

Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Електронний навчальний посібник
комбінованого (локального та мережного) використання

Видання 2-е, перероблене та доповнене

Вінниця
ВНТУ
2024

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 25.06.2024 р.)

Рецензенти:

І. Н. Дудар, доктор технічних наук, професор

І. П. Гомеляк, доктор технічних наук, професор

Н. М. Слободян, кандидат технічних наук, доцент

Ратушняк, Г. С.

Р25 Інженерна геодезія : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 180 с.

Навчальний посібник присвячений матеріалам лекційного курсу з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів, що навчаються за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 193 «Геодезія та землеустрій» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» всіх форм навчання.

У посібнику наведено оцінення точності вимірювань, призначення і класифікацію карт й атласів, їх математичну основу, картографічне зображення геоінформації та системи координат в геодезії; розкриваються методи й прийоми використання топографічних карт і планів в будівництві. Розглянуто геодезичні прилади та їх використання під час топографо-геодезичних вимірювань та знімань на місцевості.

Перелік та зміст тем відповідає програмі вказаної вище дисципліни.

УДК 528.48

ЗМІСТ

Передмова	5
1 ПРЕДМЕТ ТА ЗАДАЧІ ГЕОДЕЗІЇ	6
1.1 Загальні відомості. Задачі інженерної геодезії	6
1.2 Короткі відомості з історії розвитку геодезії	7
1.3 Роль геодезії у народному господарстві країни.....	10
Контрольні запитання для перевірки знань.....	11
2 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ	12
2.1 Одиниці, засоби вимірювань	12
2.2 Класифікація вимірювань.....	13
2.3 Загальні відомості про обробку і оцінення точності геодезичних вимірювань	13
Контрольні запитання для перевірки знань.....	20
3 МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ	21
3.1 Загальні відомості про виміри	21
3.2 Приклади оцінення точності вимірювань і призначення допусків...	22
Контрольні запитання для перевірки знань.....	32
4 ФІГУРА ТА РОЗМІРИ ЗЕМЛІ. СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ГЕОДЕЗІЇ.....	34
4.1 Модель поверхні Землі та її розміри.....	34
4.2 Основні лінії та площини еліпсоїда	38
4.3 Системи координат в геодезії	40
4.3.1 Географічні координати точок земної поверхні	40
4.3.2 Плоскі прямокутні координати	41
4.3.3 Полярні та біполярні координати.....	43
4.3.4 Висоти точок.....	44
4.4 Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера	45
4.5 Врахування кривини земної поверхні при визначенні горизонтальних відстаней та висот	47
Контрольні запитання для перевірки знань.....	49
5 ОРІЄНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ТА НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ	50
5.1 Кути орієнтування.....	50
5.2 Визначення географічного азимута.....	55
5.3 Визначення магнітного азимута	58
5.4 Навігаційна система глобального позиціювання GPS	60
Контрольні запитання для перевірки знань.....	62
6 ТОПОГРАФІЧНІ КАРТИ Й ПЛАНИ.....	63
6.1 Характеристика й призначення топографічних карт та планів.....	63
6.2 Масштаби топографічних карт та планів	68
6.3 Рельєф місцевості та його зображення на картах і планах	70
6.4 Зображення на топографічних картах та планах	74
Контрольні запитання для перевірки знань.....	77

7 ЗАДАЧІ, ЯКІ РОЗВ'ЯЗУЮТЬ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ	
І ПЛАНАХ	78
7.1 Читання топографічних карт та планів	78
7.2 Визначення довжин ліній	79
7.3 Обчислення географічних координат точки	82
7.4 Обчислення прямокутних координат точки	84
7.5 Нанесення на карту пункту за відомими координатами	85
7.6 Обчислення дирекційного кута і румба заданого напрямку	87
7.7 Обчислення географічного і магнітного азимутів	90
7.8 Розв'язування задач за допомогою горизонталей	92
7.9 Побудова профілю заданого напрямку	97
7.10 Визначення меж водозбірної площі	100
7.11 Визначення площ ділянок місцевості	100
7.12 Номенклатура карт та планів	103
Контрольні запитання для перевірки знань	107
8 ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИНИ ЛІНІЙ НА МІСЦЕВОСТІ	108
8.1 Метрологічні основи геодезичних вимірювань	108
8.2 Типи приладів для вимірювання довжини ліній	109
8.3 Випробування приладів для вимірювання довжини ліній	113
8.4 Вимірювання довжини ліній стрічками і рулетками	115
Контрольні запитання для перевірки знань	119
9 ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ. ТЕОДОЛІТ ТА ЙОГО БУДОВА	120
9.1 Принцип вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів	120
9.2 Класифікація теодолітів	122
9.3 Геометрична схема й основні частини теодоліта	124
9.4 Підготовка теодоліта до роботи	129
9.5 Перевірки та юстирування технічних теодолітів	132
9.6 Вимірювання горизонтальних кутів	139
9.7 Вимірювання вертикальних кутів	143
9.8 Джерела похибок вимірювання кутів	145
9.9 Електронні теодоліти та тахеометри	146
Контрольні запитання для перевірки знань	149
10 НІВЕЛЮВАННЯ	150
10.1 Види нівелювання	150
10.2 Типи нівелірів і нівелірних рейок та їх особливості	151
10.3 Будова нівелірів	155
10.4 Підготовка нівелірів і нівелірних рейок до роботи	159
10.5 Перевірки і юстирування нівелірів	162
10.6 Перевірки нівелірних рейок	168
10.7 Визначення перевищень при геометричному нівелюванні	168
10.8 Тригонометричне нівелювання	175
10.9 Гідростатичне нівелювання	176
Контрольні запитання для перевірки знань	177
Список використаних джерел	178

ПЕРЕДМОВА

Проектування, будівництво та експлуатація об'єктів передбачають комплексне вивчення природних умов з метою виявлення їх впливу на технічно-експлуатаційні характеристики будівель і споруд, їх надійність і довговічність. Практика підготовки фахівця для галузі знань «Архітектура та будівництво» має бути спрямована на те, щоб він знав склад і технологію геодезичних робіт, що забезпечують вишукування, проектування і будівництво споруд, умів кваліфіковано ставити конкретні геодезичні завдання, пов'язані з будівництвом на різних його етапах. Він також має уміти використовувати топографічні матеріали і виконувати виконавчі знімання результатів будівельно-монтажних робіт.

Розв'язання цієї задачі потребує відповідного методичного забезпечення навчального процесу, яке б дозволяло отримувати компетенції та практичні уміння розв'язувати складні інженерно-технічні задачі з геоінформаційного забезпечення проектування та технологічних процесів будівельного виробництва.

В навчальному посібнику наведено характеристику картографічних образно-знакових просторових моделей, математичну основу побудови географічних карт, системи координат в топографії та картографії, сучасні методи орієнтування на місцевості, методи й прийоми використання геоінформаційних даних топографічних карт і планів в будівництві. Розглядаються топографо-геодезичні вимірювання, геодезичні прилади й робота з ними.

Розкривається суть великомасштабних топографічних знімків. Особлива увага звертається на методологічні основи роботи з геодезичними приладами. В процесі формування та викладення матеріалу навчального посібника використовувалися результати наукових досліджень і практичний досвід виконання топографо-географічних робіт в будівництві. Окремі теоретичні положення мають специфічну методику викладення, яка роз'яснює теорію та суть питання, що розглядається.

Автори під час написання навчального посібника враховували науково-методичний досвід підготовки фахівців для галузі знань «Архітектура та будівництво» у Вінницькому національному технічному університеті та в інших провідних закладах вищої освіти.

Автори щиро вдячні рецензентам за поради, врахування яких сприяло покращенню змісту навчального посібника.

1 ПРЕДМЕТ ТА ЗАДАЧІ ГЕОДЕЗІЇ

1.1 Задачі інженерної геодезії

Вивчення Землі – це предмет багатьох наук про Землю, які відносяться до класу природознавчих наук. Серед них особливе місце займає одна з найстаріших наук про Землю – **геодезія**.

Геодезія – наука, що вивчає фігуру, розміри і гравітаційне поле Землі, розробляє методи створення координатної та планової основи для детального вивчення фізичної поверхні Землі з метою відображення отриманої геоінформації за допомогою просторових образно-знакових моделей, необхідних для розв’язання різноманітних задач економіки та оборони країни.

Інженерна геодезія вивчає методи та способи виконання геодезичних робіт під час вишукувань, проєктування, будівництва та експлуатації інженерних будівель та споруд.

Розв’язання надзвичайно складних завдань привело до поділу геодезії на:

- ***Вищу геодезію*** – вивчає фігуру і розміри Землі, її гравітаційне поле, визначення координат точок земної поверхні в єдиній системі.
- ***Супутникову геодезію*** – розглядає методи розв’язання геодезичних задач за допомогою інформації зі штучних супутників Землі.
- ***Топографію*** – розглядає способи вивчення в деталях земної поверхні для відображення її на картах і планах місцевості.
- ***Картографію*** – розглядає методи складання та видання карт і планів та їх використання.
- ***Фотограмметрію і дистанційне зондування Землі*** – вивчає методи складання карт, планів за результатами фотографування місцевості з повітря, космосу та землі.

- **Маркшейдерську справу** – вивчає методи застосування геодезії в гірничій справі, будівництві шахт, тунелів, метро та інших підземних інженерних споруд.

Розв’язання наукових та практичних задач геодезії ґрунтуються на законах і знаннях з математики, фізики, механіки. Геодезія, як наука, тісно пов’язана з геологією, геофізикою, геоморфологією, географією, астрономією та іншими сучасними науками.

Інженерна геодезія (прикладна) має широке прикладне значення і використовує знання з вищої та супутникової геодезії, топографії, картографії та фотограмметрії, що використовується під час вишукувань, проектування, будівництва, експлуатації інженерних споруд, монтажу технологічного устаткування та використання природних ресурсів.

Основними задачами інженерної геодезії є:

1. Отримання геодезичних матеріалів для розробки проєктів інженерних споруд.
2. Розмічування на місцевості осей і меж споруд відповідно до проєкту споруди.
3. Забезпечення геометричних параметрів споруди та її елементів в плані, по висоті та вертикалі в процесі виконання будівельних робіт.
4. Визначення відхилень проєкту споруди та її елементів від проєктного положення.
5. Монтаж технологічного устаткування згідно з проєктом.
6. Визначення деформацій споруд в процесі їх зведення та експлуатації.

1.2 Короткі відомості з історії розвитку геодезії

Геодезія, як одна із стародавніх наук, виникла із практичних потреб людства під час вирішення різноманітних господарських та інженерних завдань. У людини завжди була потреба вивчати навколишнє середовище та Землю як планету. Можливо, Арістотель (384–322 рр. до н. е.),

пропонуючи термін «геодезія», склав його з грецьких слів «гео» – Земля і «ейдос» – вигляд, фігура.

Досягнення геодезії – це результат розвитку людської цивілізації. Свій внесок в її розвиток і становлення зробили вчені багатьох країн та континентів. На окремих етапах вона досягала своїх вершин в різних кутках Земної кулі.

Зведення інженерних споруд в прадавні часи (каналів, палаців, пірамід в Єгипті, старовинних міст в Індії, зрошувальних систем в Японії, Великої Китайської стіни та ін.) потребувало глибоких знань з геодезії та виконання геодезичних вимірювань.

Геодезія розвивалась і на територіях Київської Русі. За історичними періодами розвиток геодезії можна виділити:

1. Зародження основ геодезії (середина IV століття до н. е. – IV ст. н. е.)

- геодезичні вимірювання з метою межкування земель;
- зведення інженерних споруд (тунель під річкою Євфрат довжиною 0,9 км), розробка золотих копалень в Єгипті та ін.

2. Формування області геодезичних знань (IV ст. до н. е. – початок XVII ст.)

- вимірювання довжини дуги меридіана в 1° по широті арабським вченим Аль-Хорезмі (783–850 рр. н. е.);
- межкування земель Київської Русі (літопис 996 р.) та будівництво Софії Київської, Успенського собору, Києво-Печерської лаври, Чернігівського та ін. соборів (X-XII ст.),
- визначення радіусу земної кулі зі спостережень пониження горизонту та визначення довжини одноградусної дуги меридіана 110,278 км (за сучасними даними – 110,895 км) на широті 320 град. з. ш. астрономом і геодезистом Біруні з Туркестана в 1023 р.;
- геодезичні вимірювання довжини Керченської протоки (1068 р.);
- у 1614 році нідерландський астроном і математик Снеліус розробив метод тріангуляції, який був уперше застосований французьким астрономом Пікаром під час вимірювання дуги меридіана від Парижа до Ам'єна. Пікар уперше використав прилади з сіткою ниток;

- у 1687 році Ньютон у праці «Математичні початки натуральної філософії» довів наявність полярного стиснення Землі та визначив величину її полярного стиснення.

3. Формування наукових основ геодезії (XVII ст. – 60 роки XIX ст.)

- розвиток наукових уявлень про форму і розміри Землі, визначення розмірів земного еліпсоїда;
- вдосконалення технічних засобів геодезії і технологій виконання топографо-геодезичних робіт в зв'язку з науково-технічною революцією за капіталістичного способу виробництва.

4. Розвиток класичної геодезії (60-ті роки XIX ст. – 60-ті роки XX ст.)

- розробка проекту Геодезичної мережі (1910 р.), виконання точного геометричного нівелювання (1891-1917 рр.);
- виконання точних топографічних зйомок на сучасних територіях України, Білорусі, Казахстану, Сибіру і Туркестану;
- створення єдиної топографо-геодезичної служби (1856–1916 рр.), Вищого геодезичного управління (1917 р.);
- інженерно-геодезичне забезпечення зведення крупних інженерних споруд (ДніпроГЕС).

5. Розвиток (становлення) сучасної інформаційної геодезії (з 60-х років XX ст. – донині):

- використання радіо- та світловіддалемірів, ЕОМ та ПЕОМ, створення інформаційних банків геодезичних даних і автоматизованих технологій розв'язання геодезичних задач;
- виконання високоточних інженерно-геодезичних робіт під час зведення об'єктів для фізичних досліджень (синхрофазотронів, прискорювачів, фотонних фабрик), гідротехнічних споруд, атомних електростанцій, телевізійних веж, фабрик, заводів, металургійних комплексів та ін.;
- сучасні супутникові технології (системи ГЛОНАСС і NAVSTAR) привнесли в геодезію зміни: відпадає необхідність в геодезичному зв'язку з суміжними пунктами, спорудженні сигналів, прокладанні геодезичних ходів, повністю автоматизується процес спостережень і математичної обробки результатів вимірів та скорочується обсяг польових робіт.

Після розпаду СРСР з 1991 р. в Україні було створено Головне управління геодезії, картографії і кадастру (ГУГКК), а з 2005 р. – Державна служба геодезії, картографії і кадастру, ряд підприємств («Укргеоінформатика», «Київгеоінформатика», «Укрінжгеодезія», «Донбасмаркшейдерія», Вінницька державна картографічна фабрика, міські та обласні центри геодезії і кадастру та ін., налагоджено випуск геодезичних приладів на геодезичних заводах в м. Вінниці та в м. Ізюм Харківської обл.). В 1998 р. створено науково-дослідний інститут геодезії і картографії України.

Підготовка інженерних геодезичних кадрів проводиться у Національному університеті «Львівська політехніка», Київському національному університеті будівництва і архітектури, Національному університеті ім. Т. Шевченка, Донецькому національному технічному університеті. Молодших спеціалістів з геодезії готують в навчальних закладах міст Києва, Львова та інших.

1.3 Роль геодезії у господарстві країни

Про важливу роль геодезії у розвитку продуктивних сил суспільства переконливо свідчить історія розвитку геодезії. Задачі геодезії можна розділити на наукові та науково-технічні, причому другі переважно направлені на забезпечення розвитку держави.

Проектування, будівництво і експлуатація будь-якої інженерної споруди потребує виконання геодезичних робіт. Роль геодезії тим більша, чим більше і унікальніше споруджуваний об'єкт.

Геодезичні інженерно-вишукувальні роботи передують проектуванню будь-якої споруди. Вони є основою для проектувальників під час вирішення питань стосовно параметрів, технічних характеристик та розміщення об'єкта на місцевості.

Проект споруди виноситься на місцевість геодезичними методами, а в процесі будівництва геодезичні вимірювання забезпечують дотримання її проектних геометричних параметрів.

Побудовані споруди, що експлуатуються, наприклад, греблі, заводи, атомні або теплові електростанції, потребують безперервного контролю за

стійкістю і деформаціями найбільш відповідальних конструкцій споруд та технологічного устаткування.

Особлива роль геодезії під час зведення унікальних об'єктів. Монтаж устаткування таких споруд потребує вимірювань дуже високої точності (10-20 мкм у плані і по висоті). Сучасні геодезичні методи дозволяють забезпечити необхідну точність виконання будівельних робіт на об'єктах, що мають значні геометричні параметри.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Задачі інженерної геодезії.
2. Історія розвитку геодезії.
3. Роль геодезії у будівельній галузі.
4. Роль геодезії у розвитку економіки держави.

2 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

2.1 Одиниці та засоби вимірювань

Геодезичні вимірювання – це процес знаходження виконавцем або реєструвальним обладнанням значення заданої фізичної величини об'єкта з допомогою технічних засобів з урахуванням впливу навколишнього середовища. В інженерно-геодезичному виробництві фізичні величини виражають довжиною і кутом. Під **довжиною** розуміють горизонтальну або похилу довжину прямої, а також висоту або перевищення однієї точки над іншою. Основною одиницею довжини є метр (м). Довжину лінії на місцевості вимірюють у метрах і кілометрах, а на рисунку – в сантиметрах і міліметрах. **Кут** – це поворот від початкового до кінцевого положення рухомого променя, який виходить з точки, що називається вершиною.

Одиницею вимірювання кутів є кутові міри: радіанна, градусна та градова. **Радіан** – це центральний кут (ρ), що спирається на дугу, довжина якої дорівнює радіусу. **Градусна міра** одержана поділом прямого кута на 90 однакових частин – градусів. Градус містить 60 minut, а minuta – 60 секунд. **Градова міра** отримана шляхом поділу прямого кута на 100 однакових частин або град. Один град (1^g) має 100 градових minut (сантиград – 100 с), а 1 градова minuta – 100 градових секунд (санти-сантиград – 100 сс).

Співвідношення одиниць радіанної і градусної системи такі:

$$1 \text{ радіан-градус } \rho^{\circ} = 180^{\circ}/\pi = 57^{\circ}, 3;$$

$$1 \text{ радіан-мінута } \rho' = 180^{\circ} \cdot 60/\pi = 3438;$$

$$1 \text{ радіан-секунда } \rho'' = 180 \cdot 60 \cdot 60/\pi = 206\,265.$$

Технічні засоби вимірювань: **міра, вимірювальний прилад, перетворювач, установка і система**. Ці засоби мають нормовані метрологічні властивості. Міра (лінійка, стрічка, рулетка та ін.) призначена для відтворення фізичної величини заданого розміру. Вимірювальні прилади (термометр, барометр, планіметр, бусоль та ін.) призначено для відтворення сигналу вимірювальної інформації в формі, яку може безпосередньо сприймати виконавець. Вимірювальний перетворювач (світловідалемір) відтворює сигнал вимірювальної інформації в формі,

зручній для передавання, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але яка не піддається безпосередньому сприйманню виконавцем. Вимірювальна установка (стереокомпаратор та ін.) складається із сукупності функціонально об'єднаних засобів вимірювань і допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку, призначених для відтворення сигналів вимірювальної інформації в формі, зручній для автоматичної обробки, передавання і використання в автоматичних системах керування.

2.2 Класифікація вимірювань

Залежно від способу одержання шуканої величини і засобів, що використовуються, вимірювання поділяються на *безпосередні і посередні*.

Під час безпосередніх вимірювань результат одержують безпосереднім порівнянням величини, що вимірюється, з робочою мірою. У випадках, коли безпосередні вимірювання неможливі або недоцільні, застосовують посередні. Під час посереднього вимірювання шукану величину обчислюють за відомим рівнянням для цієї величини, у яке входять інші величини, значення яких знайдено безпосереднім вимірюванням.

Вимірювання можуть бути *рівноточними і нерівноточними*. Для одержання рівноточних результатів вимірювання потрібно, щоб однорідні величини вимірювались виконавцями однакової кваліфікації, однакове число разів, однаковими приладами і за дотримання ідентичних умов навколишнього середовища. Якщо ж хоча б одну з зазначених вимог буде порушено, то результати вимірювання стануть нерівноточними.

2.3 Загальні відомості про обробку і оцінення точності геодезичних вимірювань

Результати вимірів не збігаються з істинними значеннями вимірюваних величин, а повторні вимірювання не дають однакових результатів. В кожному вимірюванні неможливо абсолютно точно

дотриматись незмінності комплексу умов, тому кожен результат вимірів містить похибки.

Різницю між результатом вимірювань x та істинною величиною X або дійсною величиною $\bar{X}$ називають похибкою вимірів :

$$\Delta = x - X; \quad (2.1)$$

або

$$v = x - \bar{X}. \quad (2.2)$$

де Δ – похибка вимірів, коли відомо дійсне значення вимірюваної величин;

v – похибка вимірів, коли визначення середнє арифметичне значення вимірюваної величин.

Похибки можуть бути грубі, систематичні та випадкові.

Грубі похибки – величина яких недопустима за заданого комплексу умов. Їх виявляють шляхом обчислень і такі результати в математичну обробку не вносять, а вимірювання повторюють.

Систематичні похибки – похибки, які входять в кожен результат вимірів з одним знаком та величиною або змінюються за певним законом. Величину їх визначають шляхом експериментальних вимірювань і вводять в результати вимірювань.

Якщо відомі істинне значення X та дійсне значення $\bar{X}$, то систематичну похибку визначають за формулою:

$$c = \lambda = \bar{X} - X, \quad (2.3)$$

де c, λ – систематичні похибки.

Випадкові похибки виникають внаслідок незначного порушення комплексу умов під час кожного вимірювання, причому їх величину і знак передбачити неможливо.

Відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини є **абсолютною випадковою похибкою**

$$\Delta_n = l_n - X, \quad (2.4)$$

де X – дійсне значення величини, що вимірюється;

l_n – значення, одержане в процесі вимірювань.

Відносна похибка

$$\Delta'_n = \frac{(l_n - X)}{X}. \quad (2.5)$$

Середнє арифметичне абсолютних похибок

$$\Theta = \frac{(|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + \dots + |\Delta_n|)}{n}, \quad (2.6)$$

де $|\Delta_1|, |\Delta_2|, |\Delta_3|, \dots, |\Delta_n|$ – абсолютні значення похибок;

n – число випадкових похибок.

Властивості випадкових похибок:

а) симетрія відносно нуля: випадкові похибки, однакові за абсолютною величиною, але протилежні за знаком, однаково всі імовірні;

б) компенсація: границя відношення суми випадкових похибок до числа вимірювань має тенденцію наближатися до нуля, якщо число вимірювань прямує до нескінченності:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + \dots + |\Delta_n|) / n = \lim_{n \rightarrow \infty} (|\Delta|) / n = 0, \quad (2.7)$$

де $|\Delta_1|, |\Delta_2|, |\Delta_3|, \dots, |\Delta_n|$ – абсолютні випадкові похибки;

$[\Delta]$ – сума випадкових похибок;

в) розсіювання: для ряду випадкових похибок, отриманих внаслідок рівноточних вимірювань, сума квадратів, розділена на їх число, у разі нескінченного збільшення останніх наближається до певної границі σ^2 , яка залежить від умов вимірювання:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [\Delta^2] / n = \sigma^2, \quad (2.8)$$

де σ – стандарт, тобто теоретична середня квадратична похибка;

г) обмеженість: за заданих умов вимірювань випадкові похибки не перевищують певної границі $\Delta_{гр}$, що називається граничною похибкою:

$$|\Delta| \leq |\Delta_{GP}|, \quad (2.9)$$

д) пропорційність: за будь-яких умов вимірювань відношення граничної похибки до стандарту однакове:

$$\Delta_{GP} / \sigma = \text{const}, \quad (2.10)$$

е) компактність: в ряді вимірювань малі за абсолютною величиною похибки трапляються частіше від великих.

Арифметична середина

$$X = (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) / n = [l] / n, \quad (2.11)$$

де n – число рівноточних вимірювань;

$[l]$ – сума окремих вимірювань.

У разі великого числа вимірювань однієї величини границя середнього арифметичного наближається до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} ([l] / n) = X. \quad (2.12)$$

Похибки окремих вимірювань за відомої арифметичної середини, тобто найімовірніша похибка

$$v_n = l_n - X. \quad (2.13)$$

Точність окремого вимірювання в ряду вимірювань однієї і тієї самої величини, коли відомо її дійсне значення, оцінюють середньою квадратичною похибкою одного вимірювання за формулою Гаусса

$$m = \sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2) / n} = \sqrt{|\Delta^2| / n}. \quad (2.14)$$

Середню квадратичну похибку одного вимірювання за відомої арифметичної середини обчислюють за **формулою Бесселя**

$$m = \sqrt{(\nu_1^2 + \nu_2^2 + \nu_3^2 + \dots + \nu_n^2)/(n-1)} = \sqrt{[\nu^2]/(n-1)} \quad (2.15)$$

Середня квадратична похибка лінійної функції:

$$Z = X \pm Y \pm t \pm U \pm \dots \pm V;$$

де $X, Y, t, U, \dots, V$ – незалежні змінні аргументи, кожен з яких вимірювався n разів і кожне вимірювання якого супроводжувалося випадковими похибками $\Delta X, \Delta Y, \Delta t, \Delta U, \dots, \Delta V$.

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2 + m_t^2 + m_u^2 + \dots + m_v^2. \quad (2.16)$$

Середня арифметична похибка функції багатьох незалежних змінних загального вигляду $Z = f(X, Y, t, \dots, V)$.

$$m^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial X}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 m_t^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial V}\right)^2 m_v^2, \quad (2.17)$$

де $\left(\frac{\partial f}{\partial X}\right), \left(\frac{\partial f}{\partial Y}\right), \dots, \left(\frac{\partial f}{\partial V}\right)$ – частинні похідні за кожною змінною;

$m_x, m_y, \dots, m_v$ – середні квадратичні похибки кожної змінної $(X, Y, t, \dots, V)$.

Середня квадратична похибка арифметичної середини

$$M = m \cdot \sqrt{n}. \quad (2.18)$$

Загальна арифметична середина (вагове середнє значення) визначається за результатами нерівноточних вимірювань:

$$X_0 = \frac{p_1 l_1 + p_2 l_2 + p_3 l_3 + \dots + p_n l_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}, \quad (2.19)$$

де $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ – вага результатів нерівноточних вимірювань
 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$.

Середня квадратична похибка одиниці ваги за наявності дійсних чи найімовірніших похибок вимірювань є мірою оцінення точності нерівноточних вимірювань:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \sqrt{[\Delta^2 p] / n} \\ \mu &= \sqrt{[\nu^2 p] / (n-1)} \end{aligned} \right\}, \quad (2.20)$$

де $[\Delta^2 p], [\nu^2 p]$ – сума добутків квадратів відповідно дійсних та найімовірніших похибок, помножених на вагу результатів вимірювань.

Середня квадратична похибка загальної арифметичної середини

$$M_0 = \mu / \sqrt{[p]}, \quad (2.21)$$

де μ – середня квадратична похибка одиниці ваги;

$[p]$ – сума ваг результатів нерівноточних вимірювань.

Гранична похибка середньої арифметичної величини

$$\Delta_{GP} = M \cdot t, \quad (2.22)$$

де M – середня квадратична похибка арифметичної середини;

t – число, яке залежить від прийнятої довірчої імовірності p і числа додаткових вимірювань ($N=n-1$), використаних для обчислювання арифметичної середини (табл. 2.1).

Інтервал l , усередині якого виявиться дійсне значення X , виміряне з заданою довірчою імовірністю p , визначається за залежністю

$$(X - \Delta_{GP}) \leq X \leq (X + \Delta_{GP}). \quad (2.23)$$

Таблиця 2.1 – Визначення числа t

Число додаткових вимірювань N	Довірча імовірність p			
	0,95	0,9545	0,9	0,9973
2	4,30	4,52	9,92	18,5
3	3,18	3,31	5,84	9,20
4	2,78	2,87	4,61	6,63
5	2,57	2,65	4,04	5,50
6	2,45	2,52	3,71	4,91
8	2,31	2,36	3,36	4,28
10	2,23	2,28	3,17	3,96
20	2,08	2,13	2,85	3,42
∞	—	—	—	3,00

Арифметичні дії виконують за такими правилами.

Під час додавання і віднімання наближених чисел у кінцевому результаті необхідно залишати стільки десяткових знаків, скільки їх є в операндах, що містять найменшу кількість десяткових знаків. З огляду на це перед додаванням або відніманням наближені числа округлюють, залишаючи в них на один десятковий знак більше, ніж у доданку або зменшуваному чи від'ємнику, які мають найменшу кількість десяткових знаків.

Під час множення і ділення наближених чисел в кінцевому результаті потрібно залишати стільки значущих цифр, скільки їх є в числі (співмножнику, діленому, дільнику) з найменшою кількістю значущих цифр. У зв'язку з цим під час множення або ділення чисел з різною кількістю значущих цифр їх округлюють, залишаючи на одну значущу цифру більше, ніж у числі з найменшою кількістю значущих цифр. У випадку піднесення наближеного числа до степеня в кінцевому результаті потрібно залишати стільки значущих цифр, скільки їх є в основі цього числа.

Всі обчислення виконують з контролем, використовуючи інший хід розв'язання цієї задачі, або шляхом незалежного повторювання обчислень. Перед обчисленням перевіряються всі вихідні дані. Під час обчислень округлення наближених чисел виконують зразу до необхідного розряду.

Якщо перша із цифр, що відкидаються, менша 5, то остання збережена цифра не змінюється. У тому випадку, коли перша із цифр, що відкидаються, більша 5, то останню збережену цифру збільшують на одиницю. Коли частина числа, яка відкидається дорівнює 5, то останню збережену цифру збільшують на одиницю, якщо вона непарна, і залишають незмінною, як що вона парна.

При добуванні кореня у кінцевому результаті потрібно залишати стільки значущих цифр, скільки їх є в підкореневому числі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Види і засоби вимірювань.
2. Одиниці вимірів в геодезії.
3. Що таке похибка вимірювань?
4. Властивості випадкових похибок.
5. Як оцінюється точність рівноточних вимірювань?
6. Обчислення похибки функції виміряних величин.
7. Чому дорівнює похибка арифметичної середини?
8. Які формули використовуються для оцінення нерівноточних вимірювань?

3 МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

3.1 Загальні відомості про виміри

Вимірюванням називають процес порівняння фізичної величини з іншою фізичною величиною того самого роду, взятою за одиницю виміру.

Математична обробка результатів вимірювань дає можливість отримати як кількісні, так і якісні характеристики. Надлишкові вимірювання відіграють надзвичайно велику роль під час обробки результатів геодезичних вимірювань.

Результати вимірювань виражають в системі СІ (SI). В геодезії історично використовується метрична система мір. За рекомендацією комісії Паризької Академії Наук в 1791 р. за одиницю довжини було взято одну десятимільйонну частку довжини чверті Паризького географічного меридіана, визначеного за допомогою геодезичних вимірювань. Її довжину було названо *метром*. За еталон метра беруть відстань, яку проходить світло в вакуумі за $1/299792458$ частку секунди. Він затверджений XVIII Генеральною конференцією міри та ваги в Парижі в 1983 р.

Довжина лінії може розміщуватися на горизонтальній або нахиленій поверхні землі, в просторі, на поверхні будівельних конструкцій, в вертикальній площині тощо. Лінії на поверхні землі або в просторі під кутом до горизонту називають **нахиленими**. Спроектовані на площину або поверхню сфероїда – **горизонтальними прокладаннями**. Лінії, що проходять по напрямку прямовисних ліній називають **висотами** або **перевищеннями**.

Одиницею площі є **квадратний метр**. Відповідно:

один ар – $1\text{ ар} = 10\text{ м} \times 10\text{ м} = 100\text{ м}^2$,

один гектар – $1\text{ га} = 100\text{ м} \times 100\text{ м} = 100\text{ ар} = 10000\text{ м}^2$,

сто гектарів – $100\text{ га} = 10000\text{ ар} = 1\text{ км}^2$.

Одиницею вимірювання кутів є кутові міри: радіанна, градусна та десятинна або градова, визначення яких наведено у п. 2.1.

В геодезичних обчисленнях широко використовується зв'язок між радіанною та градусною мірами, так:

$$\rho = 180^0 \cdot 60 / \pi = 3438'.$$

$$\rho = 180^0 \cdot 60 \cdot 60 / \pi = 206265''.$$

Одиницею вимірювання температури є кельвін (K) або градус за шкалою Цельсія (°C).

Міжнародна система одиниць встановлює одиницю тиску – паскаль (Па).

В геодезії традиційно за одиницю тиску вибирають фізичну атмосферу (атм) та міліметр ртутного стовпа (мм рт. ст.). Одна фізична атмосфера на рівні моря на широті 45° за температури 0 °C дорівнює 760 мм рт.ст. (1 атм = 760 мм рт.ст. = 1013 гПа – геопаскалів).

3.2 Приклади оцінення точності вимірювань і призначення допусків

Приклад 1.

Довжина сторони теодолітного ходу виміряна сталевую стрічкою у прямому ($l_n = 96,55$ м) і зворотному ($l_z = 96,51$ м) напрямках. Допустима відносна похибка вимірювань не має перебільшувати $\Delta_{\text{дон}} < 1:2000$. Визначити відносну похибку і остаточну довжину сторони теодолітного ходу.

Розв'язання.

Визначаємо різницю результатів вимірювання

$$\Delta = l_n - l_z = 96,55 - 96,51 = 0,04 \text{ м.}$$

Середнє арифметичне з результатів двох вимірювань

$$l_{cp} = 0,5(l_n + l_z) = 0,5(96,55 + 96,51) = 96,53 \text{ м.}$$

Відносна похибка вимірювання довжини сторони теодолітного ходу в прямому і зворотному напрямках

$$\Delta' = \frac{\Delta}{l_{cp}} = \frac{0,04}{96,53} = \frac{1}{2413} < \frac{1}{2000}.$$

Оскільки $\Delta' < \Delta_{дон.}$, за остаточну довжину сторони теодолітного ходу беремо середнє арифметичне результатів двох вимірювань $l_{cp} = 96,53$ м.

Приклад 2.

Під час розпланування осей будови способом полярних координат кут, дійсне значення якого $X = 90^\circ 00'$, був виміряний теодолітом 6 разів. Результати вимірювань: $\beta_1 = 89^\circ 58'$; $\beta_2 = 90^\circ 02'$; $\beta_3 = 89^\circ 58'$; $\beta_4 = 90^\circ 01'$; $\beta_5 = 90^\circ 02'$; $\beta_6 = 89^\circ 59'$.

Визначити середню і середню квадратичну похибки одного виміру.

Розв'язання.

Розрахунки виконуємо в табличній формі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Визначення середньої і середньої квадратичної похибок одного виміру

№ виміру	Результат вимірювань β_i	Дійсна похибка Δ_i	Δ_i^2	Оцінка точності
1	$89^\circ 58'$	-02	4	
2	$90^\circ 02'$	+02	4	$\Delta_{cp} = 10/6 = 1,67'$
3	$89^\circ 58'$	-02	4	
4	$90^\circ 01'$	+01	1	
5	$90^\circ 02'$	+02	4	$m = \sqrt{18/6} = 1,73'$
6	$89^\circ 59'$	-01	1	

$$n = 6 \quad X = 90^\circ 00' \quad [|\Delta|] = 10 \quad [\Delta^2] = 18$$

Похибка одного виміру кута теодолітом:

$$\Delta_1 = l_1 - X = \beta_1 - X = 89^\circ 58' - 90^\circ 00' = -02';$$

$$\Delta_2 = \beta_2 - X = 90^\circ 02' - 90^\circ 00' = +02'.$$

Середня похибка одного виміру

$$\Delta_{cp} = (|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + |\Delta_4| + |\Delta_5| + |\Delta_6|) / n = 10 / 6 = 1,67';$$

де $|\Delta_1|, |\Delta_2|, \dots$ – абсолютні дійсні похибки окремих вимірів.

Середня квадратична похибка одного виміру:

$$m = \sqrt{[\Delta^2] / n} = \sqrt{18 / 6} = 1,73'.$$

Приклад 3.

Довжину сторони полігонометрії було виміряно світловідалеміром 6 разів, м;

$$l_1 = 339,749; l_2 = 339,732; l_3 = 339,763;$$

$$l_4 = 339,745; l_5 = 339,740; l_6 = 339,744.$$

Вирахувати найімовірніше значення довжини сторони, середню квадратичну похибку одного виміру і арифметичної середини, відносну похибку, найімовірніше значення, граничну похибку та інтервал, у якому знаходиться точна довжина сторони, з довірчою імовірністю $p = 0,99$.

Розв'язання.

Найімовірніше значення довжини сторони полігонометрії

$$X = [l] / n = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) / n,$$

$$X = (339,746 + 339,732 + 339,763 + 339,745 + 339,740 + 339,744) / 6 = 339,746 \text{ м},$$

де $[l]$ – сума результатів вимірювань довжини сторони (графа 2 табл. 3.2);

n – число вимірів ($n = 6$).

Розрахунки проводимо у табличній формі (табл. 3.2.).

Таблиця 3.2 – Визначення найімовірнішого значення довжини сторони, імовірних похибок окремих вимірювань і середньої квадратичної похибки одного виміру

№ виміру	Виміряна довжина сторони, м	Остача, ε_n , мм	Імовірна похибка v , мм	v_n^2 , мм	Оцінка точності
1	2	3	4	5	6
1	339,749	49	+3	9	$X = 339,746$ м $m = \pm 10,3$ мм $\frac{1}{N} = \frac{1}{80892}$
2	339,732	32	-14	196	
3	339,763	63	+17	289	
4	339,746	46	0	0	
5	339,740	40	-6	36	
6	339,744	44	-2	4	

$$L_0 = 339,700[\varepsilon] = 274 \quad [v^2] = 534$$

Щоб не робити громіздких обчислень, частину значення довжини, загальну для всіх результатів, тобто $L_0 = 339,700$ м, віднімаємо, а за остачами (графа 3 табл. 3.2) обчислюємо середнє значення

$$L = l_0 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n) / n = 339,700 + 0,274 / 6 = 339,746 \text{ м.}$$

Похибки окремих вимірів

$$v_i = l_i - X = 339,749 - 339,746 = +0,003 \text{ м.}$$

Середня квадратична похибка одного виміру

$$m = \sqrt{[v^2] / (n - 1)} = \sqrt{534 / 5} = \pm 10,3 \text{ мм,}$$

де $[v^2]$ – сума квадратів найімовірніших похибок окремих вимірів (табл. 3.2).

Середня квадратична похибка арифметичної середини

$$M = m / \sqrt{n} = \pm 10,3 / 6 = \pm 4,2 \text{ мм.}$$

Відносна похибка найімовірнішої довжини сторони полігонометрії

$$\frac{1}{N} = \frac{M}{X} = \frac{4,2}{339746} = \frac{1}{80892}.$$

Гранична похибка середнього арифметичного значення довжини сторони полігонометрії з довірчою імовірністю $p = 0,99$:

$$\Delta_{ep} = Mt = 4,2 \cdot 4,04 = 16,97 \text{ мм},$$

де M – середня арифметична похибка середини;

t – число, яке залежить від взятої довірчої імовірності числа додаткових вимірювань ($N = n - 1$) = 5, згідно з табл. 2.1 $t = 4,04$.

Отже, дійсне значення довжини сторони полігонометрії знаходиться в інтервалі

$$(X - \Delta_{ep}) \leq X \leq (X + \Delta_{ep}),$$

$$(339,746 - 0,017) \leq X \leq (339,746 + 0,017),$$

$$339,729 \leq X \leq 339,763.$$

Приклад 4.

Кут виміряний одним теодолітом 5 разів:

$$\beta_1 = 39^\circ 09,6'; \beta_2 = 39^\circ 09,8'; \beta_3 = 39^\circ 09,7'; \beta_4 = 39^\circ 09,8'; \beta_5 = 39^\circ 09,6'$$

Щоразу застосовується різне число прийомів вимірювання:

$$n_1 = 3; n_2 = 3; n_3 = 5; n_4 = 4; n_5 = 4.$$

Знайти найімовірніше значення кута, середню квадратичну похибку одиниці ваги, середню квадратичну похибку найімовірнішого значення і середні квадратичні похибки окремих вимірів.

Розв'язання.

Розрахунки виконуємо з табличної форми (табл. 3.3).

Знаходимо вагу вимірів, для чого значенню кута, що вимірюється одним прийомом, надаємо ваги $p = 1$.

Обчислюємо загальну арифметичну середину

$$X = \frac{\beta_1 p_1 + \beta_2 p_2 + \beta_3 p_3 + \beta_4 p_4 + \beta_5 p_5}{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5},$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – виміряні кути з відповідною вагою p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 .

Таблиця 3.3 – Обчислення найімовірнішого значення кута, середньої квадратичної похибки одиниці ваги і середньої квадратичної похибки найімовірнішого значення

Номер виміру	Виміряний кут β_i	Число прийомів	Вага p_i	Остача ε_i	$\rho_i \varepsilon_i$	Похибка v_i	$\rho_i v_i$	$\rho_i v_i^2$	Оцінка точності
1	39° 09,6'	3	3	0,6	1,8	- 0,1	- 0,3	0,03	$X_0 = 39^0 09,7'$
2	39° 09,8'	3	3	0,8	2,4	+0,1	-0,3	0,03	$\mu = \pm 0,19'$
3	39° 09,7'	5	5	0,7	3,5	0,0	0,0	0,00	$M = \pm 0,04'$
4	39° 09,8'	4	4	0,8	3,2	+0,1	+0,4	0,04	$m_1 = \pm 0,11'$
5	39° 09,6'	4	4	0,6	2,4	-0,1	-0,4	0,04	$m_2 = \pm 0,11'$
$\beta_0 = 39^0 09',0 \quad \Sigma = 19 \quad \Sigma = 19 \quad \Sigma = 13,3 \quad \Sigma = 0 \quad \Sigma = 0,14$									$m_3 = \pm 0,08'$
									$m_4 = \pm 0,10'$
									$m_5 = \pm 0,10'$

Щоб не робити громіздких обчислень, зі всіх результатів вимірювань кута вилучаємо загальну частину $\beta_1 = 39^0 09'$ і вважаємо, що $\beta_1 = \beta_0 + \varepsilon_1$ і т. д.

$$X_0 = \beta_0 + [\varepsilon_i p_i] / [p_i]$$

$$X_0 = 39^0 09' + (0,6' \cdot 3 + 0,8' \cdot 3 + 0,7' \cdot 5 + 0,8' \cdot 4 + 0,6' \cdot 4) / 19 = 39^0 09,7'.$$

Знаходимо похибку

$$v_1 = \beta_1 - X_0.$$

Обчислюємо середню квадратичну похибку одиниці ваги

$$\mu = \sqrt{[p_i v_i^2] / (n - 1)} = \pm \sqrt{0,14 / 4} = \pm 0,19'.$$

Контролем правильності обчислень є рівність $[p_i v_i] = 0$.

Знаходимо середню квадратичну похибку загальної арифметичної середини

$$M_0 = \mu / \sqrt{[p]} = 0,19' / \sqrt{19} = \pm 0,04'.$$

Обчислюємо середні квадратичні похибки окремих вимірів:

$$m_1 = \mu / \sqrt{p_1} = 0,19' / \sqrt{3} = 0,11'; \quad m_2 = \mu / \sqrt{p_2} = 0,19' / \sqrt{3} = 0,11';$$

$$m_3 = \mu / \sqrt{p_3} = 0,19' / \sqrt{5} = 0,08'; \quad m_4 = \mu / \sqrt{p_4} = 0,19' / \sqrt{4} = 0,10';$$

$$m_5 = \mu / \sqrt{p_5} = 0,19' / \sqrt{4} = 0,10'.$$

Приклад 5.

Під час перенесення проєкту споруди на місцевість планове положення точки перетину осей на місцевості знайдено способом прямокутних координат. Довжина лінії від опорної геодезичної точки до перпендикуляра $S_1 = 58,04$ м, а довжина перпендикуляра $S_2 = 15,3$ м. Прямий кут відкладено теодолітом з середньою квадратичною похибкою $m = 30''$, а довжину лінії відкладено стрічкою з середньою квадратичною відносною похибкою $m_s/S = 1/2000$, точку зафіксовано дерев'яним кілком з середньою квадратичною похибкою $m_\phi = 2$ мм.

Потрібно вирахувати граничну похибку планового положення точки перетину осей.

Розв'язання.

Гранична похибка планового положення точки

$$\Delta_{zp} = 2m_c,$$

де m_c – середня квадратична похибка положення точки, що визначається.

Середню квадратичну похибку перенесення на місцевість точки способом прямокутних координат знаходимо як лінійну функцію інших прямих виміряних величин

$$m_c = \sqrt{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2 + m_\beta^2 S_2^2 / \rho^2 + m_u^2 + m_p^2 + m_B^2 + 2m_\phi^2}$$

де m_{S_1}, m_{S_2} – середні квадратичні похибки відкладених довжин:

$$m_{S1} = (m_S / S) \cdot S_1 = 58,04 / 2000 = \pm 29 \text{ мм},$$

$$m_{S2} = (m_S / S) \cdot S_2 = 15,3 / 2000 = \pm 7,6 \text{ мм}.$$

Похибка відкладення прямого кута

$$m_{\beta}^2 S_2^2 / \rho^2 = (30 \cdot 15300 / 206265)^2 = \pm 5 \text{ мм}.$$

Середня квадратична похибка положення точки через похибку центрування теодоліта

$$m_u = \frac{e}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(S_1 - S_2)}{S_2} = \frac{4}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(58,04 - 15,3)}{15,3} = \pm 2,1 \text{ мм},$$

де e – похибка центрування теодоліта з допомогою виска, яка дорівнює 4 мм.

Середня квадратична похибка положення точки через похибку редуції візирної цілі

$$m_p = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{S_2}{S_1} = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{15,3}{58,04} = \pm 0,6 \text{ мм},$$

де $e_1 = 3$ мм – похибка редуції візирної цілі для металевого стержня діаметром 20 мм.

$$m_B = \frac{20\sqrt{2}}{\rho} \cdot \frac{S_2}{V^x} = \frac{20\sqrt{2} \cdot 15300}{206265 \cdot 20} = \pm 0,1 \text{ мм},$$

де $V^x = 20$ – збільшення зорової труби теодоліта.

Тоді

$$m_c = \sqrt{29^2 + 7,6^2 + 5 + 2,1^2 + 0,6^2 + 0,1^2 + 2 \cdot 2^2} = \pm 30,5 \text{ мм}.$$

Гранична похибка планового положення точки осі

$$\Delta_{ep} = 2m_c = 2 \cdot 30,5 = 61 \text{ мм}.$$

Отже, під час перенесення осей споруди на місцевість способом прямокутних координат з допомогою стрічки ($\Delta' = 1/2000$) і теодоліта ($m_{\beta} = 30'$) гранична похибка в цьому прикладі не має перевищувати $\Delta_{ep} = 61$ мм.

Приклад 6.

Під час розпланування споруди планове положення точки перетину її осей на місцевості знаходять способом полярних координат. Точка перетину осей споруди розміщена на відстані $S = 58$ м від пункту геодезичної опорної мережі. Потрібно знайти, з якою точністю потрібно виконувати лінійні і кутові вимірювання, щоб похибка планового положення точки перетину осей споруди становила $M \leq 2$ см.

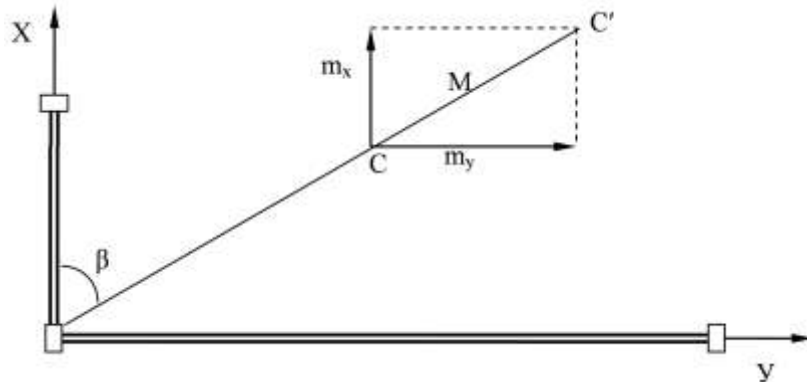


Рисунок 3.1 – Визначення положення точки способом полярних координат

Розв'язання.

Положення точки C, виражене через полярну відстань S та кут β , характеризується координатами

$$X = S \cos \beta, Y = S \sin \beta.$$

Середня квадратична похибка зміщення точки C відносно проектного положення

$$M^2 = m_x^2 + m_y^2,$$

де m_x, m_y – відповідно середні квадратичні похибки зміщення точки C по осях X, Y , які визначаються як функція полярного кута β та відстані S :

$$m_x^2 = m_S^2 \cos^2 \beta + (m_\rho^2 S^2 \sin^2 \beta) / \rho^2,$$

$$m_y^2 = m_S^2 \sin^2 \beta + (m_\beta^2 S^2 \cos^2 \beta) / \rho^2;$$

де m_S, m_ρ – середні квадратичні похибки відкладення на місцевості полярної відстані S та кута β ;

$$M^2 = m_S^2 + m_\beta^2 S^2 / \rho^2.$$

Застосовуючи принцип однакового впливу на точність розпланування споруди лінійних і кутових вимірювань, тобто

$$m_S^2 = S^2 m_\beta^2 / \rho^2 = M^2 / 2,$$

обчислюємо значення похибки лінійних і кутових вимірювань:

$$m_S = M / \sqrt{2} = 2 / \sqrt{2} = \pm 1,4 \text{ см};$$

$$m_\beta = \frac{\rho \cdot M}{\sqrt{2} S} = \frac{206265 \cdot 0,02}{58 \sqrt{2}} = 50,3''.$$

Отже, потрібна точність розпланування споруди може бути забезпечена застосуванням сталевієї рулетки і теодоліта з точністю 30".

