

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

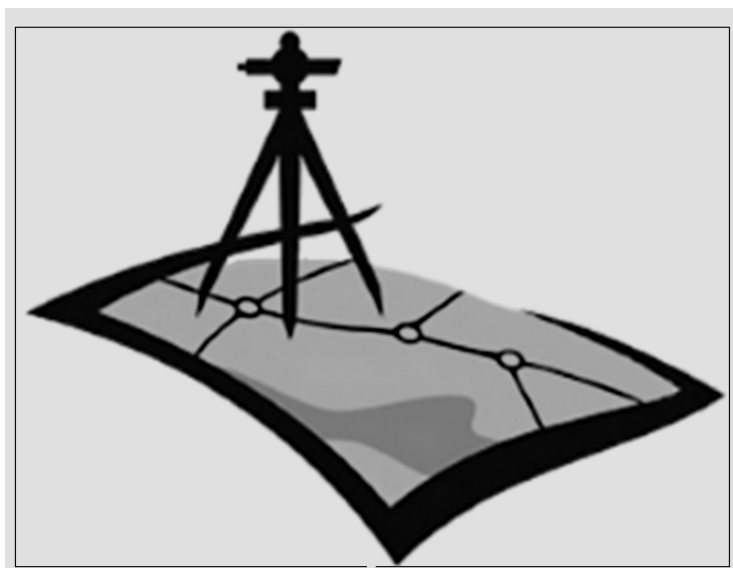
В. О. Пеньков

ГЕОДЕЗІЯ

Модуль 1 Геодезичні вимірювання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*



Харків

ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

2022

Пеньков В. О. Геодезія. Модуль 1. Геодезичні вимірювання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / В. О. Пеньков ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 117 с.

Укладач

канд. техн. наук, доц. В. О. Пеньков

Рецензент

В. Д. Шипулін, кандидат технічних наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 29.08.2019.

© В. О. Пеньков, 2022

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Змістовий модуль 1 Принципи геометризації та координатизації простору.....	7
1 Вступ до геодезії.....	7
1.1 Об'єкт, предмет і методи пізнання геодезії.....	7
1.2 Моделі Землі і системи відліку.....	13
1.3 Визначення положення точок на земній поверхні.....	16
1.4 Абсолютні та відносні висоти точок.....	23
2 Графічні моделі земної поверхні.....	26
2.1 Принципи графічного моделювання земної поверхні.....	26
2.2 Проекція Гаусса-Крюгера.....	31
2.3 Система плоских прямокутних координат.....	32
2.4 Розграфлення і номенклатура планів і карт.....	36
Змістовий модуль 2 Основи топографічного моделювання.....	43
3 Топографічні моделі.....	43
3.1 Основні принципи створення моделей місцевості.....	43
3.2 Образно-знакові моделі земної поверхні.....	45
3.3 Орієнтування ліній.....	49
3.4 Умовні знаки на топографічних картах і планах.....	53
4 Побудова і використання моделей рельєфу.....	57
4.1 Рельєф.....	57
4.2 Способи зображення рельєфу на планах та картах.....	61
4.3 Зображення рельєфу на планах та картах горизонталями.....	67
Змістовий модуль 3 Засоби і методи геодезичних вимірювань.....	76
5 Засоби і методи кутових вимірювань.....	76
5.1 Принцип кутових вимірювань у геодезії.....	76
5.2 Засоби кутових вимірювань.....	78
5.3 Методи кутових вимірювань.....	85
5.4 Перевірка теодолітів.....	88
6 Вимірювання перевищень.....	92
6.1 Принцип та види нівелювання.....	92
6.2 Геометричне нівелювання.....	93
6.3 Нівеліри.....	95
6.4 Перевірка нівелірів і рейок.....	100
6.5 Тригонометричне нівелювання.....	104
6.6 Гідростатичне нівелювання.....	105

7 Засоби і методи лінійних вимірювань.....	107
7.1 Принципи лінійних вимірювань в геодезії.....	107
7.2 Непрямі методи лінійних вимірювань.....	109
7.3 Електронні засоби вимірювання відстаней.....	113
Список рекомендованих джерел.....	116

ВСТУП

Докорінні економічні перетворення в Україні привели до земельної реформи та стрімкого розвитку інформаційних технологій, що зумовило запровадження нових підходів у галузі геодезії та землеустрою. Перехід з доведення Державного земельного кадастру, як єдиної державної геоінформаційної системи відомостей про землі, розташовані в межах державного кордону України, їх цільове призначення та обмеження у використанні потребує підвищення якості та актуальності відповідної інформації.

Основним джерелом збору та актуалізації даних є проведення земельно-кадастрових робіт з масовим використанням сучасних геодезичних засобів і методів. *Кінцевим продуктом* у геодезичній сфері діяльності є топографічні (*інформаційні*) моделі місцевості – плани, карти, ЦММ та ін., які дають надзвичайно широку й важливу *інформацію*, необхідну для розв’язання практичних і наукових задач у різних сферах діяльності. Тому фахівці за спеціальністю 193 повинні на належному рівні розуміти принципи та вміти створювати і використовувати топографічні моделі місцевості відповідного рівня складності.

Метою нормативної навчальної дисципліни «Геодезія» для студентів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій на першому курсі є формування знань про теоретичні основи геодезії та отримання практичних навичок у вирішенні геодезичних завдань *технічної* точності.

Конспект лекцій дозволяє у процесі викладання дисципліни вирішити основні завдання, а саме: вивчення основних понять і уявлень геодезії (топографії); засобів і методів геодезичних вимірювань технічної точності; принципів створення і використання топографічних планів і карт.

Структура дисципліни «Геодезія», яку вивчають студенти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій на першому курсі складається з двох взаємопов’язаних частин (модулів).

У першому семестрі вивчається модуль «Геодезичні вимірювання», у другому модуль – «Топографічні знімання».

Елементи геодезії і топографії вивчаються в двох аспектах.

У *першому* семестрі, закладені в школі на рівні користувачів географічні уявлення про форму і розміри Землі та топографічні моделі, після вивчення основ геодезії, розвиваються до більш високого рівня професійно-орієнтованих користувачів. При цьому більш детально, відповідно до професійного спрямування, розглядаються загальні підходи та принципи картографування територій у дрібних масштабах – моделювання Землі і топографічних поверхонь. Розглядаються принципи використання вже створених моделей та можливості їхнього практичного використання у різних галузях без пояснень, яким чином ці моделі створені.

Цей конспект відповідає змісту *першого* модулю. У цьому модулі розглядаються основні поняття геодезії на необхідному і достатньому рівні та засоби і методи вирішення геодезичних задач технічного рівня точності, принципи створення і використання топографічних планів і карт.

Навчальна дисципліна «геодезія» за змістом і науковим рівнем значно відрізняється від науки «геодезія», як шкільна математика відрізняється від університетської, але при цьому залишається необхідним знання *основ* науки, загальних для всіх її рівнів.

Для спеціальності 193 вони вивчаються послідовно протягом всього терміну навчання з необхідним рівнем деталізації та теоретичного обґрунтування, тому в цьому конспекті відомості про них наводяться в основному тільки на рівні, необхідному і достатньому для розуміння єдності *геодезичних дисциплін* та цілісності науки.

Основи геодезії, без вивчення яких не можливе сприйняття і розуміння цілісності геодезії, її принципів, розглядаються у першому семестрі на необхідному і достатньому рівні, який обмежується тільки володінням знаннями з вищої математики.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ПРИНЦИПИ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ ТА КООРДИНАТИЗАЦІЇ ПРОСТОРУ

ТЕМА 1 ВСТУП ДО ГЕОДЕЗІЇ

План

- 1.1 Об'єкт, предмет і методи пізнання геодезії.*
- 1.2 Моделі Землі і системи відліку.*
- 1.3 Визначення положення точок на поверхні Землі.*
- 1.4 Абсолютні та відносні висоти точок.*

1.1 Об'єкт, предмет і методи пізнання геодезії

Геодезія як наука про Землю виникла із потреб практичної діяльності людства.

