180° ;
- від 0° до 90° .

9. Початком відліку широт у географічній системі координат є:

- осьовий меридіан
- північний полюс

- екватор
- Грінвіч
- південний полюс

10. Висотою точки на поверхні називають:

- віддаль за прямовисною лінією між рівневою поверхнею, на якій знаходиться точка та рівневою поверхнею, яку обрано за початок відліку висот
- віддаль між поверхнями геоїда та еліпсоїда
- перевищення між двома точками місцевості
- кут між радіусом-вектором з центра сфери до даної точки і площиною екватора
- віддаль за прямовисною лінією між рівневою поверхнею, на якій знаходиться точка та візирною віссю приладу

11. В Україні визначення висот виконується від

- поверхні світового океану
- географічного центру Європи
- нуля Кронштадського футштока на березі Балтійського моря
- початку географічної системи координат
- екватора

12. Профіль місцевості:

- зменшене зображення вертикального розрізу земної поверхні
- зменшене узагальнене і побудоване за відповідними математичними законами зображення ділянок земної поверхні на площині з урахування сферичності землі
- зменшене і подібне зображення горизонтальних проєкцій контурів та форм рельєфу без урахування сферичності землі
- схематичний рисунок місцевості
- журнал технічного нівелювання

13. Висоти точок місцевості можуть бути:
- точними та неточними
 - необхідними та достатніми
 - геометричними та тригонометричними
 - абсолютними та відносними
 - правильними та неправильними
14. Вісь абсцис (X) в системі плоских прямокутних координат направлена на:
- північ
 - південь
 - схід
 - захід
 - північ – схід
15. Вісь ординат (Y) в системі плоских прямокутних координат направлена на:
- північ
 - південь
 - схід
 - захід
 - північ – схід
16. Нівелювання похилим променем візування називається:
- геометричним
 - тригонометричним
 - барометричним
 - гідростатичним
 - стереофотограмметричним
17. Геометричне нівелювання – це:
- метод вимірювання перевищень за допомогою простих геометричних фігур

- метод визначення висот точок за допомогою горизонтального візирного променя зорової труби
 - метод вимірювання перевищень за допомогою горизонтального візирного променя зорової труби
 - метод вимірювання перевищень за допомогою похилого променя візування
 - метод визначення висот точок через горизонт приладу
18. Перевищення між двома точками при геометричному нівелюванні визначається за допомогою горизонтального променя, що створює прилад, який називають:
- теодолітом
 - екером
 - нівеліром
 - планіметром
 - тахеометр
19. Розрізняють наступні способи геометричного нівелювання:
- нівелювання з середини та нівелювання ззовні
 - нівелювання з середини та нівелювання через перешкоди
 - нівелювання вперед та нівелювання назад
 - нівелювання вперед та нівелювання з середини
20. Основні способи визначення висот точок:
- механічний
 - через перевищення або горизонт приладу
 - через перешкоду
 - Гаусса
 - наближений
21. Як називається поправка, яку вводять в перевищення при нівелюванні на великих віддальх?
- за компарування

- за ухил місцевості
 - за кривину Землі
 - висотна нев'язка
 - за інфляцію
22. Перевірка круглого рівня нівеліра полягає у перевірці умови:
- вісь круглого рівня повинна бути паралельною до візирної осі зорової труби
 - вісь круглого рівня повинна бути перпендикулярною до візирної осі труби
 - вісь круглого рівня повинна бути паралельною до осі обертання нівеліра
 - вісь круглого рівня повинна бути перпендикулярною до осі обертання нівеліра
 - вісь круглого рівня повинна бути паралельною до осі циліндричного рівня
23. Перевірка циліндричного рівня нівеліра полягає у перевірці умови:
- вісь циліндричного рівня повинна бути паралельною до візирної осі зорової труби
 - вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною до візирної осі труби
 - вісь циліндричного рівня повинна бути паралельною до осі обертання нівеліра
 - вісь круглого рівня повинна бути паралельною до осі циліндричного рівня
 - вісь циліндричного рівня має бути горизонтальною

24. Як називається перевірка, яка виконується наведенням зорової труби на висок розміщений на віддалі 10-15 м від нівеліра?