Приклад 7.

Висота споруди визначена тригонометричним нівелюванням. Відстань від теодоліта до споруди $S = 91,47$ м, кути нахилу $\gamma_1 = 9^\circ 47'$, $\gamma_2 = -1^\circ 39'$. Середні квадратичні похибки вимірювань становлять $m_S = \pm 0,02$ м, $m_\gamma = 30''$.

Обчислити середню квадратичну похибку визначення висоти споруди.

Розв'язання.

Висоту споруди обчислюємо за формулою тригонометричного нівелювання, м,

$$H = S \cdot (tg \gamma_1 + tg \gamma_2),$$

де $tg \gamma_1, tg \gamma_2$ – тангенси кутів нахилу.

$$H = 91,47 \cdot (tg 9^\circ 47' + tg 1^\circ 39') = 35,54 \text{ м},$$

Середню квадратичну похибку визначення висоти знаходимо як функцію виміряних величин

$$m_H = \sqrt{(\partial H / \partial S)^2 m_S^2 + (\partial H / \partial \gamma_1)^2 m_{\gamma_1}^2 + (\partial H / \partial \gamma_2)^2 m_{\gamma_2}^2}.$$

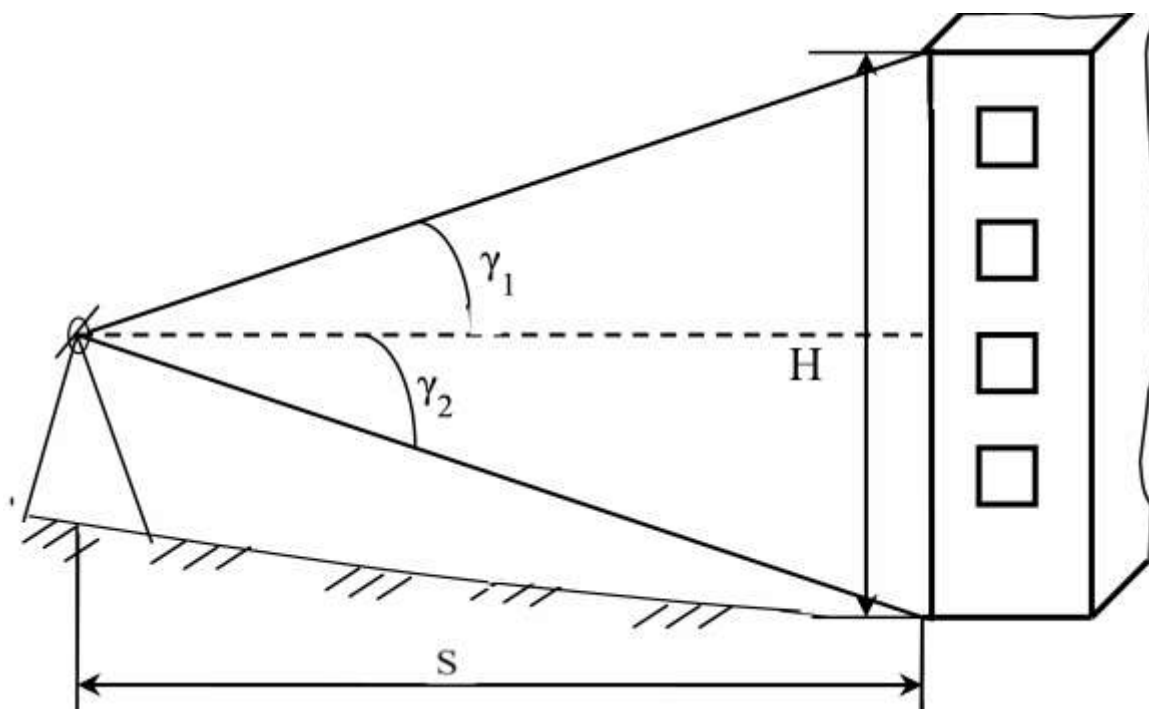


Рисунок 3.2 – Визначення висоти споруди тригонометричним нівелюванням

Оскільки

$$\partial H / \partial S = \operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \gamma_2, \quad \partial H / \partial \gamma_1 = S / \cos^2 \gamma_1, \quad \partial H / \partial \gamma_2 = S / \cos^2 \gamma_2,$$

то

$$m_H = \sqrt{(\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \gamma_2)^2 m_S^2 + S^2 (1/\cos^4 \gamma_1 + 1/\cos^4 \gamma_2) \cdot m_{\gamma_2}^2 / \rho^2} =$$

$$\sqrt{0,3679^2 \cdot 0,02^2 + 91,47^2 (1/\cos^4 19^\circ 47' + 1/\cos^4 1^\circ 39') \cdot 30^2 / 206265^2} = \pm 0,021 \text{ м.}$$

Отже, середня квадратична похибка визначення висоти споруди тригонометричним нівелюванням $m_H = \pm 0,021 \text{ м.}$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. За результатами вимірювань обчисліть імовірнісну і відносну похибки та остаточні значення сторони теодолітного ходу.
2. Визначте середню і середню квадратичну похибки вимірювання кута теодолітом 6 разів.

3. Обчисліть імовірнісне значення довжини сторони полігонометрії, яка виміряна світловіддалеміром 6 разів, середню квадратичну похибку одного вимірювання, середню квадратичну похибку арифметичної середини, відносну похибку найімовірнішого значення і граничну похибку. Побудуйте інтервал, в якому знаходиться точне значення сторони з довірчою імовірністю $p = 0,99$.

4. Обчисліть загальну арифметичну середину, її середню арифметичну похибку, середню квадратичну похибку одиниці ваги і середні квадратичні похибки окремих вимірювань кута одним і тим самим теодолітом 5 разів з різною кількістю прийомів.

5. Обчисліть граничну похибку планового положення точки, місцеположення якої визначено способом прямокутних координат.

6. Обчисліть, з якою точністю потрібно виконувати лінійні і кутові вимірювання під час визначення місцеположення точки способом полярних координат, щоб похибка планового положення її становила $\sigma_i < 2$ см.

7. Обчисліть середню квадратичну похибку визначення висоти споруди за виміряними з відомою точністю горизонтальною відстанню і вертикальним кутом.

4 ФІГУРА ТА РОЗМІРИ ЗЕМЛІ. СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ГЕОДЕЗІЇ

4.1 Модель поверхні Землі та її розміри

Форма Землі як планети обумовлена дією багатьох процесів, пов'язаних з її утворенням та існуванням. Під час розв'язання топографо-геодезичних задач та в процесі картографування земної поверхні необхідно її форму описати найдостовірнішою моделлю з установленими розмірами.

З давніх часів людство цікавило, яку форму має Земля та які її розміри. В VI ст. до н. е. грецький вчений Піфагор зазначав, що *в світі все гармонійно збалансовано і досконало, тому і форма Землі має бути найбільш досконалою із всіх геометричних тіл*. Оскільки таким тілом є куля, то і форма Землі має бути кулеподібною. Подальші наукові дослідження підтвердили гіпотезу Піфагора. В III ст. до н. е. єгипетський математик Ератосфен визначив радіус Землі з похибкою близькою до 100 км.

Сучасні дослідження показали, що форма Землі, як матеріального тіла, визначається дією внутрішніх та зовнішніх сил і поводить себе як пластичне тіло.

Поверхня Землі складається із 29 % материків та 71 % океанів та морів. Земля не є правильною геометричною фігурою. Внаслідок обертання Землі навколо своєї осі під дією доцентрових сил Земля сплюснута біля полюсів. Під дією нерівномірно розміщених мас в земній корі змінюються напрями сил тяжіння, а відповідно і напрями прямовисних ліній, які відхиляються від центра Землі. Земля має декілька шарів, щільність яких збільшується в напрямку до центра. В зовнішньому шарі Землі товщиною від 6 до 70 км, що називається літосферою, закономірностей в розподілі щільності немає. Це пояснюється розміщенням літосфери на межі між твердою Землею, гідросферою та атмосферою. В ній без особливих перешкод відбуваються переміщення порід під дією внутрішніх й зовнішніх сил. Внаслідок цього утворюється фізична (топографічна) поверхня Землі, що являє собою поєднання материків й океанічних впадин зі складними геометричними формами.

Найвища точка Земної поверхні розміщена в Гімалайських горах. Пік Евереста на горі Джомолунгма становить 8848 м над рівнем світового океану. Найнижча точка глибиною 11022 м знаходиться в Маріанській западині Тихого океану. На Україні найвища точка – в Карпатах, гора Говерла, має висоту 2061 м, а найбільша глибина Чорного моря – 2021 м.

Під дією нерівномірно розміщених мас в земній корі змінюється напрямок сил тяжіння. Поверхні, нормальні в кожній точці до напрямку сил тяжіння (прямовисних ліній) називають **рівневими поверхнями**.

Рівнева поверхня Землі, яка перпендикулярна до напрямку сили тяжіння, відхиляється від еліпсоїдальної. Вона стає складною й неправильною в геометричному відношенні. Оскільки на Землі водні простори займають більшу площу, то рівнева поверхня збігається з водною поверхнею океанів і морів, що знаходяться в спокійному стані, і не виражається будь-якою з відомих аналітичних форм. Німецький фізик І. Лістінг в 1873 році запропонував для позначення форми Землі термін *геоїд*, що не має ніякого геометричного змісту.

Геоїдом називають геометричне тіло, обмежене рівневою поверхнею, яка збігається з поверхнею морів та океанів за спокійного стану водних мас й уявно продовженою під материками таким чином, щоб напрямки сил тяжіння перетинали її під прямим кутом (рис. 4.1).

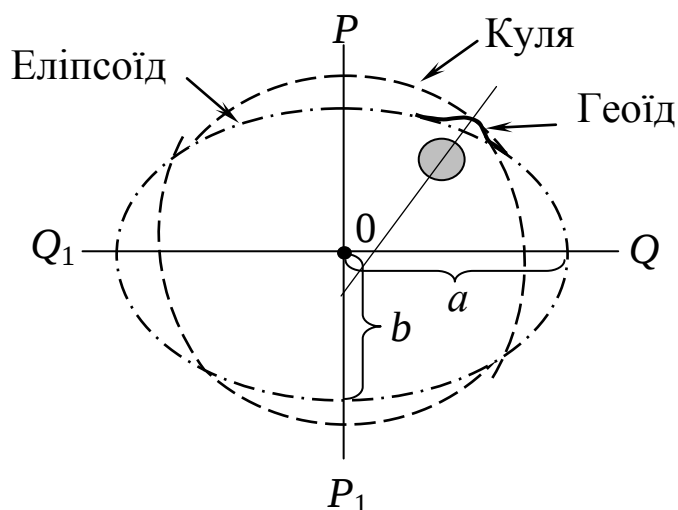


Рисунок 4.1 – Земна куля, земний еліпсоїд, геоїд

Маси в земній корі розміщені нерівномірно, тому прямовисні лінії сил тяжіння відхиляються в сторону більш щільних притягувальних мас

від напрямків, які займали б вони, якби Земля була однорідною. Отже, поверхня геоїда, що скрізь перпендикулярна до напрямків прямовисних ліній, буде мати складну, неправильну форму з кривиною, що змінюється. Особливо різкі зміни кривини поверхні геоїда спостерігаються біля підніжжя гірських хребтів, поблизу берегових ліній морів. Кут між нормаллю mn в цій точці (рис. 4.2) і напрямком прямовисної лінії pq до поверхні еліпсоїда називають відхиленням прямовисної лінії.

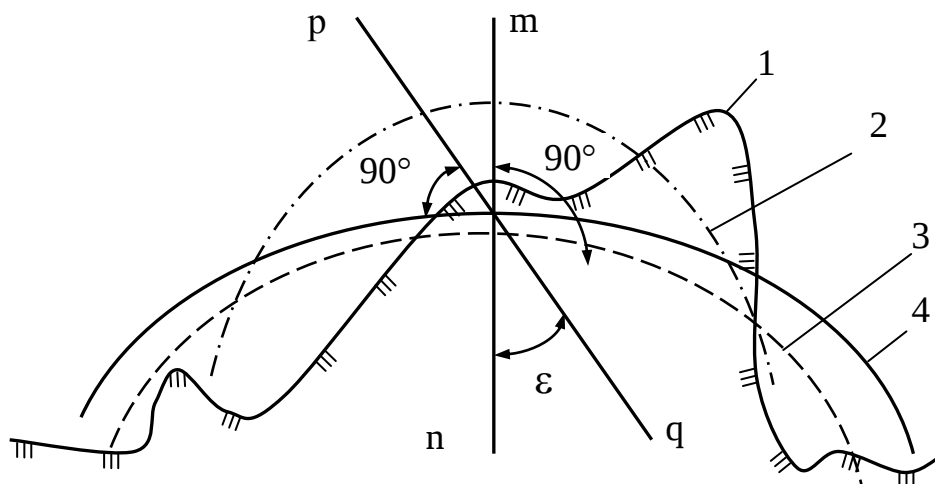


Рисунок 4.2 – Земна куля, земний еліпсоїд, геоїд: 1 – фізична поверхня; 2 – земна куля; 3 – еліпсоїд обертання; 4 – рівнева поверхня

В середньому для земного сфероїда відхилення прямовисної лінії дорівнює 3"...4" і тільки в деяких місцях воно досягає декількох хвилин. Максимальне відхилення поверхні геоїда від еліпсоїда не перевищує 150 м. Для вирішення геодезичних задач, складання карт і планів земної поверхні вибирають математичну поверхню тіла, найбільш близького до геоїда – еліпсоїд обертання (рис. 4.1), який називають **земним еліпсоїдом**.

На рис. 4.1 лінії $OP_1 = b$ та $OQ = a$ називають відповідно **малою b** та **великою a півсями** сфероїда. Вони і визначають загальні розміри Землі та коефіцієнт полярного стиснення α та ексцентриситети e і e'

$$\alpha = (a - b) / a, \quad (4.1)$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) / a^2, \quad (4.2)$$

$$e'^2 = (a^2 - b^2) / b^2. \quad (4.3)$$

Протягом трьох останніх століть вчені різних країн, використовуючи різні дані вимірювань, обчислювали розміри земного еліпсоїда. В нашій країні прийнято такі розміри еліпсоїда, обчислені в 1940 р. вченими-геодезистами Ф. Н. Красовським і А. А. Ізотовим :

$$\begin{aligned} \text{мала піввісь} & \quad b = 6356363 \text{ м ,} \\ \text{велика піввісь} & \quad a = 6378245 \text{ м ,} \\ \text{полярне стиснення} & \quad \alpha = (a - b) / a = 1 : 298,3; \\ \text{перший ексцентриситет} & \quad e^2 = 0,0066934 , \\ \text{другий ексцентриситет} & \quad e'^2 = 0,0067385 . \end{aligned}$$

За результатами супутникових спостережень стиснення земного сфероїда дорівнює $\alpha = 1:298,25$.

Земний еліпсоїд з визначеними розмірами відповідно орієнтований в тілі Землі так, щоб його поверхня найближче підходила до поверхні геоїда, називають **референц-еліпсоїдом**. В Україні проводяться роботи до переходу на Європейський еліпсоїд GRS-80. У таблиці 4.1 подано Референц-еліпсоїди в різний час і різних країнах.

Таблиця 4.1 – Референц-еліпсоїди в різний час і різних країнах

Назва	Рік вимірювання	Екваторіальний радіус, м	Полярний радіус, м	Полярне стиснення	Використання
Кларка	1880	6 378 249,145	6 356 514,870	293,465	Франція, Африка
Еліпсоїд Бесселя	1841	6 377 397,155	6 356 078,963	299,1528128	Європа, Японія
Ейрі	1830	6 377 563,396	6 356 256,909	299,3249646	Велика Британія
Еліпсоїд Красовського	1942	6 378 245	6 356 863,019	298,3	Україна
GRS80	1979	6 378 137	6 356 752,3141	298,257222101	Міжнародна земна система координат (ITRS)
WGS84	1984	6 378 137	6 356 752,3142	298,257223563	США, GPS

Фізична поверхня Землі, на якій виконують геодезичні вимірювання, значною мірою відрізняється від референц-еліпсоїда. Під час топографічних й картографічних робіт Землю часто вважають кулею, об'єм якої дорівнює об'єму земного сфероїда. Радіус такої кулі визначають за формулою:

$$R = \sqrt[3]{a^2 b} \quad (4.4)$$

Виходячи з розмірів референц-еліпсоїда Ф. Н. Красовського, радіус Землі $R = 6371,11$ км. Для незначних ділянок земної поверхні поверхню еліпсоїда вважають площиною.

4.2 Основні лінії та площини еліпсоїда

Положення точок на земній поверхні та на поверхні еліпсоїда визначаються їх координатами в тій чи іншій системі.

Координатами називають лінії та кутові величини, що визначають положення точки в тій чи іншій системі. Осями координат і координатними площинами називають лінії та площини, відповідно до яких визначають положення точок. Для визначення місцеположення точок і напрямків використовують характерні лінії і площини на поверхні еліпсоїда обертання (рис. 4.3).

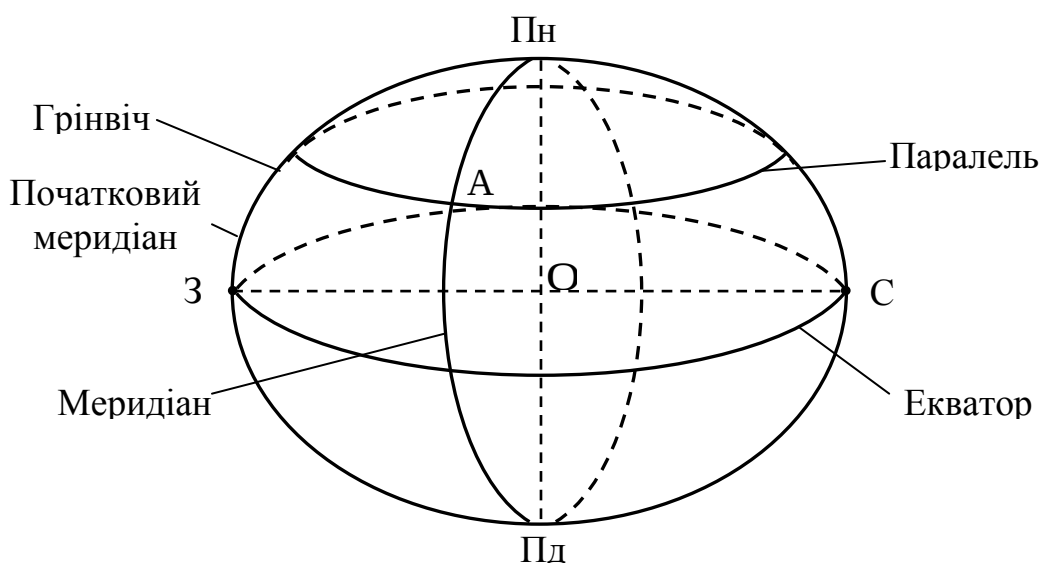


Рисунок 4.3 – Основні лінії та площини еліпсоїда

Площина екватора – площина, перпендикулярна до осі обертання еліпсоїда і проходить через його центр.

Екватор – лінія перетину еліпсоїда площиною, що проходить через центр еліпсоїда і перпендикулярна до його осі обертання, тобто до полярної площини. Екватор – коло, радіус якого дорівнює великій півосі.

Паралелі – лінії перетину поверхні еліпсоїда площинами, паралельними площині екватора. Вони являють собою кола.

Меридіан – лінія перетину земного еліпсоїда меридіальною площиною. Будь-який меридіан – це еліпс, який своїм обертанням навколо малої осі утворює еліпсоїд.

Нормаль до поверхні еліпсоїда в заданій точці (рис. 4.4) є прямою, перпендикулярною до площини, яка дотична до еліпсоїда в цій точці. Нормаль до поверхні еліпсоїда завжди лежить в меридіальній площині, що проходить через цю точку. Для точок північної половини еліпсоїда паралелі перетинають вісь на північ від центра еліпсоїда, а для точок південної половини – на південь від центра. Довжина паралелі визначається відрізком нормалі від поверхні еліпсоїда до його малої осі. Нормальними площинами називаються всі площини, що проходять через нормаль. Нормальний переріз – це лінії перетину нормальних площин з поверхнею еліпсоїда. Прямовисна лінія – напрям вектора сили тяжіння в заданій точці. Прямовисна лінія перпендикулярна дотичній до поверхні геоїда в цій точці.

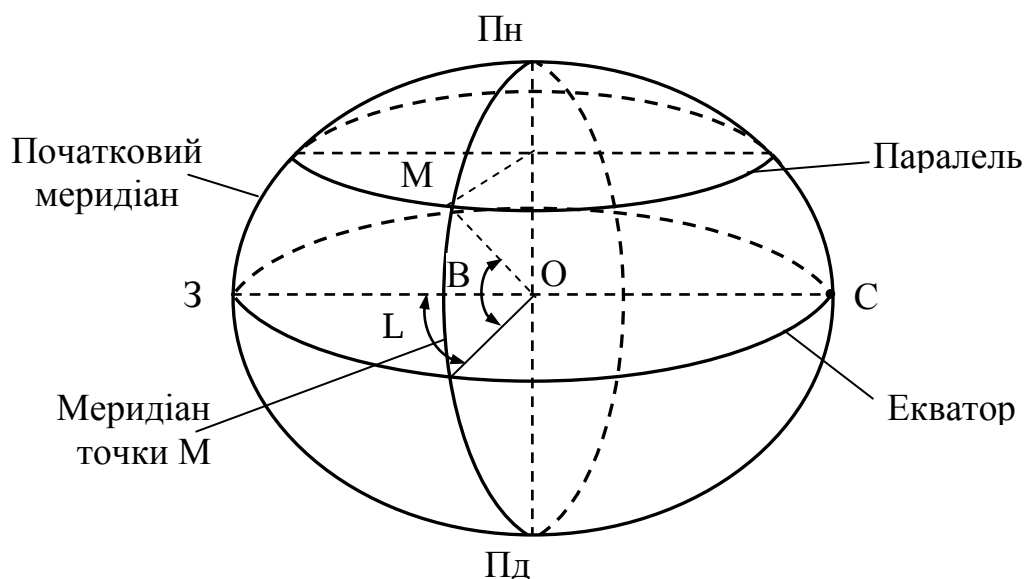


Рисунок 4.4 – Географічні координати точки М (В, L)

4.3 Системи координат в геодезії

4.3.1 Географічні координати точок земної поверхні

За допомогою меридіанів та паралелей визначають **географічні координати точок земної поверхні**. Систему географічних координат запропонував в другому столітті до нашої ери грецький астроном Гіпарх. За координатні поверхні, на яких визначають планове положення точок Землі, вибирають поверхні референц-еліпсоїда або геоїда. Координатними площинами в системі координат є площини екватора й меридіана, взятого за початковий (нульовий). Як такий було взято у 1884 році Гринвіцький меридіан, який проходить через англійську обсерваторію в Гринвічі, що поблизу Лондона. В цій системі положення будь-якої точки визначається географічною широтою й географічною довготою. Залежно від методу визначення широти та довготи географічні координати діляться на геодезичні та астрономічні.

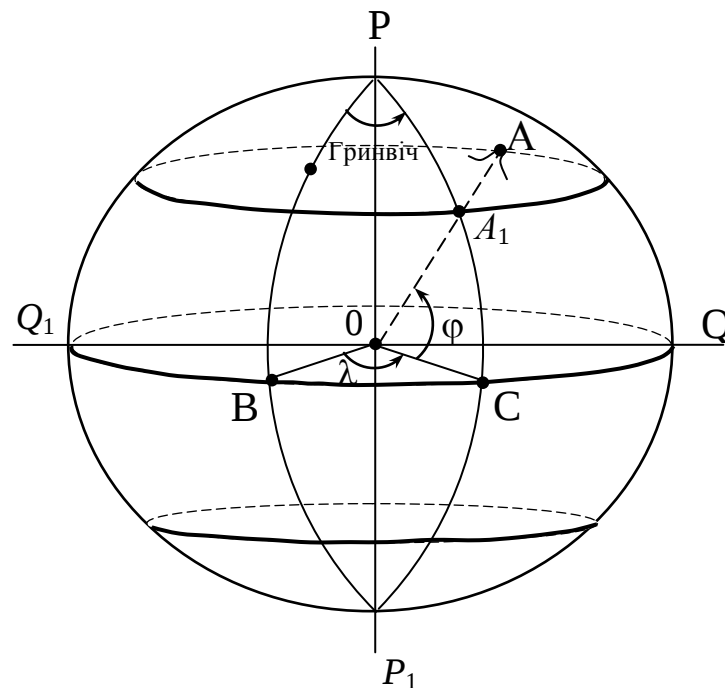


Рисунок 4.5 – Система астрономічних координат

Астрономічною довготою λ називають двограний кут між площиною початкового (Гринвіцького) меридіана та площиною астрономічного меридіана PA_1P_1 , який проходить через точку земної поверхні A та прямовисну лінію паралельно осі обертання Землі (рис. 4.5).

Довготу визначають від 0° до 180° на схід (східну довготу) та на захід (західну довготу) відносно початкового Гринвіцького меридіана.

Астрономічною широтою φ називають кут, утворений між площиною екватора і прямовисною лінією АО, що проходить через точку земної поверхні А (рис. 4.5). Широту, визначену від екватора на північ, називають північною, зі знаком плюс (+), а на південь – південною, зі знаком мінус (-). Широта змінюється від 0 до $\pm 90^\circ$. Географічні координати φ і λ визначають шляхом астрономічних спостережень.

В система геодезичних координат (рис. 4.4) широта B та довгота L визначаються на поверхні **еліпсоїда обертання**. У цьому випадку меридіани та паралелі на поверхні еліпсоїда називаються **геодезичними**. Нормалі до поверхні еліпсоїда не збігаються з напрямком прямовисних ліній внаслідок впливу нерівномірної щільності земних мас в тілі Землі, тому геодезичні координати не збігаються з астрономічними.

4.3.2 Плоскі прямокутні координати

Коли геодезичні роботи виконують на невеликих ділянках земної поверхні і не враховують сферичність Землі, то положення точок можна визначати в системі прямокутних координат.

Плоскі прямокутні координати – це система координат, що складається з двох взаємно перпендикулярних прямих: осі абсцис **X** та осі ординат **Y**, які ділять площину на чверті (рис .4.6).

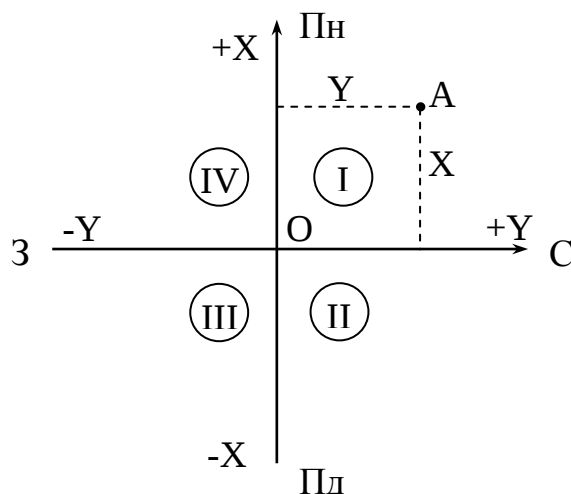


Рисунок 4.6 – Плоскі прямокутні координати точки А (X, Y)

В цій системі площина збігається з площиною горизонту в заданій

точці **O**, що є початком цих координат. Вісь абсцис **X** суміщають з напрямком меридіана, що проходить через початок координат, або з напрямком, який паралельний цьому меридіану. Вісь ординат **Y** проходить через точку **O** перпендикулярно до осі абсцис.

В плоскій прямокутній системі координат ділянка місцевості в точці **O** ділиться на чотири чверті, які відраховуються за ходом годинникової стрілки. Напрямки осей від початку координат позначають на північ та схід знаком «+», а на південь та захід знаком «-». Положення точки визначається абсцисою **X** та ординатою **Y**, тобто відрізками відповідної осі від початку координат до основи перпендикуляра, опущеного з точки на вісь.

Відрізкам приписують знаки тієї чверті, в якій лежить точка. Назви чвертей та знаки координат наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Назви чвертей та координат

Номер чверті	Назва чверті	Знаки координат	
		X	Y
I	Північно-східна (ПнС)	+	+
II	Південно-східна (ПдС)	-	+
III	Південно-західна (ПдЗ)	-	-
IV	Північно-західна (ПнЗ)	+	-

На сучасному етапі з використанням супутникових навігаційних систем (GPS) під час розв'язання геодезичних задач використовують *геоцентричну систему прямокутних просторових координат* (рис. 4.7).

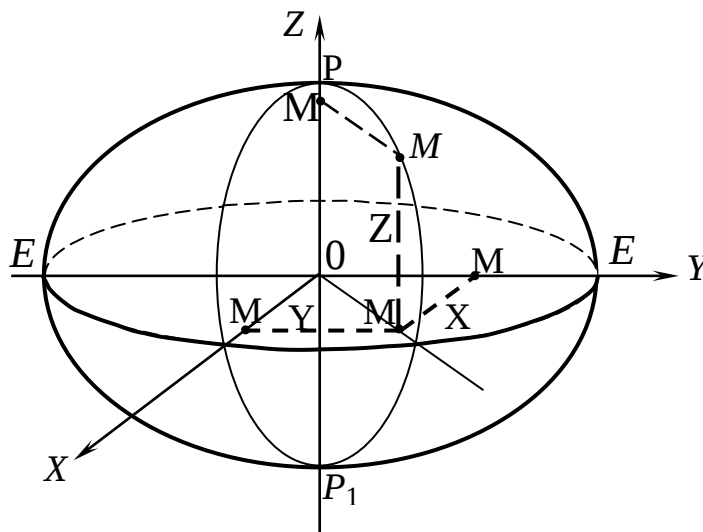


Рисунок 4.7 – Система прямокутних просторових координат

Початок координат розміщено в центрі мас Землі. Вісь OX в площині екватора проходить через точку перетину Гринвіцького меридіана та екватора. Вісь OY доповнює взятую систему координат до правої, а вісь OZ направлена вздовж осі обертання Землі до Північного полюсу.

4.3.3 Полярні та біполярні координати

Полярні координати – система координат на площині, кулі або поверхні еліпсоїда, що складається з точки O , яку називають полюсом, початку координат та полярної осі (рис. 4.8).

За полярну вісь вибирають довільний напрямком, але деколи її суміщають з напрямком меридіана, що проходить через полюс O . Положення будь-якої точки M визначається радіус-вектором $\vec{r}$, за який вибирають пряму на площині, що з'єднує шукану точку з полюсом та полярним кутом β .

В полярній системі координат полярний кут вимірюють від полярної осі за ходом годинникової стрілки до радіус-вектора.

Біполярні координати – лінії або кутові величини, що визначають положення точки M на площині, кулі або еліпсоїді відносно двох вихідних точок P_1 та P_2 (рис. 4.9). Цими величинами можуть бути відстані d_1 та d_2 від точки M до точок P_1 та P_2 або кути β_1 та β_2 , утворені напрямками P_1M і P_2M з прямою P_1P_2 .

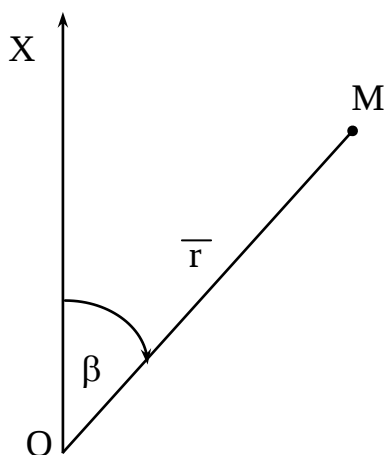


Рисунок 4.8 – Полярні координати

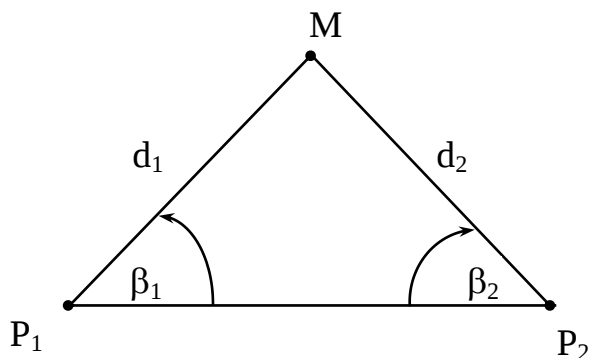


Рисунок 4.9 – Біполярні координати

4.3.4 Висоти точок

Для визначення положення точки на фізичній поверхні Землі використовують третю координату – висоту точки.

Висотою H_A точки земної поверхні називається відстань по прямовисній лінії (нормалі) між рівневою поверхнею точки A і рівневою поверхнею, взятою за початкову (рис. 4.10). Значення висоти називають **позначкою**.

В Україні за основну рівневу поверхню взято рівень у Фінській затоці Балтійського моря, за яким ведуть спостереження в Кронштадті за допомогою мореографа-регістратора, установленого в спеціальному павільйоні біля мосту через Обвідний канал. В 1840 році на мосту Обвідного каналу закріплено футшток-рейку з поділками, що встановлена прямовисно так, щоб її нижній кінець був занурений у воду. Середній рівень моря відповідає нулю Кронштадського футштока, який взято за вихідний пункт нівелірних мереж.

Абсолютні висоти визначають від середнього рівня Балтійського моря, так званого нуля Кронштадського футштока.

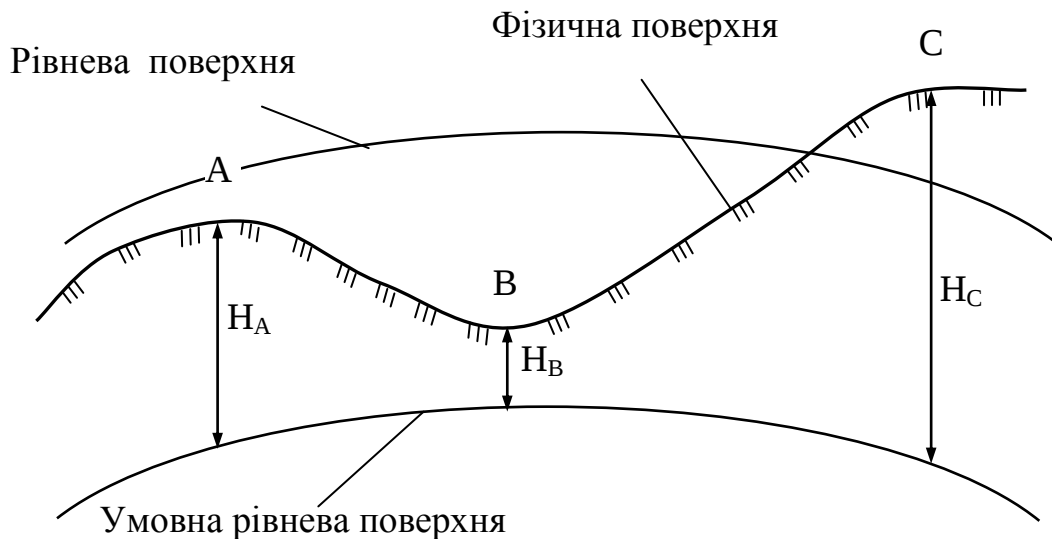


Рисунок 4.10 – Висоти точок земної поверхні

У випадку, коли висоти точок визначені не від основної рівневої поверхні, а від будь-яких інших, то такі висоти називаються **умовними**.

Висоти точок вважають додатними, якщо точки місцевості розміщені вище рівневої поверхні (точка C). Якщо точки розміщені нижче рівневої поверхні, то їх вважають від'ємними (точка B).

Перевищенням точки називають висоту її над іншою точкою земної поверхні

$$h = H_A - H_B. \quad (4.5)$$

Перевищення може бути додатним або від'ємним залежно від взаємного розміщення точок на земній поверхні.

4.4 Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера

Система географічних координат може бути поширена як єдина координатна система на поверхню земного еліпсоїда. Але використання географічної системи координат пов'язане з певними труднощами, серед яких:

- а) взаємне розміщення пунктів визначається в кутових величинах, а всі відстані на місцевості вимірюють в лінійній мірі;
- б) значення одних і тих самих кутових одиниць відповідає різним лінійним величинам залежно від широти;
- в) використання географічних координат потребує складних й трудомістких, навіть для малих відстаней, обчислень.

Для зображення на плоскому аркуші паперу земної поверхні використовують метод прямокутних (ортогональних) проекцій. В ортогональних проекціях зображують просторовий об'єкт на площині за допомогою проекційних променів, перпендикулярних до площини проектування.

В топографії найбільшого поширення отримала рівнокутна (конформна) проекція, оскільки в разі врахування спотворення необхідно вводити практично однакові поправки на довжини ліній в межах окремих ділянок.

В Україні прийнята рівнокутна поперечно-циліндрична проекція сферичної поверхні на площині і відповідна до неї система координат Гаусса-Крюгера (рис. 4.11) (Гаусс запропонував цю проекцію, а Крюгер розробив формули для її використання в геодезії). З метою збереження на аркуші карти практично одного масштабу й подібності зображення на ньому деталей місцевості земний еліпсоїд за допомогою меридіанів ділять на 60 шестиградусних зон. Рахунок зон ведуть на схід від Гринвіцького меридіана. Середній меридіан зони називають осьовим. Кожну таку зону (PAP1B) проектують на поверхню дотичного до неї по осьовому меридіану (POP1) циліндра, вісь якого проходить через центр земного еліпсоїда

перпендикулярно до площини осьового меридіана. Кожна з цих 60 зон зображається на площині незалежно від решти. Кожну зону на поверхню циліндра проєктують так, щоб після розгортання поверхні циліндра в площину, зображення малого контуру навколо кожної точки на циліндрі було б подібне відповідному контуру на площині. За цієї умови кути між відповідними напрямками на еліпсоїді будуть однакові між собою. Осьовий меридіан кожної зони та екватора зображається на проєкції прямою лінією без спотворення.

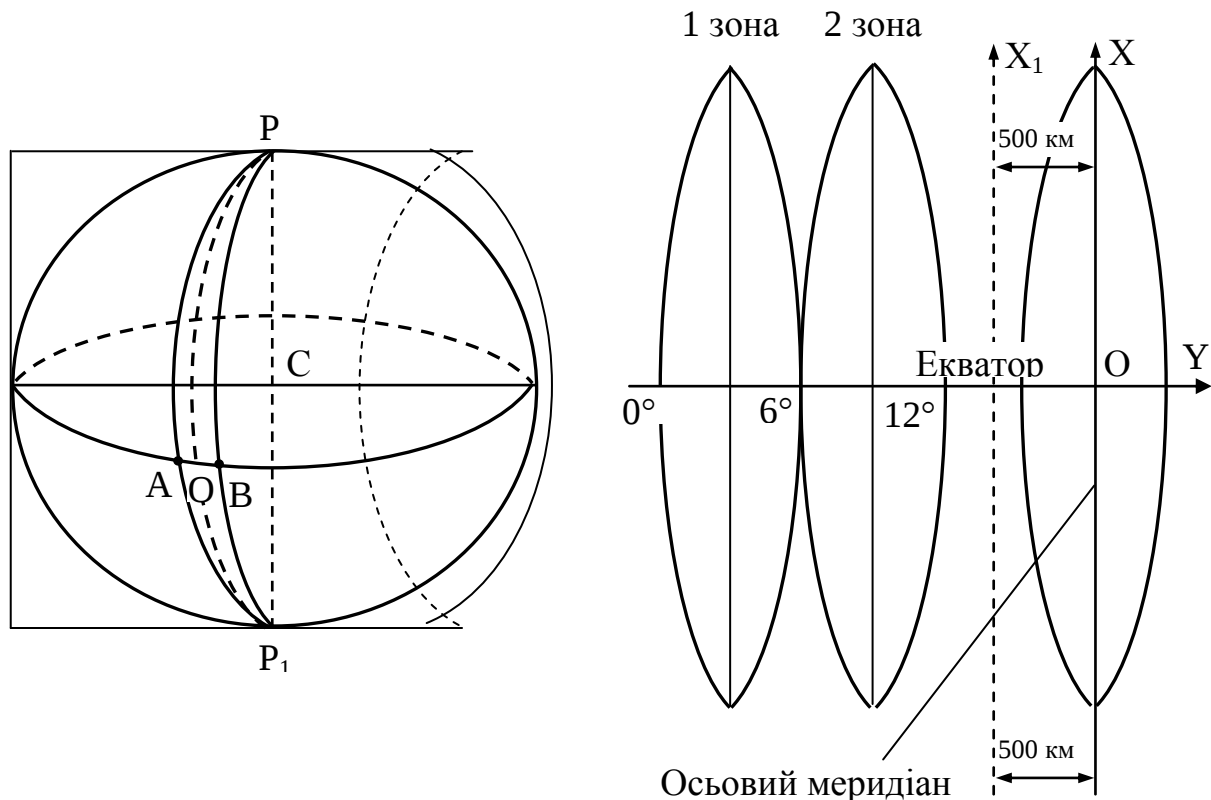


Рисунок 4.11 – Схема побудови поперечно-циліндричних проєкцій та систем координат Гаусса-Крюгера

За початок координат в кожній зоні беруть перетин осьового меридіана й екватора. За вісь абсцис X беруть осьовий меридіан, а за вісь ординат Y – екватор. Спотворення довжин ліній збільшується із віддаленням від осьового меридіана пропорційно квадрату ординати. Ці спотворення на межі шестиградусної зони можуть досягати до 1:1500 довжини лінії. Поправку за спотворення довжини лінії визначають за формулою

$$\Delta d = \frac{(Y_1 + Y_2)^2}{2R^2} \cdot d, \quad (4.6)$$

де Y_1, Y_2 – ординати кінцевих точок лінії довжиною d ;

R – середній радіус кривини.

Система координат в кожній зоні однакова. Для встановлення зони, в якій знаходиться точка з цими координатами, ліворуч від значення ординати пишуть номер зони. Щоб не було від'ємних ординат, точкам осевого меридіана умовно дописується ордината, що дорівнює 500 км (рис. 4.11). Тоді всі точки на схід й захід від осевого меридіана будуть мати додатні ординати. Наприклад, якщо ордината $Y = 4\ 312\ 142$, то точка знаходиться в четвертій зоні і віддалена на захід від осевого меридіана на $312412 - 500000 = -187588$ м.

Довготу осевих меридіанів шестиградусних зон визначають за формулою

$$L = 6 \cdot n - 3^\circ, \quad (4.7)$$

де n – номер зони.

Для полегшення користування прямокутними координатами в кожній зоні розбивають кілометрову сітку.

4.5 Врахування кривини земної поверхні під час визначення горизонтальних відстаней та висот

Еліпсоїдна земна поверхня проектується на площину з певним допущенням, пов'язаним з тим, що довжина дуги не дорівнює довжині дотичної $B'C$ (рис. 4.12).

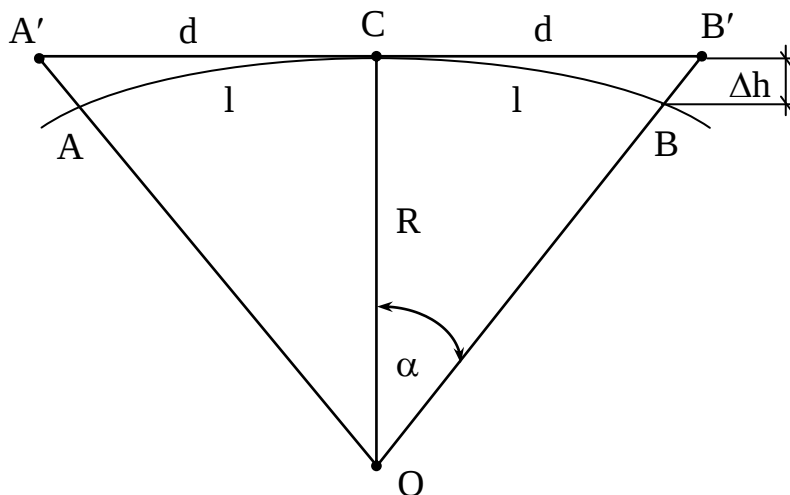


Рисунок 4.12 – Вплив кривини Землі на визначення горизонтальних та вертикальних відстаней

Під час розв'язання топографічних задач на місцевості необхідно

знати розміри ділянки земної поверхні, яку практично можна вважати площиною.

Якщо Землю вважати кулею з радіусом R , то абсолютна похибка від заміни частини кулі дотичною до неї площиною буде дорівнювати різниці

$$\Delta d = l - d, \quad (4.8)$$

де l – довжина дуги;

d – довжина дотичної, що визначаються за формулами

$$d = R \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.9)$$

$$l = R \cdot \alpha, \quad (4.10)$$

де α – центральний кут в радіанах, величина якого мала;

тоді можна використовувати відомий математичний вираз:

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{d^2}{3} + \frac{d^3}{4} + \dots \quad (4.11)$$

Довжина дотичної з урахуванням (4.11)

$$d = R \left(\frac{l}{R} + \frac{l^3}{3R^2} \right) = l + \frac{l^3}{3R^2}, \quad (4.12)$$

Тоді абсолютна похибка

$$\Delta d = l^3 / 3 \cdot R^2, \quad (4.13)$$

а відносна похибка

$$\Delta d / l = l^2 / 3R^2. \quad (4.14)$$

Абсолютну та відносну похибки за умови визначення горизонтальних відстаней на ділянках різних розмірів наведено у табл.4.3.

Таблиця 4.3 – Абсолютна та відносна похибки

Розміри ділянки, км	10	25	50
Абсолютна похибка, км	0,82	12,8	103,0
Відносна похибка	1:1 200 000	1:1 200 000	1:50 000

Дані таблиці 4.3 свідчать, що вплив заміни частини поверхні дотичною до неї площиною під час визначення горизонтальних відстаней на ділянці до 10 км незначний. За таких розмірів ділянку можна вважати

плоскою під час найточніших вимірювань горизонтальних відстаней на земній поверхні.

Відрізок Δh (рис. 4.8) характеризує вплив кривини Землі на визначення висот точок земної поверхні. З прямокутника OCB

$$d^2 = (R + \Delta h)^2 - R^2 = \Delta h^2 + 2 \cdot R \cdot \Delta h. \quad (4.15)$$

З рівняння (4.15) отримуємо

$$\Delta h = d^2 / (2R + \Delta h). \quad (4.16)$$

Оскільки величина Δh мала порівняно з радіусом Землі, то можна записати

$$\Delta h = d^2 / 2R. \quad (4.17)$$

Таблиця 4.4 – Вплив кривини на визначення висот

Відстань d, м	100	1000	2 000	5 000	10 000
Абсолютна похибка Δh , см	0,08	7,8	31	105	780

Враховуючи, що під час топографо-геодезичних робіт точність визначення висот 1...2 см, то обов'язково необхідно врахувати поправку на кривину Землі під час визначення перевищень.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Дайте означення рівневої поверхні та геоїда.
2. Що взято за форму Землі?
3. Наведіть параметри земного еліпсоїда.
4. Охарактеризуйте основні лінії та площини еліпсоїда.
5. Дайте означення геодезичних й астрономічних широти та довготи.
6. Поясніть суть плоских прямокутних координат.
7. Розкрийте суть полярних координат.
8. Розкрийте суть біполярних координат.
9. Що таке висота точки?
10. Що таке перевищення?
11. Охарактеризуйте систему координат Гаусса-Крюгера.
12. Які величини спотворюються в системі координат Гаусса-Крюгера?
13. Навіщо осьовий меридіан зони умовно зміщують на 500 км?
14. Як враховується кривина Земної поверхні під час визначення горизонтальних відстаней та висот?

5 ОРІЄНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ТА НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ

5.1 Кути орієнтування

Орієнтувати напрям – це визначити його положення на місцевості або кресленні відносно іншого напрямку, взятого за початковий. Під час орієнтування за сторонами світу за початковий напрям беруть істинний, магнітний або осьовий меридіан. Меридіан, що проходить через задану точку місцевості, одним напрямом вказує на північний, а іншим – на південний полюс.

Для орієнтування напрямів користуються азимутами, румбами та дирекційними кутами.

Істинним азимутом лінії місцевості в заданій точці називають кут, що відрахований за ходом годинникової стрілки від північного напрямку істинного меридіана, який проходить через цю точку, до напрямку з цієї точки на предмет (рис. 5.1). За абсолютним значенням азимути змінюються від 0° до 360° (рис. 5.1). Меридіани між собою не паралельні, тому азимут лінії в кожній її точці має різне значення (рис. 5.2).

$$A_2 = A_1 + \gamma. \quad (5.1)$$

Зближення меридіанів – γ – кут між напрямками двох меридіанів в певних точках, який обчислюють за формулою:

$$\gamma = \pm \Delta\lambda \cdot \sin \varphi, \quad (5.2)$$

де $\Delta\lambda$ – різниця довготи меридіанів точки $P_1 (\lambda_1)$ й точки $P_2 (\lambda_2)$;

φ – широта точки.