Класичне визначення науки: геодезія з грецьк. гео – Земля, дезіо – ділити, розділяти, тобто *землерозділення*. З часом термін «геодезія» втратив свою первісну суть.

Визначення ХХ сторіччя: геодезія – це наука про визначення фігури Землі, її гравітаційного поля, про вимірювання на земній поверхні для зображення її на планах і картах, а також для проведення різних інженерних і народно-господарських заходів.

Сучасне системне визначення геодезії – це наука про вивчення локальних властивостей земного планетного простору макротіл (форми, розмірів, місцеположення) та просторових відношень. Геодезія – наука, що вивчає засоби і методи збору, обробки, зберігання та подання *інформації* про Землю і земну поверхню для створення топографічних моделей різноманітного призначення у вигляді планів, карт, тривимірних зображень тощо.

Таким чином, геодезія значною мірою належить до *інформаційних* наук.

Розуміння, уявлення, а також дослідження геодезії, як і будь-який науки, спирається на фундаментальну методологічну тріаду: *об'єкт, предмет і метод*.

Під об'єктом пізнання науки розуміють матеріальні речі, відношення і властивості.

Усвідомлення земного планетного простору неоднакове у представників різних наук – геології, геофізики, геохімії, географії та ін.

Сучасні уявлення про простір та час дозволяють внести ясність у визначення *об'єкта пізнання* геодезії – *це реальний фізичний простір нашої планети. Навколишній простір є об'єктом* вимірів, визначень, моделювання у геодезії.

Під предметом пізнання науки розуміють відображення речей, відношень і властивостей у процесі пізнання, тобто аспект об'єкта, який розглядається цією наукою.

Предметом пізнання геодезії є з урахуванням *геометричної* концепції, є форма, розмір, просторове положення, зване геодезичною метрикою та просторові відношення, тобто геометрія простору (його метрична структура). Вивчення цих локальних властивостей простору – це специфіка геодезії *і тільки геодезії!* Сучасні інформаційні технології дають змогу розширити предмет пізнання геодезії.

Геодезія – цілісна наука, система геодезичних дисциплін. Задачі геодезії підрозділяються на наукові і науково-практичні.

Основна наукова задача – визначення фігури і розмірів Землі і її гравітаційного поля. Крім того, геодезія відіграє значну роль у вирішенні низки інших наукових завдань, пов'язаних із вивченням Землі:

- дослідження структури і внутрішньої будови Землі;
- дослідження вертикальних і горизонтальних деформацій земної кори;
- дослідження переміщень берегових ліній морів і океанів;
- визначення різниць висот рівнів морів (океанів) тощо.

Ці завдання розв'язуються спільно з науковими дослідженнями з астрономії, геології, геофізики, геоморфології та іншим наукам про Землю.

Метод геодезії полягає у відображенні метричної структури простору в інформаційні моделі, абстрактні системи. Це предметна суть геодезії відповідає розумінню *класичної геометрії*, як науки про просторові відносини і форми.

Таке розуміння і визначення геодезії, об'єктом вивчення якої є геоінформаційний простір, відповідає *сучасному* розумінню наукових і технологічних проблем геодезії.

Науково-практичні завдання геодезії

До науково-практичних задач геодезії відносяться:

- визначення положення окремих точок земної поверхні в заданій системі координат;
- складання карт і планів ділянок місцевості різного призначення;
- виконання вимірювань на земній поверхні і під землею, необхідних для проектування, будівництва і експлуатації різних споруд;
- забезпечення геодезичними даними потреб оборони країни.

Сучасна геодезія становить собою *багатогранну науку*, яка вирішує складні наукові, науково-технічні і інженерні задачі через геодезичні виміри та їх інтерпретацію. Ускладнення і розвиток геодезії привели її до поділу на окремі наукові дисципліни за визначеними групами об'єктів вивчення, або окремою методологією пізнання земного простору.

Вища геодезія має об'єктом вивчення планету Земля. Основними задачами є вивчення фігури, розмірів Землі, її гравітаційного поля, а також визначення координат окремих точок земної поверхні.

Топографія має об'єктом вивчення фізичну поверхню Землі детально, частинами, вивчає в *геометричному* відношенні. Ця наукова дисципліна займається розробкою і впровадженням способів зйомки земної поверхні в єдиній системі координат для створення карт і планів.

Таким чином, геодезія вивчає *рівневу*, (теоретичну) поверхню Землі загалом, а топографія – її *реальну фізичну* поверхню, але частинами, оскільки, не знаючи цілого, не можна отримати достовірне уявлення про його частини, і навпаки. Отже, *остаточна* мета обох наук співпадає.

Топографія є одночасно частиною *і геодезії, і картографії*.

Картографія вивчає питання картографічного зображення земної поверхні, а також розробляє методи створення карт і їх використання.

Як основа в картографії використовуються результати геодезичних вимірювань, координати пунктів геодезичних мереж, результати топографічних знімів.

Фототопографія вивчає способи визначення форми, розмірів і положення об'єктів в просторі по їх фотографічних зображеннях.

Космічна геодезія має об'єктом вивчення супутникові вимірювання. Вивчає геометричні співвідношення між точками земної поверхні за допомогою штучних супутників Землі.

Інженерна геодезія має об'єктом вивчення інженерні споруди – дисципліна, що займається вивченням питань використання геодезії у інженерній справі.

Зв'язок геодезії з іншими науковими дисциплінами

Великий вплив на розвиток геодезії мають математика, астрономія, фізика. Математика озброює геодезію засобами аналізу і методами обробки результатів вимірювань. Астрономія забезпечує необхідні в геодезії початкові дані. На основі фізики розраховують оптичні прилади і інструменти.

У сучасному геодезичному приладобудуванні використовуються і інші науки, як, наприклад, механіка, автоматика, електроніка. Тісний зв'язок геодезія має також з географією, геологією, особливо з геоморфологією.

Знання географії забезпечує правильне трактування елементів ландшафту, який складають: рельєф, природний покрив земної поверхні (рослинність, ґрунти, моря, річки тощо) і результати діяльності людини (населені пункти, дороги, засобу зв'язку, підприємства тощо).

Форми рельєфу і закономірності їх зміни пізнаються за допомогою геології і геоморфології. Застосування фотознімків в геодезії вимагає знання фотографії. Для графічного оформлення планів і карт необхідне вивчення прийомів топографічного креслення. Зі свого боку, геодезичні дані є необхідною *інформаційною основою* у багатьох сферах науки і виробництва.

На сучасному етапі в геодезії широко застосовують цифрове і електронне картографування, дистанційне зондування Землі аерокосмічними засобами з використанням глобальних навігаційних систем визначення положення,

принципи геоінформатики і геоінформаційних комп'ютерних систем. У зв'язку з цим велике значення для геодезії мають інформатика, автоматика, електроніка.

Інформаційний аспект геодезії

Вся історія розвитку геодезії є історією розвитку геодезичних *інформаційних технологій*: астрономогеодезії; фотограмметрії; прикладної геодезії; космічної геодезії; геоінформаційних.

Перші три види інформаційних технологій почали формуватися в двадцяті роки минулого століття.

XX століття відкрило нову епоху в історії геодезії і не тільки в плані нової якості геодезії взагалі, а й нового структурного поділу як *загального простору*, так і самої геодезії. Основними вимірювальними величинами були кут і відстань (метрика лінійних просторів), основною фігурою в геодезичних побудовах – трикутник.

Основною продукцією вимірювань були топографічні карти і плани, каталоги і системи координат. Основним методом координатизації простору стала побудова державних геодезичних мереж – тріангуляції.

Інформаційні технології космічної геодезії виникли в середині шістдесятих років минулого століття. Наймолодшим видом геодезичних інформаційних технологій є *геоінформаційні*.

У широкому сенсі під *геоінформаційними* технологіями розуміють технології, пов'язані з обробкою будь-просторової інформації з використанням автоматизованих інформаційних систем.