- перевірка головної умови нівеліра з циліндричним рівнем
- перевірка круглого рівня нівеліра
- перевірка сітки ниток
- перевірка стійкості приладу
- перевірка справності піднімальних гвинтів

25. Формула $f_{\text{дон}} = \delta\sqrt{L}$ використовується для визначення:

- допустимої висотної нев'язки
- поправки у перевищення за рахунок кривини Землі
- поправки за рефракцію
- поправки в довжину лінії за температуру навколишнього середовища
- висотної нев'язки у нівелірному ході

26. В Україні будують нівелірні мережі:

- I, II, III, IV класів
- II, III, IV, V класів
- III, IV, V, IV класів
- I, III, IV, V класів
- I-X класів

27. Пункти нівелювання на місцевості закріплюють:

- віхами
- штативами
- нівелірними рейками
- нівелірними знаками
- будь-якими зручними предметами

28. При технічному нівелювання відліки знімають:

- тільки з середньої та задньої рейок
 - з задньої, передньої та проміжної рейок
 - з задньої, передньої та середньої рейок
 - з передньої та середньої рейок
 - з передньої та проміжної
29. Знаходять перевищення між точками ходу як різницю відліків:
- за задньою та передньою рейками
 - за задньою та проміжною рейками
 - за передньою та проміжною рейками
 - за проміжними рейками
 - за будь-якими рейками
30. При технічному нівелюванні різниця між перевищеннями визначеними за чорними та червоними сторонами не повинна перевищувати:
- ± 10 мм
 - ± 4 мм
 - ± 8 мм
 - $- 10$ мм
 - $+ 50$ мм
31. Під нівелюванням розуміють польові вимірювальні роботи в результаті яких визначають:
- перевищень між окремими точками з наступним обчисленням їх висот
 - висоти окремих точок
 - висоти пікетних точок
 - відстані між точками
 - відстані між пікетними точками та визначають їх висоти
32. Відміткою точки називається:
- географічна широта точки
 - координата абсцис точки

- координата ординат точки
 - абсолютна висота точки
 - геодезична довгота точки
33. Горизонтальний штрих візирної сітки ниток повинен бути ... (оберіть з наведених відповідей правильний варіант) ... до осі обертання нівеліра:
- перпендикулярним
 - паралельним
 - правильним
 - точним
 - рухомим
34. Віддаль від рівневої поверхні до візирної осі нівеліра – це:
- горизонтальне прокладання
 - перевищення
 - відносна висота
 - абсолютна висота
 - горизонт приладу
35. Формула $\sum h_{np.} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n$ – це обчислення:
- практичної суми середніх перевищень
 - теоретичної суми перевищень
 - практичної нев'язки
 - допустимої нев'язки
 - висоти
36. $\sum h_{теор.} = 0$ – це:
- практична суми середніх перевищень в нівелірному ході
 - теоретична суми перевищень в замкненому нівелірному ході
 - нев'язка в ході
 - допустима нев'язка нівелірного ходу

- теоретична суми перевищень в розмірному нівелірному ході
37. План траси – це:
- вертикальний розріз за проектною лінією
 - проекція траси на горизонтальну площину
 - схематичний рисунок траси на карті
 - вертикальний розріз земної поверхні у певному напрямку
 - проекція траси на вертикальну площину
38. Якщо траса визначається за топопланами, аерофотоматеріалами та цифровими моделями місцевості, то трасування називають:
- польовим
 - технічним
 - камеральним
 - геодезичним
 - схематичним
39. $f_{h_{дон.}} = 30 \div 70 \text{ мм} \cdot \sqrt{L}$ – формула обчислення:
- практичної суми допустимих середніх перевищень в нівелірному ході
 - теоретичної суми перевищень в замкненому нівелірному ході
 - нев'язки в ході
 - допустимої нев'язки нівелірного ходу
 - поправок у перевищення нівелірного ходу
40. Висоти точок при нівелюванні за квадратами визначаються як:
- різниця між відліком з рейки на репері та відліками на вершинах квадратів
 - різниця між горизонтом приладу на станції та відліками за чорними боками рейок на вершинах квадратів
 - різниця між горизонтом приладу на станції та висотою приладу

- різниця між висотою приладу на станції та відліками на вершинах квадратів
- різниця між горизонтом приладу та рівневою поверхнею

41. Результатом вирівнювання нівелірного ходу є:

- виправлені перевищення, які виконують умову $\Sigma h_{\text{вимір.}} = \Sigma h_{\text{теор.}}$
- визначені поправки до перевищень
- виправлені перевищення, які виконують умову $\Sigma Z = \Sigma \Pi$
- визначені перевищення між проміжними точками
- уточнені висоти реперів

42. Лінія нульових робіт відділяє:

- виїмку від насипу
- проектні відмітки від фактичних
- проектні відмітки від робочих
- фактичні відмітки від робочих
- насип від проектної відмітки

43. Формула $i = \frac{H_K - H_{\Pi}}{d}$ використовується для визначення:

- проектних висот
- висот поверхні Землі
- перевищень між пікетами
- ухилу траси
- висот реперів

44. Контурне знімання місцевості, у результаті якого отримують план місцевості без зображення рельєфу називається:

- теодолітним
- тахеометричним

- барометричним
 - аналітичним
 - окомірним
45. Вид топографічної зйомки, у якому спільно визначають планове і висотне положення точок місцевості це:
- кадастрове знімання місцевості
 - теодолітне знімання
 - топографічне знімання
 - нівелювання поверхні Землі
 - геодезичне впорядкування території
46. Теодолітне знімання виконується такими способами:
- нечітких множин та найменших квадратів
 - Гаусса-Крюгера
 - перпендикулярів, полярним, лінійних та кутових засічок
 - з середини, вперед та в оберненому напрямку
 - фізичним та математичним
47. Теодолітне знімання виконують у масштабах:
- 1:500, 1:1000, 1:2000
 - 1:10000, 1:25000
 - 1:50000, 1:100000
 - 1:10000-1:100000
 - 1:1000000
48. При теодолітному зніманні виміряну віддаль приводять до горизонту у випадку, коли величина кута нахилу місцевості у даному напрямку є:
- від 1° до 2°
 - від 0° до 2°
 - від 0° до 1°
 - більшою 2°
 - меншою 2°

49. Горизонтальні проєкції виміряних довжин при теодолітному зніманні обчислюють за формулою:

- $d = D \cdot \cos^2 v$
- $d = D \cdot \cos v$
- $d = k \cdot n$
- $d = D \cdot \sin v$
- $d = D \cdot \sin^2 v$

50. Тахеометричне знімання – це:

- вид топографічної зйомки, у якому спільно визначають планове і висотне положення точок місцевості
- контурне знімання місцевості, у результаті якого отримують план місцевості без зображення рельєфу
- способи вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів
- знімання місцевості, у якій горизонтальні кути не вимірюються, а одержуються шляхом графічних побудов
- окомірне знімання місцевості

51. Основне рівняння тахеометричного знімання –

- $H_B = H_A + i_n - V$
- $H_B = H_A + D \cos^2 v + i_n - V$
- $H_B = H_A + \frac{1}{2} D \sin 2v + i_n - V$
- $H_B = H_A + \frac{1}{2} D \cos 2v + i_n - V$
- $H_B = H_A - i_n + V$

52. Суть тахеометричного знімання полягає в тому,

- що з станції одночасно визначають три просторові координати X, Y, H

- що з станції одночасно визначають дві планові координати X, Y
- визначається тільки висотне положення точок місцевості
- що робота виконується в умовній системі координат
- що положення не контурних точок місцевості визначається наближено

53. Для розв'язку лінійної засічки використовують:

- спосіб Баландіна
- спосіб Юнга
- спосіб прямокутних координат
- спосіб кутів
- спосіб наближень

54. Для розв'язку оберненої кутової засічки використовують:

- спосіб Баландіна
- спосіб Юнга
- спосіб прямокутних координат
- спосіб Потенота
- спосіб наближень

55. Головна умова перевірки місця нуля (МО) вертикального круга теодоліта:

- МО повинно бути постійним
- МО може змінюватися в залежності від місця проведення геодезичних робіт
- МО має бути рівним величині колімаційної похибки
- МО ніколи не буває від'ємним
- МО залежить від погодних умов

56. Яка з наведених величин може набувати тільки додатних значень?