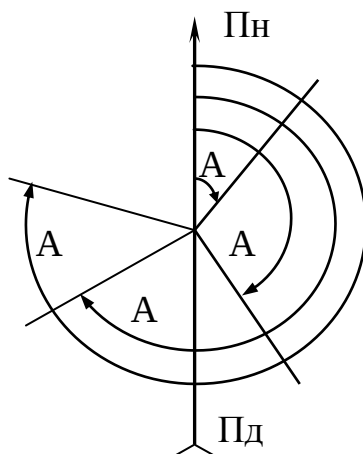


Рисунок 5.1 – Азимути ліній

Кут γ для точок, розміщених на схід від осьового меридіана, від'ємний ($-$), а на захід – додатний ($+$).

Під час розв'язання практичних задач доцільно користуватися магнітними азимутами, які легко можна визначити за допомогою простих приладів, головною частиною яких є магнітна стрілка.

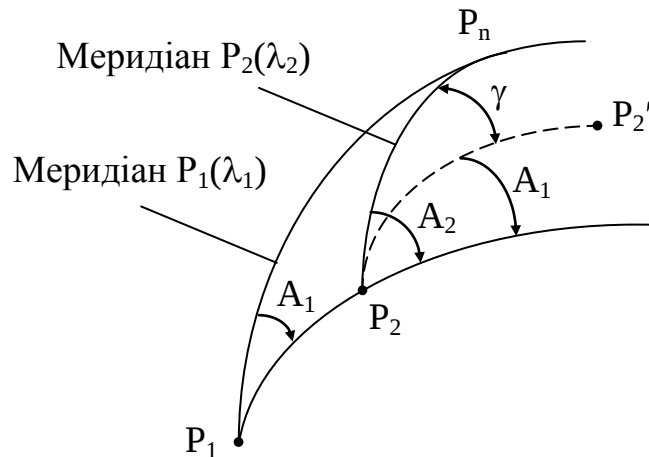


Рисунок 5.2 – Зближення меридіанів

Магнітний меридіан – це проекція магнітної осі вільно підвішеної магнітної стрілки в заданій точці на рівневу поверхню. Напрями магнітного й істинного меридіанів, що проходять через одну й ту саму точку місцевості, не збігаються, а перетинаються під кутом, що називають схиленням магнітної стрілки (рис. 5.3). Магнітне схилення вважається східним, коли магнітний меридіан відхиляється на схід від істинного меридіана, і позначається знаком ($+\delta_c$). Магнітне схилення вважається західним, коли магнітний меридіан відхиляється на захід від істинного меридіана, і позначається знаком ($-\delta_z$).

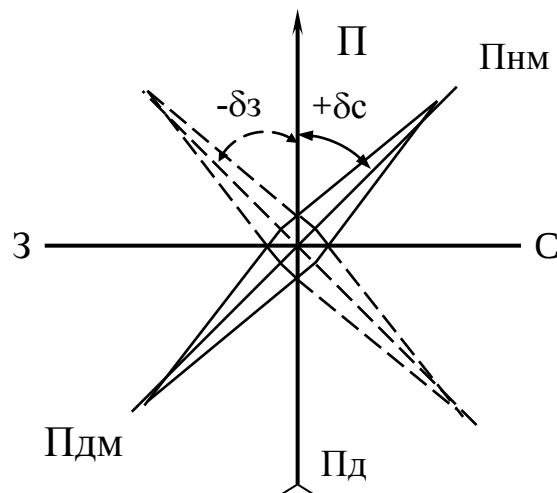


Рисунок 5.3 – Магнітне схилення

В кожній точці місцевості магнітне схилення змінюється безперервно. Розрізняють вікову, річну й добову зміни схилення. Добові зміни схилення на Україні досягають 15", а річні в одній і тій самій точці – 9'. Є райони, в яких взагалі неможливо користуватись магнітною стрілкою. Такі райони називаються аномальними, до них відносяться Курська, Криворізька та інші магнітні аномалії. Систематичні спостереження за зміною магнітного схилення в певному районі виконують на метеорологічних станціях.

Магнітний азимут – це горизонтальний кут, відрахований за ходом годинникової стрілки від північного напрямку магнітного меридіана, що проходить через задану точку, до напрямку з цієї точки на предмет. Магнітні азимути, як і дійсні, змінюються від 0° до 360°. Залежність між магнітними й дійсними азимутами:

$$A_i = A_m + \delta_c, \quad (5.3)$$

$$A_i = A_m - \delta_z, \quad (5.4)$$

де A_i , A_m – відповідно істинний та магнітний азимути.

В практичних цілях замість азимутів користуються для орієнтування напрямів румбами.

Румб – це гострий кут, що відраховується від напрямку на предмет до найближчого напрямку меридіана, що проходить через задану точку (рис. 5.4). Значення румбів змінюються від 0° до 90°. Румби позначаються індексами (ПнС, ПдС, ПдЗ, ПнЗ), що вказують на чверть, в якій знаходиться румб.

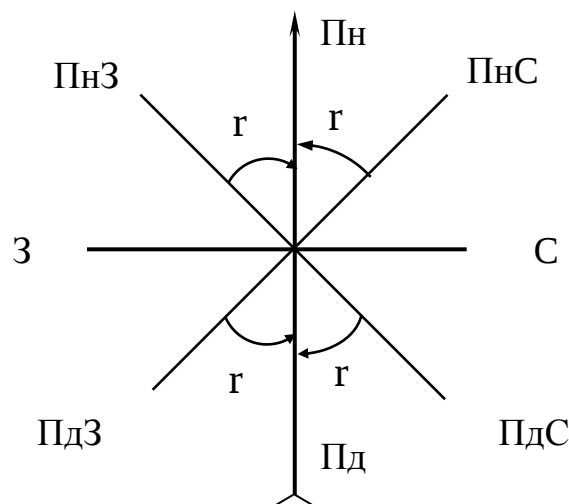


Рисунок 5.4 – Румби

Зв'язок між румбами й азимутами наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Залежність між румбами й азимутами

Чверті	Назва чверті чи орієнтування	Азимути	Румби
1	Пн Сх	$0^\circ \dots 90^\circ$	$r = A$
2	Пд Сх	$90^\circ \dots 180^\circ$	$r = 180^\circ - A$
3	Пд Зах	$180^\circ \dots 270^\circ$	$r = A - 180^\circ$
4	Пн Зах	$270^\circ \dots 360^\circ$	$r = 360^\circ - A$

Залежно від того, від якого меридіана (істинного чи магнітного) визначають румби, їх називають істинними або магнітними.

Азимути бувають прямі й зворотні. Азимут, який визначений з початку лінії, називають прямим, а з кінця цієї ж лінії – зворотним.

Так, якщо для лінії РД (рис. 5.5) кут A – прямий азимут, то кут A' буде зворотним азимутом.

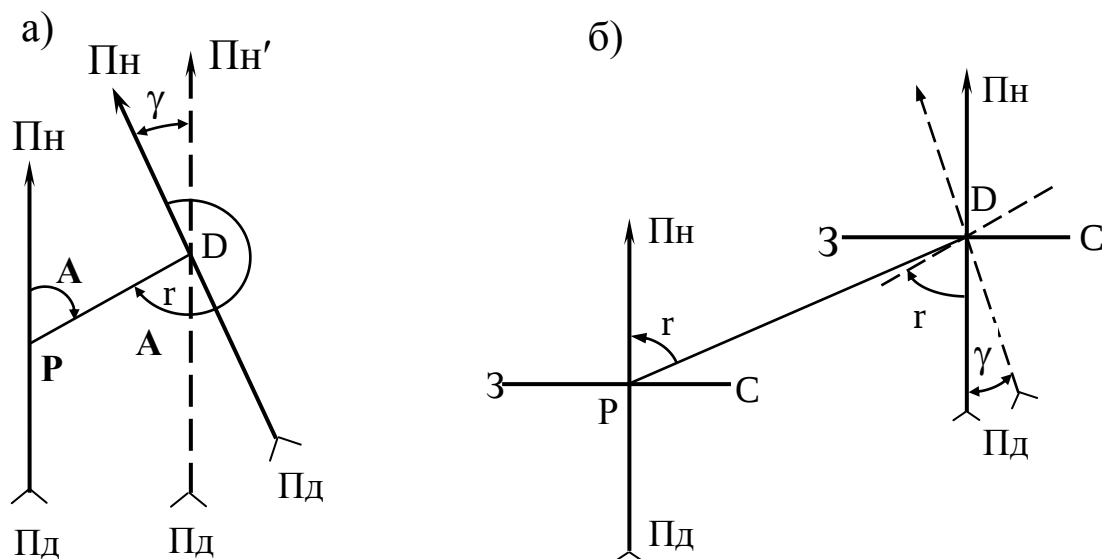


Рисунок 5.5 – Прямі й зворотні азимути (а) й румби (б)

Оскільки меридіани не паралельні між собою і відрізняються на величину зближення меридіанів γ , то залежність між прямим й зворотним азимутами лінії має вигляд

$$A' = A + 180^\circ + \gamma . \quad (5.5)$$

Якщо відстань між точками не перевищує 1 км, то в цьому випадку зближенням меридіанів можна знехтувати

$$A' = A + 180^\circ. \quad (5.6)$$

Румби, як й азимути, бувають прямі й зворотні. Для лінії РД (див. рис. 5.5) румб – прямий, а для лінії ДР румб – зворотний. Прямий румб дорівнює зворотному румбу за кутовою величиною з урахуванням зближення меридіанів й протилежний за назвою

$$\rightarrow_{\text{ПнС}} = \rightarrow'_{\text{ПдЗ}} + \gamma. \quad (5.7)$$

Якщо відстань між точками не перевищує 1 км, то зближенням меридіанів можна знехтувати

$$\rightarrow_{\text{ПнС}} = \rightarrow'_{\text{ПдЗ}}. \quad (5.8)$$

Для орієнтування на площині ліній в межах кожної зони в системі координат Гаусса-Крюгера замість істинного або магнітного меридіанів за вихідне беруть положення напрямку осі абсцис, паралельне осьовому меридіану шестиградусної зони.

Дирекційний кут – це горизонтальний кут, що його відраховують за рухом годинникової стрілки від північного напрямку осьового меридіана зони або лінії, яка йому паралельна, до заданого напрямку (рис. 5.6).

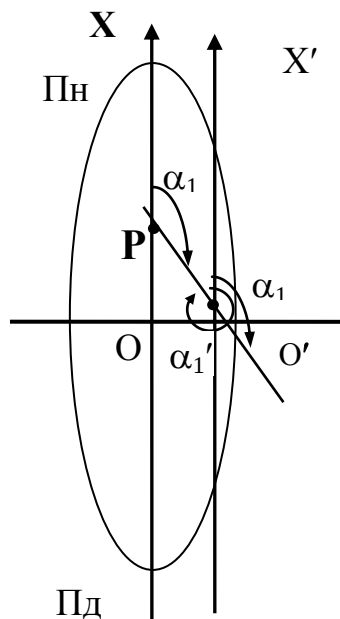


Рисунок 5.6 – Дирекційні кути

Значення дирекційних кутів змінюються від 0° до 360° . Оскільки напрямок OX' паралельний осьовому меридіану зони OX , то залежність між прямим й зворотним дирекційним кутом має вигляд

$$\alpha' = \alpha \pm 180^\circ, \quad (5.9)$$

тобто прямий та зворотний дирекційні кути однієї й тієї самої лінії за абсолютним значенням відрізняються між собою на 180° .

Зв'язок між дирекційним кутом й магнітним азимутом з урахуванням значень та знаків зближення меридіанів й магнітного схилення визначається залежністю

$$\alpha = A_m - (\gamma - \delta). \quad (5.10)$$

Середнє значення магнітного схилення та зближення меридіанів для території, що зображена на карті, наводиться під її південною рамкою.

5.2 Визначення географічного азимута

Географічний азимут визначається астрономічним методом та гіроскопічним орієнтуванням за допомогою спеціального приладу – гіротеодоліта.

За астрономічного методу визначення географічного азимута A напрямку ZM (рис. 5.7) заміряють горизонтальний кут між цим напрямом й напрямом на небесне світило (Сонце, Полярна зірка тощо) β .

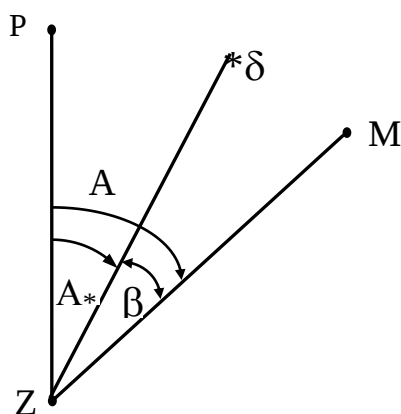


Рисунок 5.7 – Визначення азимута астрономічним методом

За правилами астрономії визначають азимут A на небесне світило в момент візування на нього. Відповідно до рис. 5.7 географічний азимут напрямку

$$A = A_* + \beta. \quad (5.11)$$

Тобто, задача визначення географічного азимута полягає в знаходженні азимута на небесне світило у взятій системі координат.

Всі небесні світила розглядаються в проекції на поверхню небесної сфери, за яку взято поверхню довільного радіуса з центром в точці знаходження спостерігача.

Пряма, паралельна осі обертання Землі, навколо якої проходить видиме добове обертання небесної сфери, називається віссю світу, а точки її перетину з небесною сферою – відповідно північним й південним полюсами світу. Площиною небесного екватора називають площину, перпендикулярну до осі світу, яка проходить через центр Землі. Переріз площиною небесного екватора небесної сфери є небесним екватором. Велике коло, що проходить через вісь світу й світило, називають колом схилення цього світила.

Прямовисна лінія, що проходить через точку спостереження, перетинає небесну сферу в двох діаметрально протилежних точках – zenіті й надирі. Площина великого кола, що перпендикулярна до прямовисної лінії, яка проходить через точку спостереження, називається площиною небесного горизонту, а переріз цієї площиною небесної сфери – небесним горизонтом. Площини, що проходять через прямовисну лінію, утворюють в перерізі з небесною сферою кола, які називаються вертикалями. Вертикаль, що проходить через вісь світу, називають меридіаном стояння спостерігача.

Положення світила на небесній сфері може бути визначене двома координатами в різних системах.

В горизонтальній системі координатами є zenітна відстань світила й азимут світила A_* на момент візування на нього, що відраховується від точки півдня до вертикалі світила за ходом годинникової стрілки.

В екваторіальній системі координат координатами світила є схилення δ й часовий кут t . Схиленням світила називається дуга кола схилення від небесного екватора до світила. Часовим кутом світила називається дуга небесного екватора від астрономічного меридіана до кола схилення світила. Часовий кут відраховується від південної частини

меридіана за ходом годинникової стрілки до кола схилення світила й змінюється від 0° до 360° .

Азимут A_* визначають астрономічним способом за висотою світила. З цією метою виміряють зенітну відстань світила. Визначають за допомогою карти широту точки спостереження. Беруть з астрономічного щорічника схилення світила, що його спостерігають, й за цими даними обчислюють азимут A_* .

У випадку способу визначення азимута A за часовим кутом світила за допомогою точного годинника визначають часовий кут t . Користуючись значенням часового кута t , враховуючи широту точки спостереження світила, обчислюють азимут A_* .

У випадку гіроскопічного орієнтування азимут визначають за допомогою гіртеодоліта, що поєднує гіроскоп, як датчик напрямлення географічного меридіана, й теодоліт, як прилад для вимірювання кутів горизонтальних напрямів.

Гіроскоп – це пристрій, ще складається із ротора, який може обертатись з дуже великою швидкістю, й системи опор, які забезпечують рух ротора навколо нерухомої точки, що лежить на його головній осі. Гіроскоп називають вільним, якщо він має три ступеня свободи, а нерухома точка збігається з центром ваги гіроскопа й з точкою перетину осей підвішування ротора. Властивості вільного гіроскопа: у випадку, якщо не діють зовнішні сили, головна вісь гіроскопа зберігає постійний напрям в просторі незалежно від переміщення основи; під дією зовнішньої сили, прикладеної до осі швидкообертового ротора, вона переміщується в напрямі, перпендикулярному до осі дії сили. Такий рух головної осі обертового гіроскопа називають прецесією.

В гіртеодолітах гіроскоп перетворено в датчик напрямку географічного меридіана внаслідок дії на головну вісь двох сил – добового обертання Землі й сили тяжіння. Чутливий елемент приладу – роторний гіроскоп – за конструкцією може бути триступеневим маятниковим гіроскопом або двоступеневим гіроскопом з горизонтальним чи вертикальним розміщенням головної осі.

Сила тяжіння завжди й скрізь направлена до центра тяжіння Землі, тому під її впливом вісь гіроскопа прагне встановитися в горизонтальне положення. Внаслідок обертання Землі навколо своєї осі вісь гіроскопа прагне розміститися паралельно осі обертання Землі, тобто в площині

географічного меридіана. Внаслідок дії обох сил головна вісь гіроскопа виконує складний рух: незалежно від свого первісного положення вона рухається в сторону площини меридіана й, прагнучи з нею суміститися, виконує гармонічні азимутальні коливання. Положення рівноваги цих коливань відповідає напрямку географічного меридіана.

Гіроскопічний азимут напрямку на предмет визначають за формулою

$$A_r = M - N_0, \quad (5.12)$$

де M – відлік за горизонтальним кругом, що відповідає напрямку на місцевий предмет;

N_0 – відлік за горизонтальним кругом, що відповідає напрямку географічного меридіана.

Географічний азимут напрямку обчислюють за формулою

$$A = A_r + \Delta, \quad (5.13)$$

де Δ – поправка гіротеодоліта, яку визначають на еталонному приладі на вихідних напрямках з відомими географічними азимутами.

5.3 Визначення магнітного азимута

Магнітні азимути або румби визначають за допомогою вільно підвішеної й урівноваженої в горизонтальній площині магнітної стрілки.

Компас магнітний – це прилад, призначений для визначення сторін горизонту й вимірювання на місцевості магнітних азимутів. Під час орієнтування на місцевості використовують компас Андріанова, який складається з корпусу, в центрі якого вільно обертається магнітна стрілка на вістрі сталевій голки. Під впливом магнітних сил Землі стрілка сама встановлюється в напрямі магнітного меридіана. В робочому стані стрілки її північний кінець встановлюється в напрямі на Північний магнітний полюс, а південний – на Південний магнітний полюс. В неробочому стані стрілка закріплюється тормозом, тобто притискується до скла за допомогою аретира. В середині корпусу розміщена кругова шкала (лімб), розділена на 120 поділок. Ціна однієї поділки становить 3° , шкала має подвійну оцифровку. Внутрішня оцифровка нанесена за ходом годинникової стрілки від 0° до 360° через 15° (5 поділок шкали). Зовнішня оцифровка нанесена проти ходу годинникової стрілки через 30° (10 поділок шкали).

Для візування на місцевості предметів і зняття відліків по шкалі компаса на його кільці, що обертається, закріплені візирні пристрої у вигляді цілика і мушки, а також показчик відліків.

Північний кінець магнітної стрілки, показчик відліків й поділки на шкалі через 90° покриті фарбою, яка світиться в темноті, що дозволяє користуватись компасом вночі.

Орієнтування напрямків на сторони горизонту за допомогою компаса виконують в такій послідовності. Показчик відліку біля мушки візирного пристрою встановлюють на нульову поділку шкали, а компас – в горизонтальне положення. Потім відпускають тормоз магнітної стрілки й повертають компас так, щоб північний її кінець збігся з нульовим відліком. Після цього, не змінюючи положення компаса, візуванням через цілик та мушку помічають на лінії візування віддалений орієнтир, який використовують як напрям на північ. В протилежному напрямі відносно півночі буде південь, праворуч – схід, а ліворуч – захід.

Бусоль – прилад для безпосереднього вимірювання магнітних азимутів або румбів ліній та для визначення напрямку магнітного меридіана. Використовуються бусолі Шмалькальдера та БГ-1 як самостійні прилади і орієнтир-бусолі, що входять в комплект геодезичних приладів, таких як теодоліт, мензула та ін.

Основними частинами бусолі БГ-1 є лімб (круг з поділками), алідада й безпосередньо бусоль. На алідаді вигравіювано два верньєри, розміщені один навпроти одного. Ціна поділки лімба 1° , а поділки шкали верньєра $5'$. На алідаді розміщено два діоптри, окулярний та предметний. Окулярний діоптр має вузьку щілину для спостереження, а предметний – вертикально натягнену в прорізі нитку. В центрі алідади встановлено бусоль, жорстко закріплену з нею.

Бусоль має корпус, на верхній кільцевій поверхні якого нанесено шкалу румбів. В центрі корпусу є шпиль, на який насаджено через агатовий підп'ятник сталева магнітна стрілка. З метою запобігання механічних пошкоджень стрілки й шкали передбачено кришку з захисним склом. Під час обертання кришки за ходом годинникової стрілки аретирний пристрій притискає стрілку до скла кришки.

Для вимірювання румбів й азимутів за допомогою циліндричного штиря з конічним отвором, що за допомогою перехідної втулки з'єднується знизу з центральним отвором лімба, бусоль надівають на штир. Відкріплюють магнітну стрілку, для чого поворотом кришки проти ходу

годинникової стрілки магнітну стрілку опускають на штир. Орієнтують бусольне кільце й лімб за магнітним меридіаном. Для цього нуль лімба суміщають з нулем алідади біля окулярного діоптра, відпускають затискний гвинт, поворотом всієї бусолі на штирі суміщають нуль бусольного кільця біля предметного діоптра з північним кінцем стрілки. Фіксують бусоль затискним гвинтом. Внаслідок виконаних дій бусоль підготовлено до роботи. Поворотом алідади наводять візирну лінію діоптра на ціль. Знімають відліки: для азимутів – за лімбом, а для румбів – за бусольним кільцем.

5.4 Навігаційна система глобального позиціонування GPS

Супутникова навігаційна система глобального позиціонування на базі часових та віддалемірних вимірювань дозволяє визначати координати точок, місцеположення рухомого об'єкта та його швидкість, обчислювати відстань й напрям до пункту, час прибуття й віддалення від заданого курсу. Ця система замість геодезичних знаків і радіомаяків використовує супутники, що подають спеціальні сигнали. Поточне місцеположення супутників, що знаходяться на високих орбітах (20 000 км), добре відомо. Супутники постійно передають інформацію про своє місцеположення. Відстань до них визначається шляхом вимірювання проміжку часу, який потрібний радіосигналу, щоб дійти від супутника до радіоприймача, та множенням його на швидкість поширення електромагнітних хвиль. Точність вимірювання відстаней до супутників забезпечується шляхом синхронізації годинників супутників, в яких використовують атомні еталонні генератори частоти.

Для визначення відстаней супутники й приймачі генерують складні двійкові кодові послідовності, що називаються псевдовипадковим кодом. Визначення часу поширення сигналу відбувається шляхом порівняння запізнювання псевдокоду супутника відносно до такого самого коду приймача. Кожний супутник має певні, свої власні два псевдовипадкових коди. Щоб розрізняти віддалемірні коди та інформаційні повідомлення різних супутників, в приймачі відбувається виклик відповідних кодів. Псевдовипадкові віддалемірні коди та інформаційні повідомлення супутників виконують передавання повідомлень з усіх супутників одночасно, на одній частоті та без взаємних перешкод.

Навігаційна система GPS складається з трьох сегментів: космічного, сегмента контролю й сегмента користувача. Космічний сегмент включає більше двох десятків супутників, що знаходяться на декількох орбітах. Сегмент контролю – це станції спостереження, розміщені в декількох точках Землі, й головна контрольна станція. Станції спостереження слідкують за супутниками, записують всю інформацію про їх рух. Ця інформація передається на головну станцію для корегування орбіт супутників й навігаційної інформації. Сегментом користувача є приймачі GPS.

Приймачі навігаційного обладнання GPS мають такі особливості: унікальні алгоритми слідкування за супутниками, зручний графічний інтерфейс, компактність та незначне споживання електроенергії.

Приймач eTrex – найменший – 12 каналів, його алгоритм дозволяє швидко й просто орієнтуватися на місцевості й прокладати маршрути, відмічати точки шляху та визначати швидкість свого руху. Дисплей з анімацією дозволяє постійно контролювати місцеположення.

Картографічна система eMap, що містить інформацію про міста, основні річки й озера, автомобільні дороги всіх країн світу, зручна для пошуку необхідних міст й маршрутних точок. Вона дозволяє вимірювати відстані до пунктів призначення, зберігати чи виводити інформацію про точки й маршрути, карти пам'яті для картографічної підкладки.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики навігаційних приймачів GPS

Параметри	eTrex	eMap	GPS II PLUS	GPS III PLUS
Роздільна здатність екрана	100 × 64 точок	120 × 160 точок	100 × 64 точок	100 × 64 точок
Розмір екрана, мм	54 × 27	60 × 45	56 × 38	56 × 38
Кількість маршрутів	1 з 50 маршрутних точок	10 з 2000 маршрутних точок	20 з 6000 маршрутних точок	20 з 6000 маршрутних точок
Точність визначення місцеположення	5 ... 10 м			

Персональний навігаційний приймач GPS II PLUS має вмонтовані функції – таймер руху з автоматичним відключенням у разі зупинки, можливість обчислення середньої та максимальної швидкості руху по

маршруту, а також має клавіші для зміни масштабу рухомої карти. Він містить інформацію про основні міста світу, а його компактний корпус дозволяє переносити прилад в руці.

Персональний навігаційний приймач GPS III PLUS, на відміну від приймача GPS II PLUS, має картографічну підкладку, що містить інформацію про основні міста, ріки, озера, залізниці та автомобільні дороги світу. Також є інформація про берегову лінію шириною 20 морських миль. Приймач може відображати геоінформацію з масштабуванням зображення від 150 м до 9 000 км.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Дайте означення істинного й магнітного азимутів, румбів та дирекційних кутів.
2. Поясніть суть зближення меридіанів.
3. Що таке магнітне схилення?
4. Наведіть залежності між румбами й азимутами.
5. Поясніть суть прямих й зворотних азимутів та румбів.
6. Наведіть порядок та прилади для визначення географічного азимута.
7. Як визначається магнітний азимут?
8. Поясніть суть навігаційної системи глобального позиціювання GPS.
9. Охарактеризуйте приймачі GPS.
10. Дайте означення істинного й магнітного азимутів, румбів та дирекційних кутів.
11. Поясніть суть зближення меридіанів.
12. Що таке магнітне схилення?
13. Наведіть залежності між румбами й азимутами.
14. Поясніть суть прямих й зворотних азимутів та румбів.
15. Наведіть порядок та прилади для визначення географічного азимута.
16. Як визначається магнітний азимут?
17. Поясніть суть навігаційної системи глобального позиціювання GPS.
18. Охарактеризуйте приймачі GPS.

6 ТОПОГРАФІЧНІ КАРТИ Й ПЛАНИ

6.1 Характеристика й призначення топографічних карт та планів

Для складання карт та планів на площині використовують ортогональне проектування точок земної поверхні на площину референц-еліпсоїда. Для складання карт та планів доцільно використовувати загальну систему плоских прямокутних координат Гаусса–Крюгера. Поверхня Землі на планах і картах зображається у зменшеному вигляді. Географічні карти дозволяють вивчити комплекс природно-економічних характеристик району будівництва для вибору найоптимальнішого проектного рішення.

Топографічна карта — це зменшене узагальнене відображення земної поверхні, побудоване за обумовленими математичними закономірностями. Топографічні карти складають в рівнокутній поперечно-циліндричній проекції Гаусса, що обчислюється за елементами еліпсоїда Красовського, і в Балтійській системі висот. Положення будь-якої точки фізичної поверхні Землі визначається проекцією цієї точки на поверхні земного еліпсоїда (геодезичні або прямокутні координати). Ділянки місцевості на карті відображають в зменшеному вигляді.

На топографічних картах відображається територія земної поверхні, яка обмежена на заході і сході меридіанами, на півночі і півдні — паралелями з відомими довготою і широтою (рис. 6.1). На північній і південній опорних рамках трапеції нанесено мінутні поділки по довготі, а на західній і східній сторонах — по широті у вигляді чорних і білих шашок, які чергуються. Кожна мінута довготи і широти поділена точками на шість частин, відстань між якими відповідає 10". З'єднавши прямими відповідні точки на протилежних широтах і довготах трапеції, можна одержати геодезичну сітку координат у вигляді ліній паралелей і меридіанів. В кутках рамки наведено їхні географічні координати.

Прямокутна система координат на топографічній карті зображена лініями кілометрової сітки (рис. 6.1). Горизонтальні лінії сітки, паралельні проекції екватора на горизонтальну площину, — це осі ординат, а

вертикальні лінії, паралельні осьовому меридіану, – осі абсцис. Виходи ліній координатної сітки написано між внутрішньою і минутними рамками, що дозволяє визначити плоскі прямокутні координати точок.

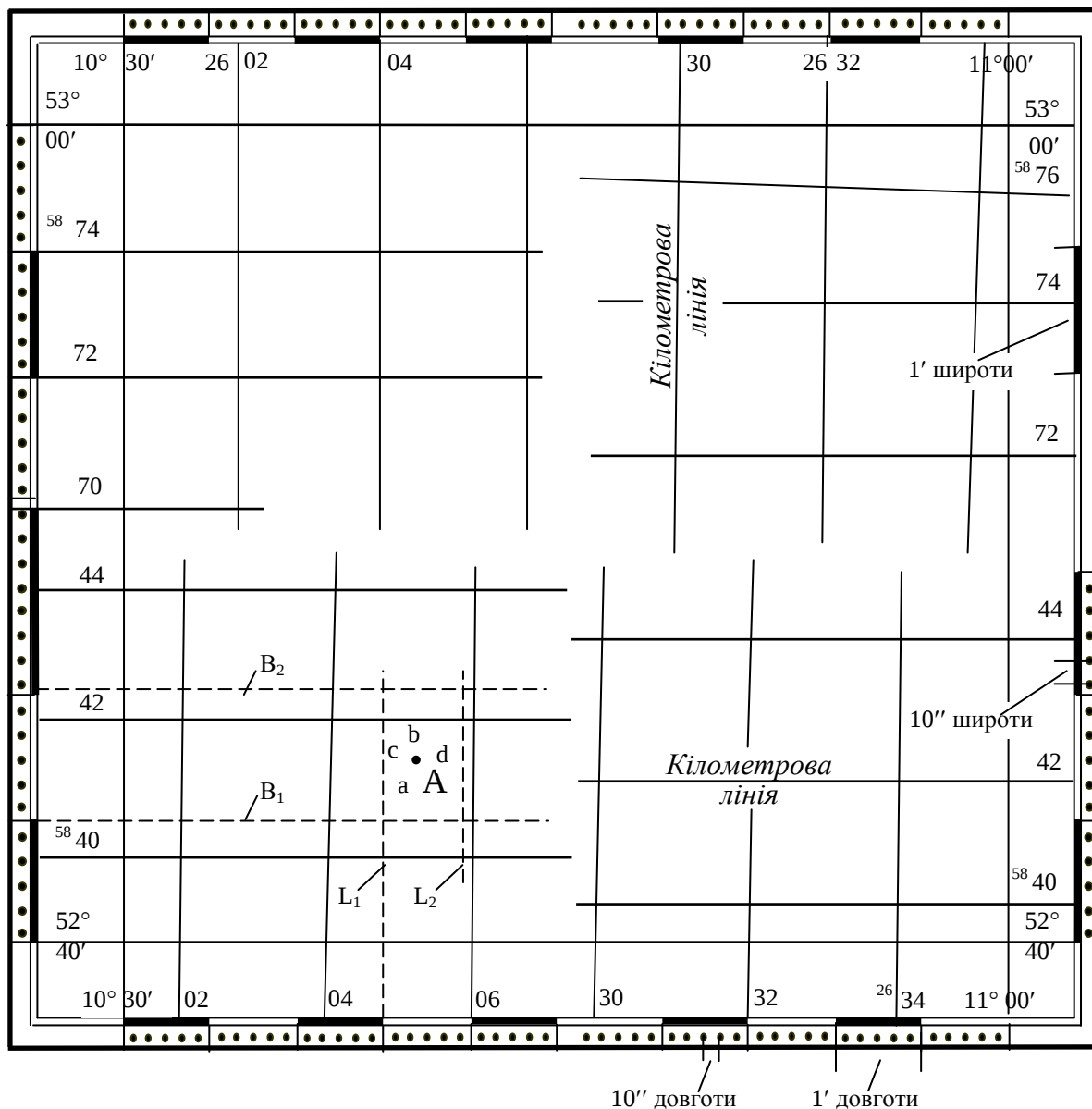


Рисунок 6.1 – Визначення географічних координат точки на карті

Висотне положення точок земної поверхні відображається горизонталями, проведеними через відповідну висоту перерізу залежно від масштабу карти і характеру рельєфу місцевості, та додатковими абсолютними позначками точок. Висоту перерізу рельєфу наведено під південною зовнішньою рамкою.

Номенклатуру аркуша карти вказано над північною зовнішньою рамкою. Числовий, словесний і лінійний масштаби, а також графік

закладання розташовано під південною зовнішньою рамкою. Під південно-західним кутком рамки знаходиться пояснювальний підпис про схилення магнітної стрілки і середні кути зближення меридіанів.

У внутрішній рамці карти за допомогою контурних і позамасштабних умовних топографічних знаків відображено рельєф і ситуацію.

Великомасштабні топографічні карти (1:1000...1:50000) використовують для детального вивчення місцевості, орієнтування на ній, а також для різних за призначенням точних вимірювань та розрахунків.

Середньомасштабні топографічні карти (1:100000...1:200000) є підґрунтям для вибору трас доріг, проведення геологічних вишукувань, для попередніх розрахунків під час проектування відповідальних споруд.

Дрібномасштабні топографічні карти (1:500000...1:1000000) використовуються для вирішення задач науково-дослідного й прикладного характеру з використання ресурсів й економічного освоєння територій. Всі топографічні карти є основою для створення різних тематичних карт: геологічних, гідрогеологічних, геоботанічних тощо.

Топографічні плани масштабу 1:5000 призначені для: розробки генеральних планів і проектів розміщення будівництва першої черги визначних, великих і середніх міст, а також для складання схем розміщення в них житлових і промислових районів, що проектуються; складання планів проектів інженерних споруд і проектів найскладніших вузлів під час розробки планування приміської зони; складання технічних проектів промислових і гірничодобувних підприємств; складання технічних проектів зрошування та осушення земель; камерального трасування автомобільних доріг в умовах складного рельєфу місцевості, на під'їздах до значних пунктів та в інших місцях із складною ситуацією; проектування трас повітряних ліній електропередач у місцях перетину та зближення їх із спорудами.

Крім того, топографічні плани масштабу 1:5000 використовують для інших цілей і вони є основою для складання топографічних і спеціалізованих планів і карт дрібнішого масштабу.

Топографічні плани масштабу 1:2000 призначені для:

- розробки генеральних планів малих міст, селищ та сільських населених пунктів;

- складання проектів детального планування та ескізів забудови, проектів планування міських промислових районів, проектів найбільш складних транспортних розв'язок у містах на стадії розробки генеральних планів;
- складання виконавчих планів гірничопромислових підприємств;
- складання технічного проекту і робочої документації зрошення та осушення земель;
- проектування автомобільних доріг і залізниць на стадії проекту у гірських районах та робочої документації в рівнинних і горбистих районах;
- складання технічної документації трубопровідних, насосних і компресорних станцій, переходів через великі ріки.

Топографічні плани масштабу 1:1000 призначаються для:

- складання проекту та робочої документації забудови на незабудованій території або території з одноповерховою забудовою;
- проектування вертикального розпланування;
- складання проектів озеленення території та планів існуючих підземних мереж і споруд та прив'язка їх до ділянок будівництва;
- складання робочої документації бетонних гребель, будівель ГЕС та камер-шлюзів;
- проектування напірних трубопроводів, гідротехнічних споруд, каналізації та теплогазопостачання у населених пунктах з щільною забудовою;
- розробка робочої документації під час проектування і будівництва гірничодобувних та збагачувальних підприємств.

Топографічні плани масштабу 1:500 призначаються для:

- складання виконавчого генерального плану ділянки будівництва і робочої документації багатоповерхової капітальної забудови з густою мережею підземних комунікацій та промислових підприємств;
- проектування вертикального розпланування та прив'язки будівель і споруд до ділянок будівництва на забудованих територіях міста;

- складання планів підземних мереж і споруд, робочої документації гребель, напірних трубопроводів, будівель ГЕС, порталів тунелів.

Топографічні плани містять відомості про об'єкти та контури місцевості і рельєф.

На них, залежно від масштабу, умовними знаками достовірно та з необхідною мірою точності й детальності зображають:

- пункти державної геодезичної мережі та планово-висотного обґрунтування;
- будівлі, житлові та нежитлові будинки з вказанням призначення, матеріалу та поверховості;
- промислові об'єкти, бурові та експлуатаційні свердловини, наземні трубопроводи, лінії електропередач, колодязі та мережі підземних комунікацій, об'єкти комунального господарства;
- залізниці, шосейні та ґрунтові дороги всіх видів і споруди на них: мости, тунелі, переїзди, переправи та шляхопроводи;
- гідрографію (ріки, озера, водосховища, площі розливів);
- об'єкти гідротехнічного та водного транспорту;
- канали, водоводи та водорозподільні пристрої, греблі;
- пристані, шлюзи, маяки, навігаційні знаки;
- об'єкти водопостачання (колодязі, колонки, резервуари, відстійники, природні джерела);
- рельєф місцевості з використанням горизонталей, позначок висот, бергштрихів, умовних знаків обривів, скель, осипів, балок, льодовиків;
- рослинність деревна, кущова, трав'яна, культурна: ліси, сади та луки, окремі дерева та кущі з вказанням породи;
- ґрунти та мікроформи земної поверхні: піски, гальки, такири, глинисті, щебеневі, монолітні та інші поверхні, болота, солончаки;
- границі (політико-адміністративні, землекористувачів, різних огорож).

На топографічних планах пишуть власні назви населених пунктів, вулиць, залізничних станцій, пристаней, лісів, солончаків, вершин, перевалів, долин, боліт та інших об'єктів.

6.2 Масштаби топографічних карт та планів

Для зображення на поверхні проєкції ділянок місцевості їх зменшують у відповідне число разів.

Масштаб – відношення довжини відрізка на плані або карті до відповідної йому горизонтальної проєкції на місцевості.

Числовий масштаб – це дріб, чисельник якого одиниця, а знаменник – число, яке вказує на показник зменшення під час зображення на карті або плані. Наприклад, масштаб плану 1:10000 вказує, що горизонтальна проєкція відрізка лінії місцевості зменшена на плані в 10 000 разів, тобто 1 см на плані відповідає 10000 см на горизонтальній проєкції місцевості. Чим менший знаменник числового масштабу, тим крупнішим вважається масштаб і навпаки. Числовий масштаб – величина умовна і не залежить від системи лінійних мір.

Щоб в процесі користування масштабами не виконувати розрахунків, замість числового масштабу використовують графічні масштаби, які бувають лінійними та поперечними.

Лінійний масштаб – графік, на якому відкладено відрізки, що відповідають певним відстаням на місцевості (рис. 6.2), які називаються основою масштабу. Основу лінійного масштабу вибирають таких розмірів, щоб вона в цьому числовому масштабі виражала ціле й кратне число метрів на проєкції місцевості. Ліву крайню основу лінійного масштабу ділять на декілька рівних частин, щоб відповідала зручним для користування кратним числам метрів або їх частин.

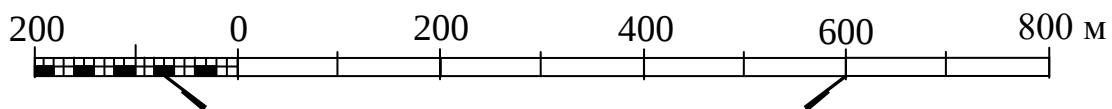


Рисунок 6.2 – Лінійний масштаб

Для більшої точності побудови й вимірювання відрізків на плані або карті користуються поперечним масштабом.

Поперечний масштаб – це графічне зображення числового масштабу у вигляді номограми, що вигравіювана на металевій пластині або транспортирі (рис. 6.3).

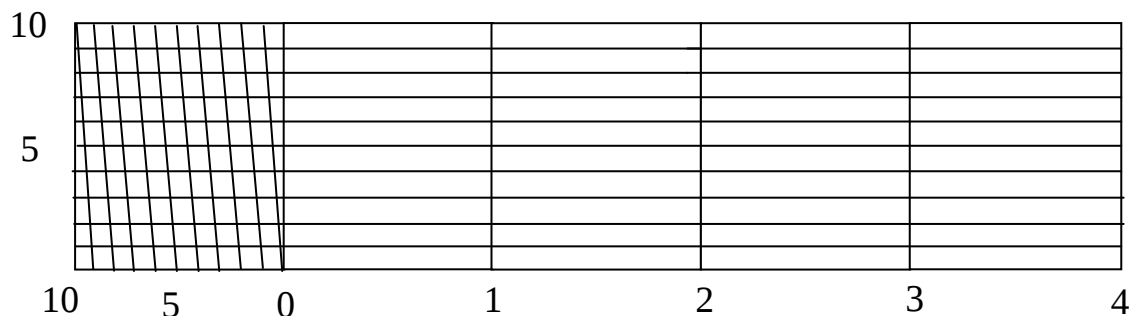


Рисунок 6.3 – Поперечний масштаб

Для побудови поперечного масштабу на прямій лінії відкладають однакові відрізки, що їх беруть за основу масштабу. Ліву крайню основу, як правило, ділять на 10 однакових частин. Цю частину беруть за десятку основи (n). Із точок основ масштабу вгору відкладають перпендикуляри довжиною, що дорівнює довжині основи, які, як правило, ділять на десять однакових між собою відрізків. Верхній лівий крайній відрізок, що дорівнює довжині основи, також ділять на 10 частин. Кінець похилої лівої крайньої основи з'єднують лінією з першим зліва від кінця верхнім лівим крайнім відрізком, що дорівнює 1/10 частині основи. Паралельно до цієї лінії з'єднують інші відрізки за допомогою трансверсалей. Найменше значення поділки поперечного масштабу дорівнює:

$$X = \delta / m \cdot n , \quad (6.1)$$

де δ – основа масштабу,

n – число поділок на основі,

m – число поділок висоти масштабу.

Граничні розміри предметів, які можна розрізнити на плані, визначаються точністю масштабу. Людське око може розрізнити на плані точку величиною не менше 0,1 мм. В зв'язку з цим за точність масштабу вибирають відстань на місцевості, що відповідає в цьому масштабі 0,1 мм плану або карти.

Топографічні плани складають в масштабі 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000, а топографічні карти загальнодержавного значення – в масштабах 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000 та 1:200000.

Абсолютні значення точностей для різних числових масштабів планів й карт наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Точність планів та карт

Числовий масштаб	Точність масштабу, м	Числовий масштаб	Точність масштабу, м
1:200	0,02	1:10 000	1,0
1:500	0,05	1:25 000	2,5
1:1000	0,1	1:50 000	5,0
1:2000	0,2	1:100 000	10,0
1:5000	0,5	1:200 000	20,0

6.3 Рельєф місцевості та його зображення на картах і планах

Земна поверхня не є площиною. Ділянки рівної місцевості навіть невеликих розмірів неможливо вважати плоскими, оскільки на них зустрічаються підвищення та заглиблення різної величини. Ці нерівності необхідно враховувати під час проектування й будівництва споруд, доріг, інженерних мереж та інше.

Рельєф – сукупність різноманітних за формою й розмірами нерівностей земної поверхні. Рельєф місцевості не є постійним. Під впливом сил, що діють всередині Землі, коливань температури, дії води, вітру й рослин та антропогенної діяльності з часом рельєф змінюється. Тому заходи, направлені на раціональне використання земної території, пов'язані з необхідністю періодичного вивчення рельєфу й відображення його на картах, планах й профілях, на яких вони й проектується.

Форми рельєфу поділяють на увігнуті й опуклі. До опуклих форм відносяться курган, пагорб, горб, гора, сідловина, хребет, плато; а до увігнутих – яр, балка, лощина, долина, ущелина, улоговина тощо.

Курган – це ізольоване, розміщене на рівнині підвищення висотою до 50 м з різко вираженою підшоною.

Горб – це окреме куполоподібне або конічне підвищення висотою до 100 м з різко вираженою підшоною.

Пагорб – окреме невелике конічне або куполоподібне підвищення висотою, що перевищує 200 м, з пологими схилами й нерізко вираженою підшоною.

Гора – ізольоване підвищення з висотою більше 200 м з явно вираженими й порівняно крутими схилами. Елементами гори є вершина, схили й підосва.

Сідловина – пониження між двома сусідніми гірськими вершинами або підвищеннями, що нагадує за своєю формою сідло.

Хребет – гірське підвищення, що має порівняно значну довжину, з крутими схилами по обидва боки. Елементами хребта є водорозділ, що проходить по найвищих точках хребта; перевал – пониження на профілі водорозділу; два схили хребта.

Плато – плоске широке підвищення, обмежене крутими схилами.

Яр – різко виражене поглиблення на рівнині, видовжене в одному напрямку з крутими схилами й тимчасово діючими водостоками.

Балка – поглиблення, яке більше ніж яр, з пологими схилами, як правило, вкрите рослинністю.

Лощина – невелике поглиблення з дуже пологими схилами, що поступово переходить в рівнину. **Тальвег** – лінія, що з'єднує найнижчі точки лощини й має схил в одному напрямку.

Долина – вироблене річкою пониження, видовжене в одному напрямку, з явно вираженими схилами.

Ущелина – вузька горбиста долина зі схилами, що сходяться донизу.

Улоговина – витягнуте пониження на земній поверхні, обмежене з усіх боків або розміщене між гірськими ланцюгами.

Залежно від абсолютного значення висот та їх взаємного розміщення місцевість буває рівнинною, горбистою та гірською. На рівнинній місцевості крутість схилів мало помітна, відсутні різко виражені нерівності, а її окремі точки мають незначні відносні висоти. Гірська місцевість характеризується сукупністю понижень та підвищень висотою більше 200 м та різко вираженими крутими схилами.

Рельєф місцевості на планово-картографічних матеріалах зображають за допомогою відповідних умовних знаків, що мають відповідати таким умовам: детально й точно показувати розміщення всіх форм його нерівностей, що характеризують розчленованість та уступоподібність місцевості; забезпечувати визначення висот окремих точок місцевості й перевищення цих точок над іншими; напрямок схилів та їх крутість; наочно зображати рельєф, щоб найкраще уявляти дійсний ландшафт місцевості.

На сучасних топографічних картах і планах рельєф зображають горизонталями, що доповнюються абсолютними позначками та

бергштрихами. Спосіб горизонталей для зображення рельєфу земної поверхні запропонував в 1791 році Жан Дюпен-Тріель для побудови карти Франції. Цей спосіб найбільш об'єктивний, простий для використання, дозволяє геометрично найточніше передати форму рельєфу та відобразити його особливості.

Горизонталь – це слід від перерізу фізичної поверхні Землі рівневою поверхнею, тобто це замкнута крива лінія, що зображає геометричне місце точок земної поверхні з однаковими висотами.

На рис. 6.4 показано побудову горизонталей на невеликій ділянці, для якої рівневу поверхню можна вважати площиною. Січні площини RS , KL , MN , EF та CD паралельні початковій площині AB , а відстань між ними однакова. Криві лінії rs , mn , kl , cd , ef , ab є слідами від перерізу січними площинами земної поверхні, тобто горизонталями.

Висота перерізу рельєфу – це відстань між сусідніми горизонталями по прямовисній лінії (h).

Закладання – це відстань між сусідніми горизонталями в плані (d').

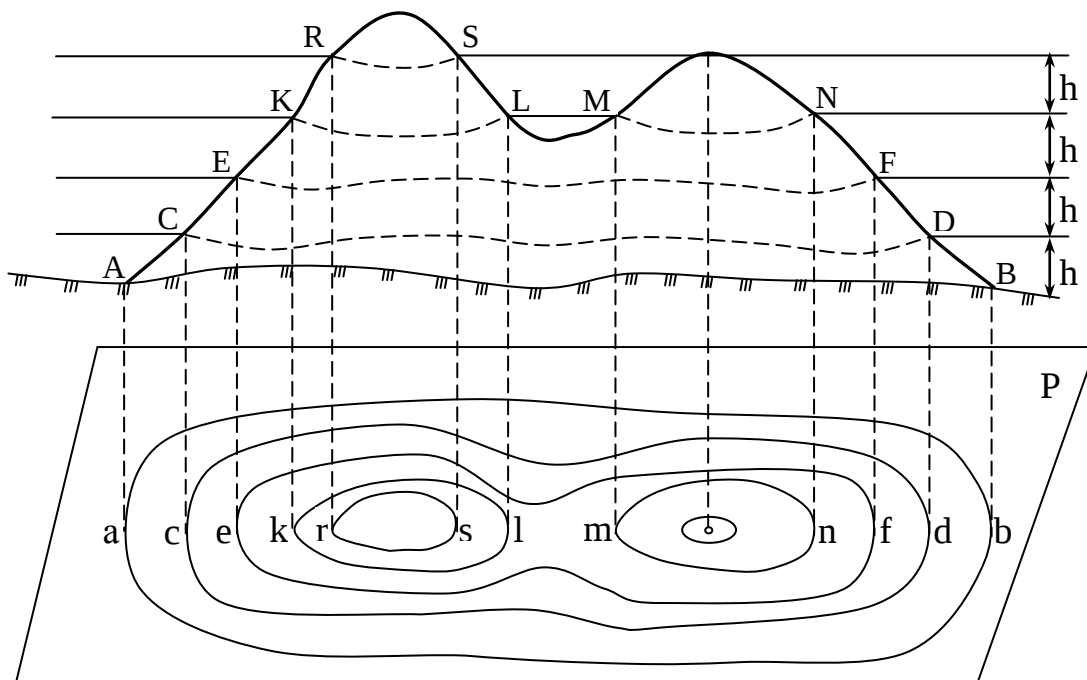


Рисунок 6.4 – Суть зображення рельєфу горизонталями

Властивості горизонталей: горизонталі – замкнуті криві лінії; горизонталі не можуть перетинатися; чим менша відстань між горизонталями на карті цього масштабу, тим крутіше схил на місцевості та навпаки.