Початок XXI ст. позначився переходом людської цивілізації на новий етап розвитку – *в інформаційну епоху*.

Цей перехід означає, що головним, визначальним фактором розвитку суспільства в частині економіки і соціальної сфери стала *інформаційна діяльність*. Інформаційна складового сучасного суспільства є основою розвитку. *Інформаційна діяльність* полягає в отриманні, перетворенні і використанні *інформаційних ресурсів* у всіх сферах життєдіяльності людини, а

самі інформаційні ресурси покликані відображати всі аспекти життя суспільства.

В галузі геодезії і картографії відбулися якісні зміни її *інформаційної* інфраструктури:

- рішення теоретичних і практичних геодезичних і картографічних завдань здійснювалося переважно з використанням комп'ютерних технологій;
- істотно розширилося використання електронних форм зберігання і поширення картографо-геодезичних знань (методів, способів, алгоритмів у формі програм, електронних текстів і таблиць, цифрових моделей.

У цьому різноманітті інформації та інформаційних процесів найважливіша роль належить *просторово-координованій інформації*, що відображає оточуючий нас світ, та *інформаційним* процесам з її отримання й використання методами *геодезії, топографії, картографії, дистанційного зондування та геоінформатики*. Цей блок *інформаційної* діяльності є невід'ємною частиною практично всіх видів людської діяльності.

Здобуття Україною незалежності співпало у часі з докорінними науковими перетвореннями у геодезії. Сьогодні розвиток геодезії і картографії в Україні має не тільки економічну цінність, але і несе важливий внесок у зміцнення обороноздатності країни і збереження її територіальної цілісності.

Ще більш важливе значення має державне забезпечення інформаційної узгодженості геопросторових ресурсів та інтеграції *геодезичного* інформаційного забезпечення, зумовлене переходом людства до епохи *інформаційного* суспільства. У світовому співтоваристві вирішенню цього завдання приділяється особлива увага.

1.2 Моделі Землі і системи відліку

Основи моделювання Землі

При вивченні географії у школі розглядаються різні моделі Землі на рівні *загальних* уявлень з можливостями деяких практичних застосувань. Вся інформація подається аксіоматично, без з'ясування способів утворення і принципів використання моделей Землі систем координат при виконанні реальних робіт на фізичній поверхні Землі.

Під *фізичною поверхнею* Землі розуміють поверхню суші і незбурену поверхню всіх зовнішніх морів і океанів. Вона має дуже складну форму, яку неможливо описати простими математичними залежностями.

Поняття *фігури Землі* може трактуватися по-різному залежно від того, які вимоги висуваються до *точності* вирішення тих чи інших завдань.

Моделювання є одним з основних методів наукового пізнання в геодезії. Сутність *геодезичного моделювання* полягає у побудові *моделей* Землі, об'єктів земного простору та їх вивчення.

Моделями об'єкта пізнання геодезії є: модель *фігури Землі* – *математично* визначена поверхня з відповідними параметрами, моделі *земної поверхні* – топографічні карти, цифрові моделі місцевості та ін.

Саме *геодезія*, відображає просторові властивості та відношення об'єктів у *первинних моделях земного простору*, які потім використовуються іншими науками для створення *вторинних моделей*.

Поділяючи компетенції вищої і власне *геодезії* та *топографії* далі приймається, що кінцевий продукт *геодезії* – *геодезичні*, математичні моделі Землі і великих територій.

Для *топографії* кінцевий продукт – детальні *топографічні* моделі ділянок місцевості з урахуванням або без урахування геодезичної моделі на даній території. Хоча всі означені моделі відносяться до *галузі геодезії*, вони дуже відрізняються, як за призначенням, так і за технологією створення і використання.

Отже у конспекті окремо розглядаються тільки *принципи* створення і

використання *геодезичних* моделей.

Питання, пов'язані з дослідженнями та моделюванням форми Землі, визначенням, дослідженням та використанням різних систем координат однозначно відносяться до компетенції *вищої* геодезії та наближених до неї наук. Їхнє вивчення на професійному рівні потребує відповідної математичної та спеціальної фахової підготовки.

Традиційно на першому курсі при розгляді цих питань для забезпечення уявлення про цілісність науки обмежуються *ознайомчим* рівнем, *достатнім* для розуміння основних понять геодезії та *міждисциплінарних* зв'язків.

Оскільки передбачено тільки вивчення геодезичних робіт технічної точності та топографічних робіт, коли не враховується кривизна Землі, достатньо висвітлення на необхідному рівні прийнятої для таких умов форми Землі – сфера та системи координат Гаусса-Крюгера.

Уявлення про фігуру Землі

Фігура Землі характеризує узагальнену *геометрію* планети (її геометричну модель), тому визначення узагальненої форми і розмірів Землі є одним з основних завдань *геодезичної* науки.

При вивченні *фігури* Землі спочатку визначають форму і розміри деякої відносно простої *моделі* Землі, добре вивченої в *геометричному* відношенні, зручної для вирішення на ній більшості геодезичних та картографічних задач і яка найповніше характеризує в *першому наближенні* форму та розміри *реальної* Землі. Приймавши поверхню цієї *моделі* за відлікову, визначають відносно неї висоти точок *реальної* Землі.

Поверхня, яка відповідає прийнятій *моделі*, називається *поверхнею відносності*. Модель поверхні Землі, на 71 %, укритої водами Світового океану, в *першому* наближенні розглядають *кулею*, утвореною поверхнею цього океану. У моделі *сферичної* (кулястої) Землі використовується *геометрія сфери* постійного радіуса R , теорія якої порівняно проста і дуже добре розроблена.

Реальна поверхня Землі – це поверхня материків, дна морів і океанів. Вона складна і нагадує *сфероїд* лише загалом.

Для вивчення фігури Землі було введено поняття *рівневої поверхні*, яка співпадає з середньою поверхнею морів та океанів, в спокійному стані і називається *основною рівневою поверхнею*. Фігура Землі, утворена *основною рівневою поверхнею*, умовно продовженою під всіма материками і континентами, називається *геоїдом* (землеподібним).

Геоїд – складна, замкнута фігура. Основна його особливість: *прямовисна лінія* в будь-якій точці фізичної (реальної) поверхні Землі *перпендикулярна* до поверхні геоїда. Як неправильна в математичному відношенні фігура, *геоїд* не може бути описаний математичним рівнянням, що не дозволяє виконувати коректну обробку геодезичних вимірювань, віднесених до його поверхні.

Форма геоїда близька до *сфероїда*, але загалом не співпадає з ним, тому для *суші* прийнята *допоміжна* поверхня, положення якої визначається досить точно. Ця поверхня називається поверхнею *квазігеоїда*, а тіло, обмежене цією поверхнею, називають *квазігеоїдом*.

Таким чином, знаючи форму *геоїда* (*квазігеоїда*), можна підібрати *форму Землі* (загальний земний еліпсоїд – ЗЗЕ), яка визначається простими для використання *математичними залежностями*.

Для ЗЗЕ виконуються умови: центр збігається з центром мас Землі; мала піввісь збігається з віссю обертання Землі; обсяг дорівнює обсягу геоїда (квазігеоїда); сума квадратів відхилень поверхні ЗЗЕ від поверхні геоїда в цілому для всієї Землі повинна бути мінімальною.

Для моделі *всієї Землі* використовують загальний земний еліпсоїд, а для обмеженої території за *поверхню відносності* зручно приймати інший еліпсоїд – (*референц-еліпсоїд*), орієнтування якого в тілі Землі може відрізнитися від орієнтування ЗЗЕ.



Рисунок 1.1 – Поверхні геоїда та еліпсоїда

Для вирішення багатьох геодезичних задач в якості моделі земної поверхні приймають *математичну* поверхню найбільш близького до *геоїда* тіла, – *еліпсоїда обертання* який називають *земним еліпсоїдом*. (рис. 1.2).

Тому науково обґрунтована модель Землі представляється *еліпсоїдом обертання*.