- Висота наведення

- Попереднє перевищення
 - Кінцеве перевищення
 - Кут нахилу
 - Місце нуля вертикального круга
57. Найбільш надійним значенням вимірюваної величини з рівноточних вимірів є:
- середнє арифметичне значення
 - мінімальне значення
 - максимальне значення
 - будь-яке значення з сукупності вимірів
58. Ступінь довіри до результату виміру називають:
- вагою цього результату
 - середньо арифметичним значенням
 - середньоквадратичною похибкою
 - надійним значенням
 - відносною похибкою
59. Відношення абсолютної похибки до значення вимірюваної величини називається:
- відносною похибкою
 - середньоквадратичною похибкою
 - вагою результату
 - надійним значенням
 - наближеним значенням
60. Вкажіть висоту горизонталі, яка пройде між точками з висотами: $H_a=332.5$ м та $H_b=341.82$ м. Січення рельєфу – 10 м.
- 340 м
 - 330 м
 - 335 м
 - 337 м
 - 345 м

61. Вкажіть висоту горизонталі, яка не пройде між точками з висотами: $H_a=332.5$ м та $H_b=341.82$ м. Січення рельєфу – 2 м.

- 334 м
- 336 м
- 338 м
- 340 м
- 342 м

62. У формулі $H_B=H_A+h$, яка використовується при тахеометричному зніманні, величина « H_A » – це:

- висота станції
- висота точки твердого контуру
- перевищення між станціями в ході
- висота рейкової точки
- горизонтальна проекція

63. Теодоліт – це:

- кутонарисний прилад
- кутомірний прилад
- прилад для визначення площ
- найпростіший лінійний прилад
- літальний пристрій

64. За точністю теодоліти поділяють на:

- астрономічні та автоколімаційні
- високоточні, середньої точності та неточні
- високоточні, точні, технічні
- Т30, 2Т30П, Т15, Т60
- точні та не дуже точні

65. Величину горизонтального кута знаходять, як різницю:

- відліків з горизонтального круга на праву і ліву точки візування

- відліків з горизонтального круга на ліву і праву точки візування
- середнього відліку з горизонтального круга і праву точку
- відліків з вертикального круга на праву і ліву точки візування
- дирекційного кута та азимута

66. До лінійних механічних приладів належать:

- світловіддалеміри, радіовіддалеміри
- мірні стрічки та рулетки
- нівеліри
- теодоліти
- тахеометри

67. Коефіцієнт віддалеміра рівний:

- 10
- 50
- 100
- 150
- 1000

68. Тахеометр – це:

- кутомірний та віддалемірно - висотний прилад
- тільки кутомірний прилад
- тільки віддалемірний прилад
- кутомірний та віддалемірний прилад
- висотний прилад

69. Метод побудови планових опорних геодезичних мереж у вигляді трикутників, у яких вимірюють всі кути називається:

- прямокутних координат
- полігонометрія
- тахеометрія
- триангуляція
- Гаусса

70. Метод побудови планових опорних геодезичних мереж у вигляді трикутників, у яких вимірюють всі сторони називається:

- полігонометрія
- трилатерація
- тахеометрія
- триангуляція
- створів

71. Вид топографічної зйомки місцевості, у якому спільно визначають планове і висотне положення точок називається:

- кадастровим зніманням місцевості
- теодолітним зніманням
- тахеометричним зніманням
- нівелюванням поверхні Землі
- геодезичним впорядкуванням території

72. Формули Юнга та Гаусса застосовують при розв'язку:

- прямої кутової засічки
- просторово-часової засічки
- зворотної кутової засічки
- лінійної засічки
- прямої геодезичної задачі

73. У формулі $h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i_n - V$ величина « V » – це:

- горизонт приладу
- висота приладу
- кут нахилу
- висота наведення
- висота рейки

74. Які з наведених груп способів відносяться до способів вимірювання горизонтальних кутів?