Залежно від масштабу карти й характеру рельєфу висоти перерізу бувають 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 та 10 м.

Положення горизонталей на топографічному плані або карті визначають графічним чи аналітичним інтерполюванням. Інтерполювання – це визначення горизонталей в інтервалі між точками з відповідними позначками. На плані виконують інтерполювання між відомими парами точок з відомими позначками, а потім з'єднують плавними кривими лініями точки, що мають однакові висоти. Мірою крутості схилів є ухил лінії, який виражається через тангенс кута нахилу:

$$i = \operatorname{tg} \nu = h / d', \quad (6.2)$$

де ν – кут нахилу (стрімкість);

h – висота перерізу;

d' – закладання.

Крутість схилу визначають за допомогою спеціального графіка, що називається масштабом закладання.

Тангенс кута нахилу лінії місцевості ν називають нахилом заданої лінії. Нахил виражають в тисячних частках. Якщо $h = 1$ м, $d = 20$ м, то

$$i = \frac{1}{20} = 0,050$$

або

$$i = 50\text{‰}.$$

Крутість схилу у цьому випадку буде дорівнювати $\nu \approx 2^{\circ}52'$.

Для визначення стрімкості схилу (кута нахилу) використовують графіки або масштаби закладань (рис. 6.5).

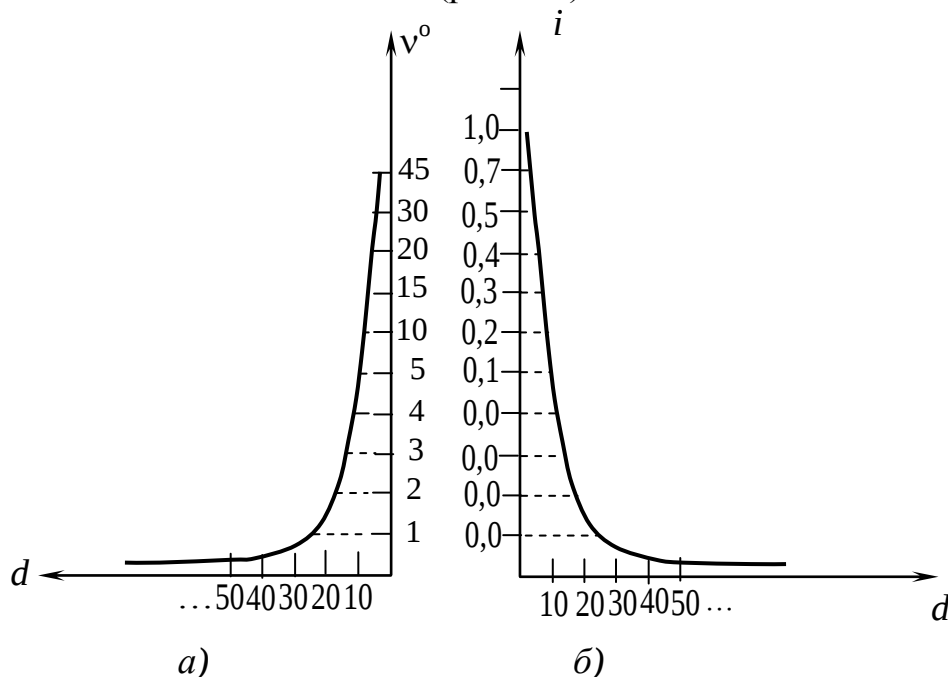


Рисунок 6.5 – Масштаби закладань:

а) для кутів нахилу ν ; б) для нахилів i

Для побудови масштабів попередньо вибирають значення v та i для заданої висоти перерізу рельєфу h . По графіку закладень розв'язують обернену задачу: за заданим нахилом v або i визначають величину закладення d .

6.4 Зображення на топографічних картах та планах

Наочність топографічних карт й планів досягається використанням відповідних умовних знаків – спеціальних графічних символів, що позначають предмети, явища й процеси. Їх використовують для позначення реальних й абстрактних об'єктів. Картографічні знаки мають предметне й смислове значення та знаходяться в відповідних співвідношеннях з об'єктами, що вони їх позначають.

Картографічні карти виконують дві основні функції: по-перше, вказують вид об'єктів (річка, дорога) та деякі їхні кількісні та якісні характеристики (ширину та глибину річки, вид покриття й ширину проїзної частини дороги); по-друге, визначають просторове положення предметів і розміщення явищ (поширення опадів, кількість населення).

Умовні знаки вибирають такими, щоб вони передавали вид об'єктів (будівля, дорога, річка, озеро, ліс і т. д.), їх кількісні характеристики (висоту, діаметр дерев, покриття доріг, глибину, швидкість течії води і т. д.), характер рельєфу топографічної поверхні місцевості та просторове розташування об'єктів.

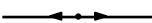
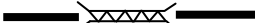
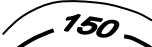
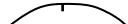
Кожний знак використовують для групи різних, але однорідних, в якому-небудь відношенні, предметів. Знаки мають відповідати технічним вимогам, а саме, бути простими, чіткими, зручними для відтворення. З погляду передачі на карті планових геометричних особливостей об'єктів розрізняють позамасштабні, площадні та лінійні умовні знаки.

Позамасштабні умовні знаки використовують для зображення об'єктів, площі яких не можна виразити в масштабі карти або вони виражаються на ній такими малими розмірами, що їх неможливо чітко розрізнити. У цьому разі обриси об'єктів, як правило, в позначенні не зберігаються. Центрам самих об'єктів на місцевості на карті відповідають різні точки.

Площадні (контурні) умовні знаки використовують для заповнення площі об'єктів, що виражаються в масштабі карти. У цьому випадку обриси об'єктів на карті зберігаються. Вони будуються за допомогою фонового забарвлення або інших площадних графічних засобів.

Лінійні умовні знаки використовують для зображення об'єктів лінійного характеру, довжини яких виражаються в масштабі карти. У цьому випадку зберігається подібність лінійних обрисів, але часто перебільшується їх ширина. Лінії осей самих об'єктів на місцевості на карті відповідають лініям осей знаків.

Умовні позначення (приклади окремих умовних знаків)

	Пункти державної геодезичної мережі
	Квартали міст і селищ
Добриніне 0.022	з населенням до 100 жителів Кількість жителів в тисячах
  <i>a</i> <i>б</i>	Промислові підприємства: <i>a</i> – з трубами, <i>б</i> – без труб
	Лінії електропередачі на дерев'яних опорах і бетонних стовпах (висотою до 14 м)
	Лінії зв'язку та технічних засобів управління: телефонні, телеграфні тощо
<i>вантаж</i> 	Залізничі неелектрофіковані, одноколісні, вантажно-розвантажувальні майданчики
==10(14)Б==	Автомобільні дороги з удосконаленим покриттям (10 – ширина проїжджої частини, 14 – ширина земляного полотна в метрах, Б – матеріал покриття)
 6Г	Покращені ґрунтові дороги без покриття (6 – ширина дороги, Г – матеріал добавки)
<i>гатка</i> 	Ґрунтові дороги, гатки
	Польові та лісові дороги
	Мости: металеві однопрогінні
  <i>a</i> <i>б</i>	<i>a</i> – кам'яні, бетонні і залізобетонні, однопрогінні, багатопрогінні; <i>б</i> – дерев'яні
   <i>a</i> <i>б</i> <i>в</i> СОТБ	Річки шириною: <i>a</i>) до 3 м, <i>б</i>) від 3 до 5 м, <i>в</i>) 5 м і більше (зображається в масштабі карти) Річки судноплавні
	Озера
	Горизонталі: основні основні потовщені та їхні підписи в метрах додаткові на половині висоти основного перерізу (напівгоризонталі)
	Показники напрямку схилів (бергштрихи)

Під час побудови картографічних позначень використовують різні графічні засоби: точки, лінії та штрихи. Вони лежать в основі складніших графічних засобів:

- значкові – фігурні й геометричні знаки;
- лінійні – одинарні, подвійні й потрійні лінії, смуги, стрілки;
- площадні – штриховки, фонове забарвлення, що рівномірно покриває площу значка якого-небудь рисунка, різні індекси, розміщені всередині оконтуреної площі, розміщені в межах площини підписи;
- буквені та цифрові – окремі букви, скорочені або повні слова, різні числа.

Залежно від конкретних особливостей об'єктів та явищ зображення, характеру їх поширення, виду їх якісної й кількісної характеристики та місця знаходження цієї характеристики на карті використовують такі способи зображення: значків, локалізованих діаграм, ізоліній, якісного та кількісного фонів, ареалів, точковий, лінійних знаків, знаків руху, картодіаграми й картограми.

Спосіб значків використовують для зображення об'єктів й явищ, що локалізовані по пунктах, за допомогою тих чи інших значків, розміри яких вважаються постійними або беруться за стандартною шкалою. Значки розміщуються на карті за місцем знаходження самих об'єктів. Значки бувають геометричні, буквені й наочні. Геометричні значки мають форму прямокутника, кола або іншої простої фігури. Буквені значки – це одна або декілька початкових букв назви об'єкта або явища, що зображається. Наочні значки своїм виглядом нагадують зображувані об'єкти та явища. Вони бувають натуралістичні або символічні. Форма, внутрішній рисунок або колір значка, як правило, відображають якісні особливості об'єкта або явища, а його розмір – кількісну характеристику.

Спосіб локалізованих діаграм – це зображення на карті явищ, для яких характерне суцільне або лінійне поширення, за допомогою графіків або діаграм, що показують явища в місцях їх вивчення. Наприклад, зображають зміну величини річкового стоку по сезонах або місяцях за допомогою стовпчастих діаграм, що показують ці зміни в місцях розміщення гідропостів.

Спосіб ізоліній – спосіб зображення явищ, що мають суцільне поширення, за допомогою кривих ліній. Ці лінії з'єднують на карті точки з однаковими значеннями якого-небудь кількісного показника явища (ізотерми, ізогісти, ізодіни тощо). Деколи використовують псевдоізолінії для характеристики явища з дискретним поширенням (щільність населення, забрудненість території).

Спосіб якісного фону – спосіб зображення на картах якісних відмінностей якого-небудь явища в межах території зображення шляхом поділу її на частини. Кожна частина покривається за допомогою одного з площинних графічних засобів. Поділ території на частини органічно пов'язаний з явищем, що відображається. Цей спосіб використовується для зображення розміщення ґрунтів, районування на геологічних та екологічних картах.

Картограма – спосіб розміщення на карті середньої інтенсивності якого-небудь явища в кожній одиниці територіального поділу за допомогою одного з площинних графічних засобів (фонове забарвлення, штрихи). Спосіб використовують для показу зміни інтенсивності цього явища в межах території зображення. Наприклад, інтенсивність фонового забарвлення відповідає процентному вмісту радіоактивних речовин в ґрунтах району.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Дайте означення топографічних карт й планів.
2. Охарактеризуйте призначення топографічних карт й планів різних масштабів.
3. Наведіть геоінформацію, що зображається на топографічних планах.
4. Наведіть характеристику масштабів.
5. Що таке точність масштабу?
6. Наведіть характеристику форм рельєфу.
7. Поясніть суть зображення рельєфу горизонталями.
8. Охарактеризуйте як зображаються місцеві предмети на топографічних картах й планах.

7 ЗАДАЧІ, ЯКІ РОЗВ'ЯЗУЮТЬ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ І ПЛАНАХ

7.1 Читання топографічних карт та планів

Для комплексного розв'язання різноманітних завдань під час вишукувань, проектування, зведення та експлуатації інженерних споруд треба вміти читати зміст топографічних карт та планів.

Зміст карт та планів зображений умовними знаками, які розкривають характер, смисловий зміст зображення об'єктів та рельєфу місцевості. Читати карту – це означає вміння за умовними знаками зрозуміти, розпізнати і описати інформацію про ситуацію та рельєф місцевості, її природні та технічні характеристики.

Для вирішення інженерних задач по картах та планах визначають:

- наявність геодезичних пунктів;
- характер рельєфу топографічної поверхні;
- гідрографію;
- рослинність;
- населені пункти, промислові, енергетичні та сільськогосподарські підприємства, аеродроми, порти, пристані і т. д.;
- наявність залізничних, автомобільних шляхів, покращених та ґрунтових доріг, нафто- та газопроводів, ліній зв'язку та ін.

За характером горизонталей, позначками точок, характерними лініями рельєфу (вододілу та водозбору) визначають характер рельєфу земної поверхні (рівнинний, горбистий, пересічений, гірський), наявність скелястих обривів, промоїн, ярів, крутизну схилів та ін. Під час вивчення гідрографічних об'єктів (річок, озер, болот, струмків, каналів) звертають увагу на їх ширину, розмір, характер берегів, наявність переходів (мостів та бродів), глибину, швидкість течії і т. д.

Для визначення характеристик окремих об'єктів і явищ використовують пояснювальні умовні знаки:

- назви населених пунктів, річок, лісів, урочищ та ін.;
- скорочені написи характеру виробництва, матеріалу споруд, покриття доріг розшифровують за допомогою умовних знаків;

- числові характеристики висоти, товщини дерев; довжини, ширини та вантажопідйомності мостів, ширини покриття доріг; напрям та швидкість течії води в річках тощо;
- знакові символи породи дерев у лісі, чагарників, лук, болота тощо.

На основі проведеного камерального вивчення карти складають письмовий опис про ситуацію і рельєф місцевості, їхні природні та технічні характеристики.

7.2 Визначення довжин ліній

Довжину ліній між двома точками на карті можна визначити з різною точністю, використовуючи числовий, лінійний і поперечний масштаби та за допомогою курвіметра.

Приклад 1.

1. Потрібно визначити довжину лінії між точками 212,8 (6812) і 171,3 (6713) на карті У-34-37-Б-в-4 масштабу 1:10 000.

Числовий масштаб карти 1:10 000. Отже, 1 см на карті відповідає 10000 см або 100 м на місцевості. Горизонтальна проекція довжини лінії на місцевості

$$d = l \cdot m, \quad (7.1)$$

де l – довжина відрізка на карті, см;

m – значення знаменника числового масштабу карти.

Довжина відрізка на карті між заданими точками дорівнює 10,4 см. Тоді довжина лінії на місцевості, розрахована за формулою 7.1, дорівнює

$$d = 10,4 \cdot 10000 = 104000 \text{ см} = 1040 \text{ м} = 1,04 \text{ км}.$$

Для прискорення переходу від виміряних довжин ліній на карті до відповідних відстаней на місцевості користуються лінійним і поперечним масштабами. Лінійний масштаб наведено на кожній топографічній карті.

Приклад 2.

Потрібно визначити горизонтальну проекцію довжини ліній між точками 156,9 (6511) і 140,5 (6612).

Для визначення горизонтальної проекції довжини лінії між заданими точками розмахом циркуля-вимірника охоплюють відстані на карті між точками 156,9 (6511) і 140,5 (6612). Потім за допомогою лінійного масштабу (рис. 7.1) обчислюють шукану величину, яка дорівнює 655 м.

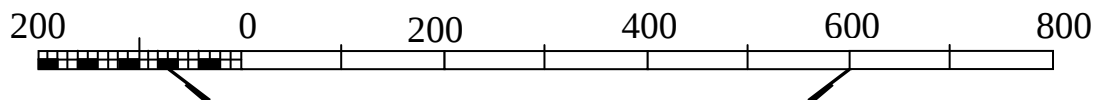


Рисунок 7.1 – Визначення горизонтальної проекції довжини лінії за допомогою лінійного масштабу 1:10 000

Якщо відстань на карті перебільшує розмір лінійного масштабу, тоді потрібно цю відстань розділити на складові: одна частина яких дорівнює відстані $d_1 = 1000$ метрів (розмір лінійного масштабу, який наведено внизу карти), а друга відповідає розмаху циркуля-вимірника, який охоплює домір d_2 .

В цьому випадку остаточно вимірювана відстань

$$d = d_1 + d_2 \pm 5 \text{ м.}$$

Для підвищення точності роботи на карті використовують поперечний масштаб (рис. 7.2), який дозволяє визначити відстань на карті або плані з точністю $\pm 0,1$ мм в масштабі карти. Розмахом циркуля-вимірника, що дорівнює відрізку між двома точками на карті, встановлюють його на поперечному масштабі (рис. 7.2) так, щоб права голка була розміщена на одній із вертикалей, а ліва – на одній із похилих ліній (трансверсалей) крайньої лівої основи. Обидві голки циркуля-вимірника м розміщуватись на одній горизонтальній лінії масштабу.

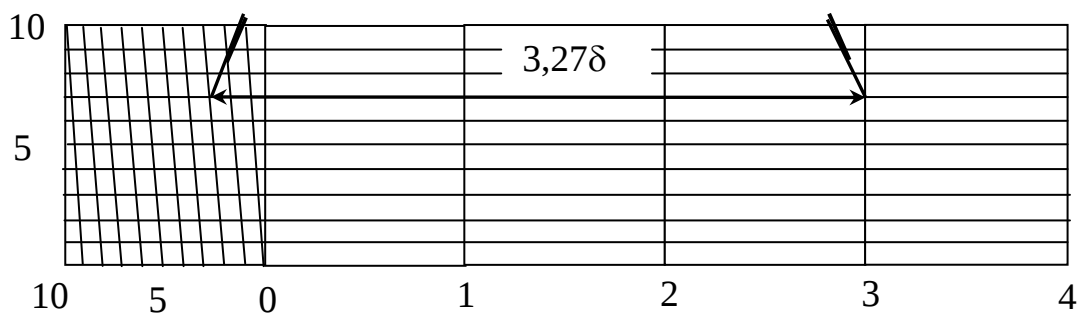


Рисунок 7.2 – Визначення горизонтальної проекції лінії за допомогою поперечного масштабу

Горизонтальна проекція лінії, яка обчислена за допомогою поперечного масштабу

$$d = l \cdot \delta, \quad (7.2)$$

де l – довжина лінії на плані, см;

δ – поділка основи поперечного масштабу.

Для цього прикладу горизонтальна проекція довжини лінії на місцевості

$$d = 3,27 \cdot 200 = 654 \text{ м.}$$

Довжину ламаної лінії (рис. 7.3) визначають як суму довжин окремих її прямих ділянок за формулою

$$D_{1n} = \sum_i^n D_i.$$

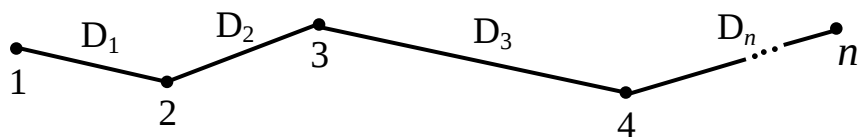


Рисунок 7.3 – Вимірювання довжини ламаної лінії

Довжину звивистих ліній (доріг, рік та ін.) визначають за допомогою курвіметра, який прокочують по звивистій лінії.



а



б

Рисунок 7.4 – Вимірювання довжини хвилястих ліній:

а – механічний курвіметр; б – електронний курвіметр

Відліки знімають з точністю до 0,1 поділки шкали курвіметра. Вимірювання виконують двічі і обчислюють значення кількості поділок курвіметра. Середнє значення множать на ціну поділки в масштабі і одержують довжину лінії (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Обчислення довжини звивистої лінії за допомогою курвіметра

Лінія	Відліки		Різниця відліків, м	Середнє значення різниці	Ціна поділки	Довжина ліній, м
	Початковий, м	Кінцевий, м				
річка	11,3	21,9	10,6	10,5	100	1050
Белічка	23,8	34,2	10,4			

Точність визначення довжини лінії курвіметром 0,005 м масштабу плану.

7.3 Обчислення географічних координат точки

В географічній системі координат за початок відліку взято площину екватора земного еліпсоїда і положення Гринвіцького меридіана.

Географічні координати точки знаходять, використовуючи мінутну рамку, на якій крім мінутних поділок нанесено точками десятисекундні поділки (рис. 7.5).

Широта точки визначається за формулою:

$$B = B_1 + \Delta B \cdot 10'' / a, \quad (7.3)$$

де B_1 – широта південної паралелі, яка проведена через десятисекундний інтервал, градуси, мінути і десятки секунд;

ΔB – довжина перпендикуляра – приріст широти від проведеної на південь від точки паралелі, мм;

a – довжина десятисекундної поділки широти, мм.

Довгота точки визначається за формулою:

$$L = L_1 + \Delta L \cdot 10'' / b, \quad (7.4)$$

де L_1 – довгота західного меридіана, проведеного через десятисекундний інтервал, градуси, мінути і десятки секунд;

ΔL – довжина перпендикуляра – приріст від проведеного на захід від точки меридіана, мм;

b – десятисекундна поділлка довготи, мм.

Довжину перпендикулярів ΔB , ΔL та десятисекундних поділок широти і довготи вимірюють за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки з точністю до ± 1 мм в масштабі плану.

Приклад 3.

Обчислити географічні координати точки 153,8 (6512).

Через точку 153,8 (6512) проводять лінію В, паралельну нижній стороні рамки карти, і дійсний меридіан L, паралельний вертикальній стороні рамки карти (рис. 7.5).

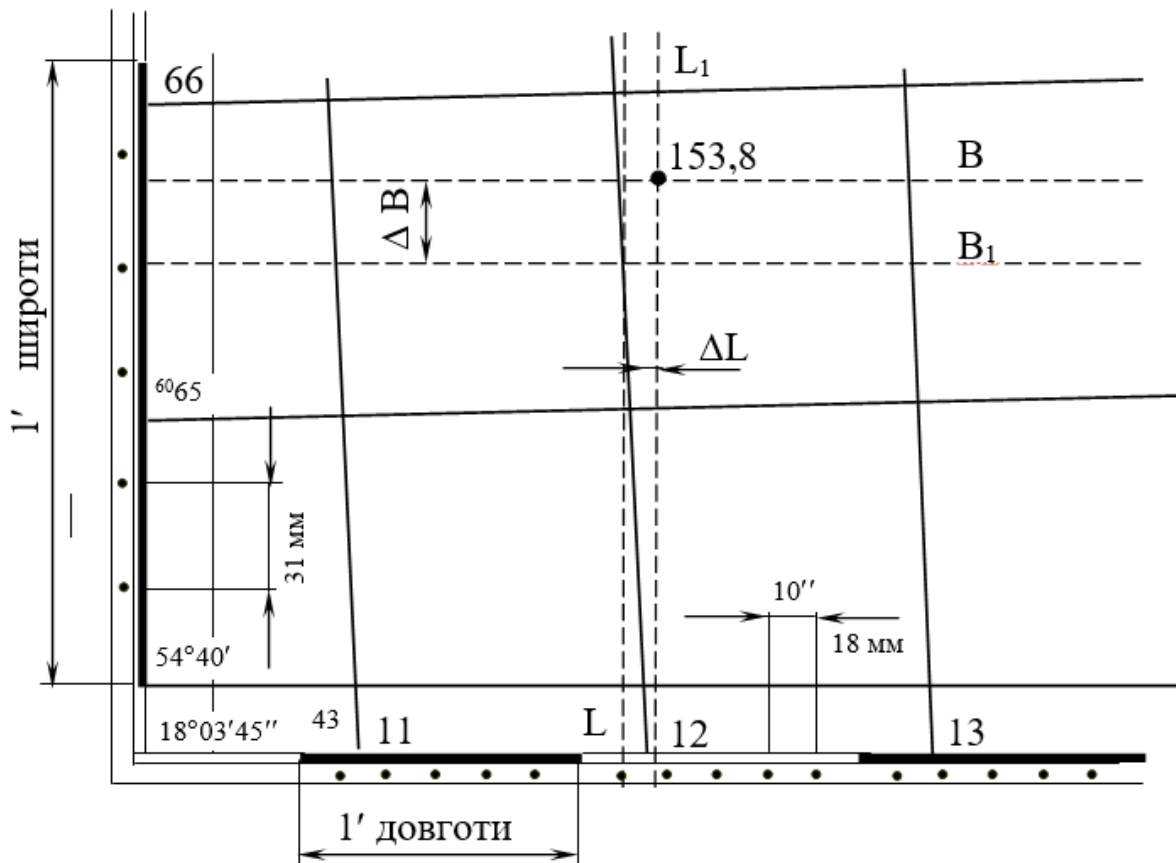


Рисунок 7.5 –Визначення географічних координат точки

Від заданої точки 153,8 (6512) на південь і захід проводять кратні 10 секундам паралель B_1 та меридіан L_1 . З точки 153,8 (6512) опускають перпендикуляри і вимірюють відрізки ΔB та ΔL .

Широта точки 153,8 (6512)

$$B = B_1 + \Delta B \cdot 10'' / a ,$$

$$B_1 = 54^\circ 40' 40'';$$

$\Delta B = 30$ мм – довжина перпендикуляра, визначається вимірюванням;

$a = 31$ мм – довжина десятисекундної поділки широти, мм.

$$\text{широта } B = 54^\circ 40' 40'' + 30 \cdot 10'' / 31 = 54^\circ 40' 50''.$$

Довгота точки 153,8 (6512)

$$L = L_1 + \Delta L \cdot 10'' / b ,$$

$$\text{де } L_1 = 18^\circ 05' 10'';$$

$\Delta L = 15$ мм – довжина перпендикуляра, визначається вимірюванням;

$b = 18$ мм – десятисекундна поділка довготи, мм.

$$\text{довгота } L = 18^\circ 05' 10'' + 16 \cdot 10'' / 18 = 18^\circ 05' 18''.$$

Шукані географічні координати точки 153,8 (6512):

$$\text{широта } B = 54^\circ 40' 50'';$$

$$\text{довгота } L = 18^\circ 05' 18''.$$

7.4 Обчислення прямокутних координат точки

Для обчислення прямокутних координат точки знаходять квадрат, окреслений лініями координатної кілометрової сітки, в якому розташована точка (рис. 7.6). З точки, координати якої знаходять, опускають перпендикуляри ΔX та ΔY на лінії координатної кілометрової сітки і за допомогою циркуля-вимірника та масштабної лінійки обчислюють їх довжину на місцевості.

Прямокутні координати точки:

$$X = X_k + \Delta X , \tag{7.5}$$

$$Y = Y_k + \Delta Y , \tag{7.6}$$

де X_k, Y_k – координати південно-західного кута квадрата кілометрової сітки, в якому розміщена точка, м;

ΔX , ΔY – довжини перпендикулярів, м.

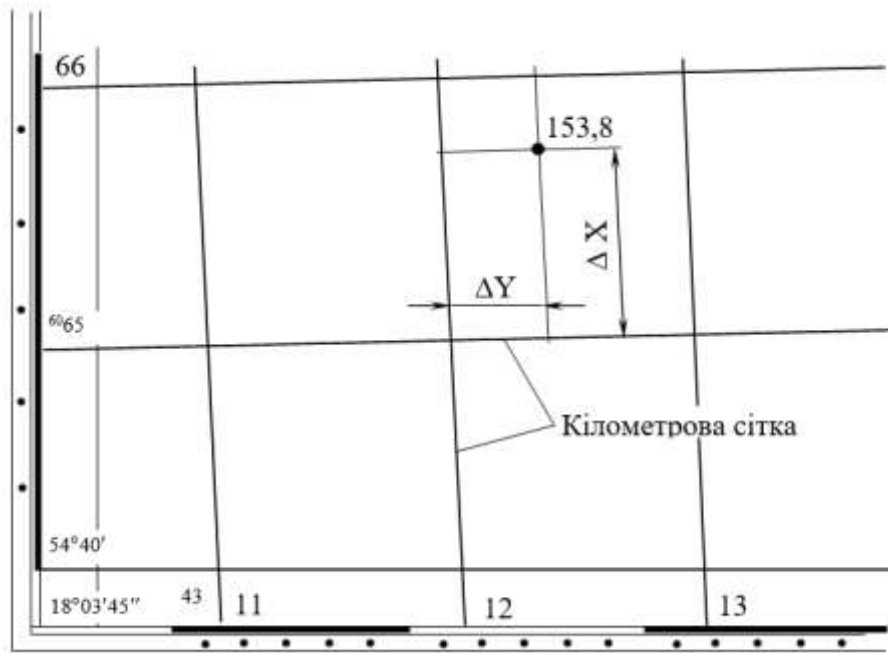


Рисунок 7.6 – Визначення прямокутних координат точки

Приклад 4.

Визначити прямокутні координати точки 153,8 (6512). Точка 153,8 знаходиться в квадраті 6512 (рис. 7.6), відповідно:

$$X_k = 6\,065\,000 \text{ м.}$$

$$Y_k = 4\,312\,000 \text{ м.}$$

Шукані прямокутні координати точки 153,8 (6512):

$$\text{абсциса } X = 6\,065\,000 + 665 = 6\,065\,665 \text{ м;}$$

$$\text{ордината } Y = 4\,312\,000 + 142 = 4\,312\,142 \text{ м.}$$

Це означає, що точка 153,8 (6512) знаходиться в четвертій зоні на північ від екватора на 6 065 565 м, віддалена на захід від осьового меридіана на $312\,142 - 500\,000 = 187\,858$ м.

7.5 Нанесення на карту пункту за відомими координатами

Задачі розв'язують, використовуючи географічну і прямокутну системи координат, які існують на топографічних картах. Вихідні дані для

нанесення пункту на карту – географічні (B, L) і прямокутні (X, Y) координати.

Приклад 5.

Нанести на карту пункт з географічними координатами $B = 54^{\circ}41'27''$ та $L = 18^{\circ}06'04''$.

Спочатку знаходять приблизне місцезнаходження пункту на карті. Для цього значення географічних координат округлюють до цілих десятків секунд ($B = 54^{\circ}41'20''$ та $L = 18^{\circ}06'00''$). Користуючись мінутною сіткою і десятисекундними інтервалами на рамці топографічної карти, на карту наносять приблизне місцезнаходження пункту з точністю до $10''$. З'єднують прямими лініями однойменні значення округлених десятисекундних інтервалів.

Відстань по меридіану від пункту з відомими географічними координатами до ближньої південної паралелі, прокресленої через десятисекундний інтервал,

$$\Delta B = a \cdot (B - B_1) / 10'', \quad (7.7)$$

де B – широта заданого пункту, градуси, мінути, секунди;

B_1 – широта південної паралелі, проведеної через інтервал $10''$, градуси, мінути, десятки секунд;

$a = 31$ мм – довжина відрізка на карті, що відповідає інтервалу $10''$ по широті;

$$\Delta B = 31 (54^{\circ}41'27'' - 54^{\circ}41'20'') / 10'' = 21,7 \text{ мм}.$$

Відстань по паралелі від пункту з відомими координатами до найближчого західного меридіана, мм

$$\Delta L = b (L - L_1) / 10'', \quad (7.8)$$

де L – довгота заданого пункту, градуси, мінути, секунди;

L_1 – довгота західного меридіана, який проведено через інтервал $10''$, градуси, мінути, десятки секунд;

$b = 18$ мм – десятисекундна поділка довготи, мм.

$$\Delta L = 18(18^{\circ}06'04'' - 18^{\circ}06'00'') / 10'' = 7,2 \text{ мм}.$$

За допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки від широти

південної паралелі, проведеної через інтервал 10", відкладають в масштабі карти відрізок ΔB , а від довготи західного меридіана, проведеного через інтервал 10", – відрізок ΔL . В точці перетину цих відрізків на карті одержують місцезнаходження шуканого пункту з відомими географічними координатами.

Приклад 6.

Нанести на карту пункт з прямокутними координатами $X = 6065\ 585$ м та $Y = 4\ 311\ 890$ м.

За цілими значеннями (км) прямокутних координат ($X = 6065$ та $Y = 4311$) установлюють квадрат кілометрової сітки 6511, у якому розміщений шуканий пункт. Обчислюють різницю між відомими прямокутними координатами (X, Y) і найближчими значеннями координат південно-західного кута квадрата (6511) координатної кілометрової сітки (X_0, Y_0), в якому розміщений шуканий пункт:

$$\Delta X = X - X_0, \quad (7.9)$$

$$\Delta Y = Y - Y_0, \quad (7.10)$$

Знаходимо різницю між координатами відповідно по осі абсцис і осі ординат – $\Delta X, \Delta Y$, м:

$$\Delta X = 6\ 065\ 585 - 6\ 065\ 000 = 585 \text{ м};$$

$$\Delta Y = 4\ 311\ 890 - 4\ 311\ 000 = 890 \text{ м}.$$

За допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки в квадраті (6511) на його південній і північній сторонах від західної абсциси відкладають відрізок ΔY , а на західній і східній сторонах від південної і північної ординат – відрізок ΔX . Через одержані точки проводять прямі лінії. В перетині ліній одержують місце розташування шуканого пункту з відомими прямокутними координатами.

7.6 Обчислення дирекційного кута і румба заданого напрямку

Напрямок на місцевості або карті обчислюють відносно початкового напрямку, за який беруть справжній (географічний) і магнітний меридіани, осьовий меридіан зони або лінію, паралельну йому. Залежно від прийнятого

початкового напрямку положення лінії на карті встановлюють за допомогою справжнього або магнітного азимутів, румба і дирекційного кута.

Залежність між дирекційними кутами і румбами наведено на рис. 7.7.

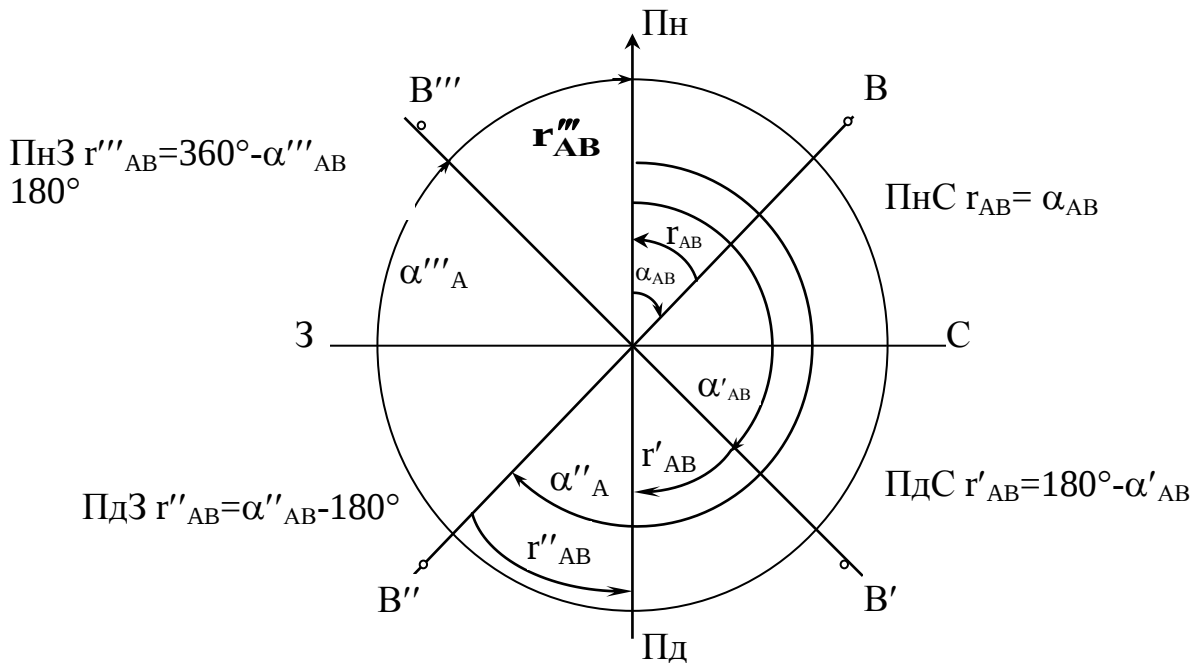


Рисунок 7.7 – Залежність між дирекційними кутами та румбами

Справжні магнітні азимути, дирекційні кути і румби напрямів обчислюють аналітично і графічно за допомогою геодезичного транспортира, використовуючи інформацію, наведену на карті.

Задачу обчислення дирекційного кута і румба заданого напрямку можна вирішити аналітичним або графічним способом.

Аналітичний спосіб. Дирекційний кут обчислюється за відомими координатами точок (X_1, Y_1) та (X_2, Y_2); визначається тангенс румба

$$\operatorname{tg} r_{12} = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1) = \Delta Y / \Delta X . \quad (7.11)$$

За знаками приростів координат ΔY та ΔX та за значенням $\arctg(\Delta Y / \Delta X)$ визначають напрямок і значення r_{12} (табл. 7.2), та значення дирекційного кута.

Таблиця 7.2 – Залежність між румбами й дирекційними кутами

Чверті	Знаки приростів координат		Назва чверті (орієнтування)	Величина дирекційного кута α	Залежність румба та дирекційного кута
	ΔX	ΔY			
1	+	+	Пн Сх	$0^\circ \dots 90^\circ$	$r = \alpha$
2	-	+	Пд Сх	$90^\circ \dots 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$
3	-	-	Пд Зах	$180^\circ \dots 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$
4	+	-	Пн Зах	$270^\circ \dots 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$

У випадку **графічного способу** дирекційний кут вимірюють безпосередньо на карті за допомогою транспортира. Для цього через першу точку проводять лінію AB , паралельну кілометровій сітці (рис. 7.8). Прикладають нуль транспортира до першої точки напрямку і суміщають його нульовий діаметр з проведеною лінією AB . За ходом годинникової стрілки від північного напрямку лінії AB відлічують дирекційний кут α_{AB} . Якщо напрям лежить в третій і четвертій чвертях, то до відліку за транспортиром додають 180° .

Приклад 7.

Обчислити дирекційний кут і румб напрямку з точки 153,8 (6512) на точку з позначкою 144,3 (6513).

Аналітичний спосіб.

$$\operatorname{tg} r_{12} = \frac{4313400 - 4312142}{6065080 - 6065665} = \frac{+1258}{-585} = 2,15.$$

Для наведеного прикладу це ПдСх $\cdot r_{12} = 65^\circ 04'$.

Дирекційний кут заданого напрямку:

$$\alpha_{12} = 180^\circ - r_{12} = 180^\circ - 65^\circ 04' = 114^\circ 56'.$$

У випадку **графічного способу** дирекційний кут вимірюють безпосередньо на карті за допомогою транспортира. Для цього через точку 153,8 (6512) проводять лінію AB , паралельну кілометровій сітці (рис. 7.8).

Прикладають до точки 153,8 (6512) нуль транспортира і суміщають його нульовий діаметр з проведеною лінією AB . За ходом годинникової стрілки від північного напрямку лінії AB відлічують дирекційний кут α_{AB} . Дирекційний кут шуканого напрямку дорівнює $\alpha = 115^\circ$, а румб ПдСх: 65° .

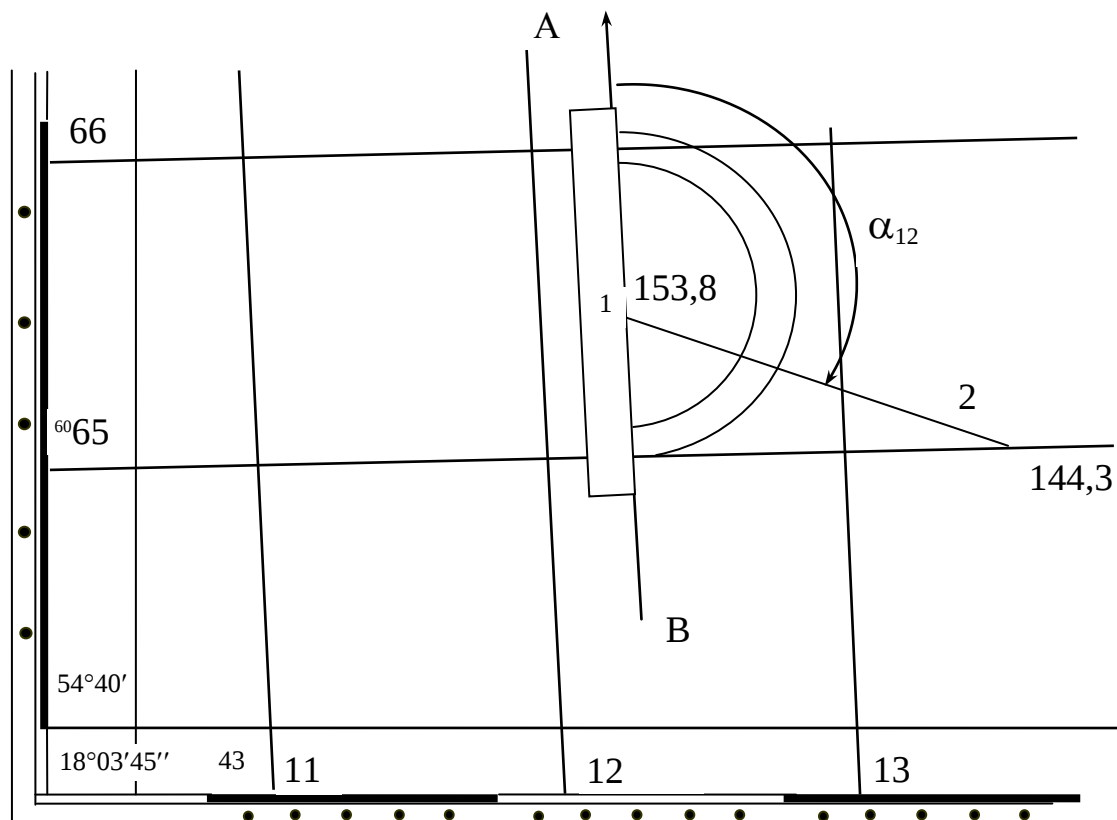


Рисунок 7.8 – Визначення дирекційного кута графічним способом

7.7 Обчислення географічного і магнітного азимутів

За **графоаналітичного способу** обчислення географічного азимута спочатку графічно вимірюють дирекційний кут заданого напрямку на карті, а потім географічний азимут обчислюють за формулою, яка враховує зближення меридіанів:

$$\text{– за східного зближення } A = \alpha + \gamma_c, \quad (7.12)$$

$$\text{– за західного зближення } A = \alpha - \gamma_z, \quad (7.13)$$

де γ_2, γ_3 – кути зближення меридіанів, значення яких визначають з допоміжного графіка на карті.

За **графічного способу** обчислення справжнього азимуту безпосередньо вимірюють кут на карті за допомогою геодезичного транспортира. З цією метою з'єднують дві точки напрямку прямою лінією (рис. 7.9). Потім через першу із точок напрямку проводять лінію меридіана CD , що пройде паралельно західній стороні рамки карти. Прикладають центр транспортира до першої точки і суміщають його нуль із лінією CD . За ходом годинникової стрілки відлічують від північного напрямку справжній азимут A .

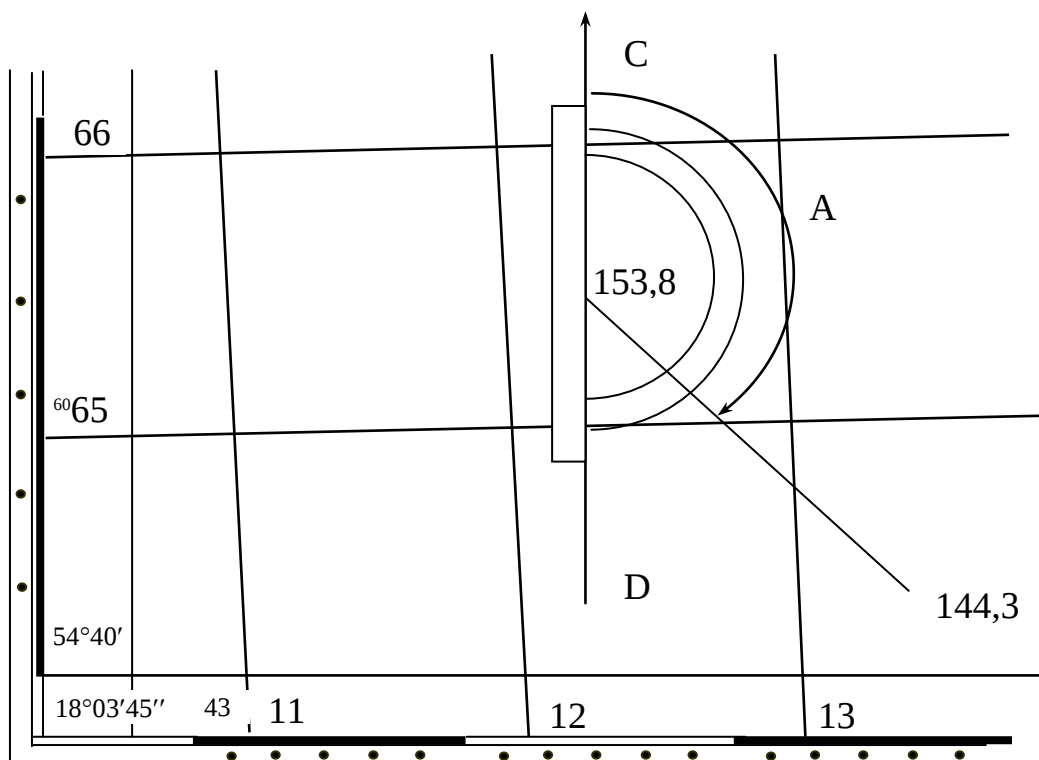


Рисунок 7.9 –Визначення географічного азимута графічним способом

Напрями магнітного і справжнього меридіанів не збігаються на величину кута, що його називають схиленням магнітної стрілки

$$A = A_m \pm \delta, \quad (7.14)$$

де A – справжній азимут від 0° до 360° ;

A_m – магнітний азимут від 0° до 360° ;

δ – схилення магнітної стрілки: східне схилення « $\rightarrow$ » і західне схилення « $+$ ».

Магнітний азимут заданого напрямку обчислюють за формулою, яка враховує схилення магнітної стрілки:

$$- \text{ за східного схилення } A_m = A - \delta_c, \quad (7.15)$$

$$- \text{ за західного схилення } A_m = A + \delta_z, \quad (7.16)$$

де δ_c , δ_z – схилення магнітної стрілки; визначають із допоміжного графіка під південною рамкою карти.

Приклад 8.

Обчислити справжній і магнітний азимути точки 153,8 (6512) на точку з позначкою 144,3 (6513) (рис. 7.9).

За графоаналітичного способу використовуємо значення $\alpha = 115^\circ$, визначене графічно у прикладі 7.

Географічний азимут заданого напрямку

$$A = 115^\circ - 2^\circ 22' = 112^\circ 38'.$$

Магнітний азимут заданого напрямку

$$A_m = A - \delta_c = 112^\circ 38' - 6^\circ 12' = 106^\circ 26'.$$

За графічного способу через точку 153,8 (6512) проводять лінію, меридіана СД, що пройде паралельно західній стороні рамки карти. Прикладають нуль транспортира до точки 153,8 (6512) і суміщають його нульовий діаметр із лінією СД. За ходом годинникової стрілки відлічують від північного напрямку справжній азимут A .

Географічний азимут заданого напрямку дорівнює $A = 112^\circ 30'$.

7.8 Розв’язування задач за допомогою горизонталей

Обчислення позначки (висоти) точки

Точка може розміщуватись на горизонталі, між горизонталями з різними або однаковими позначками, всередині зімкнутої горизонталі.

Якщо **точка розміщена на горизонталі** (рис. 7.10), позначка точки H_C дорівнює позначці горизонталі, тобто $H_C = 150,00$ м. Висоти непідписаних горизонталей визначають від підписаної горизонталі за

числом перерізів горизонталей n . Висоту перерізу горизонталей h підписують під лінійним масштабом біля південної сторони рамки карти.



Рисунок 7.10 – Визначення позначки точки, яка лежить на горизонталі

$$H_C = 150,00 \text{ м}, H_A = 153,00 \text{ м}$$

Якщо на карті або плані не вказано h , то спочатку визначимо її величину:

$$h = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{n}, \quad (7.17)$$

де n – кількість перерізів (закладень) між підписаними горизонталями;

$H_{\max}, H_{\min}$ – висоти підписаних горизонталей, між якими знаходиться шукана точка.

Потім визначають напрям схилу місцевості:

- напрям бергштриха та низ підпису горизонталей направлені в бік пониження рельєфу;
- схили місцевості біля водних об'єктів направлені до берегів річок, озер тощо;
- за підписаними позначками характерних точок рельєфу;
- місцевість нахилена в сторону водозбірних ліній і від вододільних ліній рельєфу.

Приклад 9.

Обчислити позначку точки А на рис. 7.10.

Визначаємо висоту перерізу горизонталей h

$$h = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{n} = \frac{155 - 150}{5} = 1 \text{ м.}$$

Позначка шуканої точки А обчислюють:

- від нижньої підписаної горизонталі

$$H_A = H_{\min} + h \cdot n_1 = 150 + 1 \cdot 3 = 153 \text{ м};$$

- від верхньої підписаної горизонталі

$$H_A = H_{\max} - h \cdot n_2 = 155 - 1 \cdot 2 = 153 \text{ м},$$

де n_1, n_2 – кількість закладень між підписаною і шуканою висотами горизонталі.

Коли шукана точка знаходиться між горизонталями (рис. 7.11), то її позначку визначають в такій послідовності:

1. Визначають висоти двох суміжних горизонталей (H_A, H_B).
2. По перпендикуляру до них через точку C проводять лінію $A'B'$ і вимірюють довжину закладання d (в мм).
3. Вимірюють відстані l та p .
4. Позначку точки C обчислюють за формулою:

$$H_C = H_A + \frac{l}{d} h, \quad (7.18)$$

або

$$H_C = H_B - \frac{p}{d} h. \quad (7.19)$$

де h – висота перерізу рельєфу між суміжними горизонталями.