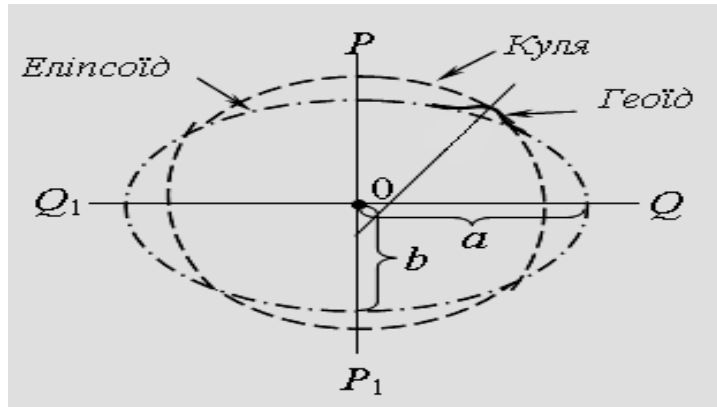


Рисунок 1.2 – Земна куля, земний еліпсоїд, геоїд

На рисунку 1.2 : $OP_1 = b$ мала, та OQ – велика півосі еліпсоїда (*сфероїда*). Вони і визначають загальні розміри Землі.

Стиснення сфероїда визначають за формулою:

$$\alpha = (a - b) / a . \quad (1.1)$$

У СРСР та Україні з 1946 р. при вирішенні геодезичних і картографічних завдань використовують розміри еліпсоїда визначені Ф. М. Красовським:

$$a = 6\,378\,245 \text{ м}; \quad b = 6\,356\,863 \text{ м}; \quad \alpha = 1:298,3.$$

Європейський еліпсоїд GRS-80 має такі розміри:

$$a = 6\,378\,137,000 \text{ м}; \quad b = 6\,356\,752,31414 \text{ м}; \quad \alpha = 1:298,257\,222.$$

1.3 Визначення положення точок на земній поверхні

Системи координат в геодезії

Визначення положення точок (об'єктів) у просторі є однією з основних задач геодезії. Під *визначенням положення* розуміється визначення деяких величин, які однозначно забезпечують опис *положення* точки *відносно* спеціально виділених елементів простору, прийнятих за *початок відліку*.

Всі ділянки складної твердої поверхні Землі проєктують на поверхню земної кулі або земного еліпсоїда і цим забезпечують *впорядкований*

геодезичний опис ситуації і рельєфу.

На *фізичній* поверхні Землі положення точок визначається *координатами* – величинами, які характеризують розміщення точок *відносно* *початкових* площин, ліній і точок, котрі визначають вибрану *систему координат*.

Під *координатами* в загальному значенні розуміють числа, що визначають положення точки на площині, будь-якій поверхні або *в просторі*.

У *геодезії* під координатами розуміють сукупність трьох чисел, що визначають положення точки земної поверхні на деякій *початковій* поверхні.

При цьому в геодезії для моделювання простору і визначення *просторового* положення використовують дві фізичні величини: *кут і відстань*.

Сукупність умов, які визначають положення точки на прямій, площині, кривій поверхні, у просторі, називають *системою координат*. Системи координат, які застосовуються в геодезії, поділяють на *просторові і плоскі*.

Запровадження систем координат в геодезії має за мету *координатизацію простору* – розповсюдження на його частині однієї із систем координат.

При визначенні координат точок земної поверхні в геодезії використовують кілька різних систем координат: астрономічна; геодезична; географічна; прямокутна; полярна зональна система координат в проєкції Гаусса-Крюгера.

Принципи, засоби і методи створення і розвитку систем координат відносяться до компетенції вищої геодезії. Вони на необхідному рівні більш детально розглядаються на старших курсах при вивченні дисциплін «вища геодезія», «супутникова геодезія» «картографія».

Для якісного засвоєння *основ* геодезії і розуміння принципів використання моделей Землі при створенні топографічних моделей великих масштабів достатньо обґрунтованого усвідомлення необхідності врахування кривизни Землі та меж раціонального використання відповідних системи координат і проєкції.

Сферичні координати

Основою астрономічних, геодезичних та географічних координат є геометрія сфери і сферичні координати (вивчається у школі) (рис. 1.3).

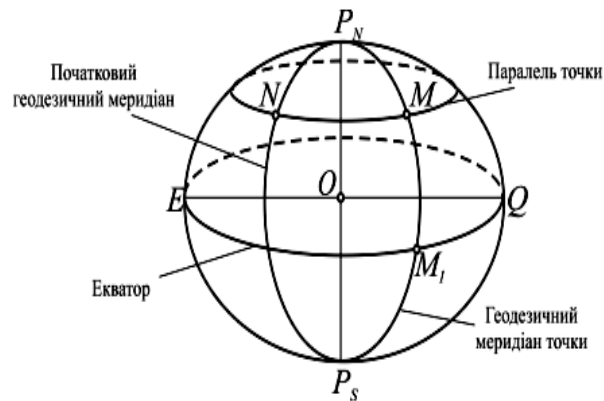


Рисунок 1.3 – Сферичні координати

Координатними *площинами*, відносно яких визначають положення точок на *поверхні сфери* є площина екватора $QCBQ_1$ сфери і площина початкового меридіана PBP_1 (рис. 1.3).

Меридіан – умовна лінія $P N P S$, утворена на поверхні Землі січною площиною, яка проходить через вісь обертання Землі PP .

Паралель – умовна лінія на поверхні Землі, утворена січною площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі.

Екватор – паралель, утворена січною площиною, що проходить через центр Землі.

Початковий меридіан проходить через вісь головного телескопа Гринвіцької астрономічної обсерваторії.

За допомогою меридіанів та паралелей визначають в *кутовій* мірі *сферичні* координати точок земної поверхні: *довготу* λ та *широту* φ .

Геодезична та астрономічна системи координат

Для визначення положення точок земної поверхні в цих системах використовується поверхня *референц-еліпсоїда*. У кожній точці поверхні референц-еліпсоїда існує два основних напрямки: напрямок *нормалі до поверхні* і фактичний *напрямок лінії сили тяжіння*.

Геодезичними називають координати, які визначають з використанням нормалі до поверхні земного еліпсоїда в даній точці простору. Це три компоненти, дві з яких характеризують напрямок нормалі щодо площин екватора і початкового меридіана, а третя є висотою точки над поверхнею земного еліпсоїда.

Астрономічними називають координати, які визначають з використанням лінії напрямку сили тяжіння. Це компоненти напрямку прямовисної лінії в даній точці простору відносно площини, перпендикулярної до осі обертання Землі, і площини початкового астрономічного меридіану.

Астрономічні широту, довготу та азимут) отримують для визначення положення точки на поверхні геоїда за спостереженнями небесних світил (зірок, Сонця і ін.).

Принципова відмінність між геодезичними та астрономічними координатами точок проявляється у неспівпаданні поверхонь геоїда і еліпсоїда. Це неспівпадання виражається ухиленням u в даній точці прямовисної лінії від нормалі до поверхні еліпсоїда (рис. 1.4), яке може досягати декількох секунд дуги. Такі відмінності в системах координат *враховують* при виконанні високоточних геодезичних робіт.

При виконанні *геодезичних робіт невисокої точності та інженерно-геодезичних робіт*, як правило, немає необхідності розрізняти геодезичні і астрономічні координати.

Тому користуються загальнішим поняттям – системою *географічних координат*, в якій широта і довгота позначаються відповідно B , вважаючи, що $B = \varphi$, а $L = \lambda$.