- аналітичний, графічний, механічний
- перпендикулярів, створний, засічок

- одноденний, дводенний
- прийомів, кругових прийомів, повторень
- частотний, фазовий, часовий

75. Колімаційна площина – це:

- горизонтальна вісь обертання зорової труби
- площина вертикального круга
- площина, яку описує візирна вісь, коли вона перпендикулярна до горизонтальної осі обертання зорової труби
- горизонтальна площина кутомірного променя
- площина горизонтального круга

76. Умова перевірки положення колімаційної площини:

- візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярна до горизонтальної осі обертання зорової труби
- вертикальна вісь обертання теодоліта повинна бути перпендикулярна до горизонтальної осі обертання зорової труби
- візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярна до горизонтальної осі циліндричного рівня
- вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярна до візирної осі зорової труби
- такої умови не існує

77. Формула приведення похилої лінії до горизонту при тригонометричному нівелюванні має вигляд:

- $d = D \cdot \cos^2 \nu$
- $d = D \cdot \cos \nu$
- $d = \kappa \cdot n$
- $d = D \cdot \sin \nu$
- $d = D \cdot \sin^2 \nu$

78. До оптичних віддалемірних приладів належать:

- світловіддалеміри, радіовіддалеміри

- мірні стрічки, рулетки
- інварні дроти
- нівеліри
- лінійки

79. Суть прямої геодезичної задачі:

- знайти горизонтальне прокладання і дирекційний кут даної лінії за заданими координатами початкової і кінцевої точок цієї лінії
- знайти координатами початкової і кінцевої точок за заданими горизонтальним прокладанням і дирекційним кутом даної лінії
- знайти прямий та зворотній дирекційні кути лінії за заданими координатами початкової і кінцевої точок цієї лінії
- знайти координати другої точки лінії за заданими координатами першої точки, горизонтальною віддаллю і дирекційним кутом цієї лінії
- знайти горизонтальне прокладання за заданими координатами початкової і кінцевої точок лінії

80. Як називається засічка, у результаті розв'язку якої отримують координати невідомої точки, яка вставляється в опорну мережу за умови, що відомими є координати двох пунктів цієї мережі та виміряні віддалі від них до шуканої точки?

- пряма кутова
- лінійна
- обернена кутова
- полярна
- тривимірна

81. Абсолютну лінійну нев'язку теодолітного ходу обчислюють за формулою:

- $$f = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2}$$

- $$f = \frac{-f_{\Delta x}}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i$$

- $$f = \sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим.}} - 180^\circ(n - 2)$$

- $$f = \sum_{i=1}^n h_{i \text{ сеп.}} - \sum h_{\text{теор.}}$$

- $$f = \sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим.}} + 180^\circ(n - 2)$$

82. Для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів застосовують прилад, який називають:

- нівеліром
- планіметром
- теодолітом
- мірною стрічкою
- компасом

83. Якої осі у теодоліта не існує?

- осі обертання
- горизонтальної осі обертання зорової труби
- осі циліндричного рівня
- осі візування (візирної осі)
- вертикальної осі обертання зорової труби

84. Вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярна до:

- осі обертання теодоліта
- візирної осі теодоліта
- колімаційної площини
- горизонтальної площини лімба
- до всіх існуючих осей теодоліта

85. Для приведення осі обертання приладу у вертикальне положення використовують:

- піднімальні гвинти та циліндричний рівень
- зорову трубу
- виправні гвинти
- лімб
- закріпні гвинти

86. Похибка центрування – це:

- неточне положення вертикальної осі теодоліта над центром геодезичного знаку
- неточне положення візирних марок над центром точок
- похибка із-за несправності приладу
- похибка візування
- особиста похибка спостерігача

87. Похибка редукції – це:

- неточне положення вертикальної осі теодоліта над центром геодезичного знаку
- неточне положення візирних марок над центром точок
- похибка за несправності приладу
- похибка візування
- особиста похибка спостерігача

88. У нерівності $f_{\beta} \leq f_{\beta \text{ доп.}} = 1' \sqrt{n}$ «n» – це:

- кількість кутів в ході

- кількість геодезистів задіяних у польових роботах
- кількість приладів
- кількість точок місцевості, які підлягають зніманню
- кількість реперів поблизу полігону знімання

89. Вимірювання горизонтальних кутів теодолітом виконують:

- способом прийомів
- тригонометричним способом
- способом наближень
- геометричним способом
- графічним

90. Формула $\sum_{i=1}^n \mathcal{G}_{\beta_i} = -f_{\beta}$ використовується:

- для контролю правильності розподілення кутової нев'язки
- для визначення суми лінійних поправок
- для визначення кутової нев'язки у розімкненому теодолітному ході
- для визначення кутової нев'язки у замкненому теодолітному ході
- для визначення абсолютної нев'язки