Також можна визначити перевищення точки C від нижньої підписаної горизонталі

$$\Delta h = (H_B - H_A) \cdot \frac{l}{d} = h \cdot \frac{l}{d}, \quad (7.20)$$

де H_B, H_A – позначки суміжних горизонталей, обчислені на карті за підписаними горизонталями залежно від висоти перерізу рельєфу місцевості і напрямків бергштрихів, м;

l – відстань від точки до горизонталі з меншою позначкою, мм;

d – відстань між суміжними горизонталями, мм.

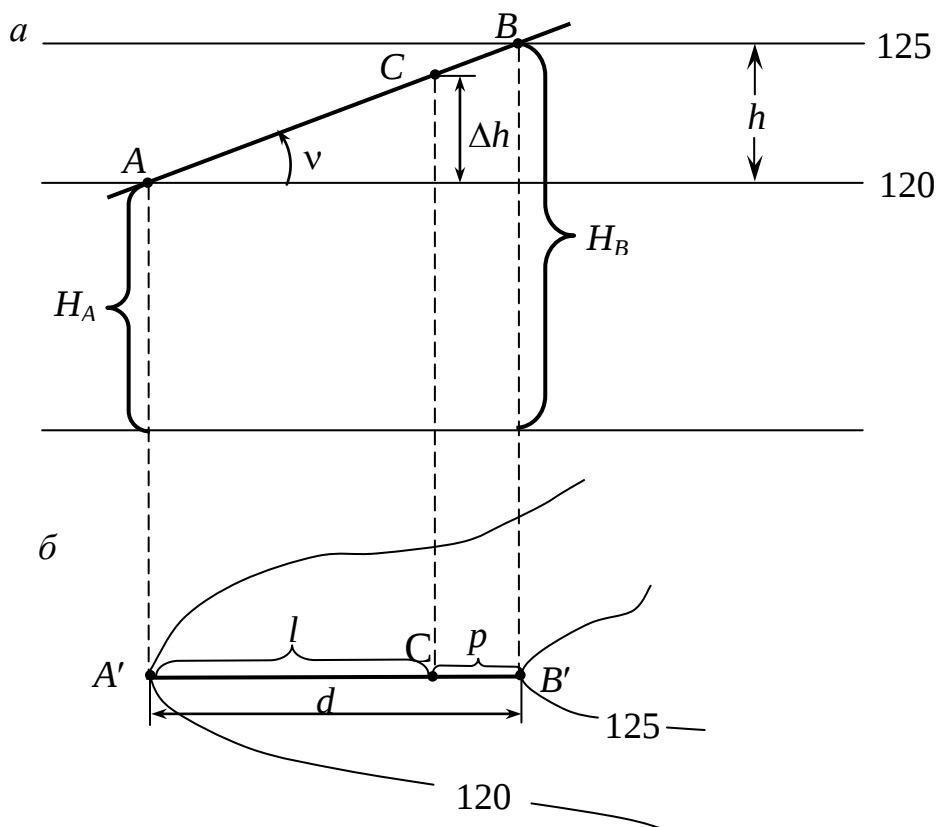


Рисунок 7.11 – Визначення позначки точки, яка не лежить на горизонталі

Δh – перевищення точки над горизонталлю, м,

Позначка точки C (рис. 7.12), що розміщена всередині зімкнутої горизонталі H_C або між горизонталями з однаковими позначками, м

$$H_C = H_1 + 0,5 \cdot h_n, \quad (7.21)$$

де h_n – висота перерізу між горизонталями, м, яка додається, якщо точка розміщена на вершині горба, і віднімається, якщо точка розміщена на дні котловини.

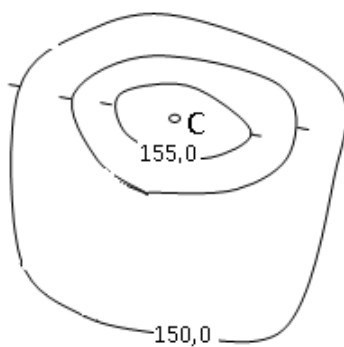


Рисунок 7.12 – Визначення позначки точки, розташованої всередині зімкнутої горизонталі H_C

Приклад 10.

Обчислити позначку точки С на рис. 7.12.

Позначка шуканої точки за формулою (7.21):

$$H_C = 155,00 + 0,5 \cdot 2,5 = 156,25 \text{ м.}$$

Обчислення крутості схилу

Крутість схилу характеризується двома показниками – уклоном i та кутом нахилу ν , які обчислюють за допомогою формули (6.2)

$$i = \operatorname{tg} \nu = h / d',$$

Найбільша крутість схилу

$$i_{\max} = h / d_{\min}; \quad (7.22)$$

Найменша крутість схилу

$$i_{\min} = h / d_{\max}, \quad (7.23)$$

де $d_{\min}$, $d_{\max}$ – відповідно, найменше і найбільше закладання між суміжними горизонталями за однакової висоти перерізу h .

Крутість схилу можна обчислити також графічно за допомогою графіка закладання, який розміщений за рамкою топографічної карти (рис. 7.13, а). Циркулем-вимірником вимірюють відстань між суміжними горизонталями на карті (рис. 7.13, б). Відповідну відстань за допомогою циркуля-вимірника переміщують уздовж основи графіка закладання (рис. 7.13, а) доти, доки верхня точка не досягне кривої.

Приклад 11.

Обчислити крутість схилу, найбільший і найменший уклони (рис. 7.13, б).

Циркулем-вимірником вимірюють відстань між суміжними горизонталями на карті (рис. 7.13, б). Не змінюючи відстань між ножами циркуля-вимірника його переміщують уздовж основи графіка закладання (рис. 7.13, а) так, щоб верхня точка досягла кривої. По шкалі закладання відлічують крутість схилу, яка в прикладі дорівнює $\nu = 2^\circ 4'$.

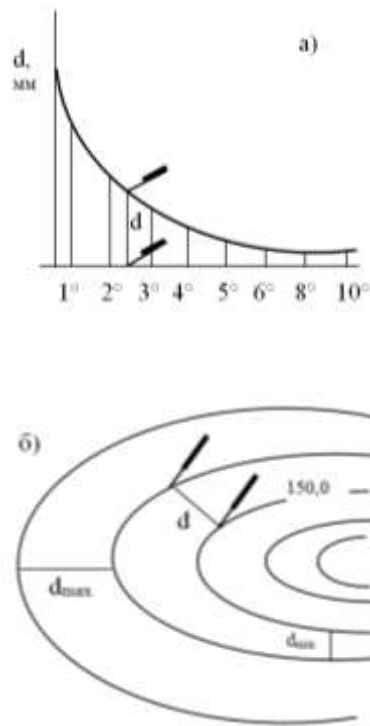


Рисунок 7.13 – Обчислення крутості схилу:

а) – графік закладання; б) – визначення відстаней між горизонталями

У випадку графоаналітичного способу визначення крутості схилу за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки вимірюють найбільше $d_{\max}$ і найменше $d_{\min}$ закладання в метрах і визначають крутість схилу:

$$\text{найбільшу} - i_{\max} = h_{\text{п}} / d_{\min} = 2,5 / 50 = 0,05 ;$$

$$\text{найменшу} - i_{\min} = h_{\text{п}} / d_{\max} = 2,5 / 250 = 0,01.$$

7.9 Побудова профілю заданого напрямку

Профіль місцевості – це слід перетину рельєфу місцевості вертикальною площиною, виражений на площині в заданих горизонтальному та вертикальному масштабах (рис. 7.14).

Побудова профілю виконується в такій послідовності:

1. Кінцеві точки напрямку A і B на карті з'єднують прямою лінією .
2. На лінії AB позначають точки перетину з горизонталями 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10 та точки на перетині з характерними лініями рельєфу: вододілу 2, 9 та водозбору 6.

3. Вибирають значення горизонтального масштабу профіля M_{Γ} , який як правило збігається з масштабом карти (плану).

4. На папері з міліметровими поділками будують графі віддалей і висот (рис. 7.14, б). В графу «віддалі між точками» розхилом циркуля переносять з плану відрізки лінії $A-1, 1-2, \dots, 10-B$. За допомогою лінійного масштабу визначають їх довжину на місцевості (в метрах) і виписують в кожному інтервалі. Довжину інтервалів на місцевості можна визначити безпосередньо на карті (плані). У цьому випадку сума визначених довжин має дорівнювати загальній довжині лінії L_{AB} .

5. На карті (плані) по горизонталях визначають позначки всіх точок лінії $A, 1, 2, \dots, 10$ і виписують в графу «Висоти точок».

6. Вибирають вертикальний масштаб M_B . Його значення, як правило, в 10 разів більше при горбистому та гірському рельєфі і в 20 разів більше для рівнинного рельєфу. Це дає змогу краще виразити рельєф місцевості на профілі.

7. На рис. 7.14 відповідно маємо $M_{\Gamma} = 1:10000$; $M_B = 1:500$; $M_{\Gamma}/M_B = 20$.

8. Обчислюють висоту умовного горизонту H_{Γ} (рис. 7.14) так, щоб на вертикальному профілі вона була нижче найменшої позначки точки рельєфу

$$H_{\Gamma} = H_{\min} - (4 \div 8) \text{ см} \cdot M_B.$$

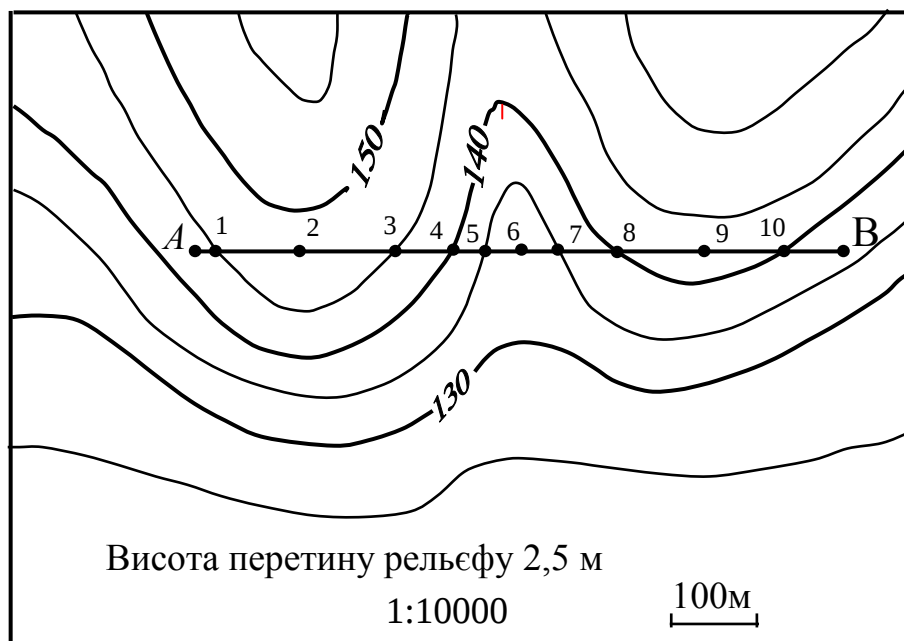
Обчислене значення позначки округлюють до метрової поділки.

На рис. 7.14 маємо $H_{\Gamma} = 132,5 - 4 \cdot 500 = 130,5 \approx 130$ м.

9. Креслять шкалу висот відповідно до вибраного вертикального масштабу M_B через 1 см. Ціна сантиметрової поділки вертикального масштабу дорівнює

$$h_n = 1 \text{ см} \cdot M_B = 1 \text{ см} \cdot 500 = 500 \text{ см} = 5 \text{ м}.$$

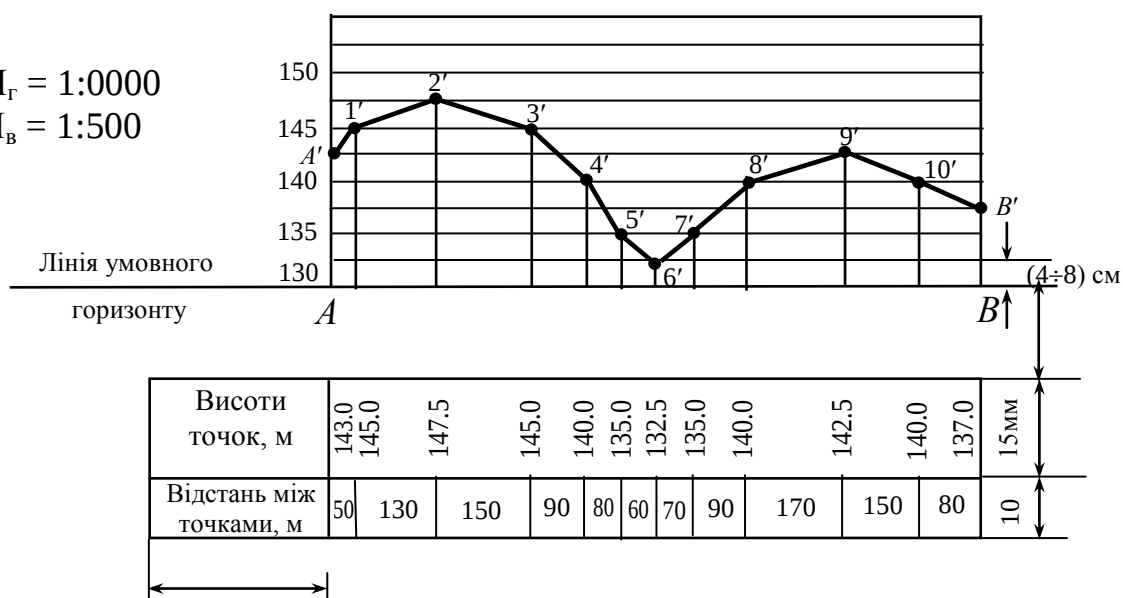
Відповідно поділки шкали висот набули значень 130, 135, ..., 150 м.



a

$M_{\Gamma} = 1:0000$

$M_B = 1:500$



б

Рисунок 7.14 – Побудова профілю місцевості

10. Від лінії умовного горизонту в точках A , 1, 2, ..., B будують перпендикуляри висотою, яка дорівнює позначці точки згідно зі шкалою висот вертикального масштабу. Отримують точки A' , 1', ..., B' і з'єднують їх прямими лініями. Отримана ламана лінія і буде характеризувати профіль місцевості по лінії AB .

З використанням цифрових технологій в автоматичному режимі отримують профіль місцевості для будь-якого напрямку лінії на карті (плані) з графічним зображенням на екрані.

7.10 Визначення меж водозбірної площі

Водозбірною площею називають поверхню землі, з якої за умовами рельєфу збирається поверхнева вода в якийсь водостік (річку, логовину, яр).

Межами водозбірної площі слугують вододільні лінії рельєфу, що проходять по перпендикуляру до випуклих горизонталей по лініях хребтів, через вершини гір, пагорбів та середини сідловини (рис. 7.15).

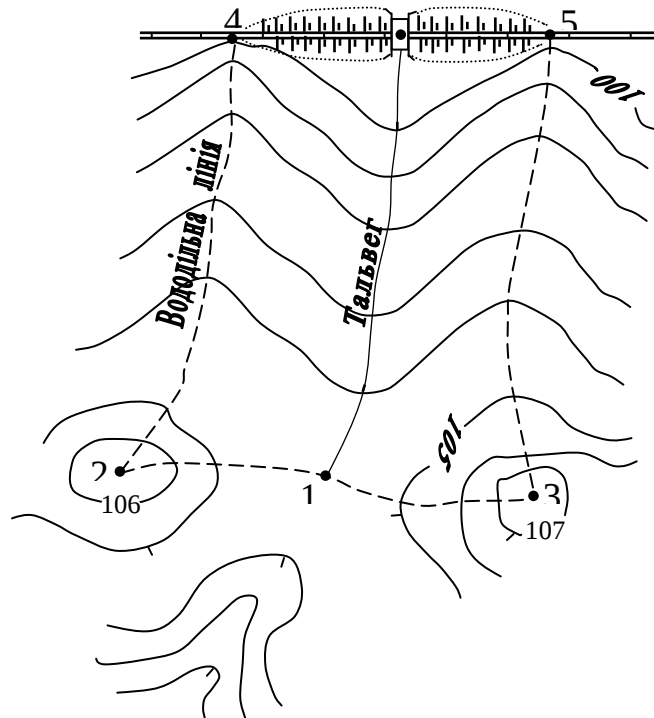


Рисунок 7.15 – Визначення меж водозбірної площі

У нижній частині водозбірна площа обмежується греблями, запрудами, насипом земляного полотна доріг і т. д.

7.11 Визначення площ ділянок місцевості

Вимірювання площ ділянок місцевості виконується по топографічних картах та планах – графічним, аналітичним та механічним способами.

1. Графічний спосіб. Для цього виготовляють прозору квадратну (рис. 7.16, а) або лінійну (рис. 7.16, б) палетку зі сторонами 2÷4 мм. Площа одного квадрата на місцевості буде дорівнювати

$$S_{\text{кв.}} = a^2 \cdot M, \quad (7.24)$$

де M – знаменник чисельного масштабу плану або карти.

Загальна площа обчислюється за формулою

$$S = S_{\text{кв.}}(n_1 + n_2). \quad (7.25)$$

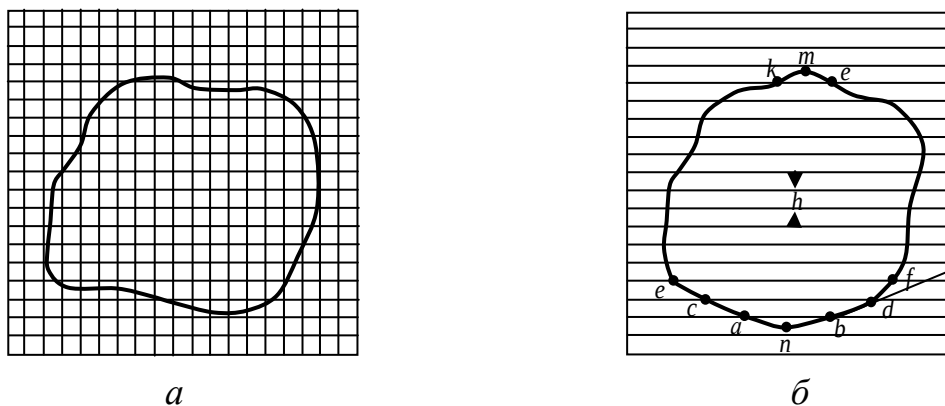


Рисунок 7.16 – Визначення площ за допомогою палеток:

a – квадратної; $б$ – лінійної

При використанні лінійної палетки крайні точки ділянки m і n (рис. 7.16, б) розміщують приблизно посередині між паралельними лініями або, за можливості, суміщають безпосередньо з лініями палетки.

За лінійним або поперечним масштабом карти (плану) вимірюють довжини відстаней $ab, cd, ef, \dots, kl$.

Загальну площу обчислюють за формулою

$$S = h(ab + cd + \dots + kl) M, \quad (7.26)$$

де h – відстань між лініями палетки в мм;

M – знаменник чисельного масштабу карти або плану.

Якщо земельна ділянка має форму многокутника, то її розбивають на найпростіші геометричні фігури: трикутники (рис. 7.17), чотирикутники, трапеції та ін.

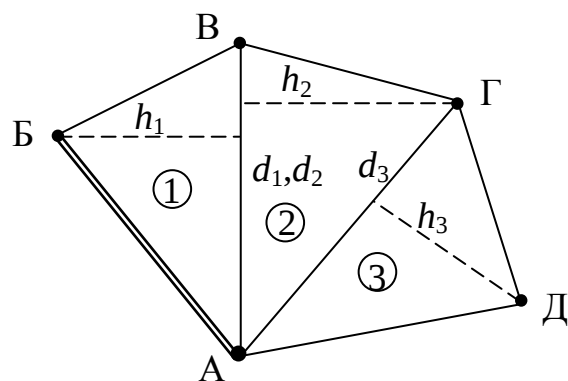


Рисунок 7.17 – Схема розмічування ділянки на трикутники

Допустиме розходження між результатами вимірювань не має перевищувати величини

$$|S' - S''| \leq \Delta S_{\text{гр.}} = 0,04 \sqrt{S} \cdot \frac{M}{10000}, \quad (7.27)$$

де S – обчислена площа ділянки у гектарах.

2. Аналітичний спосіб. Аналітичний спосіб визначення площ використовується, коли ділянка обмежена ламаною лінією і заздалегідь відомі або виміряні по карті (плану) прямокутні координати її вершин (x_i, y_i) (рис. 7.18).

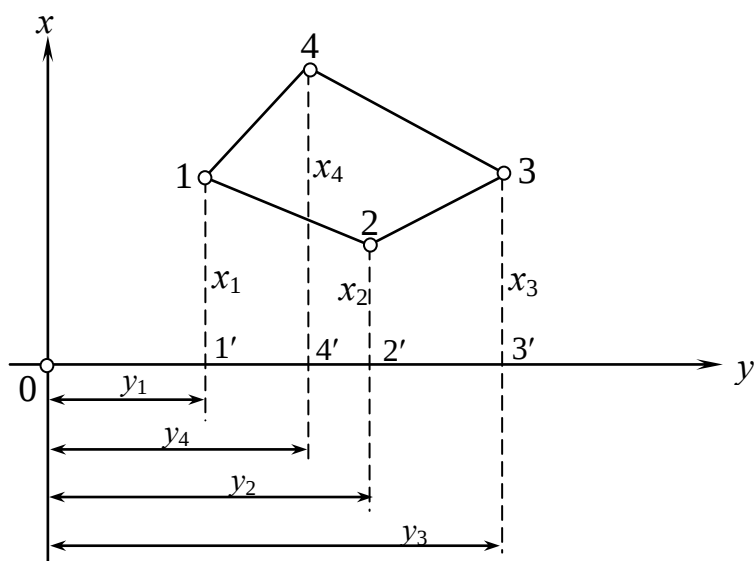


Рисунок 7.18 – Схема аналітичного способу визначення площ

Площу ділянки обчислюють за формулою

$$S = 0,5 \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}), \quad (7.28)$$

або

$$S = 0,5 \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}), \quad (7.29)$$

де n – кількість вершин полігону;

i – номер вершини;

$(i - 1)$ та $(i + 1)$ – номери вершин суміжних зліва і справа до вершини та за напрямом ходу полігону.

Точність визначення площ аналітичним способом становить

$$\Delta S \leq S/1000. \quad (7.30)$$

3. Механічний спосіб. Для визначення площ використовують механічний або електронний прилад – планіметр, який дозволяє швидко і точно вимірювати площі будь-якої конфігурації і розміру.

В сучасних електронних планіметрах лічильний механізм являє собою електронне табло, на якому реєструється повний відлік (рис. 7.19), що дорівнює площі заданої ділянки.



Рисунок 7.19 – Електронний планіметр

7.12 Номенклатура карт та планів

Для практичного використання карти та плани складають на окремих аркушах.

Номенклатурою називають систему розграфки і позначення окремих аркушів топографічних карт та планів.

Земну кулю розбивають меридіанами по довготі через 6° . Отримані сферичні двокутники називають колонами. Їх позначають арабськими цифрами 1, 2 ... 60 проти ходу годинникової стрілки, починаючи від меридіана з довготою 180° .

Потім від екватора на північ та південь півкулі Землі розбивають паралелями через 4° .

Отримані пояси від екватора на північ та південь позначають великими буквами латинського алфавіту: A, B, C, ..., L, M, N, ..., U, V, Z (рис. 7.20).

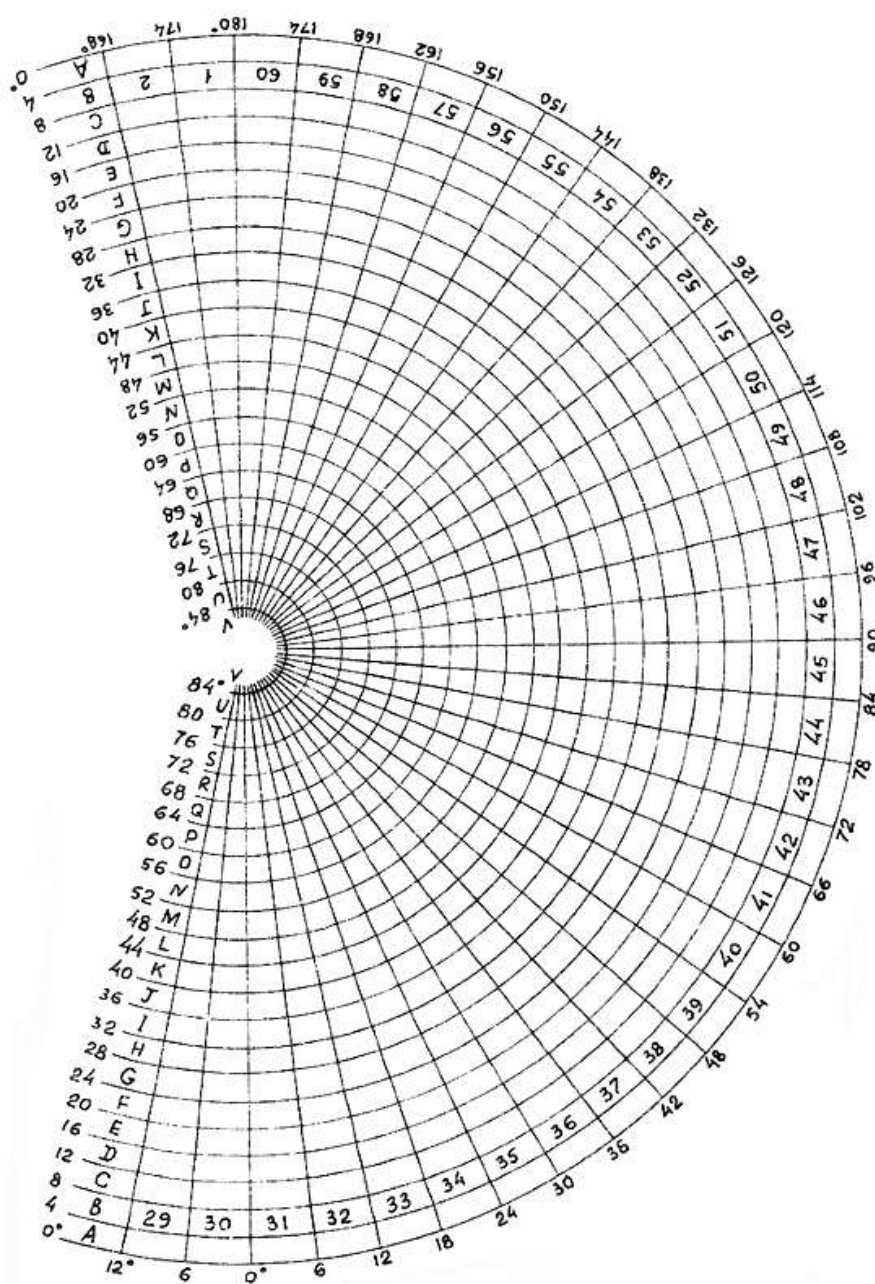


Рисунок 7.20 – Розграфка карти масштабу 1:1000 000

В перетині довгот через 6° по довготі та 4° по широті отримують трапецію аркуша карти масштабу 1:1000 000. Їх позначають через літеру пояса по широті та номер колони по довготі. Наприклад, місто Київ розміщується на аркуші карти масштабу 1:1000 000 – М-36, Львів – М-34 та Сімферополь – L-36 і т. д. Територія України зображається на 6-ти аркушах карти масштабу 1:1000 000.

У випадку переходу до крупніших масштабів площа аркушів карт та планів буде збільшуватися. Тому їх кількість в межах аркуша карти масштабу 1:1000 000 буде збільшуватися за приблизно однакової площі аркуша карти або плану різних масштабів.

Для подальшого розграфлення аркушів топографічних карт та планів поділяють аркуш карти дрібнішого масштабу меридіанами та паралелями на ціле число трапецій аркушів карт крупнішого масштабу.

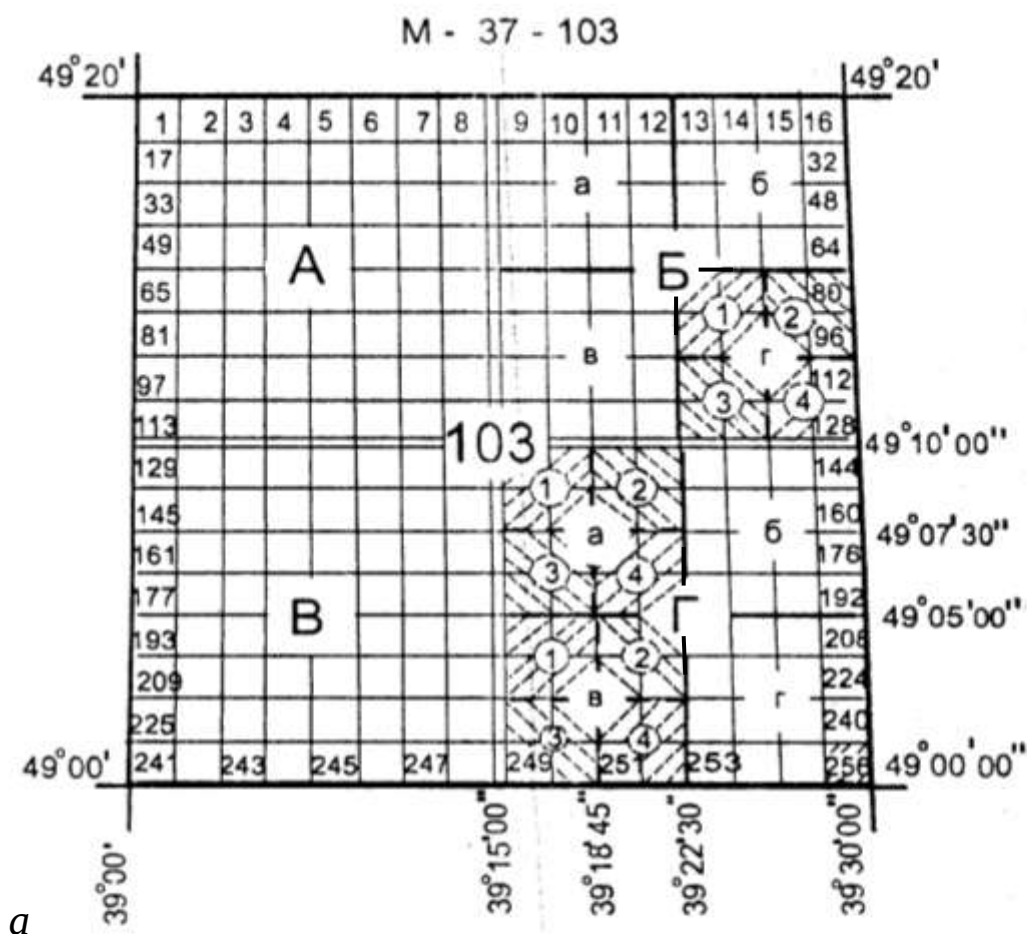
Наприклад, маємо аркуші карт

1:500 000	М-36 - А;	(А, Б, В, Г);
1:200 000	М-36 - XXVI;	(I, II, ..., XXXVI);
1:100 000	М-36 - 105;	(1, 2, ..., 144).

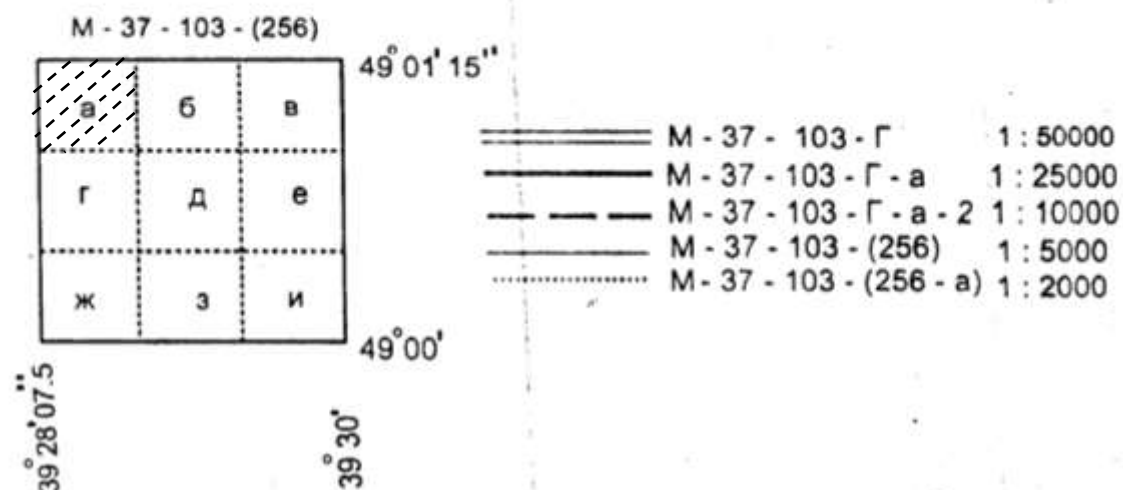
В табл. 7.3 наведено схему поділу та позначення аркушів топографічних планів.

Таблиця 7.3 – Таблиця розграфлення карт та планів

Масштаби карт та планів	Кількість аркушів	Номенклатура (приклад)	Позначення аркушів
Відносно карти масштабу 1:1 000 000			
1: 1 000 000	1	<i>N</i> – 37	
1: 500 000	4	<i>N</i> – 37 – А	А, Б, В, Г
1: 200 000	36	<i>N</i> – 37 – XXVI	I, II, III, ..., XXXVI
1: 100 000	144	<i>N</i> – 37 – 103	1,2, ..., 144
Відносно карти масштабу 1:100 000			
1:50 000	4	<i>N</i> – 37 – 103 – А	А, Б, В, Г
1:25 000	16	<i>N</i> – 37 – 103 – Б – <i>з</i>	<i>а, б, в, з</i>
1:10 000	64	<i>N</i> – 37 – 103 – Б – <i>з</i> – 2	1, 2, 3, 4
1:5000	256	<i>N</i> – 37 – 103 – (256)	1, 2, ..., 256
Відносно плану масштабу 1:5000			
1:2000	9	<i>N</i> – 37 – 103 – (256 – <i>а</i>)	<i>а, б, в, з, д, е, ж, з, и</i>



а



б

Рисунок 7.21 – Схема розграфлення аркушів топографічних планів
 а – 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000 на аркуші карти масштабу 1:100000;
 б – 1:2000 на аркуші карти масштабу 1:5000

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Як дослідити точність визначення довжини лінії між двома точками різними способами?
2. Наведіть порядок обчислення географічних координат точки.
3. Обчисліть прямокутні координати точки.
4. Нанесіть на карту пункт за відомими координатами.
5. Поясніть, як обчислити дирекційний кут й румб заданого напрямку.
6. Обчисліть справжній та магнітний азимути заданого напрямку.
7. Поясніть, як обчислити позначку точки.
8. Охарактеризуйте методику визначення крутості схилу.
9. Побудуйте профіль заданого напрямку на карті.
10. Охарактеризуйте методику визначення меж водозбірної площі.
11. Охарактеризуйте методику визначення площ ділянок місцевості.
12. Охарактеризуйте методику визначення номенклатури аркуша карти.

8 ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИНИ ЛІНІЙ НА МІСЦЕВОСТІ

8.1 Метрологічні основи геодезичних вимірювань

Метрологія – наука про вимірювання, про методи й засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.

В метрології розглядають: одиниці фізичних величин та їх системи; загальну теорію вимірювань; методи й засоби вимірювань; способи визначення точності вимірювань; способи визначення забезпечення вимірювань й однотипність засобів вимірювань; еталони й зразкові засоби вимірювань; методи передачі розмірів від еталонів або зразкових вимірювань робочим засобам.

Фізична величина – властивість, спільна в якісному відношенні для багатьох фізичних об’єктів (явищ й процесів), але за своїм кількісним змістом індивідуальна для кожного з них, оскільки ця властивість може бути для одного об’єкта в певне число разів більша чи менша, ніж для іншого.

Геодезичні вимірювання – це процес знаходження виконавцем або реєструвальним обладнанням значення фізичної величини об’єкта за допомогою технічних засобів з урахуванням впливу навколишнього середовища.

Під час розв’язання топографо-геодезичних задач, пов’язаних із знаходженням розмірів деяких об’єктів (елементів) і визначенням їх положення в просторі, використовують переважно дві фізичні величини: довжину й кут (див. розд. 2). Вимірювання виконують за наявності відповідних умов:

- об’єкта вимірювань – фізичної величини, значення якої визначають;
- суб’єкта вимірювань – спостерігача, тобто особи, що виконує вимірювання;
- технічних засобів, якими виконують вимірювання; методів вимірювання – сукупності правил і прийомів використання засобів вимірювань для отримання значення фізичної величини, що вимірюється;
- зовнішнього середовища – середовища, в якому виконують вимірювання.

Технічні засоби вимірювань: міра, вимірювальний прилад, вимірювальний перетворювач, вимірювальна установка й вимірювальна система. Ці засоби вимірювань мають нормативні метрологічні характеристики. Міра (лінійка, стрічка, рулетка та ін.) призначена для відтворення фізичної величини заданого розміру. Вимірювальні прилади (термометр, барометр, планіметр, бусоль, теодоліт, тахеометр, нівелір та ін.) призначені для відтворення сигналу вимірюваної інформації в формі, яку може безпосередньо сприймати виконавець. Вимірювальний перетворювач (світловіддалемір, лазерні віддалеміри) відтворює сигнал вимірюваної інформації в формі, зручній для передавання, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але яка не піддається безпосередньому сприйманню виконавцем. Вимірювальна установка /стереокомпаратор та ін./ складається із сукупності функціонально об'єднаних засобів вимірювань і допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку, призначених для відтворення сигналів вимірюваної інформації в формі, зручній для автоматичної обробки, передавання і використання в автоматичних системах керування.

Залежно від способу одержання шуканої величини і засобів, що використовуються, вимірювання поділяються на безпосередні та посередні.

8.2 Типи приладів для вимірювання довжини ліній

Залежно від потрібної точності вимірювань довжини ліній на місцевості використовують різні типи механічних і фізико-оптичних мірних приладів (табл. 8.1). Механічні мірні прилади призначені для безпосереднього вимірювання довжини ліній. Під час вимірювання довжини ліній використовують штрихові стрічки ЛЗ-20, ЛЗ-24, ЛЗ-50 довжиною 20, 24 і 50 м, відповідно, з ціною поділки 0,1 м, шкалові стрічки ЛЗШ-20, ЛЗШ-24 та ЛЗШ-50 довжиною 20, 24 і 50 м, відповідно, і рулетки довжиною від 2 до 100 м.

Штрихова стрічка ЛЗ виконана із сталеві штаби завширшки 10...15 мм і завтовшки 0,4...0,5 мм з ручками на кінцях. По краях стрічки зроблено прорізи, проти центрів яких нанесено штрихи. Відстань між штрихами відповідає номінальній довжині стрічки. Оцифровку виконано з

обох боків стрічки: від 0 до 20 м з одного боку та від 20 до 0 – з іншого. Метри на стрічці позначено металевими пластинками. Півметрові поділки позначено металевими заклепками, а дециметрові – круглими отворами. Відлік по стрічці виконують з точністю 0,01 м.

Шкалова стрічка від штрихової відрізняється тим, що на її початку і в кінці є шкали з міліметровими поділками. Довжина кожної шкали – 10 см. До комплекту стрічок входить 6 або 11 шпильок.

Таблиця 8.1 – Метрологічні характеристики та призначення приладів для вимірювання довжини ліній

Тип приладів	Точність вимірювань	Призначення
Механічні:		
жезли	1:1000000	Компарування мірних приладів
інварні дроти	1:1000000 – 1:500000	Високоточне перенесення на місцевість проектних ліній, компарування мірних приладів, вимірювання базисів у тріангуляції і полігонометрії
мірні стрічки, рулетки, троси	1:700 – 1:5000	Знімання, розвідувальні роботи і розмічання
Фізико – оптичні:		
оптичні віддалеміри	1:300 – 1:5000	Знімання і розвідувальні роботи
радіофізичні віддалеміри	1:10000 – 1:1000000	Побудова знімальних геодезичних мереж у тріангуляції і полігонометрії

Рулетки роблять із сталеві штаби шириною 10...12 мм і товщиною 0,15...0,3 мм. На рулетці нанесено міліметрові поділки по всій довжині або тільки на першому дециметрі. Сантиметрові поділки наносяться по всій довжині. Сталеву штабу намотують на кільце, що утримується хрестовиною або вилкою. До комплекту рулетки та стрічки можуть входити динамометри, які забезпечують її натягання з силою 98,07 Н.

Для вимірювання відстаней непрямим способом використовують віддалеміри, які дозволяють швидко одержувати результати вимірювань з

підвищеною точністю і без попередньої підготовки лінії на місцевості. Але віддалеміри не пристосовані для відкладання проектної відстані.

В основі принципу вимірювання відстаней D за допомогою оптичних віддалемірів лежить залежність між сторонами паралактичного трикутника, в якому відомі базис b , паралактичний кут β (рис. 8.1).

$$D = b \operatorname{ctg} \beta, \quad (8.1)$$

де β – паралактичний кут, кут при вершині трикутника, значення якого менше одного градуса.

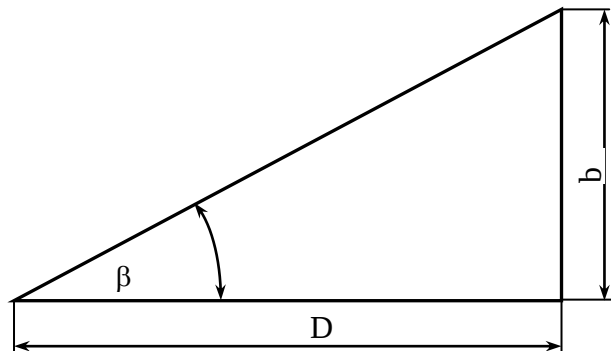


Рисунок 8.1 – Паралактичний трикутник

Залежно від елемента паралактичного трикутника, що вимірюється, оптичні віддалеміри бувають з постійним кутом і змінним базисом, з постійним базисом і змінним кутом, із змінними кутом і базисом.

Найпоширенішим є **нитковий віддалемір** з постійним паралактичним кутом і змінним базисом, який дозволяє вимірювати відстані непрямым способом. Цей прилад, розміщений в зоровій трубці теодоліта або нівеліра, виконано у вигляді двох рівновіддалених від центра горизонтальних рисок сітки ниток, що утворюють паралактичний кут променями візування, які проходять через ці риски. Як базис використовують дерев'яні рейки з сантиметровими поділками, які встановлюють у вертикальне положення на місцевості. Точність вимірювання відстаней нитковим віддалеміром в сприятливих умовах 1:300. Відстань, яку вимірюють нитковим віддалеміром, m ,

$$D = K \cdot n + c, \quad (8.2)$$

де $K = 100$ – коефіцієнт ниткового віддалеміра;

n – різниця відліків на рейці між крайніми штрихами сітки зорової труби;

c – стала віддалеміра (в сучасних приладах $c = 0$).

Принцип вимірювання довжини ліній радіофізичними віддалемірами оснований на визначенні часу, за який електромагнітні хвилі проходять вимірюваний відрізок в прямому та зворотному напрямках. Комплект віддалеміра містить приймально-передавальний пристрій, встановлений в одній із кінцевих точок, і відбивач хвиль, розміщений на другій кінцевій точці. Відстань, що вимірюється, m ,

$$D = \tau v/2, \quad (8.3)$$

де v – швидкість поширення хвиль, m/s ;

τ – час, за який хвилі проходять відстань передавач-відбивач-приймач, s .

Залежно від методу визначення часу, за який хвилі проходять відстань передавач-відбивач-приймач, віддалеміри поділяють на фазові та імпульсні. Фазовий світловіддалемір 2СМ-2 з фіксованими частотами модуляції призначений для вимірювання відстані до 2000 м з середньою квадратичною похибкою 1:100000. Світловіддалемір СМ-5 дозволяє вимірювати відстані до 500 м з середньою квадратичною похибкою 1:25000. Світловіддалеміром МСД-ІМ вимірюють відстані до 500 м з середньою квадратичною похибкою 1:10000.

Світловіддалемір С-1М, призначений для вимірювання відстаней в гірничих виробках та польових умовах. Принцип його дії ґрунтується на вимірюванні фази сигналу світла, що відбивається в місці, яке контролюється. Обладнаний лімбами для вимірювання кутів з невисокою точністю: горизонтальних – 10 мінут, вертикальних – 1 градус. Діапазон вимірювання відстаней: у випадку одного відбивача – 5...5000 м, а за декількох відбивачів – 5...5000 м з точністю $\pm (5 + 5 \cdot 10^{-6} D)$ мм.

Світловіддалемір 2СТ-10 призначений для вимірювання довжин ліній до 10 км. Управління процесом вимірювання забезпечує вмонтована мікро-ЕОМ. Результати вимірювань, з врахуванням поправок на атмосферний тиск й температуру, видаються на табло та можуть бути введені в накопичувач. Відбивач буває однопризмий або шестипризмий. Діапазон вимірювання відстаней 2..10 000 м з похибкою $\pm (5 + 3 \cdot 10^{-6} D)$ мм.

Швидко й точно без сторонньої допомоги дозволяють вимірювати відстані ручні без відбивачів лазерні віддалеміри. Для автоматичного вимірювання відстані вони використовують лазерний промінь, що відбивається від поверхні й повертається назад до приладу. Прилад випромінює сигнал в червоному спектрі видимого діапазону, що дозволяє бачити точку, до якої вимірюється відстань. Круглий рівень дозволяє контролювати горизонтальне положення приладу.

Для вимірювань використовують ручні лазерні віддалеміри компанії Sokkia: Mini Meter MM 30, MM 30R та MM 100T; SONIN – 45, SONIN – 60 PRO та SONIN 75; DISTO, DISTO classic та DISTO meno. Технічні характеристики: MM 30 та MM 30 R – діапазон вимірювання 0,2...30 м, з відбиваючою маркою 20...100 м, точність вимірювань $\pm (3 + 50 \cdot 10^{-6} D)$ мм; а MM 100 – діапазон вимірювання 0,2...100 м, з відбивачем 20...3000 м, точність $\pm (20 + 3 \cdot 10^{-6} D)$ мм. Технічні характеристики віддалемірів серії SONIN: відстань вимірювання SONIN – 45 до 14 м, SONIN – 60 PRO до 18 м, SONIN – 75 до 22 м з точністю $\pm (10 + 0,01D)$ мм, а серії DISTO – 0,2...30 м, DISTO classic – 0,3...40 м й DISTO meno – 0,3...30 м та відповідно з відбиваючою маркою 20...100 м, 40...100м, 20...100 м з точністю ± 3 мм.

8.3 Випробування приладів для вимірювання довжини ліній

Перед початком і в період польових робіт усі прилади для вимірювання довжини ліній обов'язково мають проходити метрологічні випробування. Зміст та порядок виконання випробувальних робіт для сталевих стрічок і рулеток такий. Перевірку зовнішнього вигляду і технічного стану виконують способом візуального огляду та випробування. Візуальним оглядом установлюють наявність дефектів, які погіршують зовнішній вигляд і утруднюють користування пристроями для відліку, якість нанесення рисок і підписів, прямолінійність. Під час проведення випробування перевіряють якість складання і взаємодії окремих частин. Мірні прилади періодично компарують, тобто звіряють з наперед відомою мірою-еталоном і визначають їх дійсну довжину. Якщо прилад для безпосереднього вимірювання відстаней має однакову мінімальну довжину з еталоном, то порівняння виконують на рівному майданчику з сухим і

міцним ґрунтом способом безпосереднього вимірювання різниці їх довжин. Послідовність компарування приладів для безпосереднього вимірювання довжини ліній така. Стрічку-еталон розмотують, вирівнюють і злегка натягують. Біля кінців стрічки забивають кілки так, щоб на них проектувалися кінцеві штрихи стрічки. Один кінець стрічки закріплюють, а за другий чіпляють динамометр і натягують її з силою 98,07 Н (10 кгс). На кілках олівцем помічають положення штрихів, що означають початок та кінець стрічки. Контрольну стрічку забирають. На її місце укладають робочу стрічку, яку натягують з силою 98,07 Н. Штрих початку стрічки суміщають з штрихом на задньому кілку, а на передньому кілку відмічають положення кінця стрічки. Якщо відстань між штрихами не перевищує 2 мм, то робоча стрічка буде правильною. Якщо ж ця відстань більша, то обчислюють поправку на компарування, м

$$\Delta l_K = l - l_e, \quad (8.4)$$

де l, l_e – відповідно довжини робочої і еталонної стрічок, м.

Компарування стрічок і рулеток в польових умовах виконують на базисах довжиною приблизно 120 м, які дають значення D_K у 3...5 разів точніші, ніж прилад, що перевіряється. Після багаторазових вимірювань довжини компаратора D_B стрічкою або рулеткою поправка на компарування, м,

$$\Delta l_K = (D_K - D_B) / n, \quad (8.5)$$

де $n = D_B / l_0$ – число відкладань робочої міри довжиною l_0 в довжині компаратора.

За результатами компарування складають рівняння мірного приладу

$$l = l_0 + \Delta l_K + \alpha_0(t_B - t_K), \quad (8.6)$$

де l_0 – номінальна довжина стрічки (наприклад, 20 м);

t_B, t_K – температура стрічки, відповідно, при вимірюванні лінії і компаруванні;

$\alpha_0 = \alpha \cdot l_0$ – лінійне розширення приладу за зміни температури на 1 °С;

α – коефіцієнт лінійного розширення, для сталі $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$.

За умов місцевості, де відстані, що вимірюються, коротші за довжину мірного приладу, визначають поправки для кожної метрової

поділки за допомогою контрольної лінійки з ціною поділки 0,2 мм.