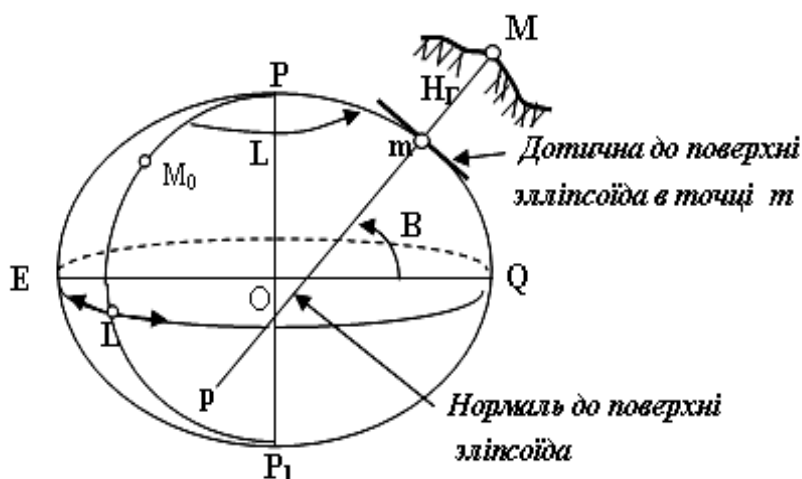


Рисунок 1.4 – Система геодезичних координат

Таким чином, система *географічних* координат є узагальненим поняттям *геодезичних і астрономічних* координат, коли ухилення *прямовисних ліній* не враховують. Єдиною і узагальненою для всіх точок земній поверхні.

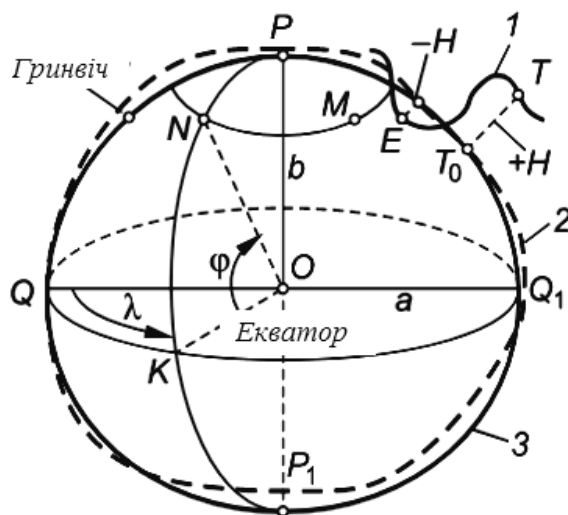


Рисунок 1.5 – Географічні координати; поверхні Землі(1); геоїда (2); еліпсоїда (3)

У ній *рівнева поверхня* приймається за поверхню *сфери*, а за початок відліку координат *початковий* (Гринвіцький) меридіан і площина *екватора*. При цьому вважають, що площині астрономічного і геодезичного меридіанів *збігаються* і проходять точно через *вісь обертання Землі*.

Географічною широтою називають кут φ у площині меридіана точки А, утворений площиною *екватора* і напрямом лінії *сили тяжіння* в даній точці.

Широта змінюється від 0° до 90° на північ і південь *від екватора*. Північним широтам приписують знак «плюс», південним – знак «мінус».

Такого початкового уявлення про системи координат достатньо для при вивченні *основ* геодезії. Ознайомлення з іншими сучасними системами координат, вивчення їхніх теоретичних положень і практичного використання далі відбуватиметься поступово в міру потреби.

Система прямокутних координат

Якщо для складання карти на *велику* територію будують *географічну* сітку меридіанів і паралелей, то для складання планів і карт *невеликих* ділянок земної поверхні в топографії та інженерній геодезії найчастіше користуються системою *прямокутних* координат.

Основними координатними лініями в ній є дві взаємно перпендикулярні лінії з початком в точці їх перетину O : осі абсцис – X та ординат – Y (рис.1.6).

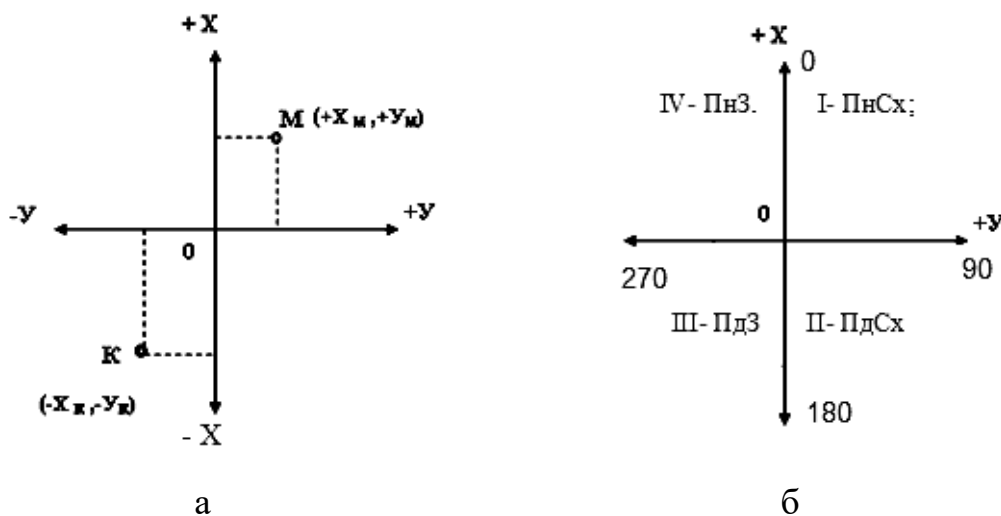


Рисунок 1.6 – Система прямокутних координат: а – принцип визначення координат;
б – назва чвертей

Система в геодезії повернута відносно системи прямокутних координат, прийнятих в математиці, на 90° . Чверті системи координат пронумеровані за ходом годинникової стрілки. Знаки координат залежать від чверті, в якій знаходиться точка.

Північний напрям осі *абсцис* – позитивним, а *південний* – негативний. Напрямок осі *ординат* вважається позитивним на схід і негативним до заходу.

Для невеликих ділянок система прямокутних координат може мати власний початок у довільному місці ділянки.

У державній системі за вісь ординат приймають лінію екватора, а за вісь абсцис – меридіан, що приймається за осью.

Крім осей координат, на папері через певні відстані (відповідно до масштабу), проводять лінії, паралельні осям координат – *координатну* сітку. Ця сітка потрібна як для складання плану, так і для користування ним.

Карти, які використовуються в інженерних цілях, мають географічну і *прямокутну* координатні сітки.

Система полярних координат

Початок системи координат – точка O називається полюсом системи, лінія OX – полярною віссю. Положення будь-якої точки в полярній системі визначається двома координатами: радіусом-вектором r (синонім полярна відстань S) – відстанню від полюса до точки, та полярним кутом β при точці O , утвореним віссю OX і радіусом вектором точки

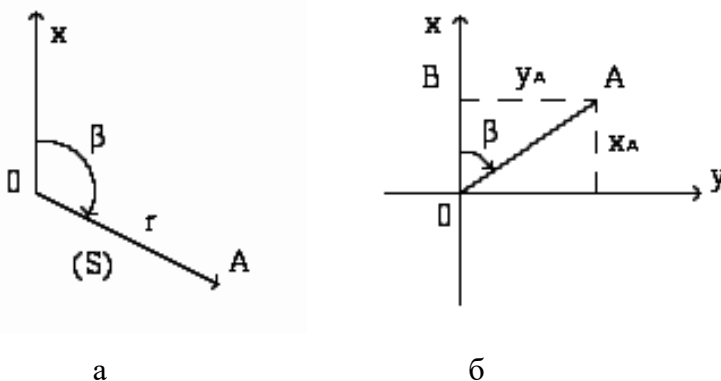


Рисунок 1.7 – Полярна система координат: а – полярні координати; б – перехід до прямокутних координат

Кут β відлічується від осі OX за ходом годинникової стрілки (рис.1.7).

Перехід від прямокутних координат до полярних і назад для випадку, коли початки обох систем знаходяться в одній точці та осі OX у них збігаються (рис. 1.7), виконується за формулами:

$$X = S \cdot \cos \beta ; \quad Y = S \cdot \sin \beta ; \quad \operatorname{tg} \beta = Y / X .$$

Ці формули отримують із розв'язку трикутника OBA за відомими співвідношеннями між сторонами і кутами прямокутного трикутника.