91. Формула $c = \frac{(KL_1 - KP_1 \pm 180^D) + (KL_2 - KP_2 \pm 180^D)}{4}$

застосовується для визначення:

- колімаційної похибки
- кутів способом прийомів
- кутів способом півприймів
- кутів нахилу
- вертикальних кутів

92. За допомогою теодоліта 2Т30 є можливим вимірювати горизонтальні кути в діапазоні:

- від 0° до 360°

- тільки від 0° до 180°
 - від -180° до $+180^\circ$
 - тільки від 0° до 90°
 - тільки 180° до 360°
93. Для побудови державних геодезичних мереж вищого класу використовують прилади:
- високоточного класу
 - точного класу
 - технічного класу
 - середньої точності
 - будь-якого класу точності
94. Вкажіть перевірку теодоліта, для виконання якої використовують наступну формулу
- $$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^D) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^D)}{4}$$
- Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання труби.
 - Сітка ниток повинна бути встановлена правильно.
 - Вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта.
 - Горизонтальна вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта.
 - Вісь сферичного рівня повинна бути перпендикулярна до осі обертання приладу.
95. Різниця у відліках знятих з горизонтального круга теодоліта 2Т30 на ту ж саму точку при положеннях КЛ і КП становить:
- 180°
 - 360°
 - 0°

- 90°
- 100°

96. Формула $f_\beta = 2t\sqrt{n+1}$ використовується для визначення:

- допустимої кутової нев'язки у діагональному теодолітному ході
- кутової нев'язки в замкнутому теодолітному ході
- лінійної нев'язки у теодолітному ході
- лінійної нев'язки в розімкнутому теодолітному ході
- висотної нев'язки в нівелірному ході

97. У формулі
$$f_\beta = \sum_{i=1}^n \beta_i \text{ вим.} - [\alpha_n - \alpha_k + 180^\circ(n-1)]$$

величини « α_n » та « α_k » – це:

- початковий та кінцевий дирекційні кути
- поправки польові та камеральні у вимірянні кути
- нев'язки теодолітного ходу
- нев'язки нівелірного ходу
- координати початкової та кінцевої точок ходу

98. Дирекційні кути ліній теодолітного ходу за умови, що у ньому виміряно праві за ходом горизонтальні кути, обчислюють за формулою:

- $\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180 - \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180 + \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i+1} - 180 + \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i+1} + 180 - \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180 + \beta_i$

99. Дирекційні кути ліній теодолітного ходу за умови, що виміряно ліві за ходом горизонтальні кути у ньому, обчислюють за формулою:

- $\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180 + \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180 - \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i+1} - 180 + \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i+1} + 180 - \beta_i$
- $\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180 + \beta_i$

100. Величина допустимої відносної нев'язки замкнутого теодолітного ходу технічного класу точності становить:

- $\frac{1}{2000}$
- $\frac{1}{1000}$
- $\frac{1}{3000}$
- $\frac{1}{4000}$
- $\frac{1}{5000}$

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИКА

А

- Абсолютна висота 17
- Астрономічна довгота 12
- Астрономічна система координат 12
- Астрономічна широта 12

Б

- Барометричне нівелювання 23

В

- Вимірювання 55
- Висота точки 17
- Вища геодезія 6
- Віддалеміри 60
- Відмітка 17
- Відносна висота 18

Г

- Геодезія 5
- Географічна довгота 11
- Географічна система координат 11
- Географічна широта 11
- Геодезична довгота 12
- Геодезична система координат 12
- Геодезична широта 12
- Геоінформатика 7
- Геоїд 10
- Геометричне нівелювання 23
- Геоцентрична система прямокутних просторових координат 13
- Гідростатичне нівелювання 23
- Горизонт приладу 25

Е

- Елементи траси 44
- Еліпсоїд 9

Еліпсоїд Красовського 9

З

Знімання місцевості 82

Зорова труба 28

І

Інтерполювання горизонталей 123

К

Карта 19

Картографія 6

Квазігеоїд 10

Колімаційна площина 68

Колімаційна похибка 72

Компарування 57

Компенсатор 33

Косокутні проекції 20

Кутова нев'язка 89

Л

Лімб 70

Лінійна засічка 101

М

Маркшейдерія 6

Масштаб 18

Меридіан 11

Мірна стрічка 56

Місце нуля 73

Н

Нитковий віддалемір 60

Нівелір 26

Нівелір з компенсатором 27

Нівелір лазерний 27

Нівелірні знаки 39

Нівелірні рейки 36
Нівелювання 22
Нівелювання за квадратами 51
Нормаль 13

О

Обернена геодезична задача 88
Обернена кутова засічка 99
Окомірне знімання місцевості 127
Ортогональні проекції 19
Осьовий меридіан 15