Зміст і порядок виконання перевірних робіт для оптичних віддалемірів такий. Спочатку здійснюють зовнішній огляд і перевірку роботоздатності рухомих частин. Під час зовнішнього огляду виявляють механічні пошкодження, дефекти зображення шкал і наявність побічних зображень. Перевірка рухомих частин виконується випробуванням. Всі рухомі частини мають зрушуватися плавно, без помітних стрибків. Перевіряють діапазон роботи установочних і відлікових пристроїв, надійність закріплення насадок на зорову трубу, комплектність приладів тощо. Способом багаторазових вимірювань інтервалів еталонного базису різної довжини визначають коефіцієнт віддалеміра і сталу.

Перевірку світло- і радіовіддалемірів починають з візуального огляду. Під час візуального огляду встановлюють комплектність і наявність механічних пошкоджень корпусу прийомо-передавача, антени, відбивача, кабелів і блока живлення. Перевіряють маркування і якість антикорозійного покриття. Функціонування приладу і його вузлів перевіряють випробуванням, внаслідок якого встановлюють роботоздатність усіх основних вузлів. Під час випробування перевіряють придатність для роботи джерела живлення, плавність руху рухомих деталей, надійність обертання прийомо-передавача навколо вертикальної осі і нахилу у вертикальній площині. Визначають якість роботи затискних пристроїв, відповідність роботи паспортним умовам. Вимірюють вихідну напругу, оцінюють наявність сигналу вздовж лінії, що вимірюється, та роботоздатність індикаторів. Контролюють масштабну частоту, визначають похибки фазового циклу і постійні поправки приладу, а також перевіряють середню квадратичну похибку вимірювань.

8.4 Вимірювання довжини ліній стрічками і рулетками

Лінії на місцевості в крайніх точках залежно від строку їх збереження закріплюють кілками, стовпчиками, обрізками арматури і труб. На початку і в кінці лінії кілки забивають врівень з поверхнею землі. Щоб швидше знайти точку, біля основного кілка забивають сторожок, тобто кілок, що піднімається над поверхнею землі на 15...20 см. На сторожку пишуть номер

точки. Навколо кілочків роблять канавку завглибшки 8...10 см у формі круга діаметром 50...60 см або трикутника з сторонами 50...60 см.

Перед безпосереднім вимірюванням лінії довжиною більше 500 м її провішують через кожні 100 м, інакше замість прямої буде ламана лінія, яка має більшу довжину, ніж пряма. Провішують лінію способом «на себе». Кожну лінію вимірюють двічі, в прямому і зворотному напрямках. Різниця між окремими результатами не має перевищувати $(1:2000) \sqrt{2} \approx 1:1500$.

Перед початком вимірювань стрічку або рулетку розмотують і натягують в напрямі вимірюваної лінії. Стрічку потрібно старанно укласти по створу лінії і не допускати провисання, перекручення і вигинів. Передній вимірювальник бере в одну руку стрічку, а в другу – 5 (10) шпильок. Задній вимірювальник суміщає нульовий штрих стрічки з початком вимірюваної лінії, вставляє в проріз свою єдину шпильку і втикає її якомога глибше в землю. Потім рукою показує передньому вимірювальнику як покласти стрічку, щоб вона була в створі поставлених віх. Передній вимірювальник струшує стрічку і натягує її на себе з силою, яка приблизно дорівнює силі натягування стрічки під час компарування. Натягуючи стрічку, потрібно стежити за тим, щоб не змістити і не похилити задню шпильку. Через проріз в кінці стрічки проти 20–го штриха втикають в землю першу шпильку. Так довжину стрічки відкладають на лінії перший раз. Витягнувши передню шпильку і звільнивши передній кінець стрічки, вимірювальники йдуть вперед вздовж тичкової лінії. Коли задній вимірювальник підходить до шпильки, поставленої переднім вимірювальником, довжину стрічки відкладають другий раз і т. д.

Якщо довжина лінії більше 100 (200) м, то після того, як передній вимірювальник поставив останню – п'яту (десяту) шпильку, задній передає йому п'ять (десять) шпильок і відмічає цю передачу в журналі. Щоб своєчасно виявити можливу грубу похибку у вимірюванні лінії через втрату шпильок, під час передачі їх потрібно обов'язково перераховувати. Після перерахування шпильок передній вимірювальник протягує стрічку вперед. Задній вимірювальник надіває кінець стрічки на залишену в землі шпильку і вимірювання продовжуються в попередньому порядку.

Під час вимірювання остачі, яка менша за довжину стрічки, передній вимірювальник протягує стрічку так, щоб її кінець збігся з кінцевою точкою лінії. Потім він повертається до цієї точки і робить відлік по стрічці. Відлічуючи остачу, стрічку укладають так, щоб підписи метрів на ній, розміщені зверху, зростали від заднього кінця до переднього. Остачу вимірюваної лінії записують в журнал.

Кут нахилу лінії вимірюють за допомогою екліметра. Якщо лінія по всій довжині має один уклон, то порядок вимірювання кута нахилу такий. На одному кінці лінії стають з екліметром, а на другому ставлять віху з позначкою на висоті ока спостерігача. Екліметр підносять до ока і беруть відлік з точністю до $0,5^\circ$. Для перевірки екліметра вимірюють зворотний кут нахилу однієї з ліній, помінявши місцями віху і екліметр. Якщо лінія складається з відрізків з різними уклонами, то вимірюють кут нахилу кожного відрізка.

За результатами вимірювань обчислюють довжину лінії, м,

$$D = AN + l_0 n + r, \quad (8.7)$$

де $A = 100$, якщо 6 шпильок і $A = 200$, якщо 11 шпильок;

N – число передач шпильок;

n – кількість шпильок у заднього вимірювальника без врахування останньої шпильки;

r – остача.

У результати вимірювань довжини лінії вносять такі поправки, м:
за компарування стрічки

$$\Delta D_K = \Delta l_K D / l_0; \quad (8.8)$$

за температуру стрічки

$$\Delta D_t = \alpha_0 (t_B^\circ - t_K^\circ) D / l_0; \quad (8.9)$$

за нахил лінії

$$\Delta D_v = - 2D \sin^2 v / 2, \quad (8.10)$$

де v – кут нахилу лінії.

Приклад.

Потрібно визначити довжину лінії D , виміряну стрічкою ЛЗ-20 за допомогою шести шпильок. Рівняння стрічки

$$L = 20\text{м} + 7,5\text{мм} + 0,25 (t_{\text{В}}^{\circ} - t_{\text{К}}^{\circ}).$$

Число передач шпильок $N = 2$, кількість шпильок у заднього вимірювальника $n = 4$. Остача в прямому та зворотному напрямках $r_1 = 19,74$ м та $r_2 = 19,83$ м. Кут нахилу лінії $\nu = + 6,5^{\circ}$. Температура повітря в період компарування $t_{\text{К}}^{\circ} = 17^{\circ}\text{C}$, а в період вимірювань $t_{\text{В}}^{\circ} = +23^{\circ}\text{C}$.

Розв'язання.

Обчислення довжини лінії виконуємо в табличній формі (табл. 8.2).
Виміряна довжина лінії за формулою (8.7)

$$D = 100 \cdot 2 + 20 \cdot 4 + 19,78 = 299,78 \text{ м.}$$

Таблиця 8.2 – Відомість обчислення довжини лінії

Вимірний і обчислений параметр	Результат обчислення
Температура компарування $t_{\text{К}}$	$+17^{\circ}$
Температура вимірювання $t_{\text{В}}$	$+23^{\circ}$
Кут нахилу лінії ν	$+6,5^{\circ}$
Число передач шпильок N	2
Кількість шпильок у заднього вимірювальника n	4 шт.
Остача в прямому напрямі r_1	19,74 м
Остача у зворотному напрямі r_2	19,83 м
Середнє значення остачі r	19,78 м
Виміряна довжина лінії D	299,78 м
Поправка на компарування $\Delta D_{\text{К}}$	$+0,11$ м
Поправка на нахил лінії ΔD_{ν}	$-1,88$ м
Поправка на температуру ΔD_t	$+0,02$ м
Остаточна довжина лінії d	298,03 м

Поправка на компарування за формулою (8.8)

$$\Delta D_{\text{К}} = 0,0075 \cdot 299,78/20 = +0,11 \text{ м.}$$

Поправка на температуру за формулою (8.10)

$$\Delta D_t = 0,0025 (23 - 17) \cdot 299,78/20 = +0,02 \text{ м.}$$

Поправка на нахил лінії за формулою (8.10)

$$\Delta D_{\nu} = -2 \cdot 299,78 \sin^2 3^{\circ} 25' = -1,88 \text{ м.}$$

Остаточна довжина лінії

$$d = D + \Delta D_{\text{К}} + \Delta D_t + \Delta D_{\nu} = 299,78 + 0,11 + 0,02 - 1,88 = 298,03 \text{ м.}$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Типи мірних приладів та їхні метрологічні характеристики.
2. Яка будова приладів для безпосереднього вимірювання ліній?
3. Принцип дії оптичних віддалемірів і характеристика ниткового віддалеміра.
4. Принцип вимірювання відстаней за допомогою радіофізичних віддалемірів та їх характеристики.
5. Як перевіряють мірну стрічку та рулетку?
6. Перевірка радіофізичних віддалемірів.
7. Який порядок вимірювання ліній стрічкою?
8. Як обчислити довжину лінії, виміряну стрічкою?
9. Які джерела похибок вимірювання ліній?
10. Визначте довжину лінії D, виміряну стрічкою, рівняння якої $l = 20 \text{ м} + 9,5 \text{ мм} + 0,25 (t_B^\circ - t_K^\circ)$, якщо число передач шпильок $N = 2$, кількість шпильок у заднього вимірювальника $n = 3$ шт. Остача в прямому та зворотному напрямках відповідно $r_1 = 19,47 \text{ м}$ та $r_2 = 19,50 \text{ м}$. Кут нахилу $\nu = 5^\circ$, температура повітря в період вимірювання $t_B^\circ = 22^\circ \text{C}$, температура компарування $t_K^\circ = 18^\circ \text{C}$.

9 ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ. ТЕОДОЛІТ ТА ЙОГО БУДОВА

9.1 Принцип вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів

Під час топографо-геодезичних робіт вимірюють не кути між напрямками на місцевості, а їх ортогональні проекції в горизонтальній й вертикальній площинах.

Геометричний принцип вимірювання реальних горизонтального й вертикального кутів характеризується схемою (рис. 9.1).

Горизонтальним кутом називають поворот між ортогональними проекціями Oa і Oc ліній місцевості OA і OC в горизонтальній площині M (рис. 9.1).

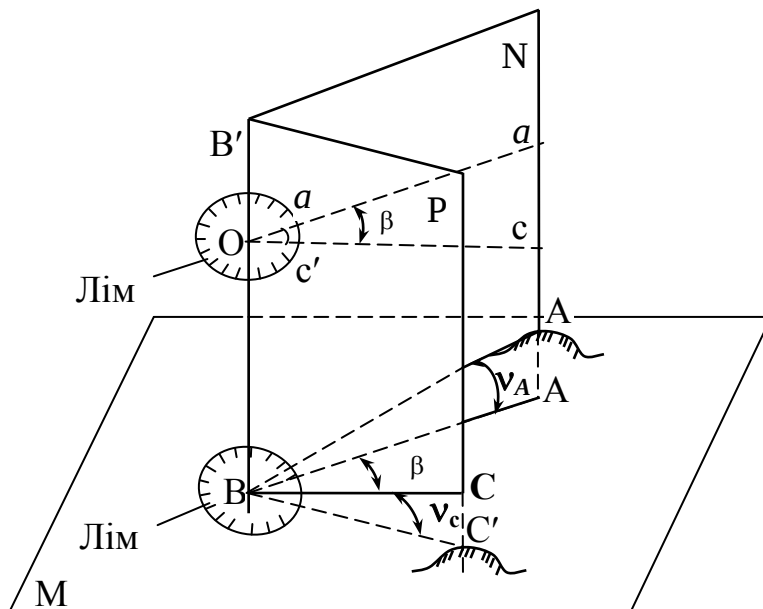


Рисунок 9.1 – Схема вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів на місцевості ($Oa \parallel BA'$, а $Oc \parallel BC'$)

Нехай маємо точки A , B та C , одна з яких B є вершиною горизонтального кута ABC , сторони AB й BC якого не лежать в одній площині. Попередньо проектують сторони кута AB й BC на горизонтальну площину M так, щоб вершина кута B належала цій площині. На сторонах кута AB й BC будують дві вертикальні площини N й P . Результат – на горизонтальній площині M виникають лінії перетину BA' й BC' , що утворюють горизонтальну проекцію β кута місцевості ABC . Для визначення планового положення точок A , B й C вимірюють

горизонтальний кут $A'BC'$, мірою якого є двогранний кут між площинами N і P . Цьому куту дорівнює будь-який кут, вершина якого знаходиться на прямовисному ребрі BB' двогранного кута $A'B'C'$, а сторони його лежать в площині, паралельній площині M . Горизонтальні кути мають значення від 0° до 360° .

Для визначення величини кута, наприклад в градусній мірі, в будь-якій точці на ребрі BB' двогранного кута $A'B'C'$, розміщують горизонтальний круг з поділками, що називається **лімба**, так, щоб його центр O був на прямовисній лінії OB . Внаслідок перетину площини лімба площинами N і P утворюється певний кут aOc , який за побудовою дорівнює куту β .

Визначаючи за поділками лімба відліки за ходом годинникової стрілки a' й c' , обчислюють значення горизонтального кута

$$\beta = c' - a' . \quad (9.1)$$

Правило обчислення горизонтального кута на місцевості можна сформулювати так: щоб одержати значення горизонтального кута, необхідно від відліку на правий напрям (за ходом годинникової стрілки) відняти відлік на лівий напрям. Якщо відлік на правий напрям менший за значенням від лівого відліку, то до нього додають 360° і знову віднімають лівий відлік.

Вертикальним кутом називають поворот в вертикальній (прямовисній) площині лінії місцевості OA до її проекції Oa на горизонтальну площину M (див. рис. 9.1).

Для визначення перевищення між точками вимірюють вертикальні кути, тобто кути нахилу. Під вертикальним кутом розуміють кут між стороною та її проекцією на горизонтальну площину. Відповідно до геометричної принципової схеми (див. рис. 9.1) вертикальним кутом сторони BA буде кут $A'BA = +v_a$, а сторони BC буде кут $C'BC = -v_c$. Якщо сторона вище проекції, то кут вважають додатним, якщо нижче – від’ємним. Вертикальні кути набувають значення в межах від -90° до $+90^\circ$. Для вимірювання вертикальних кутів v_a й v_c лімба розміщують прямовисно відповідно в площинах N і P . За результатами відліків по вертикальному лімбі обчислюють значення вертикальних кутів.

Описаний принцип вимірювання кутів на місцевості реалізується в кутомірному приладі, що називається теодолітом.

9.2 Класифікація теодолітів

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

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

За конструкцією: прості, повторні, механічні, оптичні, електронні.

За стандартом теодоліти позначають літерою Т далі йдуть літери, які позначають конструкцію теодоліта:

К – з компенсатором вертикального круга.

П – з прямим зображенням зорової труби;

М – маркшейдерське виконання;

А – з автоколімаційним окуляром.

За точністю теодоліти поділяють на

- високоточні Т05, Т1 (середня квадратична похибка вимірювання кутів $m_{\beta} = 0,5...1,0''$)
- точні Т2, Т5, Т10; ($m_{\beta} = 2...5''$)
- технічні Т15, Т20, Т30, Т60. ($m_{\beta} = 15...30''$)

Цифра означає середню квадратичну похибку вимірювання кута за один прийом (у секундах). Основні метрологічні характеристики теодолітів наведено у табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Основні параметри теодолітів

Основні параметри	Тип теодоліта				
	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
Середня квадратична похибка вимірювання кута за один прийом, с	1	2	3	15	30
Збільшення зорової труби, разів	30; 40	25	25	25	18
Мінімальна відстань візування, м	5	2	2	1,5	1,2
Ціна поділки лімба, мінути	10	20	60	60	10
Коефіцієнт ниткового віддалеміра	-	100	100	100	100
Маса теодоліта, кг	11	5	4,5	3,5	2,5

У теодолітах Т05, Т1, Т2 відліки роблять за двостороннім мікрометром. В теодолітах Т5, Т15 система відліків одностороння за шкаловими мікроскопами. У теодоліті Т30 використовується мікроскоп з індексом.

Високоточні теодоліти Т05 і Т1 використовують для вимірювання кутів у планових державних геодезичних мережах 1-го й 2-го класів, а також як контрольно-вимірювальне обладнання для різних дослідницьких і високоточних вимірювань, у будівництві й експлуатації особливо відповідальних споруд. Найменша поділка круга лімба 10', ціна поділки відлікової системи – 1".

Точний теодоліт Т2 призначений для вимірювання кутів у триангуляції 3-го й 4-го класів, у геодезичних роботах з розмітки споруд в будівництві. Круги лімбів теодоліта розділені на 20', оцифровка градусна. У відліковій системі приладу використано оптичний клиновий мікрометр із шкалою, ціна поділки якої 1". Відлікова система передбачає цифрову індексацію десятків мінут у додатковому віконці діафрагми поля зору мікроскопа.

Точний теодоліт Т5 та його модифікації 2Т5 і 2Т5К призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів у триангуляції та полігонометрії 1-го й 2-го розрядів, вимірювання відстаней за допомогою ниткового віддалеміра, а також для виконання розпланувальних робіт. У відліковій системі використано шкаловий мікроскоп з ціною поділки 1". Система відліків одностороння двоканальна з кольоровим фоном відображення вертикального й горизонтального кругів. Теодоліт 2Т5К відрізняється від теодоліта 2Т5 тим, що він має самовстановлювальний оптичний компенсатор, який замінює рівень біля алідади вертикального круга й дозволяє використовувати прилад як нівелір з горизонтальним променем візування.

Теодоліт Т15 призначений для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних геодезичних мережах, під час перенесення у натуру споруд та в процесі інженерно-технічних вишукувань трас. Теодоліт має оптичний центрир, розміщений у середині алідадної частини приладу. Кутомірні круги теодоліта розділені через 1°, кожний штрих яких оцифрований. Відлікова система – це шкаловий мікроскоп з ціною поділки 1'. Частини поділок відлічують на око з точністю 0,1'. У полі зору шкалового мікроскопа одночасно видно відображення штрихів горизонтального й вертикального кругів.

Теодоліт 2Т15КП відрізняється від базової моделі наявністю компенсатора й тим, що труба має пряме відображення.

9.3 Геометрична схема й основні частини теодоліта

Кожний тип теодоліта має свої конструктивні особливості. Однак, належачи до одного типу приладів для вимірювання кутів, усі вони мають загальні основні частини (рис. 9.2): зорова труба 1, рівні, робочі міри, горизонтальний (з лімбом 3 і алідадою 4) і вертикальний 5 круги, відлікові системи і встановлювальні пристрої, підставки 2 і піднімальні гвинти 7.



Принципова схема теодоліта забезпечує виконання основних геометричних умов: вісь обертання приладу має бути вертикальною; площина лімба LL_1 – горизонтальною; площа візування – вертикальною. Під час вимірювання кутів найбільше значення має дотримання взаємного розміщення частин теодоліта відповідно до таких умов: $LL_1 \perp \Pi_1$, $UU_1 \perp \Pi_1$.

або $UU_1 \parallel LL_1$, $ZZ_1 \perp HH_1$, $HH_1 \perp \Pi_1$, або $HH_1 \parallel LL_1$. Це зумовлено їхньою значною мінливістю у процесі роботи й транспортування.

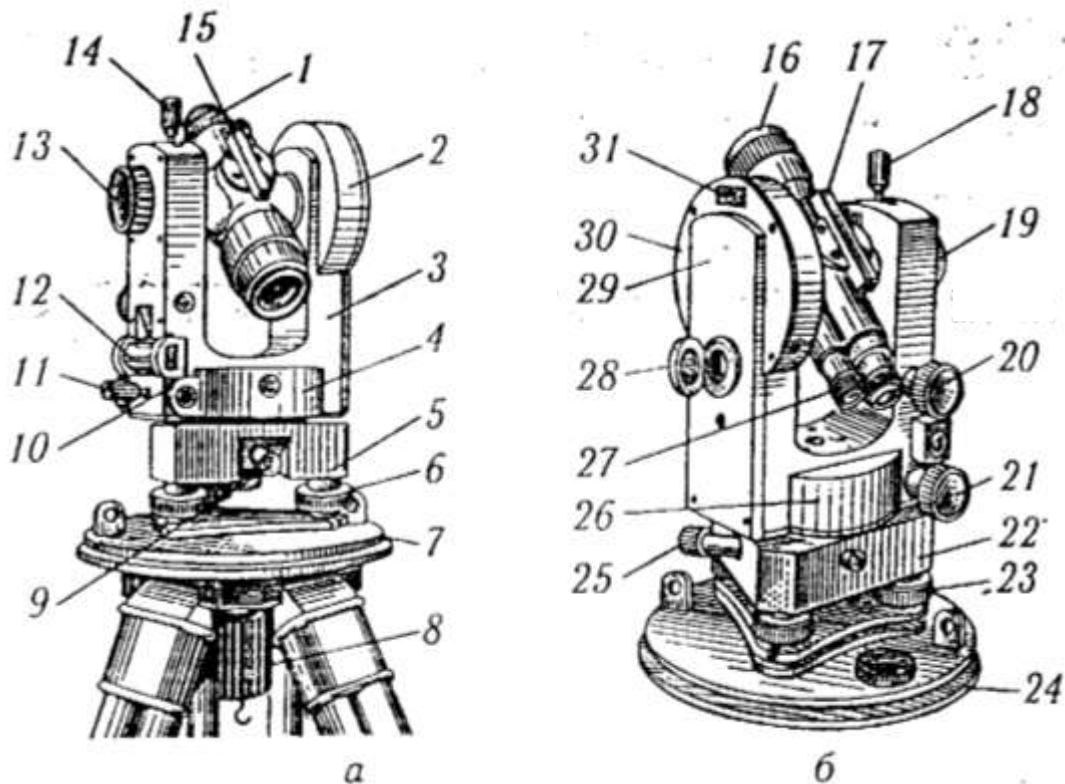


Рисунок 9.3 – Технічний теодоліт Т30

Основними конструктивними елементами оптичних теодолітів є: 1 – зорова труба; 2, 30 – вертикальний круг; 3, 29 – колонки труби; 4, 26 – горизонтальний круг; 5, 22 – підставка теодоліта; 6, 23 – підйомний гвинт; 7, 24 – платформа; 8 – становий гвинт; 9 – закріпний гвинт лімба горизонтального круга; 10 – виправні гвинти циліндричного рівня; 11 – закріпний гвинт алідади горизонтального круга; 12 – циліндричний рівень; 13, 19 – гвинт фокусування; 14, 18 – закріпний гвинт труби; 15, 17 – візир зорової труби; 16 – зорова труба; 20 – мікрометричний (навідний) гвинт зорової труби; 21 – мікрометричний гвинт алідади горизонтального круга; 25 – мікрометричний (навідний) гвинт лімба горизонтального круга; 27 – окуляр відлікового мікроскопа; 28 – дзеркало; 31 – паз для бусолі.

Зорова труба призначена для візування на віддалені предмети місцевості та споруд. Вони дають обернене або уявне і збільшене зображення.

Зорова труба дозволяє під час виконання вимірювальних робіт точно візувати на значно віддалені від приладу предмети. До її складу (рис. 9.4) входять об'єктив 1, лінза 2, кремальєра 3, сітка ниток 4 й окуляр 5. Сітка ниток призначена для точного й однозначного наведення на ціль візування.

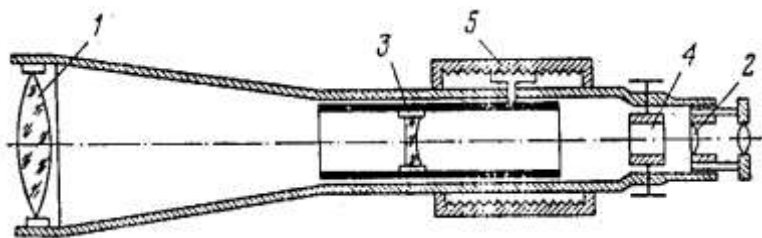


Рисунок 9.4 – Зорова труба: 1 – об'єктив; 2 – окуляр; 3 – фокусувальна лінза; 4 – сітка ниток; 5 – кремальєра для фокусування

Діафрагма 4 має закріплену плоскопаралельну скляну пластину з сіткою ниток (рис. 9.5).

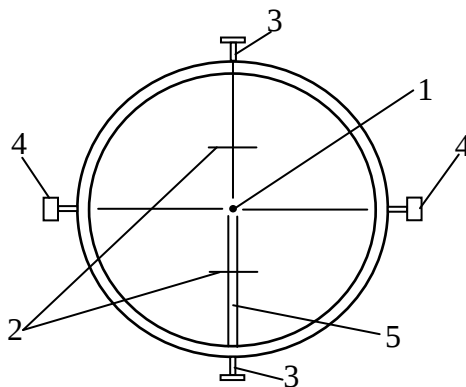


Рисунок 9.5 – Сітка ниток: 1 – перехрестя сітки ниток; 2 – віддалемірні штрихи; 3-3, 4-4 – виправні гвинти; 5 – бісектор

Уявну лінію, яка з'єднує оптичний центр об'єктива і центр сітки ниток називають **візирною віссю** зорової труби. Подовжену візирну вісь до цілі (предмета) називають **лінією візування**.

Збільшенням труби V називають відношення кута β , під яким зображення предмета видно в трубу до кута α , під яким предмет видно неозброєним оком (рис. 9.6).

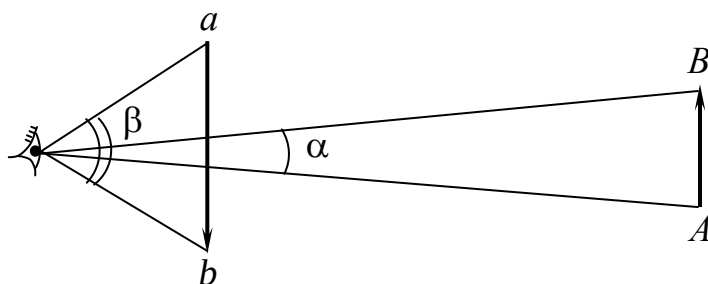


Рисунок 9.6 – Схема збільшення зорової труби

$$V = \frac{\beta}{\alpha}. \quad (9.2)$$

$$V = \frac{f_{об}}{f_{ок}}, \text{ або } V = \frac{D}{d}, \quad (9.3)$$

де $f_{об}$, $f_{ок}$ – фокусні відстані об'єктива та окуляра;

D , d – діаметр входних отворів об'єктива та окуляра.

Поле зору труби – це простір, видимий в трубу за умови її нерухомого положення. Воно визначається кутом з вершиною в центрі об'єктива і променем, які спираються на діаметр діафрагми (рис. 9.7).

Величину поля зору визначають за формулою

$$\alpha = 38,2^\circ / V. \quad (9.4)$$

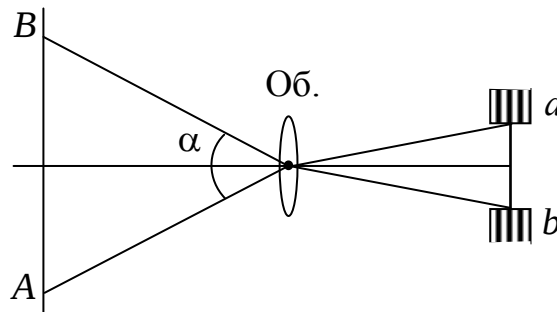


Рисунок 9.7 – Зображення поля зору труби

2. Циліндричний рівень

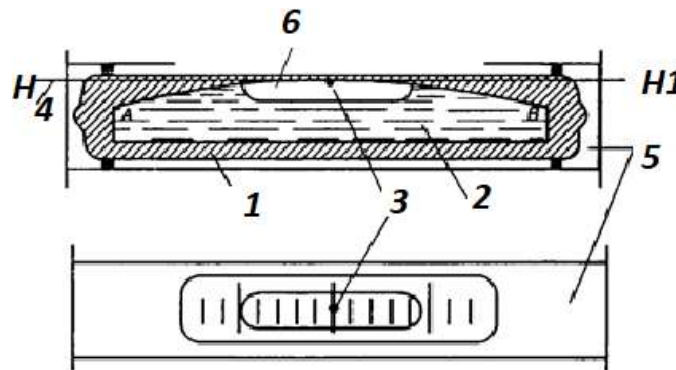


Рисунок 9.8 – Циліндричний рівень: 1 – ампула; 2 – рідина; 3 – точка нуля пункта рівня; 4 – вісь рівня; 5 – металева оправа; 6 – бульбашка рівня

Основними параметрами циліндричного рівня є:

- **ціна поділки рівня** – це центральний кут τ , який утворюється радіусом R між двома суміжними поділками;
- **чутливість рівня** – це найменший кут, на який необхідно нахилити вісь рівня, щоб помітити переміщення бульбашки.

Ціна поділки рівня (рис. 9.9)

$$\tau = l \rho / R, \quad (9.5)$$

де l – лінійне значення однієї поділки рівня (2 мм);

ρ – кількість секунд у радіані (206265);

R – внутрішній радіус поверхні рівня (3...200 м), мм.

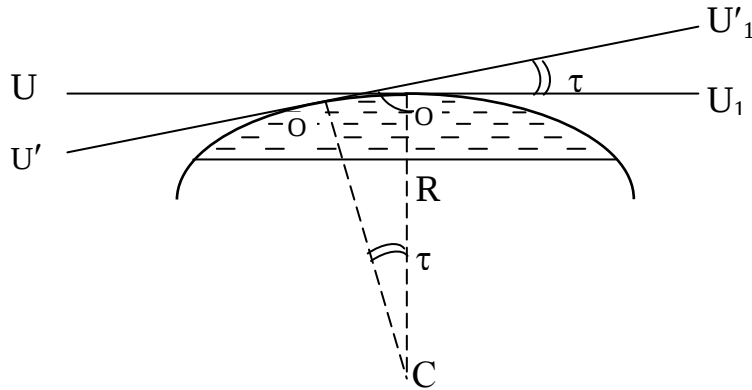


Рисунок 9.9 – Визначення ціни поділки рівня

Відлікові пристрої. Робочі міри у теодолітах подано лімбами горизонтального й вертикального кругів, на яких зроблено поділки з високою точністю.

Лімб – це робоча міра теодоліта у вигляді поділок кругової шкали, нанесеної на скляний круг оптичних теодолітів. Поділки лімба наносять через 1° або $10'$.

У сучасних оптичних теодолітах для відлічування поділок лімба використовують штрихові (рис. 9.10, а) або шкалові (рис. 9.10, б) мікроскопи.

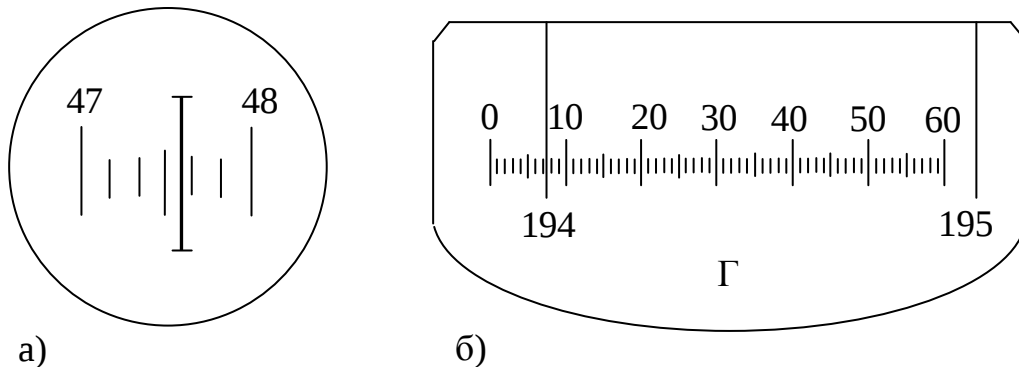


Рисунок 9.10 – Будова мікроскопів:

а) – штрихового (відлік $47^\circ 36'$); б) – шкалового (відлік $194^\circ 07'$)

Відлікові пристрої призначені для оцінки часток найменшої поділки лімба горизонтального та вертикального кругів. Ціна поділки лімба штрихового мікроскопа 10 (рис. 9.10, а). Відлік по штриховому мікроскопу беруть на око з точністю 1'. Ціна поділки лімба шкалового мікроскопа 1°. Ціна поділки шкали 1'. Відлік по шкалі беруть на око з точністю 0,1'.

В оптичних теодолітах із штриховими й шкаловими мікроскопами в полі зору одночасно видно зображення вертикального й горизонтального кругів. (рис. 9.11, 9.12).

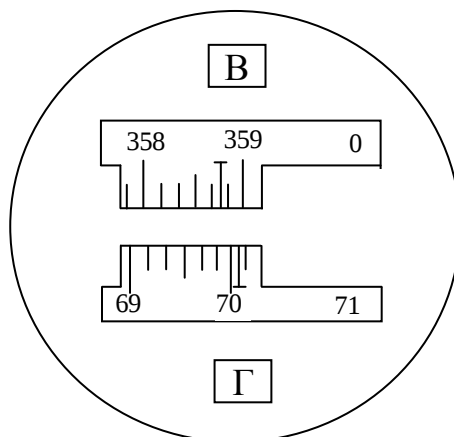


Рисунок 9.11 – Поле зору теодоліта Т30

Відліки: по горизонтальному кругу $70^{\circ}04'$; по вертикальному $358^{\circ}46'$

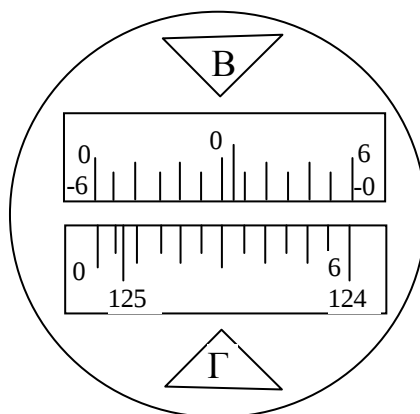


Рисунок 9.12 – Поле зору теодоліта 2Т30П

Відліки: по горизонтальному кругу $125^{\circ}06'$; по вертикальному $0^{\circ}27'$

9.4 Підготовка теодоліта до роботи

Підготовка теодоліта до роботи містить аналіз і оцінення зовнішнього стану й комплектності, оцінення роботоздатності рухомих

частин і режимів окремих функціональних елементів, приведення їх у роботоздатний стан, перевірку і юстирування. Теодоліти мають відповідати необхідним оптико-механічним і геометричним умовам. Теодоліти як геодезичні прилади для вимірювання кутів характеризуються комплексом метрологічних характеристик і тому мають регулярно піддаватися перевірці й метрологічній атестації. Перевіряють комплектність теодоліта, вказану в паспорті теодоліта.

Зовнішній вигляд теодоліта перевіряють візуально. В процесі перевірки виявляють пошкодження оптичних і механічних частин теодоліта. Перевіряють установлення рівнів і виправних пристроїв, чіткість зображення й рівномірність освітлення відлікової системи. Труба й оптичні пристрої мають давати чіткі, невикривлені й незабарвлені зображення. Бульбашки рівнів під час обертання піднімального гвинта мають плавно пересуватися в трубці. Особливу увагу звертають на виконання таких умов:

а) нерухомий індекс відлікового мікроскопа під час встановлення на його шкалі нуля має збігатися зі зміщеним відображенням діаметрально протилежних штрихів лімба;

б) освітлення поля зору труби має бути рівномірним, таким що не допускає викривлення зображення;

в) зображення штрихів лімба мають бути видні без перефокусування окуляра мікроскопа.

Роботоздатність рухомих частин перевіряють випробуванням. В процесі перевірки виявляють і усувають у рухомих частинах лімба неплавність переміщення й помітні деформації. Перевіряють роботоздатність мікрометрів зорової труби й відлікової системи, придатність пристрою для фокусування. Встановлюють наявність обмежувальних і стопорних пристроїв, де це необхідно. Перевіряють розбіжність окуляра й пристроїв регулювання.

Особливу увагу звертають на:

а) необхідно, щоб піднімальні й навідні гвинти мали плавний хід, без стрибків, зривів і заїдань. Для перевірки роботи гвинтів зорову трубу візують на віддалену точку. Обертають піднімальний і навідний гвинти й спостерігають за плавністю переміщення зображення точки відносно ниток

сітки. За необхідності хід піднімальних гвинтів регулюють їхніми гвинтами, а навідних - їхніми пружинами й гайками;

б) навідні пристрої лімба, механізму оптичного мікрометра мають працювати плавно і стало;

в) обертання теодоліта навколо вертикальної осі й обертання зорової труби мають бути легкими і плавними;

г) положення теодоліта на штативі має бути тривким.

Під час огляду штатива звертають увагу на кріплення його частин. Ніжки штатива мусять досить туго обертатися в шарнірному з'єднанні з головною частиною.

Остаточний висновок про придатність теодоліта до виконання робіт з належною точністю роблять після виконання перевірок і відповідного їм регулювання.

Приведення теодоліта у робочий стан – це **центрування, нівелювання приладу й фокусування зорової труби.**

Центрування – встановлення центра лімба або осі алідади на одній прямовисній лінії з вершиною кута. Для центрування теодоліт пересувають разом зі штативом над точкою доти, доки висок не розміститься над нею. За наявності центрира у його полі зору має бути видна точка. Потім послаблюють становий гвинт і пересувають теодоліт по горизонтальній головці штатива доти, доки висок або хрестик сітки ниток центрира не суміститься з точкою. Після закінчення операції закручують становий гвинт.

Нівелювання теодоліта – приведення площини лімба в горизонтальне положення або осі алідади в прямовисне положення трьома піднімальними гвинтами. Для нівелювання теодоліта розміщують рівень, обертаючи алідаду за відкрученого затискного гвинта, паралельно двом піднімальним гвинтам. Обертаючи ці гвинти в різні боки, виводять бульбашку рівня на середину. Потім повертають алідаду разом з рівнем у напрямі третього гвинта, тобто на кут, близький до 90° . Обертаючи тільки третій піднімальний гвинт, знову приводять бульбашку рівня на середину алідади. Дії повторюють доти, доки бульбашка рівня не залишатиметься на середині за будь-якого положення алідади на лімбі.

Фокусування зорової труби – отримання в полі зору труби чіткого зображення сітки ниток і предмета, який спостерігають. Чітке зображення предмета отримують обертанням кільця кремальєри. Для отримання чіткого зображення сітки ниток наводять трубу на освітлений предмет. Обертаючи окуляр, домагаються чіткого зображення сітки ниток.

9.5 Перевірки та юстирування технічних теодолітів

За конструкцією геометрична схема теодолітів має задовольняти вимоги взаємного перпендикулярного ($\perp$) або паралельного ($\parallel$) розташування осей і площин, окремих частин і елементів. Комплекс заходів з контролю за дотриманням геометричних умов називається перевіркою теодоліта. Виправлення виявлених відхилень від $\perp$ або $\parallel$ осей і площин називають юстируванням. Перевірку і юстирування теодолітів виконують за температури $(+20 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C})$.

1. Перевірка і юстирування рівня біля алідади горизонтального круга. Вісь циліндричного рівня UU_1 , розташованого на алідаді, має бути паралельною площині лімба або перпендикулярною до вертикальної (основної) осі Π_1 теодоліта (рис. 9.13).

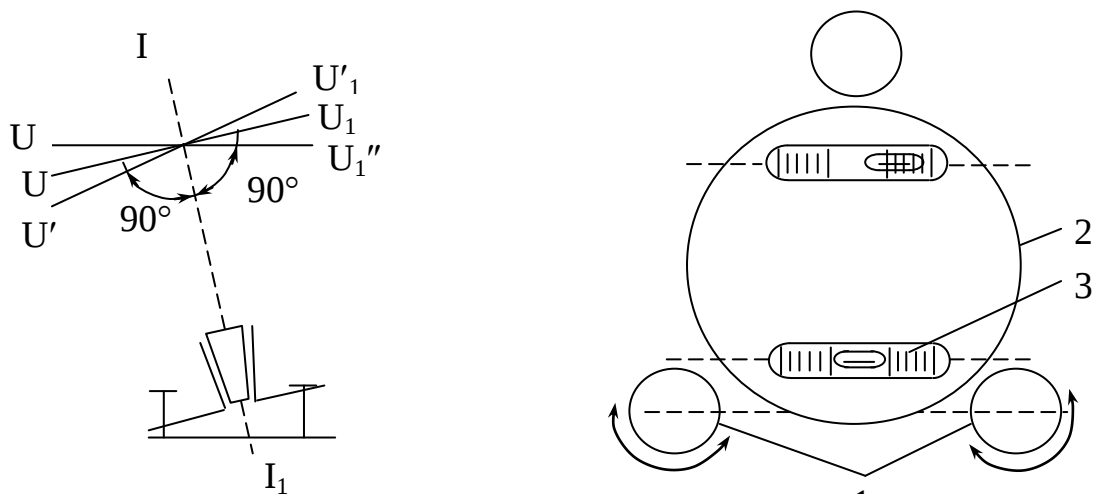


Рисунок 9.13 – Перевірка рівня біля алідади горизонтального круга:

1 – піднімальні гвинти; 2 – алідада; 3 – циліндричний рівень

Для перевірки цієї умови необхідно алідаду повернути так (рис. 9.13), щоб вісь рівня UU_1 розмістилась паралельно лінії, що з'єднує піднімальні гвинти. Обертаючи ці гвинти в протилежних напрямках, бульбашку рівня переміщують на середину. Потім алідаду повертають на 90° і третім піднімальним гвинтом бульбашку рівня виводять на середину.

Після чого алідаду повертають на 180° і оцінюють зміщення бульбашки від середини.

Якщо бульбашка рівня змістилася від середини більше ніж на одну поділку через нерівність підставок рівня, то під час повороту лімба або алідади вісь приладу Π_1 і площина лімба збережуть своє похиле положення. Щоб виправити помилку виправними гвинтами рівня виводять бульбашку на половину відхилення від середини. Вісь рівня UU_1 розміститься паралельно площині лімба (див. рис. 9.11). Проте лімб не буде в горизонтальному положенні. На другу половину відхилення бульбашку встановлюють двома піднімальними гвинтами, обертаючи їх у різні сторони. Лімб набуватиме горизонтального положення. Для контролю перевірку повторюють доти, доки бульбашка рівня, повернутого на 180° , не сходитиме з середини більше як на одну поділку. Результати перевірки рівня біля алідади горизонтального круга наведено в табл. 9.2.

Таблиця 9.2 – Результати перевірки рівня біля алідади

Номер прийому	Відхилення бульбашки під час повороту алідади (поділок)		Примітки
	на 90°	на 180°	
1	5	4	Умову не виконано, виконайте юстирування
2	0	1	Умову виконано

2. Визначення колімаційної похибки. Візирна вісь труби ZZ_1 має бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби HH_1 (рис. 9.14).

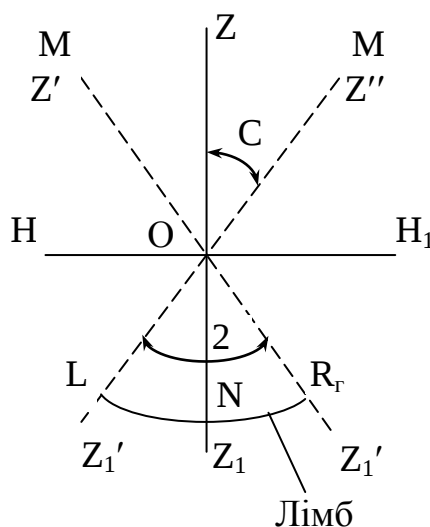


Рисунок 9.14 – Схема визначення колімаційної похибки

Неперпендикулярність візирної осі зорової труби до горизонтальної осі обертання визначають у такій послідовності: теодоліт приводять у робоче положення, закріплюють алідаду, вибирають віддалену й добре видиму точку М, що знаходиться на рівні осі обертання (див. рис. 9.14). Візують на неї трубу за положення круга «праворуч». Закріпивши затискні гвинти й працюючи навідними гвинтами алідади й труби, суміщають центр сітки з точкою, яку спостерігають. Беруть відлік по горизонтальному кругу. Відкріпивши алідаду і перевівши трубу через зеніт, візують на ту саму точку М за положення круга «ліворуч». Знову роблять відлік по лімбу горизонтального круга та обчислюють колімаційну похибку.

Колімаційна похибка має дорівнювати нулю або не перевищувати подвійну точність приладу, визначається за формулою

$$C = 0,5 (L_r - R_r \pm 180^\circ) \leq 2t, \quad (9.6)$$

де L_r , R_r – відлік по лімбу горизонтального круга за положення круга «ліворуч» і «праворуч»;

t – точність теодоліта.

Приклад розрахунку наведено у таблиці 9.3.

Таблиця 9.3 – Результати визначення колімаційної похибки

Номер прийому	Точка візування	Відлік по горизонтальному кругу		Колімаційна похибка С	Примітки
		«праворуч»	«ліворуч»		
1	4	13°21'	193°48'	13'	Умову не виконано Установити на горизонтальному крузі відлік 13°35'
2	4	13°35'	193°36'	30"	Умову виконано

Якщо колімаційна похибка не перевищує подвійної точності теодоліта – умову виконано.

Якщо колімаційна похибка перевищує подвійну точність теодоліта – виконують юстирування. Щоб позбутися похибки, з обох відліків обчислюють середнє значення:

$$N = (R_r + L_r \pm 180^\circ) / 2. \quad (9.7)$$

Навідними гвинтами алідади встановлюють на лімбі відлік N . Центр сітки ниток зорової труби зійде зі спостережуваної точки M . Послабивши виправні гвинти сітки ниток, переміщують її до суміщення з зображенням точки M . Після цього сітку ниток закріплюють.

Для контролю перевірку повторюють доти, доки колімаційна похибка не перевищуватиме подвійної точності теодоліта (табл. 9.3).

Після закінчення перевірки захисний ковпачок юстирувальних гвинтів сітки ниток ставлять на місце.

3. Визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби. Горизонтальна вісь обертання зорової труби HH_1 має бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта Π_1 (рис. 9.15). Теодоліт встановлюють за 20...30 м від стіни високої будівлі й приводять його у робочий стан. Вибирають і відмічають на стіні точку A .

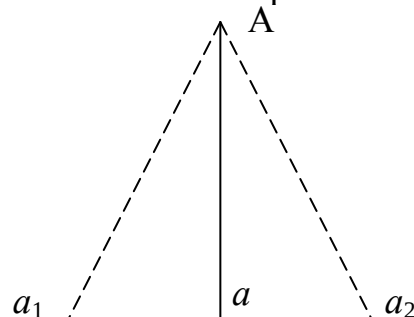


Рисунок 9.15 – Визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби

Кут нахилу на точку A не має перевищувати $25...35^\circ$. Зорову трубу візують на точку A й закріплюють алідаду. Опускають трубу до горизонтального положення і проєкціюють на стіну центр сітки ниток. Позначають на стіні точку a_1 . Переводять трубу через зеніт, і за іншого положення вертикального круга знову візують трубу на точку A . Закріпивши алідаду, опускають трубу до горизонтального положення і позначають на стіні точку a_2 . Якщо точки a_1 і a_2 не сумістяться – умову не виконано. Відстань між a_1 і a_2 для технічних теодолітів не має перевищувати 1:5000

висоти точки А над горизонтом приладу (відрізок aA). Результати визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби наведено у табл. 9.4.

Таблиця 9.4 – Результати визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби

Висота точки А, м	Відстань між точками a_1 і a_2 , мм	Відношення відстані до висоти	Примітки
22,8	4,5	1:5066	Умову виконано

У сучасних теодолітах це виправлення потребує розбирання теодоліта, а тому виконується в оптико-механічних майстернях.

4. Одна з ниток сітки має бути горизонтальною, а інша – вертикальною. Приводять теодоліт у робочий стан. Горизонтальність нитки сітки перевіряють у такій послідовності. Наводять центр сітки ниток на точку, віддалену від теодоліта на 5...10 м, що перебуває на висоті приладу. Навідним гвинтом лімба переміщують сітку ниток уздовж точки (рис. 9.16) і стежать за положенням горизонтальної сітки ниток відносно точки. Якщо зображення центра сітки ниток зміщується відносно точки більше ніж на три штрихи – умову не виконано.

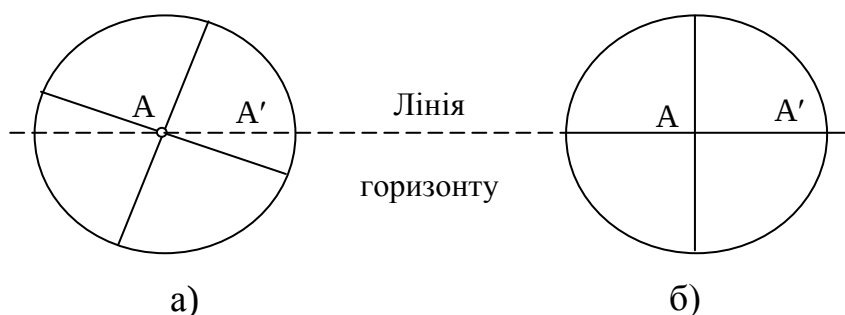


Рисунок 9.16 – Перевірка правильності встановлення сітки ниток наведенням на точку: а) – умову не виконано; б) – умову виконано

Вертикальну сітку ниток можна перевірити за допомогою виска, підвішеного на відстані 20...30 м (рис. 9.17). Якщо після візування на висок вертикальна сітка ниток суміститься з шнурком виска – умову виконано. В іншому разі потрібно виконати юстирування.