Системи *прямокутних і полярних* координат застосовуються в геодезії для визначення положення точок на *площині*.

Такого початкового уявлення про системи координат достатньо для при вивченні основ геодезії. Ознайомлення з іншими сучасними системами координат, вивчення їхніх теоретичних положень і практичного використання далі відбувається поступово в міру потреби.

1.4 Абсолютні та відносні висоти точок

Планові системи координат, географічні та прямокутні, визначають положення будь-якої точки на поверхні земного еліпсоїда, референц-еліпсоїда, або на площині. Але вони не дозволяють однозначно визначити положення точки на *фізичній поверхні* Землі.

Географічні координати відносять положення точки до поверхні референц-еліпсоїда. *Прямокутні координати* Гаусса відносять положення точки до *площини*, отриманої від розгортки циліндра.

Ці визначення не дають уявлення щодо *фізичної* поверхні Землі, яка в практичній діяльності значно важливіша, ніж референц-еліпсоїд, який *невидимий і невідчутний*.

Для отримання повної інформації про положення точки на фізичній поверхні Землі використовується третя координата – *висота*.

Висотою точки називається відрізок *прямовисної* лінії від цієї точки до певної рівневої поверхні, прийнятої за *початок відліку* висот.

Через *кожну* точку поверхні Землі можна провести *рівневу* поверхню. При *невеликих* відстанях між точками можна вважати, що рівневі поверхні *паралельні між собою* (рис. 1.8).

Якщо висоту точки визначають відносно *основної* рівневої поверхні, то такі висоти називають *абсолютними*.

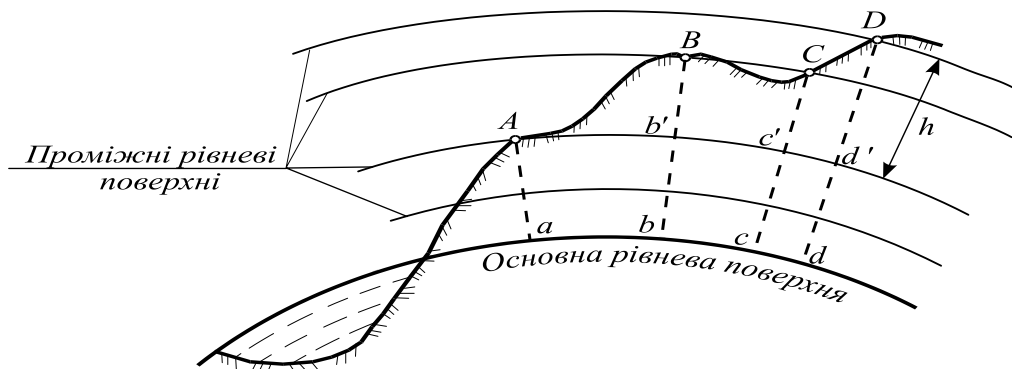


Рисунок 1.8 – До визначення абсолютних та відносних висот

За *початок* відліку висот може бути прийнята будь-яка рівнева поверхня, наприклад, рівнева поверхня, яка проходить через точку *A* (рис. 1.8).

Висоти, обчислені відносно деякої умовної рівневої поверхні, називаються *умовними* або *відносними*. Умовна висота *H* точки *A* дорівнює нулю, точок *B* та *C* дорівнює відріzkам *Bb* і *Cc*, а точки *D* – *Dd*.

Висота однієї точки відносно рівневої поверхні іншої точки називається відносною висотою або *перевищенням* *h* між точками.

Геодезичні виміри, в результаті яких визначаються перевищення або висоти точок місцевості, називаються *нівелюванням*.

Якщо відома висота точки *A* та виміряне перевищення *h* між точками *A* і *D*, то висота точки *D* обчислюється за формулою:

$$H_D = H_A + h .$$

За *початок відліку висот* держави приймається середній рівень моря, що є основною рівневою поверхнею, яка відповідає поверхні геоїда.

Положення точки визначається відстанню від неї по *напрямку сили тяжіння* до *основної рівневої поверхні* (рис. 1.8).

Цю відстань називають *абсолютною* висотою точки. *Абсолютні* висоти *H* можуть бути позитивними – для точок, вище рівня моря, і негативними – для точок, нижче рівня моря.

Числове значення висоти називають *позначкою*, *відміткою*.

В Україні висоти точок земної поверхні відлічуються від середнього багаторічного рівня Балтійського моря. Тому система висот називається Балтійською. В Європейських країнах, висоти точок земної поверхні

відлічуються від нуля Амстердамського мареографа.

На місцевості існують спеціальні точки, висоти яких заздалегідь були визначені в Балтійській системі висот. Ці точки називають *реперами*.

Питання для самоконтролю за темою 1

1. Яку форму має Земля та які її розміри?
2. Які наукові завдання вирішує геодезія?
3. Які науково-технічні завдання вирішує геодезія?
4. Які наукові дисципліни входять до складу геодезії?
5. Дайте коротку характеристику вищої геодезії.
6. Який зв'язок геодезії з іншими науками?
7. Яка роль геодезії в наукових дослідженнях?
8. Система прямокутних координат.
9. Дайте визначення геоїда.
10. Які завдання та роль геодезії у економіці країни?
11. Система полярних координат.
12. Що розуміють під координатами у геодезії?
13. Географічна система координат.
14. Геодезична система координат.
15. Астрономічна система координат.
16. Що таке висота точки земної поверхні?
17. Абсолютні, відносні та умовні висоти.

ТЕМА 2 ГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

План

2.1 Принципи графічного моделювання земної поверхні.

2.2 Проекція Гаусса-Крюгера.

2.3 Система плоских прямокутних координат.

2.4 Розграфлення і номенклатура карт.

2.1 Принципи графічного моделювання земної поверхні

Графічні моделі земної поверхні

Єдиним неспотвореним зображенням поверхні Землі може бути тільки *глобус*, тобто об'ємне зображення. Але для отримання зображення Землі в масштабі хоча б 1:1 000 000, діаметр глобуса має бути понад 12,5 метрів.

Завдання створення *графічної* моделі земної поверхні у *першому* наближенні можна розглядати так: необхідно створити засіб, який би дозволяв визначати форму, розміри і просторове положення об'єктів місцевості і при цьому забезпечував відповідні вимоги до якості одержуваної інформації. Можливим рішенням є створення *графічних* зображень – *моделей* місцевості у вигляді планів і карт – зменшеного зображення *місцевості* на горизонтальній площині. При створенні моделей Землі або її частин (ділянок поверхні) у вигляді графічних зображень вимушеною необхідністю є зменшення лінійних розмірів усього, що зображається. При цьому зменшення відбувається за певними правилами, тобто із застосуванням масштабів, подібності тощо.

Таким чином, графічна модель є зменшеним, побудованим за *спеціальними* правилами зображенням ділянки земної поверхні.

Основними властивостями такої моделі є *наочність* і *вимірність*.

Наочність забезпечує зорове сприйняття образу земної поверхні або окремих її ділянок, їхні характерні риси та особливості.

Вимірність розуміється як можливість отримувати за допомогою моделі *кількісні* характеристики зображених на ній об'єктів шляхом вимірювань.

Наочність та вимірність моделі забезпечуються:

1) математично визначеним *зв'язком* між об'єктами навколишнього середовища та їхнім *плоским* графічним зображенням. Цей зв'язок передається за допомогою *картографічної проєкції*;

2) ступенем зменшення розмірів зображених об'єктів, тобто *масштабом*.

Метод проєкції

Поверхня сфери (еліпсоїда) не може бути розгорнена на площину *без спотворень*. Тому для збереження неперервності потрібно знайти спосіб відображення *сферичної* поверхні на *площині*. Такі відображення отримали назву *картографічної проєкції*.

Картографічна проєкція – спосіб зображення поверхні Землі на математичній поверхні. Така *проєкція* задається набором рівнянь, що описують *математичний* закон, за яким встановлюється *однозначний* зв'язок між координатами точок на земній поверхні або сфері та відповідними координатами цих же точок у зображенні на *площині*.