П

Палетка 123
Паралель 11
Перевірки нівеліра 34
Перевірки теодоліта 71
Пікетаж 47
Пікетажний журнал 47
Площина астрономічного меридіана 12
Поле зору труби 29
Полігонометрія 83
Полярне стиснення 9
Прикладна (інженерна) геодезія 6
Проекція Гаусса 14
Профіль місцевості 49
Пряма геодезична задача 87
Пряма кутова засічка 97
Прямовисна лінія 13

Р

Радіовіддалеміри 63
Референц-еліпсоїд 10
Розміри еліпсоїда Красовського 9

С

Світловіддалеміри 63

Середньоквадратична похибка 78
Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера
Сітка ниток 29
Станція 39
Створ 57
Супутникова геодезія 6
Сферичний рівень 31

Т

Тахеометр 63
Тахеометричне знімання 114
Технічне нівелювання 39
Теодоліт 67
Теодолітне знімання 109
Теодолітний хід 87
Топографія 6
Топографічний план 18
Точка нульових робіт 51
Траса 44
Трасування 45
Тригонометричне нівелювання 23
Трилатерація 83
Триангуляція 81

Ц

Центральні проекції 20
Циліндричний рівень 31
Цифровий нівелір 28
Ціна поділки рівня 32

Ч

Чутливість рівня 32

У

Умовна рівнева поверхня 18

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баран П. І., Марущак М. П. Топографія та інженерна геодезія : підручник. Київ : Знання України, 2015. 463 с.
2. Геодезичний енциклопедичний словник / Баран П. І., Бондар А. Л., Бурштинська Х. В., Волосецький Б. І., Гудз І. М., Дзуліт П. Д., Дейнека Ю. П., Дорожинський О. Л., Дульцев А. Т., Заблоцький Ф. Д. Львів : Євросвіт, Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2001. 668 с.
3. Дьяков Б. Н. Геодезия : учебник. Київ : Лань, 2018. 416 с.
4. Інженерна геодезія. Лабораторні роботи : навч. посіб. Частина 1 / Черняга П. Г., Лебідь Г. Г., Мальчук М. П., Мануйлик А. Т., Романчук С. В., Тадеєв О. А. Рівне : РДТУ, 1999. 137 с.
5. Могильний С. Г., Войтенко С. П. Геодезія : підручник. Частина перша. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Донецьк, 2003. 458 с.
6. Новак В. Е. Курс инженерной геодезии : навч. посіб. М. : Недра, 1989. 432 с.
7. Островський А. Л., Мороз О. І., Тарнавський В. Л. Геодезія : підручник. Частина 2. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2012. 564 с.
8. Салищев К. А. Картография. М. : Высшая школа, 1982. 272 с.
9. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М. : Недра, 1989. 286 с.
10. Крохмаль Є. М., Левицький І. Ю., Благодірава Л. О. П'ятимовний словник основних термінів і визначень з геодезії, фотограмметрії та картографії. Харків : Харківський державний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, 1995. 145 с.

11. Тревого І. С. Сучасні електронні тахеометри, тенденції розвитку та класифікації електронних тахеометрів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва* : зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2009. Випуск 1 (17). С. 109–115.

12. Веб-сайти виробників геодезичного обладнання:

- URL: <http://www.leica-geosystems.com/> (дата звернення: 04.11.2019);
- URL: <http://www.trimble.com/> (дата звернення: 04.11.2019);
- URL: <http://www.topconpositioning.com/> (дата звернення: 04.11.2019);
- URL: <http://www.sokkia.com/> (дата звернення: 04.11.2019);
- URL: <http://www.nikon.com/> (дата звернення: 04.11.2019).

Навчальне видання

Дмитрів Ольга Петрівна

ГЕОДЕЗІЯ
Частина 1

Навчальний посібник