Для виконання юстирування відгвинчують ковпачок, що закриває виправні гвинти сітки на окулярній частині зорової труби. Відкручують виправні гвинти й рукою повертають корпус ниток сітки так, щоб виконувалися умови горизонтальності й вертикальності ниток сітки. Після закінчення перевірки повторюють перевірку перпендикулярності осі візування до горизонтальної осі зорової труби.

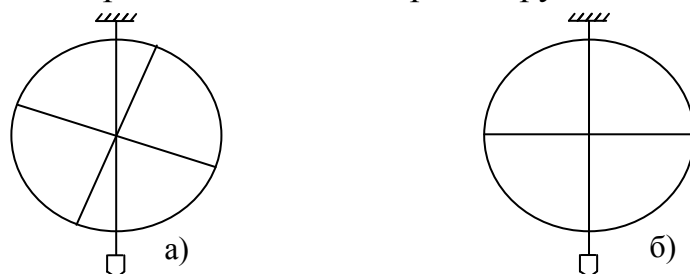


Рисунок 9.17 – Перевірка сітки ниток за допомогою виска: а) – умову не виконано; б) – виконано

5. Визначення місця нуля вертикального круга. Місце нуля – це відлік по вертикальному кругу за положення зорової труби «круг ліворуч» або «круг праворуч», коли візирна вісь горизонтальна й алідада вертикального круга встановлена за її рівнем в положення, якого вона набуває під час вимірювання вертикальних кутів.

Установлюють за рівнем вісь обертання теодоліта в прямовисне положення. За положення «круг праворуч» візують трубу на віддалену точку, яку чітко видно. Виводять бульбашку рівня біля алідади вертикального круга на середину й беруть відлік по вертикальному кругу R_v . Переводять трубу через зеніт і візують трубу на ту саму точку. Знову за необхідності виводять бульбашку рівня біля алідади вертикального круга на середину й беруть відлік по вертикальному кругу L_v .

У теодоліта Т30 місце нуля обчислюють за формулою

$$MO = (R_v + L_v + 180^\circ) \leq 2t . \quad (9.8)$$

Для контролю визначають місце нуля візуванням на іншу точку. Всі операції виконують аналогічно попередній послідовності.

Для модифікацій теодолітів з градуванням вертикального круга, відмінним від теодоліта Т30 (за рухом годинникової стрілки), місце нуля обчислюють за формулою

$$MO = (R_B + L_B + 360^\circ) \leq 2t . \quad (9.9)$$

У теодоліта 2Т30П та інших, у яких шкала вертикального круга має два ряди цифр (в одному зі знаком «–», а в другому «+»), місце нуля

$$MO = 0,5 (L_B + R_B) . \quad (9.10)$$

Якщо місце нуля більше подвійної точності теодоліта, виконують юстирування. Для теодоліта Т30 порядок юстирування такий. Знаходять кут нахилу за відліками, отриманими під час візування труби на точку для двох положень вертикального круга. Залишивши зорову трубу наведеною на точку, встановлюють навідним гвинтом по вертикальному кругу відлік, що дорівнює обчисленому за формулою:

$$v = 0,5 (L_B - R_B - 180^\circ) . \quad (9.11)$$

Виводять на середину бульбашку рівня біля горизонтального круга піднімальними гвинтами. Центр сітки ниток зміститься з точки, яку спостерігають. Відгвинчують ковпачок, який закриває юстирувальні гвинти на окулярній частині зорової труби. Вертикальними юстирувальними гвинтами за послаблених горизонтальних гвинтів суміщають центр сітки ниток з точкою, яку спостерігають. Для контролю перевірку повторюють доти, доки не буде виконано умову. Результати визначення місця нуля вертикального круга теодоліта Т30 наведено в таблиці 9.5.

Таблиця 9.5 – Результати визначення місця нуля вертикального круга теодоліта Т30

Точка візування	Відлік по вертикальному кругу		Місце нуля МО	Примітки
	«праворуч»	«ліворуч»		
4	178°37'	1°43'	+ 0°10'	Умову не виконано, встановити по вертикальному кругу відлік
4	178°28'	1°33'	+ 0',5	Умову виконано
4	178°12'	1°50'	+ 1'	Те саме

9.6 Вимірювання горизонтальних кутів

Залежно від призначення та важливості геодезичні знаки закріплюють постійними центрами для тривалого зберігання: бетонні моноліти, обрізки залізничних рейок, труби тощо. Для тимчасового закріплення використовують обрізки невеликого діаметра труб та арматуру, дерев'яні кілки, цвяхи на асфальті тощо.

В комплект приладів для вимірювання кутів входить теодоліт, нитковий висок або оптичний центрир, візирні віхи та візирні марки.

Під час вимірювання горизонтальних кутів технічної точності переважно використовують два способи: *спосіб прийомів (півприймів)* та *спосіб кругових прийомів*.

1. **Спосіб прийомів** для вимірювання горизонтальних кутів найпоширеніший під час інженерно-топографічних робіт на місцевості. За цього способу горизонтальний кут β отримують як різницю відліків для положення круга «праворуч» й «ліворуч» двох напрямів, що виходять з однієї точки (рис. 9.18)

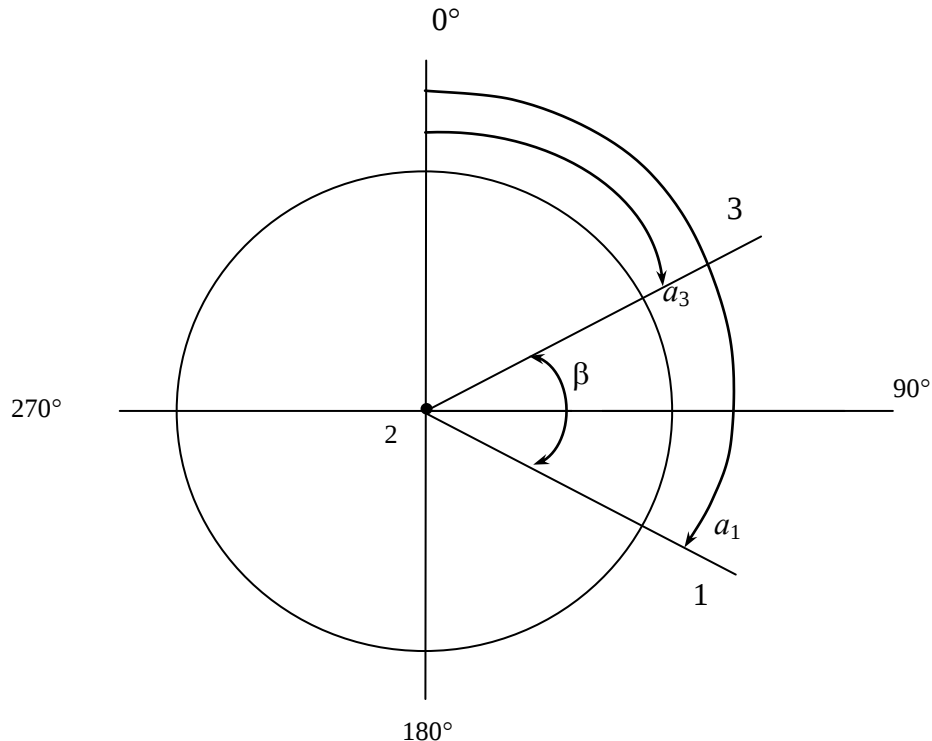


Рисунок 9.18 – Схема вимірювання горизонтального кута способом прийомів

В вершині кута (точка 0) встановлюють теодоліт і приводять в робоче положення. В точках A і B встановлюють віхи або візирні марки так, щоб їх осі були вертикальними і проходили через центри точок.

Перший прийом виконують за положення круга «праворуч» (КП). Закріплюють лімб затискним гвинтом, відкріплюють алідаду і зорову трубу. Спочатку наближено, а потім, закріпивши алідаду й трубу, орудуючи навідними гвинтами алідади й труби, точно наводять центр сітки ниток на точку 1. Беруть відлік по горизонтальному кругу, який записують у журнал (табл. 9.6). Відкріплюють алідаду, наводять центр сітки ниток на точку 3. Знову на горизонтальному крузі беруть відлік, який записують у табл. 9.6.

Для контролю й зменшення похибок приладу горизонтальний кут вимірюють за положення круга «ліворуч».

Для цього переводять трубу через зеніт. Закріплюють алідаду й відкріплюють лімб. Змістивши лімб приблизно на 90° , закріплюють його й відкріплюють алідаду. Знову візують зорову трубу на точку 1. Закріплюють алідаду й беруть відлік по горизонтальному кругу. Взявши відлік, відкріплюють алідаду й візують трубу на точку 3. Закріплюють алідаду й беруть по горизонтальному кругу відлік, який також заносять у табл. 9.6. За результатами вимірювання кутів у двох півприйомах обчислюють середній кут.

Кут обчислюють так:

а) перший півприйом вимірювання кута за положення круга «праворуч»

$$\beta_{\text{п}} = an_1 - an_3 ; \quad (9.12)$$

б) другий півприйом вимірювання кута за положення круга «ліворуч»

$$\beta_{\text{л}} = al_1 - al_3 ; \quad (9.13)$$

в) середнє значення виміряного кута з обох півприймів

$$\beta_{\text{ср}} = 0,5 (\beta_{\text{п}} + \beta_{\text{л}}) , \quad (9.14)$$

де an_1 , an_3 , al_1 , al_3 – відліки по лімбу горизонтального круга відповідно на точки 1 і 3 за положення кругів «праворуч» й «ліворуч».

Таблиця 9.6 – Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Об'єкт: навчальний полігон

Видимість: середня

Дата: 14.08.2024 р.

Спостерігач: Лялюк О. Г.

Теодоліт Т30 № 16561

Обчислювач: Майструк А. І.

Станція	Точка візування	Положення вертикаль- ного круга	Відлік по горизонталь- ному кругу	Кут, що вимірюється в напівприйомах	Середнє значення кута
2	1	КП	194°07'	103°24'	103°23',5
	3		90°43'		
2	1	КЛ	273°29'	103°23'	
	3		170°06'		

2. Спосіб кругових прийомів застосовується тоді, коли з будь-якої точки необхідно виміряти декілька горизонтальних кутів (рис. 9.19). На точці 0 встановлюють теодоліт і приводять в робоче положення. На точках 1, 2, ..., n встановлюють віхи або марки.

Вибирають початковий, добре видимий напрямок 01 і за положення круга КЛ встановлюють відлік+, близький до нуля ($\approx 0^\circ$). Закріплюють алідаду й за відкріпленого лімба наводять центр ниток сітки зорової труби на точку 1. Беруть відлік по горизонтальному кругу й записують його в журнал (табл. 9.7). Закріплюють лімб. Переміщенням алідади за ходом стрілки годинника послідовно візують на точки 2, 3 і 4, беруть відліки, які записують у журнал (табл. 9.7).

Півприйом закінчують повторним наведенням і відліком на початковий пункт 1. Якщо початковий і кінцевий відліки не відрізняються більше як на подвійну точність відлікового пристрою, приступають до другого півприйому.

За закріпленого лімба переводять трубу через zenіт. Переміщенням закріпленої алідади проти ходу стрілки годинника послідовно візують на всі точки й беруть відлік.

Відлік на точку 1 записують в останній рядок табл. 9.7. Відліки на наступні пункти в другому півприйомі записують знизу вгору. Якщо різниця між відліками в першому й другому напівприйомах на початковий напрям 1 не перевищує подвійну точність теодоліта, обчислюють середній

відлік з двох півприймів. Його записують у наступну графу табл. 9.7 і віднімають від усіх інших відліків на наступні напрями 1, 3 і 4. Наведені напрями на точки 2, 3 і 4 – це величини кутів між цими напрямками.

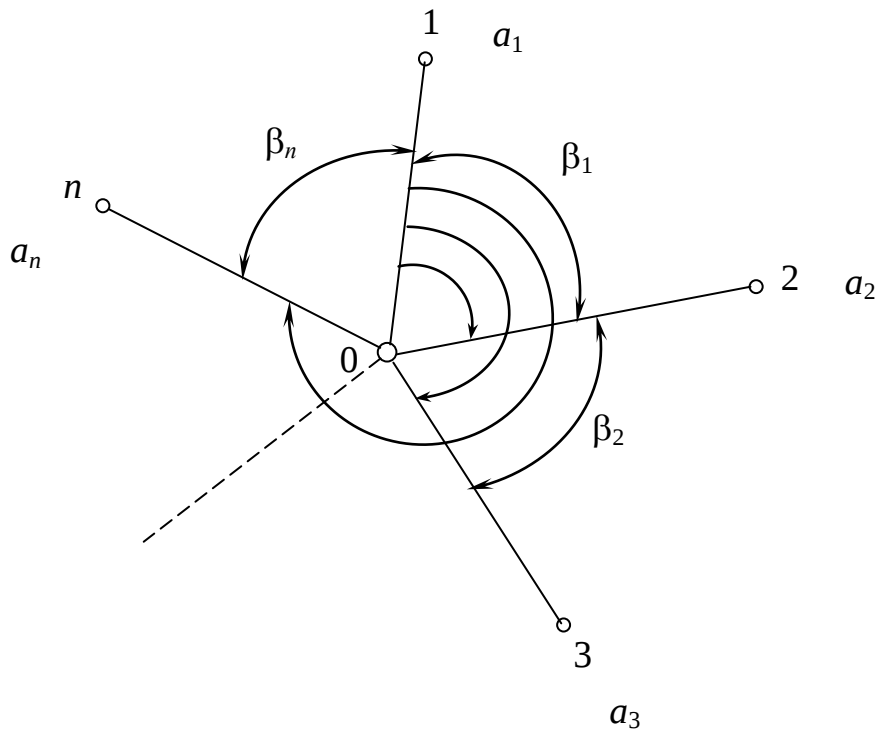


Рисунок 9.19 – Схема способу кругових прийомів

Якщо кути вимірюють кількома прийомами, відліки по напрямках визначають як середні з прийомів, а потім за цими відліками визначають кути. Кожний наступний прийом виконують так, як перший. Для послаблення впливу похибок поділок лімба його переставляють між прийомами на кут $180^\circ/n$, де n – кількість прийомів. Сума кутів має дорівнювати 360° , що є контролем обчислень. Додатковий польовий контроль вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів – постійність подвійної колімаційної похибки:

$$2 C = L_r - R_r \pm 180^\circ. \quad (9.15)$$

Кути $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ обчислюють за формулами

$$\beta_i = \bar{a}_{i+1} - \bar{a}_i, \quad (9.16)$$

наприклад, $\beta_1 = \bar{a}_2 - \bar{a}_1$, $\beta_2 = \bar{a}_3 - \bar{a}_2$ і т. д.

Таблиця 9.7 – Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Станція	Точка візування	Відлік по горизонтальному колу		Середнє значення відліків	Приведений напрям	$2C = L_r - R_r + 180^\circ$
		«ліворуч»	«праворуч»			
А	1	0°01'	180°00'	0°02',0	0°00'	+1'
	2	91°47'	271°46'	91°46',5	91°44',5	-1'
	3	116°09'	296°10'	116°09',5	116°07',5	+1'
	4	143°19'	323°19'	143°19',0	143°17',0	0
	1	0°02'	180°02'	0°01'		0

9.7 Вимірювання вертикальних кутів

Вимірювання вертикальних кутів або кутів нахилу візирної осі зорової труби виконується за вертикальним колом теодоліта.

Для вимірювання вертикальних кутів теодоліт установлюють над точкою й приводять його основну вісь у прямовисне положення. За положення вертикального кола «праворуч» візують зорову трубку на точку М (рис. 9.20). Закріплюють затискні гвинти аліади й труби. Мікрометричними гвинтами труби й аліади суміщають сітку ниток з точкою. Закріплюють затискні гвинти аліади й труби. Перевіряють, чи знаходиться на середині бульбашка рівня біля аліади горизонтального кола, знімають відлік по вертикальному колу R_v і записують його в журнал (табл. 9.8). Відкріплюють затискні гвинти аліади й труби. Перевішивши трубу через зеніт, знову візують трубу на ту саму точку М (рис. 9.20). Закріплюють затискні гвинти аліади й труби. Мікрометричними гвинтами аліади й труби суміщають сітку ниток з точкою і беруть відлік по вертикальному колу L_v , який записують у журнал (табл. 9.8). Визначають місце нуля вертикального кола теодоліта. За результатами відліків і визначеного місця нуля обчислюють вертикальний кут:

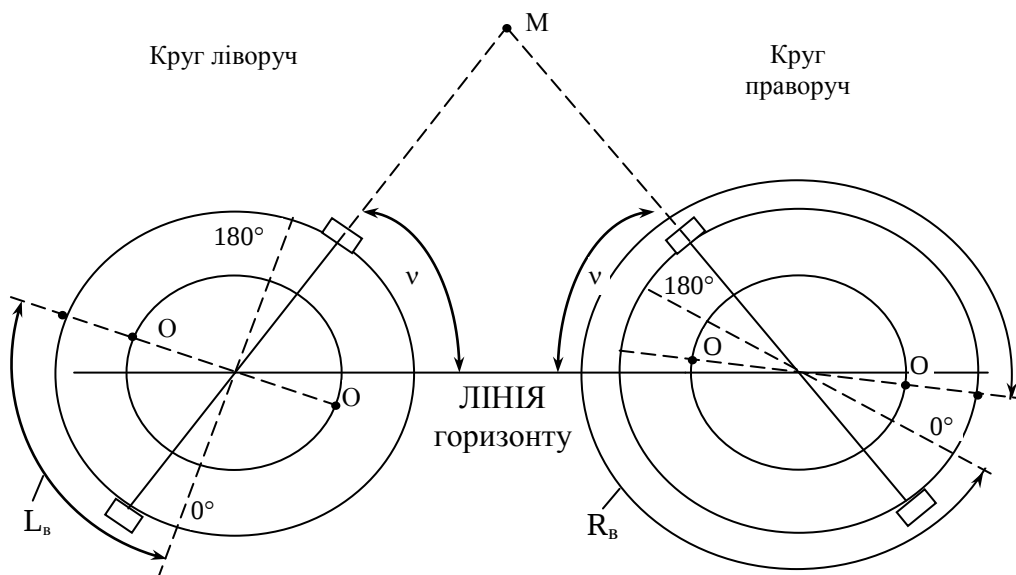


Рисунок 9.20 – Схема вимірювання вертикальних кутів

$$v_{\text{кл}} = \text{КЛ} - \text{МО}; \quad (9.17)$$

або

$$v_{\text{кп}} = \text{МО} - \text{КП} \pm 180^\circ, \quad (9.18)$$

де МО – місце нуля

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} \pm 180^\circ}{2}.$$

Якщо МО перевищує подвійну точність приладу ($|\text{МО}| > 2t$), то його необхідно виправити.

Для теодоліта Т30 подвійна точність приладу $2t = 2 \cdot 30'' = \pm 1'$.

Таблиця 9.8 – Журнал вимірювання вертикальних кутів

Станція	Точка візування	Положення вертикального круга	Відлік по вертикальному кругу	Місце нуля МО	Вертикальний кут v
3	2	R_B	$174^\circ 43'$	0	$v_{\text{кп}} = 5^\circ 17'$
	2	L_B	$5^\circ 17'$		$v_{\text{кл}} = 5^\circ 17'$
4	5	R_B	$178^\circ 46'$	+01'	$v_{\text{кп}} = 1^\circ 15'$
	5	L_B	$1^\circ 16'$		$v_{\text{кл}} = 1^\circ 15'$

Приклад розрахунку.

При вимірюванні кута нахилу лінії місцевості отримано відліки:

$$\text{КЛ} = 5^\circ 17'; \text{КП} = 174^\circ 43'.$$

Визначаємо МО

$$\text{МО} = (5^\circ 17' + 174^\circ 43' - 180^\circ) / 2 = +0'.$$

Відповідно розрахунок за формулою (9.17):

$$v_{\text{кл}} = 5^{\circ}17' - 0 = 5^{\circ}17'.$$

За формулою (9.18):

$$v_{\text{кп}} = 0 - 174^{\circ}43' + 180^{\circ} = 5^{\circ}17'.$$

9.8 Джерела похибок вимірювання кутів

Точність вимірювання кутів обумовлена похибками:

- центрування – зміщення осі обертання теодоліта з центра точки;
- редукції – зміщення центра віхи (марки) з центра точки;
- візування зорової труби;
- відліку по мікроскопу;
- впливу зовнішнього середовища.

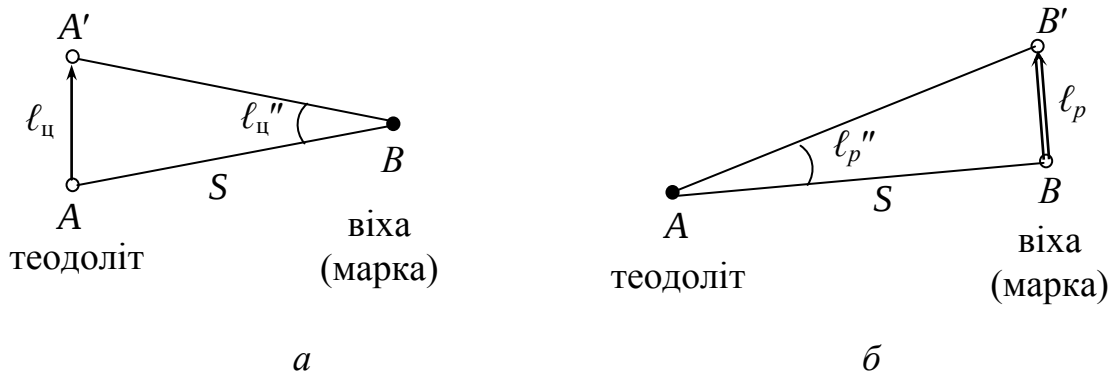


Рисунок 9.21 – Вплив похибок центрування (а) та редукції (б)

Відповідно під час зміщення осі теодоліта $\ell_{\text{ц}}$ і віхи (марки) ℓ_p з точок А і В отримаємо

$$\ell_{\text{ц}}'' = \frac{\ell_{\text{ц}}}{S} \rho''; \quad \ell_p'' = \frac{\ell_p}{S} \rho''. \quad (9.19)$$

Середні квадратичні похибки (с.к.п.) візування ($m_{\text{в}}$) та відліку ($m_{\text{вп}}$) визначаються за формулами

$$m_{\text{в}} = \frac{30''}{V}, \quad (9.20)$$

де V – величина збільшення зорової труби (від 20 до 50 разів).

$$m_{\text{вп}} = \frac{0,5t}{\sqrt{3}}, \quad (9.21)$$

де t – точність відлікового пристрою теодоліта.

Середня квадратична похибка зовнішнього середовища (m_{3c}) залежить від його стану, але не має перевищувати m_b або $m_{вп}$.

Середня квадратична похибка вимірювання кута за напрямком становитиме

$$m_H = \sqrt{m_{\alpha}^2 + m_p^2 + m_b^2 + m_{вп}^2 + m_{3c}^2}. \quad (9.22)$$

Оскільки кут β визначається із двох напрямків, то його с.к.п. визначиться за формулою

$$m_{\beta} = m_H \sqrt{2}. \quad (9.23)$$

Якщо попередньо задано величину середньої квадратичної похибки і необхідно розробити методику вимірювання кутів, підібрати прилади, то виконують обернені розрахунки за принципом однакового впливу, тобто

$$m_{\alpha} = m_p = m_b = m_{вп} = m_{3c} = m_o.$$

Тоді

$$m_H = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{2}}, \quad \text{або} \quad m_H = \frac{m_o \sqrt{5}}{\sqrt{2}}.$$

$$m_o = \frac{m_H \sqrt{2}}{\sqrt{5}}. \quad (9.24)$$

Відповідно отримаємо

$$m_{\alpha} = m_p = \frac{m_o'' \cdot s}{\rho}; \quad \Gamma^* = \frac{30''}{m_o}; \quad m_{вп} = \frac{m_o'' \cdot \sqrt{3}}{0,5 \cdot t}; \quad m_{3c} = m_o.$$

За величиною обчислених похибок можна підібрати теодоліт заданої точності, візирні пристрої та метод центрування і редукції візирних цілей.

9.9 Електронні теодоліти та тахеометри

Електронні теодоліти та тахеометри є сучасними високоточними геодезичними засобами вимірювань і дозволяють високоефективно виконувати виміри в автоматизованому режимі.

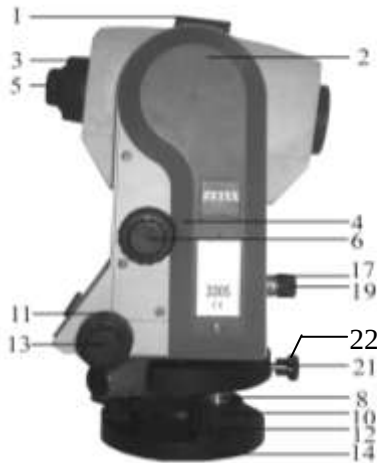
Електронний теодоліт – це кутомірний прилад, призначений для напівавтоматичного виконання геодезичних вимірів. Вони можуть складатися із комбінацій оптичних теодолітів, кодових теодолітів, вмонтованих світловіддалемірів і електронних віддалемірних насадок.

Кодові теодоліти є оптичними приладами, які мають лімб з нанесеним штриховим кодом, за допомогою якого відлік передається на електронне табло (дисплей) (рис. 9.22, а). За допомогою спеціальних програм визначаються горизонтальні відстані, перевищення, прирости координат з висвітленням результатів на світловому табло.

Електронні тахеометри – багатофункціональні геодезичні прилади, які складаються із кодового теодоліта, вбудованого світловіддалеміра та спеціалізованого міні-комп'ютера. Зарубіжні країни: Японія, Німеччина, Швеція, США, Швейцарія, Росія та ін. випускають багато типів електронних тахеометрів, які різняться конструктивними рішеннями, точністю, призначенням і надійністю.



а) Електронний теодоліт DT 500 (Японія)



Вигляд збоку



Вигляд спереду

б) Електронний тахеометр «Elta-50» (Німеччина)

Рисунок 9.22 – Електронні прилади

На рисунку 9.22: 1 – візир грубого наведення; 2 – позначка висоти приладу; 3 – кремальєра; 4 – навідний гвинт зорової труби; 5 – окуляр; 6 – закріпний гвинт зорової труби; 7 – дисплей; 8 – закріпний гвинт трегера; 9 – клавіатура; 10 – підйомний гвинт; 11 – навідний гвинт алідади горизонтального круга; 12 – трегер; 13 – закріпний гвинт лімба

горизонтального круга; 14 – підставка; 15 – об'єктив; 16 – замок акумулятора; 17 – циліндричний рівень; 18 – акумулятор; 19 – круглий рівень; 20 – колонка; 21 – оптичний центрир; 22 – юстировочні гвинти оптичного центрира; 23 – інтерфейсний порт.

Тахеометр «Elta-50» забезпечує виконання таких функцій:

- вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів;
- вимірювання відстаней;
- визначення: горизонтальних прокладань вимірюваних ліній,
- координат точок (X, Y, H); площ;
- виконання прямої та оберненої геодезичних зарубок;
- виконання геодезичних розмічувальних робіт.

Електронні тахеометри «Elta-50» забезпечують вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів з середньою квадратичною похибкою $m_\beta = 5''$, а відстаней

$$m_L = 5 \text{ мм} + 3 \times 10^{-6} \cdot S, \quad (9.25)$$

де S – довжина вимірюваної лінії в км.

Для вимірювання відстаней додається дзеркально-призменні відбивачі.

Для виконання будівельних робіт в тунелях і метро розроблено комп'ютерний тахеометр «Geodimeter 468 DR» з вмонтованим червоним лазером наведення (рис. 9.23). Визначає відстані без відбивача до бетонних, кам'яних, сталевих поверхонь, а також до відбивачів (рис. 9.23).



Рисунок 9.23 – Комп'ютерний тахеометр «Geodimeter 468 DR»

Комп'ютерні тахеометри мають такі функції:

- сервопривод для поворотів тахеометра за допомогою сервомотора;

- ручне та дистанційне управління комп'ютерне управління;
- автоматичне стеження за рухомою ціллю;
- записування результатів вимірів як до внутрішніх, так і до зовнішніх блоків пам'яті;
- обробка результатів вимірів і розв'язання інженерних задач за допомогою пакетів універсальних польових програм;
- оперативний обмін інформацією через інтерфейси з польовими та базовими комп'ютерами.
- повна сумісність з приймачами систем супутникової навігації «GPS».

Середня квадратична похибка вимірювання кутів становить 2", а відстаней – до 2 км $\pm (5 + 5 \cdot 10^{-6} D)$ мм, де D – в кілометрах.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Охарактеризуйте принцип вимірювання кутів.
2. Назвіть типи теодолітів і їхні метрологічні характеристики.
3. Нарисуйте геометричну схему й назвіть основні частини теодоліта.
4. Будова зорової труби.
5. Будова рівнів.
6. Відлікові пристрої, які використовують у теодолітах.
7. Охарактеризуйте будову теодоліта Т30.
8. Установіть теодоліт у робоче положення.
9. Виконайте перевірку рівня біля аліади горизонтального круга.
10. Визначте колімаційну похибку.
11. Визначте нахил горизонтальної осі обертання труби.
12. Перевірте сітку ниток труби.
13. Визначте місце нуля вертикального круга.
14. Виміряйте горизонтальний кут способом прийомів.
15. Виміряйте горизонтальний кут способом кругових прийомів.
16. Виміряйте вертикальний кут.

10 НІВЕЛЮВАННЯ

10.1 Види нівелювання

Під час виконання топографо-геодезичних робіт необхідно визначати перевищення точок земної поверхні, обчислювати їх абсолютні і відносні позначки, переносити на місцевість проектні позначки і визначати осідання споруд. Перевищенням називають різницю висот точок земної поверхні або будівельних конструкцій.

Нівелювання – це визначення висот точок земної поверхні відносно деякої вибраної точки або над рівнем моря.

Залежно від необхідної точності та наявних приладів використовують такі методи нівелювання: геометричне, тригонометричне, гідростатичне, барометричне, автоматичне та аеронівелювання.

Геометричне нівелювання виконують горизонтальним променем візування за допомогою нівеліра або теодоліта та рейок з поділками. На середню квадратичну похибку, яка може бути від 0,5 до 10 мм/км, впливає клас нівелювання. Залежно від взаємного розташування нівеліра та рейок геометричне нівелювання здійснюють двома способами: з середини і вперед. Геометричне нівелювання застосовують для створення державної висотної мережі, висотного обґрунтування топографічних знімків, а також під час проектування і будівництва інженерних споруд.

Тригонометричне нівелювання застосовується для створення висотної основи і виконання топографічних знімків та розв'язання різноманітних інженерних задач. Його виконують похилим променем візування за допомогою теодоліта або кіпрегеля. За результатами вимірювання кута нахилу лінії візування з однієї точки на іншу та горизонтальної відстані між ними обчислюють перевищення за формулами тригонометричного нівелювання. Середня квадратична похибка визначення перевищень – 10 мм.

Гідростатичне нівелювання ґрунтується на принципі сполучених посудин, в яких рідина завжди займає однакові рівні. Використовується для точного встановлення будівельних конструкцій в проектні положення, вивірення під час монтажу технологічних ліній значної довжини,

вимірювання осідання споруд та передачі позначок через водні перешкоди. Середня квадратична похибка визначення перевищень – 0,1 мм.

Барометричне нівелювання ґрунтується на вимірюванні барометрами-анероїдами в точках спостереження атмосферного тиску, який із збільшенням висоти зменшується. Різницю висот між двома точками визначають за результатами вимірювання в них атмосферного тиску, температури й вологості повітря, використовуючи барометричну формулу. Використовується під час розвідок і будівництва лінійних споруд, а також у випадках прискорених методів знімань. Середня квадратична похибка визначення висот – 300 мм.

Автоматичне нівелювання виконується за допомогою висотомірів-автоматів, що креслять профіль місцевості або вказують позначки лінії профілю. Дія профілографів ґрунтується на механічному центрирі або на використанні горизонтальної поверхні рідини в посудині. Середня квадратична похибка визначення перевищень – 100 мм/км. Висотоміри-автомати бувають механічні, електромеханічні і електронно-механічні.

В інженерно-будівельній справі переважно використовуються: геометричне, тригонометричне та гідростатичне нівелювання.

10.2 Типи нівелірів і нівелірних рейок та їх особливості

Під час геометричного нівелювання перевищення однієї точки місцевості або споруди над іншою визначають із застосуванням горизонтального променя, який одержують з допомогою нівеліра та нівелірних рейок, виставлених у цих точках.

Нівелір – це оптико-механічний прилад для побудови в просторі горизонтального променя.

Сучасні нівеліри класифікують за точністю, призначенням, конструктивними особливостями і мірою автоматизації окремих операцій.

За точністю нівеліри бувають високоточні – типу Н-05, Н-1, Н-2, точні – типу Н-3, Н-3К, Н-3КЛ і технічні – типу Н-10.

За способом установа лінії візування в робочий стан нівеліри ділять на такі, у яких лінію візування встановлюють за циліндричним рівнем, що наглухо скріплений з зоровою трубою, і нівеліри з

компенсаторами з самоустановною лінією візування. Технічні нівеліри обладнують також лімбом для вимірювання горизонтальних кутів. Зараз серійно виробляються такі типи нівелірів: Н-05, Н-3, Н-10, Н-05К, Н-3К, Н-10К, Н-3КЛ, Н-3П, 2Н-3Л, 2Н-10КЛ, 3Н-2КЛ. Цифра у шифрі нівеліра свідчить про допустиму середню квадратичну похибку (в міліметрах) під час нівелювання на 1 км подвійного ходу. Літера К свідчить про наявність компенсатора, а Л – лімба горизонтального круга.

Високоточні нівеліри Н-05 з оптичним мікрометром і нівеліри Н-05К з компенсатором призначені для нівелювання I та II класів. Точні нівеліри Н-3 з циліндричним рівнем, нівеліри Н-3К з компенсатором використовуються під час нівелювання III та IV класів, інженерних розвідок і інженерно-геодезичного забезпечення будівництва. Технічні нівеліри Н-10 та Н-10К використовуються під час топографічних знімків, інженерно-геодезичних розвідок і робіт на будівництві споруд.

Фірма «Карл Цейс Ієна» випускає нівеліри NI002, NI007, NI025, NI050 і NI030. З зарубіжних нівелірів різних фірм, призначених для знімання профілів місцевості, нівелювання поверхонь та геодезичного забезпечення будівельного виробництва, використовують оптичні нівеліри: SETL марок DSZ3 та AL-20 з похибкою 1,5 мм та 2,5 мм на 1 км; автоматичні нівеліри SOKKIL марок PL1, B1C, B1, B2₀ з похибкою за наявності мікрометронної насадки 0,2 й 0,5 мм/км, а без неї – 0,8 мм/км; C300, C310, C320, C330 з похибкою без мікрометронної насадки 1,0; 1,5 та 2,0 мм/км.

Широко застосовуються лазерні нівеліри LP30, LP31, Benjamin, НЛ30, Лимка-Горизонт, Лимка-Зенит, LaserLevel 1470/1480, Laserplane 130/130J, Laserplane 500C/600, LaserLevel 1432.

Цифрові нівеліри дозволяють виконувати ті самі роботи, що й оптичні нівеліри. Їх особливістю є наявність електронного датчика, що дозволяє з високою точністю знімати відліки зі спеціальної штрих-кової рейки. Оператору достатньо навести прилад на рейку, сфокусувати зображення й натиснути кнопку. Прилад виконує самостійно зняття відліку по рейці й вимірювання відстані до неї, що відображається на екрані. Використовуються цифрові нівеліри марок DiNi 12, DiNi 12T, DiNi 22 та PowerLevel SDL30, що мають похибку 0,3...1,0 мм/км. На рис. 10.1

зображено цифровий електронний нівелір типу «DINI» (фірма «Carl Zeiss», Німеччина).

Наявність електронного пристрою дозволяє в автоматичному режимі знімати з високою точністю відліки по спеціальній штрихкодів рейці. На екрані дисплея відображаються відліки та відстані до рейки. Наявність пакета програм дозволяє виконувати вимірювальні роботи, обробку їх результатів та розмічувальні роботи.



Рисунок 10.1 – Цифровий електронний нівелір «DINI» (Німеччина)

Робочими мірами для вимірювання перевищень слугують нівелірні рейки. Відповідно до стандарту ГОСТ 10528-90 випускаються три типи рейок: РН-05; РН-3; РН-10. Шифр «РН» означає рейка нівелірна, а число вказує на середню квадратичну похибку вимірювання перевищень на 1 км подвійного ходу.

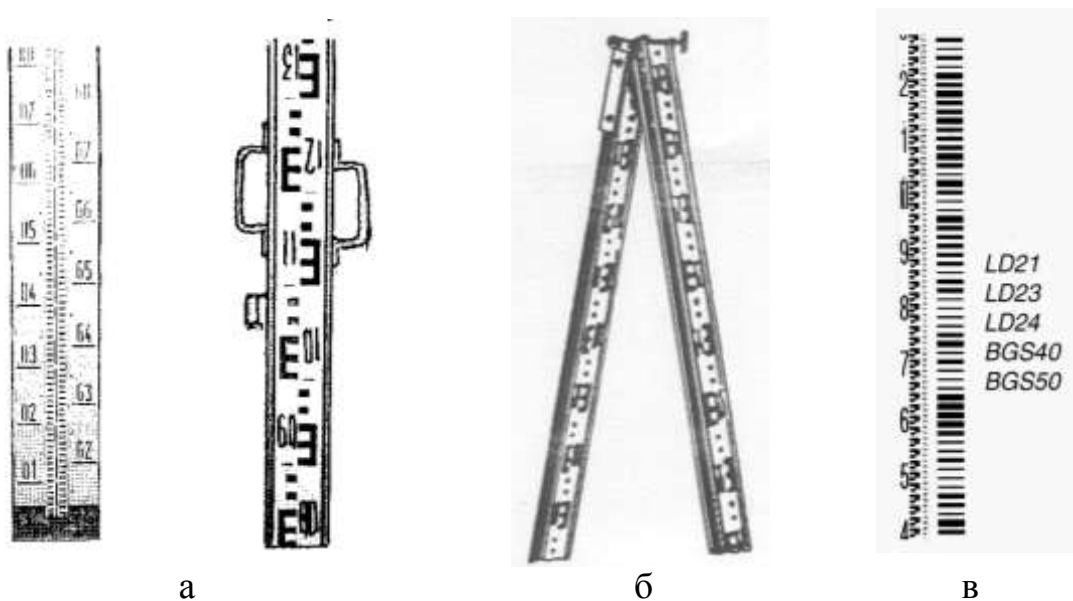


Рисунок 10.2 – Нівелірні рейки

а – фрагменти суцільних рейок РН-0,5, РН-3; б – складана; в – кодова

Рейки РН-3 та РН-10 за конструкцією можуть бути суцільними, складаними та розсувними.

Сучасні штрихові прецизійні і шашкові дерев'яні нівелірні рейки класифікуються за точністю, конструктивними особливостями і призначенням.

За точністю нівелірні рейки бувають високоточні, точні і технічні. За довжиною розрізняють три- та чотириметрові рейки, які можуть бути суцільними, складаними і розсувними. Поділki нанесено з одного або двох боків. Рейки можуть мати круглий рівень для встановлення їх в прямовисне положення. Сучасні рейки мають шифри РН-05, РН-3 та РН-10 і входять до комплекту нівелірів відповідно Н-05, Н-3 і Н-10.

Рейка РН-05 – одностороння, являє собою суцільну раму довжиною 3 або 1,2 м, на яку натягнуто інварну стрічку з нанесеними двома шкалами, які зміщені одна відносно одної на 2,5 мм. На основній шкалі нанесено півдециметрові поділki від 0 до 60, а на доповнювальній – від 60 до 120. Відлік по прецизійній рейці беруть за допомогою оптичного мікрометра.

Рейка РН-3 – двостороння шашкова, являє собою дерев'яний брусок завширшки 8...10 і завтовшки 2...3 см, на який нанесено шашкові сантиметрові поділki і підписано значення дециметрових поділок. На одному боці нанесено чорні і білі поділki (чорний бік), а на другому – червоні і білі (червоний бік). На обох боках рейки поділki виконано через 10 мм. По чорному боку поділki йдуть від нуля до 3 м. Нуль рейки суміщають з п'ятою рейки, тобто з нижнім кінцем, оббитим залізною скобою. По червоному боку початковий відлік починається з числа 4787 або 4687. Різниця відліків по різних боках рейки має бути сталою. Дециметрові підписи можуть бути прямими і оберненими.

Рейка РН-10 – двостороння шашкова, має конструкцію, аналогічну до рейки РН-3, і, як правило, виготовлюється складаною, довжиною 4 м.

За результатами аналізу типів нівелірів і нівелірних рейок, їх метрологічних характеристик і сфер використання вибирають нівелір і нівелірну рейку для інженерно-геодезичного забезпечення конкретного будівельно-монтажного виробництва або виконання розвідок.

10.3 Будова нівелірів

Кожний тип нівеліра має свої конструктивні особливості. Але, належачи до одного класу геодезичних приладів, всі вони мають спільні основні частини: зорову трубу, рівні і установлювальні пристрої. Обов'язковим є однакове взаємне розміщення осей.

Нівелір з циліндричним рівнем (рис. 10.3) складається з підставки 1, зорової труби 5 з об'єктивом 4, окуляра 6 та фокусувальної призми, що переміщується з допомогою ручки, циліндричного 2 та круглого 8 рівнів, піднімального 9, затискного 3, мікрометричного та елеваційного 7 гвинтів. Зображення кінців бульбашки циліндричного рівня системою призм передається у зорову трубу.

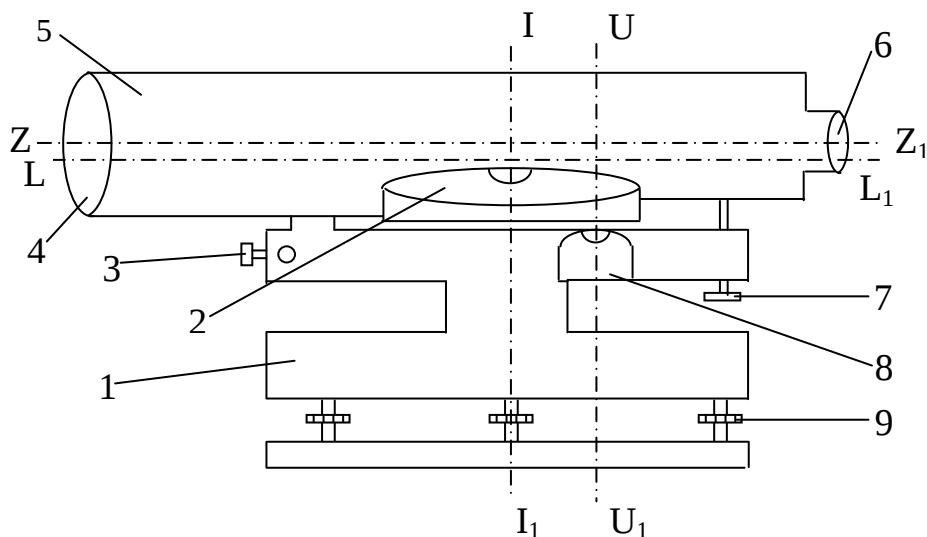


Рисунок 10.3 – Принципова геометрична схема нівеліра з циліндричним рівнем:

1 – підставка; 2 – циліндричний рівень; 3 – затискний гвинт; 4 – об'єктив; 5 – зорова труба; 6 – окуляр; 7 – елеваційний гвинт; 8 – круглий рівень; 9 – піднімальні гвинти

Принципова схема нівеліра з циліндричним рівнем має забезпечувати виконання основних геометричних умов: вісь візування ZZ_1 і вісь циліндричного рівня LL_1 мають бути паралельні, вісь круглого рівня UU_1 має бути паралельна осі обертання (основній осі нівеліра) Π_1 , вісь візування ZZ_1 має бути перпендикулярна до основної осі Π_1 нівеліра.

Під час визначення перевищень найбільше значення має виконання геометричних умов. Це зумовлено їх значною мінливістю в період роботи і транспортування.

У топографо-геодезичних роботах широко використовуються нівеліри, у яких лінія візування автоматично встановлюється в горизонтальне положення. Це досягається використанням компенсаторів, які забезпечують горизонтальне положення променя візування.

Компенсація кута нахилу осі візування здійснюється компенсатором з підвішеною сіткою ниток, який повертає промінь візування, спрямовуючи його в центр ниток сітки, або компенсатором з паралельним переносом променя візування на його початковий напрям у центр ниток сітки.

Коефіцієнт компенсації

$$K = f / S, \quad (10.1)$$

де f – фокусна відстань зорової труби, мм;

S – відстань від точки потрапляння променя візування на дзеркало або призму компенсатора до центра ниток сітки, мм.

Необхідне значення коефіцієнта компенсації досягається механічними, оптичними або оптико-механічними засобами.

Оптична схема нівеліра Н-10КЛ (рис. 10.4) містить об'єktiv 1, пентапризму 2, призму-компенсатор 3, пентапризму 4, сітку ниток 5 та окуляр 6.

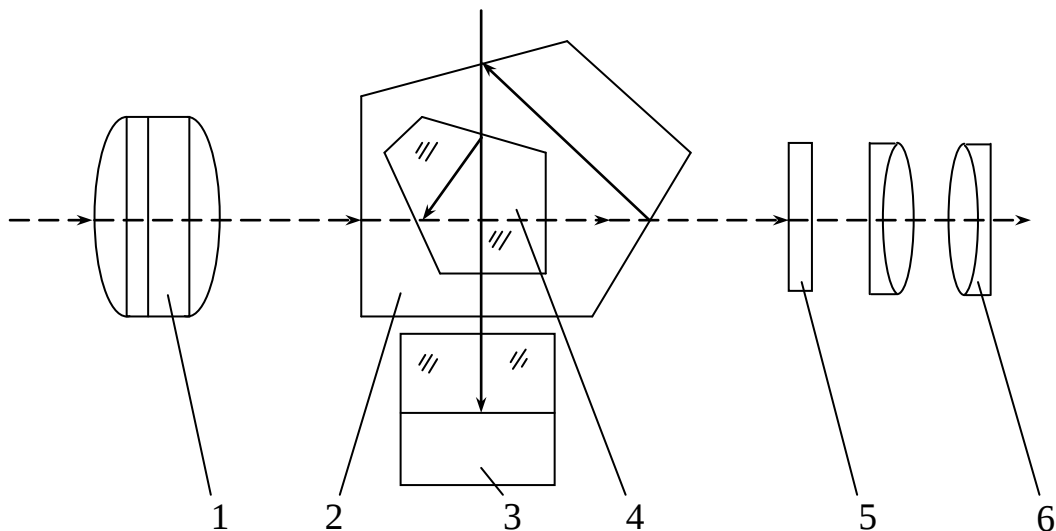


Рисунок 10.4 – Оптична схема нівеліра Н-10 КЛ:

1 – об'єktiv; 2, 4 – пентапризми; 3 – призма-компенсатор; 5 – сітка ниток;
6 – окуляр

Нівелір Н-3К має призмовий компенсатор оптико-механічного типу, що забезпечує автоматичне встановлення лінії візування у горизонтальне положення за кутів нахилу осі візування до 15'. Попередньо вісь обертання нівеліра встановлюють в прямовисне положення за допомогою круглого рівня. Компенсатор складається із рухомої призми, яку підвішують на чотирьох схрещених нитках, та нерухомої.

Відбивні боки обох призм розміщені під кутом 45° до променя візування, що проходить через центр об'єктива.

Для нівелірів з компенсаторами має виконуватись основна умова: лінія візування буде горизонтальною, якщо нахил зорової труби інструмента не більший, ніж допустимий кут компенсації.

Будова нівеліра Н-3. Нівелір Н-3 – точний, з циліндричним рівнем біля зорової труби і елеваційним гвинтом. Він призначений для геометричного нівелювання III класу з середньою квадратичною похибкою 3 мм/км. Загальний вигляд нівеліра Н-3 показано на рис. 10.5. Нівелір складається з верхньої і нижньої частини. Верхня частина містить зорову трубу 5 з циліндричним рівнем, навідний 9, затискний 8 та елеваційний 3 гвинти і круглий рівень 2. Нижня частина виконана у вигляді підставки-триніжка з трьома піднімальними гвинтами 10 та пластиною, що пружинить.

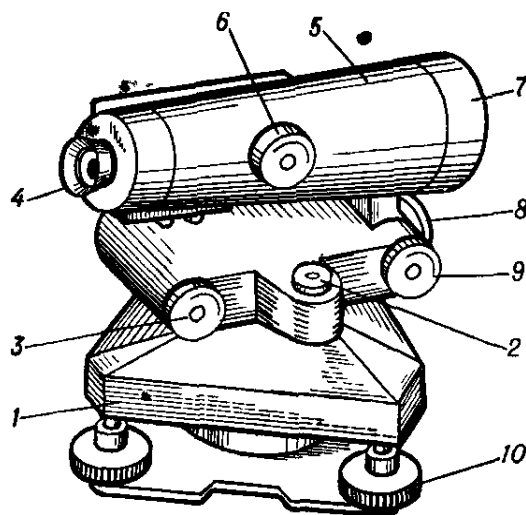


Рисунок 10.5 – Загальний вигляд нівеліра Н-3:

1 – підставка-триніжок, 2 – круглий рівень, 3 – елеваційний гвинт; 4 – окуляр; 5 – зорова труба; 6 – фокусна ручка; 7 – об'єктив; 8 – затискний гвинт; 9 – навідний гвинт, 10 – піднімальні гвинти

У корпус зорової труби встановлено об'єктив 7, окуляр 4 та сітку ниток з частиною призмового пристрою циліндричного рівня.