У загальному вигляді вираз закону проєктування можна зобразити за такими залежностями:

$$x = f_1(B, L); \quad y = f_2(B, L). \quad (2.1)$$

Ці формули означають, що кожній точці на сфері (еліпсоїді), яка має геодезичні координати B і L , відповідають плоскі прямокутні координати x і y , як функції координат B і L точок поверхні еліпсоїда на площині.

Вибираючи під різними умовами вид функцій f_1 та f_2 , одержують різні проєкції.

Картографічні проєкції подаються на картах у вигляді різноманітних *картографічних сіток*.

Зобразити *земну поверхню* на *площині* значить зобразити на ній *контури* різних предметів місцевості та рельєф.

Контур – це безперервний ряд точок, тому, зображення земної поверхні на площині зводиться до зображення *окремих* точок.

При зображенні на *площині* (аркуші паперу) контурів *земної поверхні* всі необхідні точки проєктують із складної фізичної поверхні Землі на простішу поверхню *відносності*, яка може бути описана аналітично.

У геодезії використовують в основному *ортогональні* проєкції. В таких проєкціях лінії проєктування повинні бути *перпендикулярні* до поверхні, на яку проєктуються точки земної поверхні, тому виникає завдання визначення *розмірів* ділянки для якої можливо спрощення перетворень ортогонального проєктування точок земної поверхні на площину.

При виконанні геодезичних робіт на *невеликих* територіях вважають, що поверхні еліпсоїда та сфери практично *співпадають*. Тоді проєктування можна здійснювати на *рівневу* поверхню по *прямовисних* лініях. А за певних умов можна вважати, що ділянка рівневої поверхні відносності (сфери) є *горизонтальною площиною* і *прямовисні* лінії паралельні одна одній.

Тоді проєктування можна здійснювати на *рівневу* поверхню по *прямовисних* лініях. А за певних умов можна вважати, що ділянка рівневої поверхні відносності (сфери) є *горизонтальною площиною* і *прямовисні* лінії паралельні одна одній. Тобто, для того, щоб не враховувати *кривизну* поверхні при проєктуванні на сферу, а потім на площину, необхідно *встановити обмеження* на розміри ділянки.

Розглянемо за яких умов можливі такі припущення і обмеження , встановимо якими мають бути розміри ділянок сфери, щоб їхню кривизну можна було *не враховувати*.

Вплив кривизни Землі на горизонтальні та вертикальні відстані

За умови що фігура Землі – сфера радіуса R (рис. 2.1), $AB = S$ – відстань між точками A і B на сфері; α – центральний кут, відповідний дузі S .

У точці A проведено дотичну (горизонтальну) площину і продовжено радіус OB до перетину з цією площиною в точці C .

Якщо ділянку сфери S , прийняти за площину, відповідну відрізок дотичної $AC = d$, тоді:

– похибка в горизонтальній відстані $\Delta d = d - S$,

$$\Delta d = d^3 / 3R^2; \quad (2.1)$$

– відносна похибка

$$\Delta d / d = d^2 / 3R^2; \quad (2.2)$$

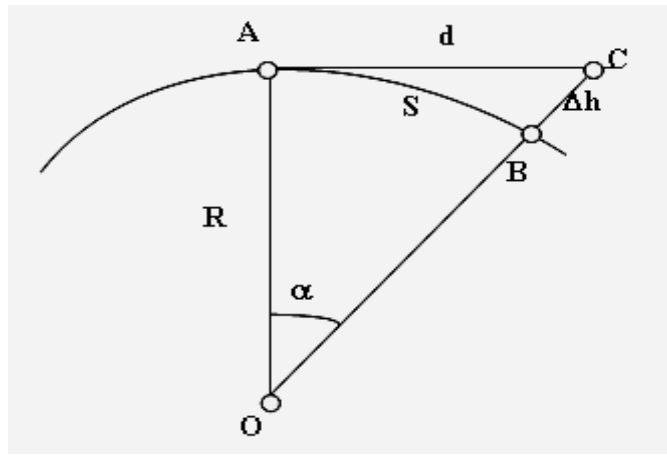


Рисунок 2.1 – Вплив кривизни Землі на вимірювання горизонтальних і вертикальних відстаней

– похибка у вертикальній відстані $\Delta h = OC - OB$

$$\Delta h = d^2 / 2R . \quad (2.3)$$

При *найточніших* вимірюваннях відстаней на земній поверхні допустимою вважається відносна похибка $\Delta d/d = 1/1\,000\,000$.

При $R = 6\,371$ км, $\Delta d/d = 1/1\,000\,000$ допустиме значення $d = 10$ км, тому частину *рівневої* поверхні відносності (сфери), яка не виходить за межі кола діаметром 20 км, можна прийняти за *площину* при вимірюваннях високої точності. При зниженні вимог до точності, допустиме значення d збільшується.

У таблиці 2.1 наведені відносні похибки впливу кривизни Землі на горизонтальні відстані по (2.2).

Таблиця 2.1 – Вплив кривизни Землі на горизонтальні відстані

Горизонтальні відстані d , км	110	156	246	330	334
Відносна похибка $\Delta d/d$	1/10 000	1/5 000	1/2 000	1/1 000	1/745

Із збільшенням відстані d похибка $\Delta d/d$ швидко збільшується, оскільки вона пропорційна кубу відстані.

Значення $y_{max} = 334$ км використовується надалі при обґрунтуванні проєкції та розробці номенклатури планів і карт.

У таблиці 2.2 наведені похибки впливу кривизни Землі на вертикальні відстані по (2.3). При d понад 0,1км вплив потребує врахування при точних геодезичних вимірюваннях.

Таблиця 2.2 – Вплив кривизни Землі на вертикальні відстані Δh при різних d

Відстані d , км	0.10	1.0	2.0	3.0	10.0
Похибка у вертикальній відстані Δh , см	0.08	7.8	31	71	785

Таким чином, проектування *фізичної поверхні* Землі в певних межах можна здійснити на площину P , приймаючи *прямовисні лінії* паралельними одна одній.

Проектування просторових точок A, B, C, D земної поверхні прямовисними лініями на горизонтальну площину P створює *горизонтальну проєкцію* – плоский чотирикутник $abcd$.

Тоді ab, bc, cd, da – *горизонтальні прокладання* відповідних ліній місцевості а кути між ними $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – *горизонтальними кутами*.

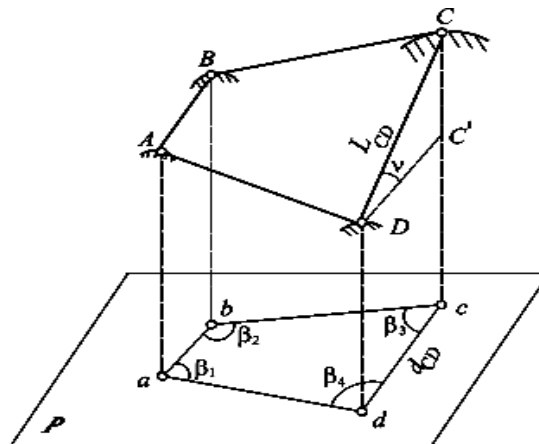


Рисунок 2.2 – Проектування точок земної поверхні на площину

Горизонтальні прокладання d_i ліній місцевості L_i обчислюють за формулою:

$$d_{CD} = L_{CD} \cos v, \quad (2.4)$$

де v – кут нахилу лінії L на місцевості, тому для зображення фігури місцевості на *горизонтальній* площині (в плані) необхідно знати горизонтальні кути між сторонами та *горизонтальні прокладання* сторін.

2.2 Проекція Гаусса-Крюгера

У геодезичній практиці найзручніше використовувати рівнокутні (конформні) проєкції. В таких проєкціях зберігається рівність кутів при переході з поверхні еліпсоїда на площину. Теорія комфортного зображення поверхні земного еліпсоїда на площині була розроблена К. Ф. Гауссом і вдосконалена Л. Крюгером, тому її називають *проєкцією Гаусса-Крюгера*.