З лівого боку труби розміщено циліндричний рівень і призмовий пристрій, що передає зображення кінців бульбашки в поле зору труби. Чітке зображення відліків по рейці отримують поворотом фокусної ручки 6.

У корпусі зорової труби з боку окуляра є чотири виправних гвинти циліндричного рівня. Виправні гвинти закрито кришкою.

Вертикальну вісь приладу в прямовисне положення виводять круглим рівнем 2, що має три виправних гвинти, за допомогою трьох піднімальних гвинтів триніжка.

Для надання осі візування зорової труби горизонтального положення використовують циліндричний рівень. Вісь візування займає горизонтальне положення, якщо відображення кінців бульбашки циліндричного рівня за допомогою елеваційного гвинта 3 суміститься в полі зору труби (рис. 10.6).

В полі зору труби одночасно видно бульбашку рівня 1, нівелірну рейку 2, сітку ниток 3. Відлік по рейці дорівнює 1350.

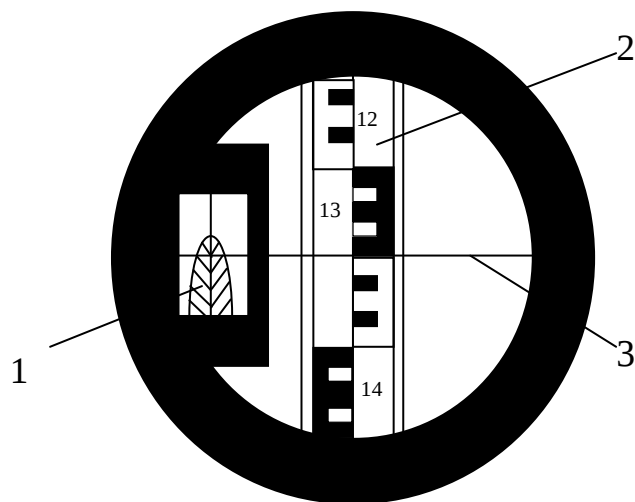


Рисунок 10.6 – Поле зору труби нівеліра Н-3: 1- бульбашка рівня; 2 – нівелірна рейка; 3 – сітка ниток

Зображення кінців бульбашки циліндричного рівня оптичною системою призм передається в поле зору труби і зображається в площині сітки ниток (рис. 10.7). Такий рівень називають контактним.

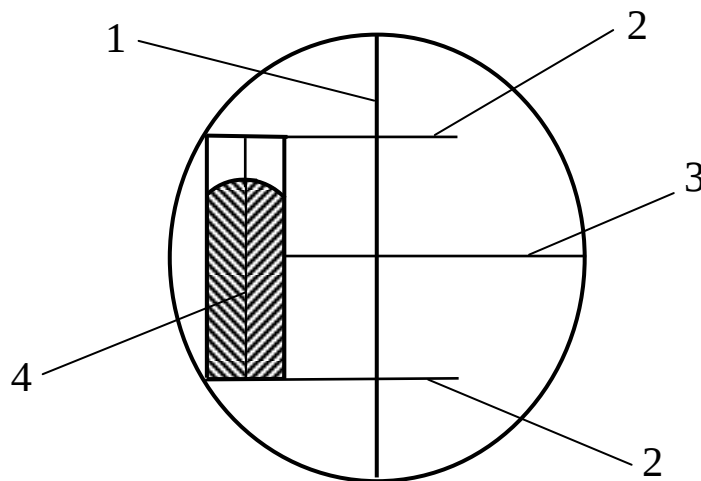


Рисунок 10.7 – Сітка ниток нівеліра Н-3:

1 – вертикальна нитка; 2 – віддалемірні нитки; 3 – горизонтальна нитка;
4 – зображення кінців бульбашки циліндричного рівня

Для грубого наведення приладу на рейку на корпусі зорової труби є пристрій для візування (мушка). Точне наведення на рейку виконують навідним гвинтом. У комплекс нівеліра Н-3 входить також штатив із становим гвинтом, футляр, запасний інструмент і приладдя.

10.4 Підготовка нівелірів і нівелірних рейок до роботи

Нівеліри мають задовольняти необхідні оптико-механічні і геометричні умови. Нівеліри характеризуються комплексом метрологічних характеристик і підлягають перевірці та метрологічній атестації.

Зовнішній стан нівеліра перевіряють візуальним оглядом. Під час огляду виявляють пошкодження оптичних і механічних частин нівеліра. Перевіряють встановлення рівнів і регулювальних пристроїв. Зображення у зоровій трубі має бути чітким і недеформованим, освітленість поля зору – рівномірною; не допускається перекошення зображення. Перевіряють правильність і зручність укладання нівеліра в ящик, замки і пристосування для перенесення. Комплектність нівеліра контролюють згідно із списком, наведеним у паспорті нівеліра. Робочий стан рухомих частин перевіряють випробовуванням. При цьому виявляють і усувають в рухомих частинах люфти, неплавність ходу і помітні деформації. Перевіряють роботоздатність мікрометричного гвинта труби, елевацийного гвинта і пристрою для фокусування. Перевіряють регулювальні пристрої.

Зміст перевірних робіт для нівелірів під час метрологічного контролю і способи, які застосовуються:

Перевірні роботи	Способи
Перевірка зовнішнього технічного стану і комплектності	Візуальний огляд
Оцінення роботоздатності	Випробовування
Перевірка головної геометричної умови	Польовий базис
Перевірка роботи компенсатора	Автоколіматор
Визначення середньої квадратичної похибки перевищення на станції	Польовий висотний полігон
Те саме, на 1 км ходу	Висотний полігон

Особливу увагу в процесі оцінювання роботоздатності нівеліра звертають на такі умови: забезпечення плавного ходу піднімальних і мікрометричних гвинтів, легкого і плавного обертання нівеліра навколо осі, стійкого положення нівеліра на штативі. Хід піднімальних гвинтів регулюють за допомогою регулювальних гайок зі спеціальними отворами під шпильки. Якщо хід піднімальних гвинтів дуже тугий або вільний, їх викручують доти, доки не стане видно отвори регулювальних гайок. В ці отвори вставляють шпильки і крутять гайки в ту чи іншу сторону, домагаючись плавного ходу гвинтів.

Становий гвинт під час регулювання ходу піднімальних гвинтів не має бути занадто туго затягнутим. У разі занадто тугого або вільного ходу навідного або елеваційного гвинтів у отвір, що знаходиться на регулювальній гайці, вставляють шпильку і обертанням цієї гайки досягають потрібного ходу гвинтів. У випадку тугого обертання труби на вертикальній осі її необхідно змастити наново.

Під час огляду штатива звертають увагу на жорсткість з'єднання його окремих частин. Ніжки штатива мають порівняно туго обертатися в шарнірному з'єднанні з головною частиною.

Остаточний висновок про придатність нівеліра для виконання робіт потрібної точності роблять після виконання перевірок і відповідних їм регулювань.

Нівелірні рейки характеризуються комплексом метрологічних характеристик і підлягають перевірці. Зміст перевірних робіт і способи перевірок нівелірних рейок:

Перевірні роботи	Способи
Перевірка зовнішнього вигляду і технічного стану	Візуальний огляд, випробування
Перевірка суміщення нульового відліку основної шкали рейки з п'яткою	Штрихова міра довжини II типу з ціною поділки 0,2 мм
Визначення відліку, що відповідає п'ятці рейки по доповнювальній шкалі	Те саме
Перевірка довжини будь-якого найменшого інтервалу шкали рейки	– // –
Визначення довжини метрових інтервалів і середньої довжини метра пари рейок	– // –

Під час випробовувань визначають надійність кріплення на корпусі рівня, ручок, металевої скоби п'ятки; роботоздатність фіксатора, що утримує складану рейку в робочому стані; роботоздатність замків і засувки, що скріплюють частини складаної рейки в складеному положенні; прилягання частин складаної рейки в робочому і складеному положенні.

Встановлення нівеліра в робочий стан – це фокусування зорової труби, приведення осі обертання нівеліра в прямовисне положення і горизонтування зорової труби.

Штатив нівеліра встановлюють таким чином, щоб відстань між ніжками була не менша половини довжини ніжок. Кінці ніжок втискують в ґрунт і підтягують ослаблені гвинти, що скріплюють рухомі частини штатива. Нівелір ставлять на штативі так, щоб наконечники піднімальних гвинтів зайшли в пази головки штатива, а становий гвинт рівномірно закручують, щоб не утруднювати хід піднімальних гвинтів.

Фокусування зорової труби – це отримання в полі зору труби чіткого зображення відліків по нівелірній рейці. Чітке зображення нівелірної рейки отримують обертанням ручки фокусування. Для

отримання чіткого зображення сітки ниток наводять зорову трубу на освітлений предмет. Обертанням окулярної трубочки добиваються чіткого зображення сітки ниток.

Вісь обертання нівеліра має займати прямовисне положення за розміщення бульбашки круглого рівня в нуль-пункті. З цією метою обертають піднімальні гвинти в різні боки і досягають переміщення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт.

Нівелір вважається відгоризнтованим, якщо відображення кінців бульбашки циліндричного рівня суміщаються в полі зору труби (див. рис. 10.4). Відображення кінців бульбашки циліндричного рівня суміщають за допомогою елеваційного гвинта.

Для грубого наведення нівеліра на рейку на корпусі зорової труби є мушка. Точне наведення на рейку виконують навідним гвинтом за затиснутого закріплювального гвинта.

10.5 Перевірки і юстирування нівелірів

Перевірки і юстирування нівелірів виконують за температури $+20\pm 5$ °С. Під час перевірки виконання основних геометричних умов, що характеризують принципову геометричну схему нівеліра, контролюється залежно від конструктивних особливостей нівеліра.

Перевірки і юстирування нівеліра з циліндричним рівнем Н-3

1. Перевірка круглого рівня. Вісь круглого рівня має бути паралельною основній осі нівеліра Π_1 .

Для перевірки цієї умови встановлюють круглий рівень у напрямі двох піднімальних гвинтів (рис. 10.8). Обертанням трьох гвинтів 1 в протилежних напрямках бульбашку 2 виводять в нуль-пункт. Якщо після повертання верхньої частини нівеліра на 180° бульбашка залишається в нуль-пункті – умову виконано. Якщо ж ні, то виправними гвинтами рівня зміщують бульбашку в нуль-пункт на половину її відхилення. На частину відхилення, що залишилася, бульбашку рівня зміщують піднімальними гвинтами. Для контролю перевірку повторюють і виконують доти, доки не буде виконано умову.

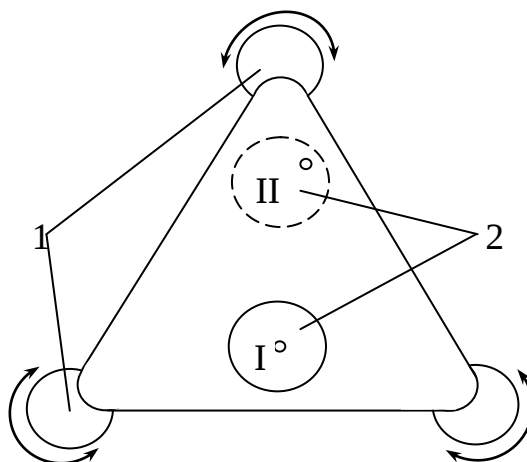


Рисунок 10.8 – Перевірка круглого рівня:
1 – піднімальні гвинти; 2 – бульбашка рівня

1. Перевірка правильності встановлення сітки ниток

Вертикальна нитка сітки має бути паралельною основній осі нівеліра Π_1 . За робочого положення нівеліра зорову трубу наводять на віддалену на 5...10 м рейку так, щоб її зображення було біля краю поля зору, і роблять відлік. Навідним гвинтом поволі повертають трубу, щоб зображення рейки перемістилося до другого краю поля зору. Якщо після цього відлік не зміниться, умову виконано.

Перевірку можна виконати також за допомогою важкого виска, підвішеного на відстані 25...30 м від нівеліра. Якщо після наведення на шнурок виска вертикальна нитка сітки суміститься з ним, то умову виконано. В іншому випадку виконують юстирування.

Для виконання юстирування знімають кришку сітки ниток, що прикриває юстирувальні гвинти на окулярній частині зорової труби. Ослаблюють гвинти, що скріплюють окулярну частину труби з частиною труби зі сторони об'єктива, і повертають сітку ниток до досягнення умов перевірки. Після закінчення перевірки закріплюють юстирувальні гвинти і ставлять кришку на місце.

2. Перевірка головної геометричної умови

Візирна вісь труби ZZ_1 (див. рис. 10.3) має бути паралельною осі циліндричного рівня LL_1 . Основну геометричну умову перевіряють

нівелюванням однієї лінії довжиною 50...70 м способами «з середини» або «вперед» (див. рис. 10.9).

На рівній місцевості вибирають і закріплюють кілочками дві точки А та В на відстані 50...70 м одна від одної. Під час перевірки способом «вперед» установлюють над точкою А нівелір так, щоб окуляр зорової труби нівеліра знаходився на відстані не більше 3...5 см від рейки, розміщеної на точці В (рис. 10.9).

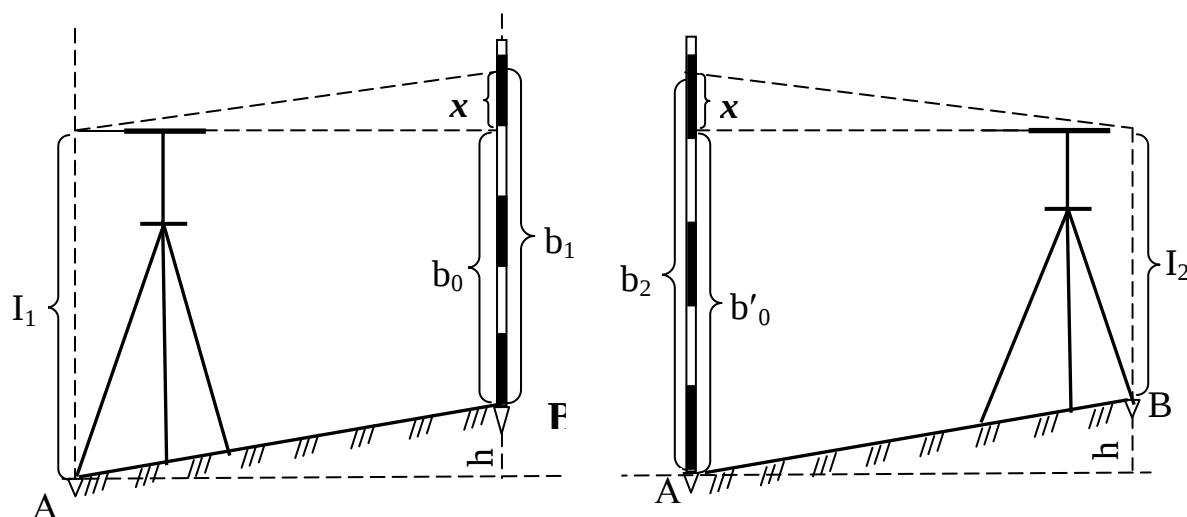


Рисунок 10.9 – Перевірка головної геометричної умови нівелірів з циліндричним рівнем

За допомогою круглого рівня вісь обертання нівеліра піднімальними гвинтами виводять в прямовисне положення. За допомогою сталеві рулетки або рейки вимірюють висоту нівеліра i_1 з точністю до 2 мм. Візують зорову трубу на рейку, яку встановлюють у точці В. За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік b_1 .

Перевищення між точками А та В, мм, обчислюють за формулою

$$|h| = i_1 - b_0 = i_1 - b_0 + x, \quad (10.2)$$

де x – похибка відліку b_0 , обумовлена невиконанням головної геометричної умови, мм.

Переставляють місцями нівелір і рейку (див. рис. 10.6). Вимірюють висоту нівеліра i_2 в точці В. Візують зорову трубу на рейку, що

встановлена у точці А. За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік b_2 .

Повторно обчислюють перевищення між точками А та В, мм,

$$|h| = b'_0 - i_2 = b_2 - i_2 - x. \quad (10.3)$$

Якщо головна геометрична умова виконується, то значення перевищень, обчислені за формулами (10.2) та (10.3), мають бути однакові.

У випадку розбіжності між перевищеннями обчислюють похибку, мм,

$$x = 0,5 (b_1 + b_2) - 0,5 (i_1 + i_2). \quad (10.4)$$

Якщо похибка $x \leq 4$ мм, то виконують юстирування у такій послідовності. Обчислюють правильний відлік на рейці b_0 , мм, за формулою

$$b_0 = b_2 - x. \quad (10.5)$$

Наводять середню нитку сітки елеваційним гвинтом на відлік на рейці b_0 . Бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля-пункту. Відводять у бік захисну кришку виправних гвинтів циліндричного рівня. Відкручують горизонтальні юстирувальні гвинти, а вертикальними гвинтами суміщають кінці бульбашки рівня. Для контролю перевірку повторюють. Результати перевірки головної геометричної умови подано у табл. 10.1.

Таблиця 10.1 – Перевірка головної геометричної умови нівеліра Н-З

№ при-йому	У прямому напрямі, мм		У зворотному напрямі, мм		Похибка x , мм	Примітки
	i_1	b_1	i_2	b_2		
1	1341	1192	1438	1612	12	Умову не виконано. Необхідно виконати юстирування
2	1373	1213	1419	1583	2	Умову виконано

Перевірка і юстирування нівеліра з компенсатором Н-ЗК

Перевірки встановленого рівня і положення сітки ниток нівелірів з компенсаторами виконують так, як і нівелірів з циліндричним рівнем.

Після виконання відповідних юстирувань перевіряють міру компенсації кутів нахилу осі нівеліра і головну геометричну умову

1. Перевірка міри компенсації кутів нахилу осі нівеліра

Компенсація кутів нахилу осі нівеліра має бути повною.

Для визначення похибки недокомпенсації встановлюють нівелір посередині створу між рейками, що розміщені на відстані 100 м одна від одної. Визначають перевищення, мм, п'ятьма прийомами за положень бульбашки круглого рівня, показаних на рис. 10.10:

$$h_i = a_i - b_i, \quad (10.6)$$

де a_i, b_i – відліки по задній та передній рейках, відповідно, мм.

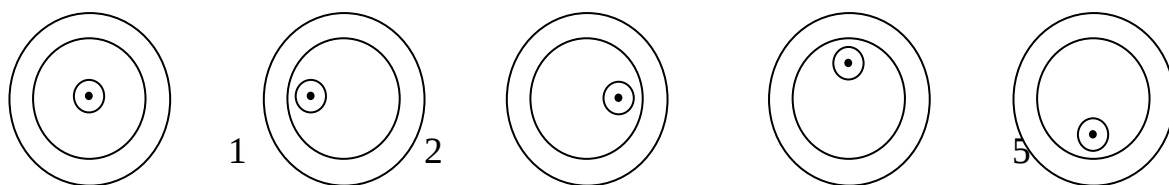


Рисунок 10.10 – Положення бульбашки круглого рівня під час визначення похибки компенсації

Обчислюють середнє значення перевищення, мм, одержане за положеннях бульбашки рівня 2...5 (рис. 10.10),

$$h_c = \Sigma h_i / 4. \quad (10.7)$$

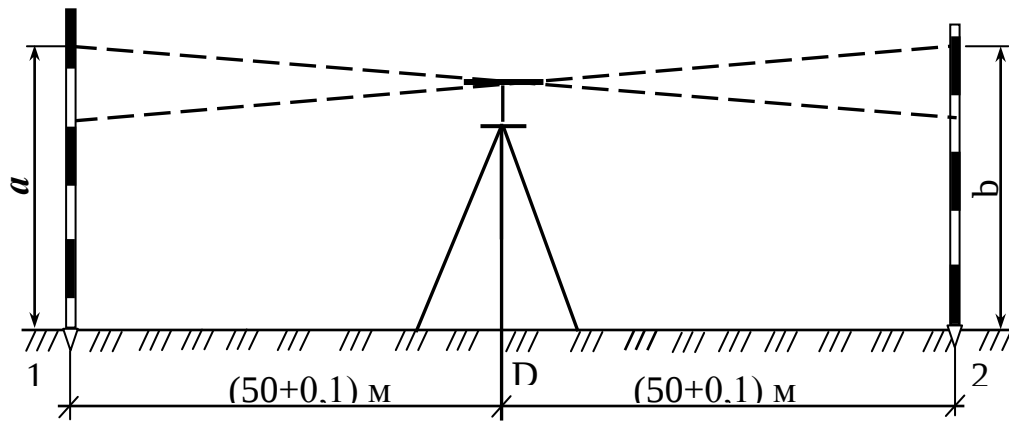
Знаходять різницю між середнім значенням перевищення і середнім перевищенням h_1 , мм, одержаним за положення бульбашки рівня 1 (рис. 10.10),

$$h_c - h_1 = f. \quad (10.8)$$

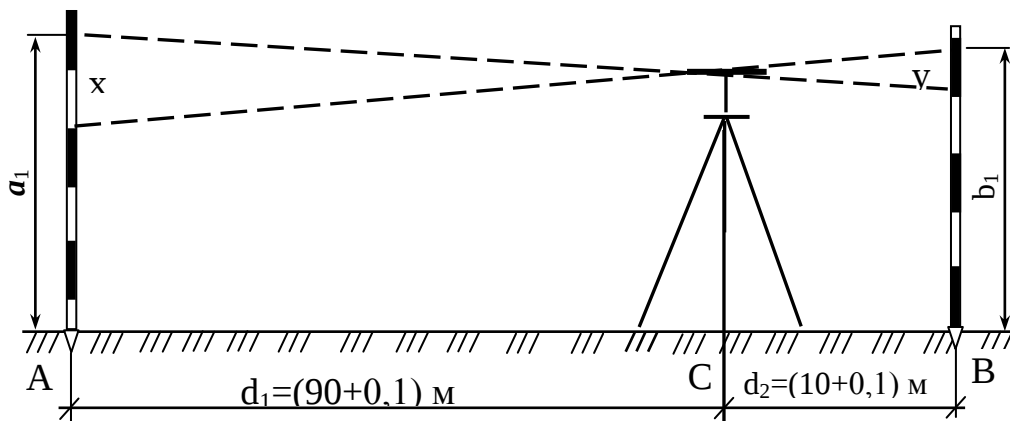
Якщо різниця $f > 5$ мм, то необхідно юстирування нівеліра, яке виконують в оптичній майстерні.

2. Перевірка головної геометричної умови

Лінія візування має бути горизонтальною за нахилів осі приладу до величини допустимого кута компенсації.



a)



б)

Рисунок 10.11 – Перевірка головної геометричної умови нівелірів з компенсатором

На місцевості в точках А і В, розташованих на відстані $(100 \pm 0,2)$ м, забивають два кілки, на які встановлюють рейки. У точці D посередині між рейками ($d_1 = 50 \pm 0,1$) м установлюють нівелір і приводять його у робочий стан. Більше трьох разів, змінюючи висоту інструмента, визначають перевищення між точками h_i . Середнє значення перевищення, мм, буде позбавлене інструментальних похибок:

$$h_c = \Sigma h_i / n. \quad (10.9)$$

Потім нівелір переносять в точку С, розміщену на відстані $d_2 = (10 \pm 0,1)$ м від точки В, і визначають перевищення, мм,

$$h_1 = a_1 - b_1. \quad (10.10)$$

Якщо перевищення h_1 , визначене з точки С, буде відрізнятися більше ніж на 2 мм від перевищення h_c , визначеного з точки О, тобто

$f = (h_c - h_1) > 2$ мм, то необхідно виконати юстирування. З цією метою обчислюють поправки за формулами

$$x = f d_1 / (d_1 - d_2) ; \quad (10.11)$$

$$y = f d_2 / (d_1 - d_2), \quad (10.12)$$

де x, y – поправки відповідно на дальню і ближню рейки, мм;

d_1, d_2 – відстані від нівеліра відповідно до дальньої і ближньої рейок, м.

Для приведення ліній візування в горизонтальне положення знімають ковпачок, що прикриває виправні гвинти сітки ниток. Наводять нівелір на дальню рейку і виправними гвинтами сітки ниток наводять горизонтальну нитку сітки на виправлений відлік. Для контролю перевірку повторюють.

10.6 Перевірки нівелірних рейок

1. Вісь круглого рівня має бути паралельною осі рейки. На відстані 40...50 м від нівеліра, приведенного в робочий стан, ставлять рейку на тверду основу. За допомогою нівеліра рейку встановлюють так, щоб одне ребро її було паралельним вертикальній нитці сітки зорової труби. Якщо у цьому випадку бульбашка рівня залишиться у нуль-пункті, то умову виконано. Якщо бульбашка рівня зійде з середини вліво або вправо, то виправними гвинтами її повертають у нуль-пункт. Рейку повертають на 90° і повторюють вказані дії.

2. Помилки в дециметрових поділках не мають перевищувати для рейок третього класу $\pm 0,5$ мм, четвертого класу – $\pm 0,7$ мм, технічних – $\pm 1,0$ мм. Умову перевіряють, компаруючи рейку нормальним штриховим метром або контрольною лінійкою з міліметровими поділками з урахуванням температури. Контрольні проміри виконують у прямому і зворотному напрямках.

10.7 Визначення перевищень під час геометричного нівелювання

Порядок роботи з нівеліром на станції залежить від способу визначення перевищень, класу нівелювання і способу контролю відліків по рейці. У разі вибору способу геометричного нівелювання виникають

проблемні ситуації, рішення яких залежить від потрібної точності, умов вимірювання і видів геодезичних робіт із забезпечення будівельно-монтажного виробництва. Розрізняють два способи геометричного нівелювання: із середини і вперед.

Технічне нівелювання способом із середини нівеліром Н-3

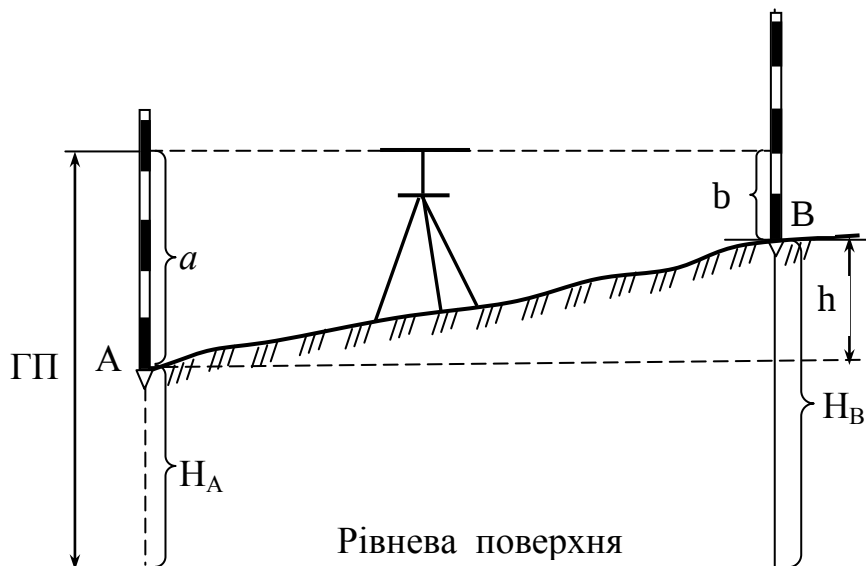


Рисунок 10.12 – Геометричне нівелювання способом з середини

Після виконання перевірок і юстирувань нівелір установлюють на однакових відстанях від рейок і приводять в робочий стан (рис. 10.12). З цією метою вісь нівеліра приводять в прямовисне положення і фокусуванням зорової труби отримують чітке зображення рейок. Зорову трубу наводять на чорний бік задньої рейки. З допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці контактного циліндричного рівня. Після заспокоєння бульбашки рівня роблять відлік $a_{\text{чор}}$. Потім наводять трубу на чорний бік передньої рейки. За необхідності елеваційним гвинтом виправляють положення бульбашки циліндричного рівня і роблять відлік $b_{\text{чор}}$. Перевертають рейку червоним боком до нівеліра і роблять відлік по червоному боці передньої рейки $b_{\text{чер}}$. Перевертають зорову трубу на задню рейку і роблять відлік по червоному боці рейки $a_{\text{чер}}$.

Виконують контроль відліків. З цією метою, не знімаючи прилад, обчислюють перевищення між точками відповідно по чорному і червоному боках рейки, мм,

$$h_{\text{чор}} = a_{\text{чор}} - b_{\text{чор}} ; \quad (10.13)$$

$$h_{\text{чер}} = a_{\text{чер}} - b_{\text{чер}}. \quad (10.14)$$

Має виконуватися умова $(h_{\text{чор}} - h_{\text{чер}}) \leq \pm 5$ мм. Якщо умову виконано, обчислюють середнє перевищення між точками, мм,

$$h_c = 0,5 (h_{\text{чор}} + h_{\text{чер}}). \quad (10.15)$$

Якщо відома висота точки H_A , обчислюють висоту точки В, м,

$$H_B = H_A + h_c. \quad (10.16)$$

Якщо різниця перевищень більше 5 мм, то знову беруть відліки по червоному і чорному боках рейок, що встановлені на передній і задній точках. Результати нівелювання записують у журнал (табл. 10.2). За наявності проміжних точок на них установлюють задню рейку і беруть відлік тільки по чорному боці рейки.

Таблиця 10.2 – Журнал технічного нівелювання

№ стан-ції	№ точки	Відліки по рейках, мм			Перевищення, мм		Середнє перевищення, мм	
		задній	передній	проміжний	+	–	+	–
1	0	1984			975			
		6767					974	
					972			
	1		1009					
			5795					
2	1	1438						
		6226				537		
								535
	+84			2534		533		
	2		1975					
			6759					
3	1	1947						
		6736						
					1028			
							1029	
	2		0919		1030			
			5706					
Контроль: $\sum a_{\text{чор}} = 5369$ мм; $\sum b_{\text{чор}} = 3903$ мм; $\sum a_{\text{чер}} = 19729$ мм; $\sum b_{\text{чер}} = 14357$ мм; $\sum a_{\text{чор}} - \sum a_{\text{чер}} = -14360$ мм; $\sum b_{\text{чор}} - \sum b_{\text{чер}} = -14357$ мм; $\sum a_{\text{чор}} - \sum b_{\text{чор}} = +1466$ мм; $\sum a_{\text{чер}} - \sum b_{\text{чер}} = +1469$ мм							+2003	-535
							$\sum h_c = +1468$	

Під час роботи з односторонніми нівелірними рейками для контролю відліків по рейках змінюють горизонт приладу. У цьому випадку перевищення на станції отримують двічі.

Перед повторним визначенням перевищення міняють висоту нівеліра не менше ніж на 10 см.

Для отримання відліків по рейках, що не мають круглого рівня, їх необхідно під час відліку покачувати у площині візування симетрично відносно вертикального положення. Найменший відлік відповідає перпендикулярному положенню рейки до лінії візування. За відліку менше 1000 мм рейку не покачують.

Технічне нівелювання способом вперед нівеліром Н-3

При нівелюванні вперед нівелір установлюють над точкою А, а рейку над точкою В (рис. 10.13).

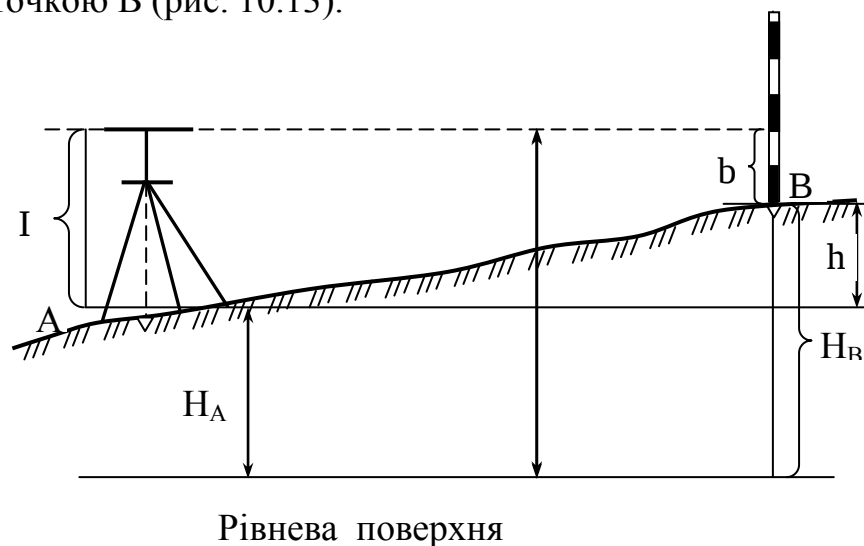


Рисунок 10.13 – Геометричне нівелювання способом вперед

Окуляр нівеліра має проєктуватися на точку А. Вимірявши висоту приладу І за допомогою нівелірної рейки або рулетки, візують зорову трубу на рейку. Елеваційним гвинтом суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня І, беруть відлік на рейці b.

Обчислюють перевищення між точками, мм,

$$h = I - b. \quad (10.17)$$

За відомою висотою точки А обчислюють висоту точки В, м,

$$H_B = H_A + h. \quad (10.18)$$

Висоту точки В можна також обчислити через горизонт приладу, м,

$$\Gamma\Pi = H_A + I; \quad (10.19)$$

$$H_B = \Gamma\Pi - b. \quad (10.20)$$

Складне або послідовне нівелювання. Під час визначення перевищень між точками на великих відстанях або великих перевищень на крутих схилах місцевості застосовують складне або послідовне нівелювання (рис. 10.14)

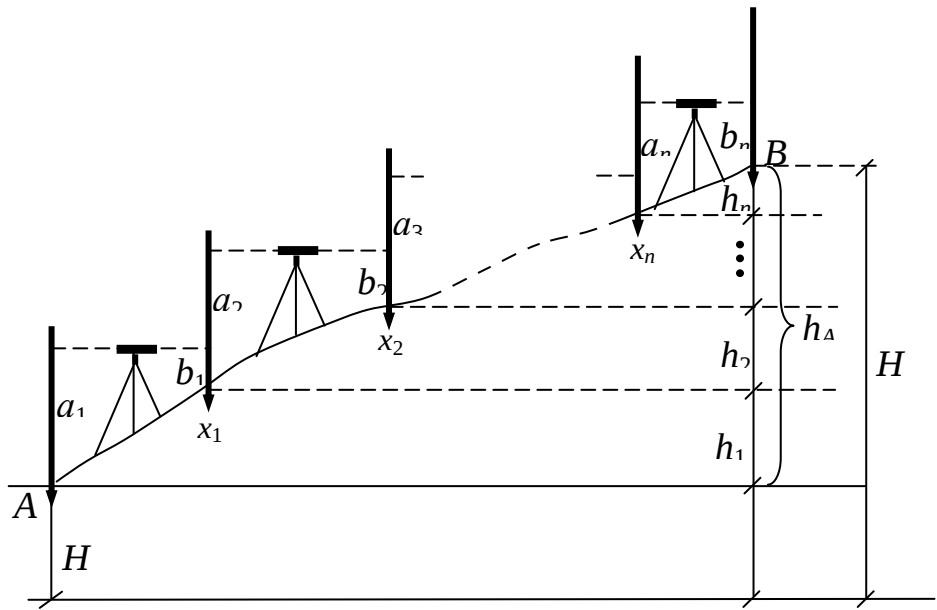


Рисунок 10.14 – Послідовне нівелювання

Між кінцевими точками A і B тимчасово закріплюють так звані «іксові» точки $x_1, x_2, \dots, x_n$ за допомогою дерев'яних кілків, башмаків та ін. Виконують нівелювання із середини між всіма суміжними точками і отримують відліки $a_1, b_1; a_2, b_2; \dots; a_n, b_n$. Перевищення між суміжними точками визначають за формулою

$$h_i = a_i - b_i \quad (10.21)$$

Загальне перевищення між точками $h_{A,B}$ обчислюють за формулою

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n h_i. \quad (10.22)$$

Отримане перевищення h_{AB} контролюють за формулою

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i.$$

Порядок роботи на станції геометричного нівелювання

Визначення перевищення на станції геометричного технічного нівелювання виконують в такій послідовності:

1. Нівелір встановлюють по середині між точками А і В (рис. 10.14). Приводять нівелір у робоче положення по круглому рівню за допомогою підйомних гвинтів.

2. Візують на задню рейку в точці А. Обертанням еліваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік по чорній стороні рейки 0530 (1).

3. Візують на передню рейку в точці В і так само беруть відлік по чорній стороні рейки 2150(2).

4. Повертають передню рейку червоною стороною і беруть відлік 6928 (3).

5. Візують на задню рейку в точці А і беруть відлік по червоній стороні 5310 (4).

6. Візують на проміжні точки (+20) і беруть відлік С тільки по чорній стороні рейки 1947(5).

Усі відліки записують в журнал (таблиця 10.3).

Таблиця 10.3 – Журнал технічного нівелювання

Дата: 14.04.2024 р. Погода: хмарно. Виконавець Гуменчук К. О.

№ станції	№ пікетів плюсових	Відліки по рейці (мм)			Перевищення (мм)		Горизонт приладу Н _{ГП} (см)	Позначки, Н (м)
		задній З	Проміж- ний	Передній П	h = З - П	Середнє		
	ПК1	530(1)					240,545 (10)	240,015
1		5310(4)			-1620(6)	-1619(8)		
	ПК2			2150(2)	-1618(7)			238,396 (9)
				6928(3)				
	+20		1947(5)					109,311 (11)

(1), ..., (11) – порядок взяття відліків та обчислень.

Далі обчислюють перевищення

- за чорними відліками (6)

$$h_{\text{ч}} = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}};$$

$$h_{\text{ч}} = 0530 - 2150 = -1620 \text{ мм};$$

- за червоними відліками (7)

$$h_{\text{чер}} = a_{\text{чер}} - b_{\text{чер}};$$

$$h_{\text{чер}} = 5310 - 6928 = -1618 \text{ мм}.$$

Якщо $h_{\text{ч}} - h_{\text{чер}} \leq |5|$ мм; $(-1620 + 1618) = -2 < |5|$ мм, то вимірювання виконано правильно. В іншому разі вимірювання повторюють, а попередні закреслюються.

Обчислюють:

- середнє перевищення (8)

$$\bar{h} = (h_{\text{ч}} - h_{\text{чер}}) / 2;$$

$$\frac{1}{2} (+1620 - 1618) = -1619 \text{ мм};$$

- позначку висоти точки В (9)

$$H_{\text{В}} = H_{\text{А}} + \bar{h} = 240,015 - 1,619 = 238,396 \text{ м};$$

- позначку висоти горизонту приладу (10)

$$H_{\text{ГП}} = H_{\text{А}} + a_{\text{ч}} = 240,015 + 0,530 = 240,545 \text{ м};$$

- позначку висоти проміжної точки (11)

$$H_{+20} = H_{\text{ГП}} - C ,$$

$$H_{+20} = 240,545 - 1,947 = 238,058 \text{ м}.$$

У випадку використання електронних нівелірів за заданою програмою автоматично виконується збір, зберігання та обробка результатів вимірів.

За методикою та точністю розрізняють нівелювання I, II, III, IV класу та технічне нівелювання.

Їх точність характеризується середньою квадратичною похибкою m_h визначення перевищення на 1 км подвійного ходу та допустимою нев'язкою по ходу f_{hq} :

I кл – виконується з можливою найвищою точністю;

II кл – $m_h \leq \pm 5$ мм на 1 км; $f_{hq} = \pm 5\sqrt{L \text{ км}}$, мм;

III кл – $m_h \leq \pm 10$ мм на 1 км; $f_{hq} = \pm 10\sqrt{L \text{ км}}$, мм;

IV кл – $m_h \leq \pm 20$ мм на 1 км; $f_{hq} = \pm 20\sqrt{L \text{ км}}$, мм,

Технічне нівелювання – $m_h \leq \pm 50 \sqrt{L} \text{ км}$, мм.
де $L_{\text{км}}$ – довжина ходу або полігону в кілометрах.

10.8 Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання – це метод визначення різниці висот точок земної поверхні за результатами вимірювання кута нахилу (v) лінії візування з однієї точки на іншу та горизонтальної відстані (d) між цими точками (рис. 10.15).

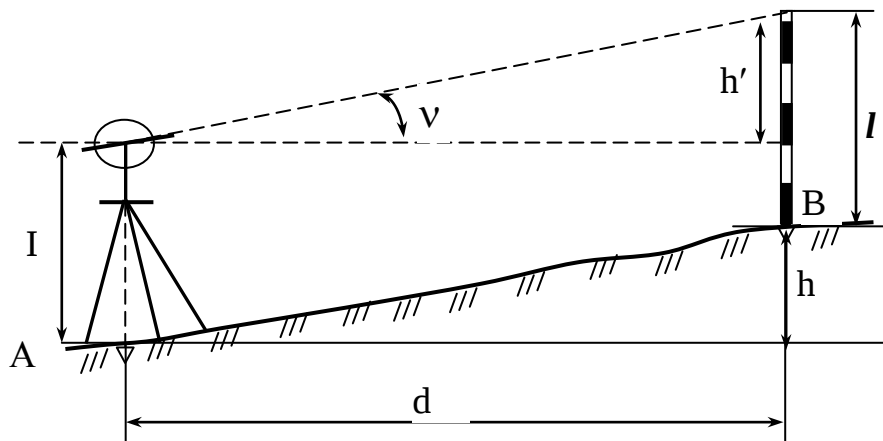


Рисунок 10.15 – Суть тригонометричного нівелювання

За відомими величинами довжини рейки (l) та вимірюваної величини висоти приладу обчислюють перевищення між точками за повною формулою тригонометричного нівелювання

$$h = d \operatorname{tg} v + I - l. \quad (10.23)$$

Якщо візувати на мітку, що прикріплена до рейки на висоті приладу ($I=l$), то перевищення визначають за скороченою формулою тригонометричного нівелювання

$$h = d \operatorname{tg} v. \quad (10.24)$$

У випадку, коли відстань між точками вимірюють нитковим віддалеміром, перевищення між точками обчислюють відповідно за формулами

$$h = 0,5(k n + c) \cdot \sin 2v + I - l, \quad (10.25)$$

$$h = 0,25(k n + c) \cdot \sin 2v, \quad (10.26)$$

де k – коефіцієнт ниткового віддалеміра;

n – відлік по рейці;

c – стала віддалеміра.

Визначення перевищень між точками тригонометричним нівелюванням виконують теодолітами Т30, Т15, Т5; кіпрегелями КА-2, КН та електронними тахеометрами ЗТА5, серій PowerSET, ELTA, Geodimeter та іншими.

10.9 Гідростатичне нівелювання

Якщо маємо дві посудини, з'єднані гнучким шлангом, то у разі заповнених рідиною посудин рівень рідини буде займати рівневу (горизонтальну) площину (рис. 10.16).

За рис. 10.16, *а* маємо відліки по шкалах приладу

$$a = l_1 - C_1, \quad (10.27)$$

$$b = l_2 - C_2. \quad (10.28)$$

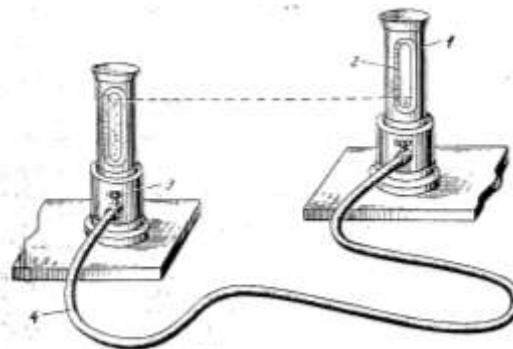
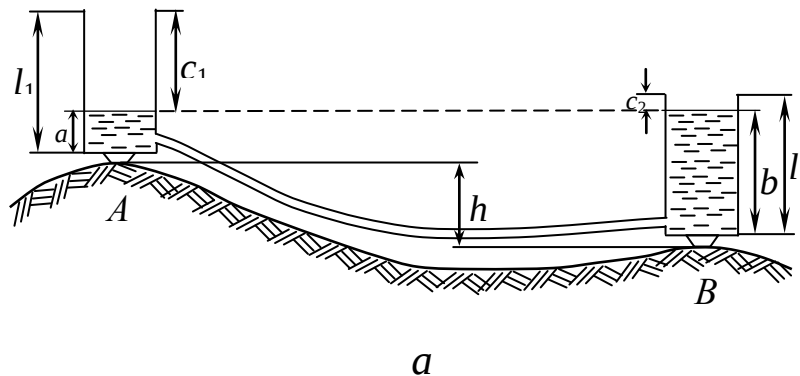


Рисунок 10.16 – Гідростатичне нівелювання:

а – геометрична схема; *б* – гідростатичний нівелір; 1 – стакан (посудина);

2 – шкала відліку; 3 – кран; 4 – шланг

Перевищення точки *А* над точкою *В* обчислюється за формулою

$$h = a - b; \quad (10.29)$$

$$h = (l_1 - C_1) - (l_2 - C_2),$$

або

$$h = (l_1 - l_2) - (C_1 - C_2). \quad (10.30)$$

Різницю висот стаканів позначимо через величину

$$K = l_1 - l_2.$$

Тоді

$$h = K - C_1 + C_2. \quad (10.31)$$

Відліки C можуть браться на око візуально або автоматично за допомогою фотодатчиків, які фіксують під час опускання стержнів момент їх дотику до поверхні рідини.

Для вимірювання вертикальних деформацій (осідань) будівельних конструкцій і технологічного устаткування в недоступних місцях використовують гідростатичні системи різних конструкцій і точності.

Такі системи автоматизовані. З пульта управління можна за запитом отримати за допомогою фотодатчиків відліки по всіх точках спостережень.

Точність гідростатичного нівелювання залежить від призначення та конструкції приладу і може становити від десятих до сотень часток міліметра.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Види нівелювання.
2. Види нівелірів і їх метрологічні характеристики.
3. З яких основних частин складається нівелір Н-3?
4. Особливості конструкції нівелірів з компенсаторами.
5. Типи, основні частини і метрологічні характеристики нівелірних рейок.
6. Склад і послідовність операцій під час підготовки нівеліра до роботи.
7. Основні умови роботи, які мають виконуватися для нівелірів з циліндричним рівнем і нівелірів з компенсаторами.
8. Правила роботи з нівелірами Н-3 і Н-3К.
9. Порядок роботи на станції під час визначення перевищень способами із середини і вперед.
10. Охарактеризуйте конструкції нівелірів Н-3 та Н-3К.
11. Виконайте перевірки і юстирування нівелірів Н-3 та Н-3К.
12. Визначте перевищення способами із середини і вперед.
13. Суть тригонометричного нівелювання.
14. Наведіть повну й скорочену формули тригонометричного нівелювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2393-94. Геодезія. Терміни та визначення. Київ, 1994. Чинний від 01.01.1995. 64 с.
2. ДБН В.1.3-2:2010 Геодезичні роботи у будівництві. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Київ, 2018 Чинний від 21. 01.2010. 66 с.
3. Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність»: від 23.12.1998 р. № 353-XIV // Верховна Рада України : вебсайт. URI: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
4. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» : від 05.06.2014 р. № 1314-VII // Верховна Рада України : вебсайт. URI: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>
5. ДСТУ OIML D 20:2008 Метрологія. Первинна та періодична повірка засобів вимірювальної техніки і контроль процесів вимірювання (OIML D 20:1988, IDT) . Київ, 2008. Чинний від 01.01.2010. 36 с.
6. ДСТУ 9102:2021 Метрологія. Тахеометри. Методика повірки. Київ, 2021. Чинний від 01.01.2022. 30 с.
7. ДСТУ 3741-98 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань довжини. Київ, 2015. Чинний від 01.01.2016. 83 с.
8. ДСТУ 8955:2019 Метрологія. Теодоліти й тахеометри. Метрологічні та технічні вимоги. Київ, 2019 . Чинний від 30.03.2020. 40 с.
9. ДСТУ 9099:2021 Метрологія. Теодоліти. Методика повірки. Київ, 2021. Чинний від 01.01.2022. 65 с.
10. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. Київ, 2007. Чинний від 01.07.2007. 52 с.
11. ДСТУ 8926:2019 Метрологія. Нівеліри та прилади вертикального проектування оптико-механічні, цифрові, лазерні й рейки

нівелірні. Метрологічні та технічні вимоги. Київ, 2019. Чинний від 30.03.2020. 52 с.

12. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Геодезичні роботи в будівництві : навчальний посібник. Вінниця, 2008. 181 с.

13. Ратушняк Г. С. Інженерна геодезія : навчальний посібник. Київ, 1992. 262 с.

14. Ратушняк Г. С. Топографія з основами картографії : навчальний посібник. Київ, 2003. 208 с.

15. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Вовк Т. Ю. Розв'язування задач з оцінки точності вимірювання і призначення допусків : методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів напряму підготовки «Будівництво». Вінниця, 2010. 28 с.

16. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Вовк Т. Ю. Визначення координат точок знімального обґрунтування та побудова плану будівельного майданчика» : методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів напряму підготовки «Будівництво». Вінниця, 2012. 26 с.

17. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д. Будова нівеліра, його перевірки та визначення переміщень : методичні вказівки до виконання, лабораторних робіт з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів напряму підготовки «Будівництво». Вінниця, 2008. 22 с.

*Навчальне електронне видання
комбінованого використання.
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Георгій Сергійович Ратушняк
Ольга Дмитрівна Панкевич**

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Навчальний посібник

Рукопис оформила *О. Панкевич*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовила *Т. Старічек*

Підписано до видання 16.09.2024 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № P2024-147.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: irvc.ed.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009.