Беручи фігуру Землі за кулю радіусом R , будують навколо кулі циліндричну поверхню, що торкається поверхні кулі по меридіану (рис. 2.3).

Вісь циліндричної поверхні в цьому випадку повинна співпадати з площиною екватора.

У проєкції Гаусса на циліндр проєктується тільки *частина* поверхні кулі (або еліпсоїда), *обмежена по довготі* меридіанами по 3° в обидва боки від меридіана, дотичного до циліндра, так звана 6° (шестиградусна) *зона*. Всього таких зон для всієї Землі – 60.

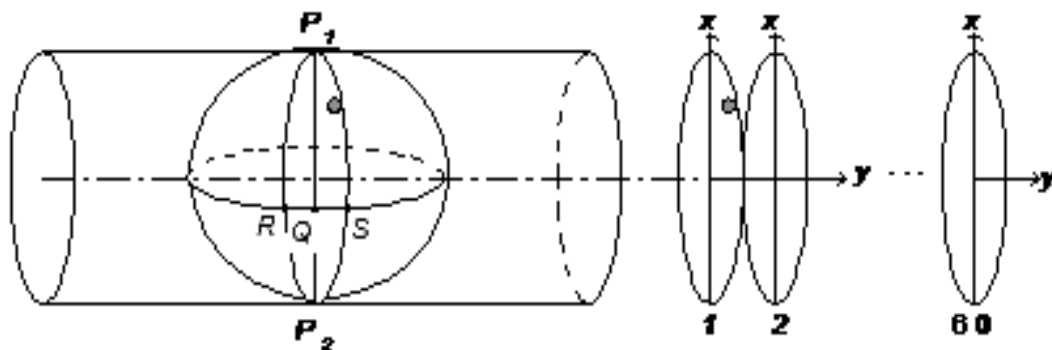


Рисунок 2.3 – Принцип проєкції Гаусса-Крюгера

Меридіан P_1QP_2 , що поділяє дану зону на дві рівні частини, називають *осьовим меридіаном*.

Частину сфери P_1SP_2R проєктують на поверхню циліндра так:

- осьовий меридіан співпадає з поверхнею циліндра;
- зберігається подібність нескінченно малих фігур, тобто мале коло на поверхні сфери при перенесенні на поверхню циліндра також повинно відобразитися колом.

Після розгорнення циліндра на площину кожна зона зобразиться криволінійним двокутником, де *екватор* і *осьовий меридіан* – взаємно перпендикулярні лінії.

Це дає можливість ввести систему *плоских прямокутних* координат, де вісь абсцис – зображення осьового меридіана, а вісь ординат – зображення екватора. Хоча проекція Гаусса зберігає подібність малих фігур, довжини ліній у цій проекції при проектуванні на площину *деформуються*.

2.3 Система плоских прямокутних координат

При створенні планів місцевості важливе значення має вибір *напрямку* осей системи прямокутних координат і точки *початку відліку* координат.

Здебільшого для кожної *невеликої* ділянки можна вибрати свою систему координат і скласти план в такій «місцевій» системі, однак при цьому не можна буде порівняти або об'єднати плани навіть двох сусідніх ділянок, якщо кожна з них буде складена в своїй умовній системі координат, тому, зазвичай необхідна *єдина* система координат, яка дозволить об'єднати матеріали, виконаних на поверхні Землі зйомок.

Уведення *єдиної* системи координат для *всієї земної кулі* або держави має велике значення. В цьому випадку забезпечується можливість загального картографування країни, коли кожний план стає *частиною* загальної карти держави.

При використанні проекції Гаусса-Крюгера поверхня еліпсоїда поділяється *меридіанними площинами* на *зони* (рис. 2.5).

В Україні *ширина зон* по довготі встановлена в 6° , а в районах, де проводяться топографічні зйомки в великому масштабі, – 3° .

Середній меридіан зони називається *осьовим*. Кожна зона на площині утворює *самостійну* систему координат (рис. 2.5).

У результаті такого проектування отримують зображення поверхні земної кулі в вигляді зон, які *прилягають* одна до одної на *екваторі*.

Осьовий меридіан кожної зони зображується на площині прямою лінією і приймається за вісь абсцис x .

Екватор також зображується прямою лінією, перпендикулярною до осьового меридіана. Він приймається за вісь y .

Абсциси в системі координат Гаусса-Крюгера відраховуються від екватора на північ і південь; на північ від екватора абсциси додатні, а на південь – від’ємні. Ординати на схід від осьового меридіана мають знак плюс, на захід – мінус. Вони і утворюють прямокутну систему координат зони. Таким чином, у геодезії, на відміну від математики, прийнята ліва система координат, в якій відлік чвертей ведеться за годинниковою стрілкою (рис. 2.4).

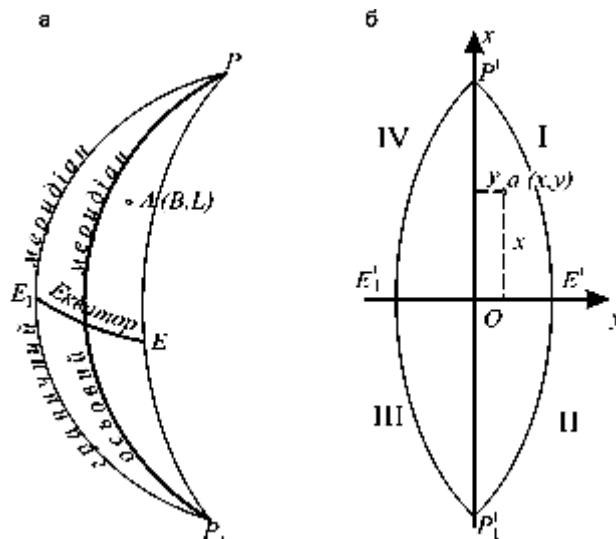


Рисунок 2.4 – Координатна зона: а – на сфері (еліпсоїді); б – на площині

У північній півкулі, на всій території нашої країни, абсциси завжди додатні. Для уникнення від’ємних значень ординат, початок координат перенесено на 500 м на захід від осьового меридіана (рис. 2.5).

Одержані таким чином ординати називають умовними і позначають $\bar{y}$.

Умовні ординати обчислюють за формулою:

$$\bar{y} = 500\text{км} + y .$$

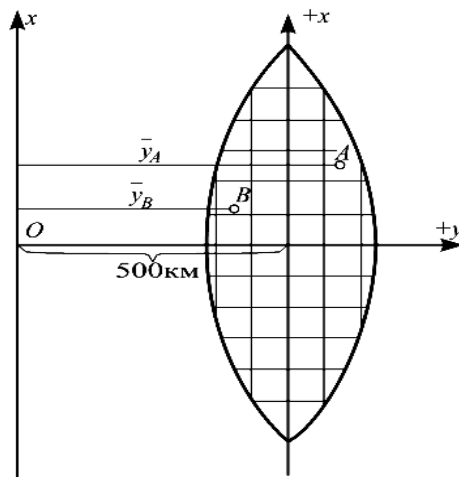


Рисунок 2.5 – Умовні ординати у шестиградусних зонах

При зворотному переході від наведених умовних ординат необхідно *відняти* 500 км.

Для зручності визначення прямокутних координат при розв'язанні практичних задач на планах і картах нанесена координатна сітка (рис. 2.6).

Це система взаємно перпендикулярних ліній, проведених через певні відстані паралельно осьовому меридіану зони (вісь x) та екватора (вісь y).

Якщо задані плоскі прямокутні координати x і y деякої точки A , то цього недостатньо для однозначного визначення положення точки, тому що точка з такими координатами *є в кожній зоні*, тому перед кожною ординатою вказують ще й *номер зони*, у якій розміщена точка.

Наприклад, точка A міститься у сьомій зоні, тоді її повна умовна наведена ордината $\bar{y}_A = 7\,625,514$ км.

У нашій країні застосовують *правило розбивки території на зони*.

Для шестиградусних зон. Осьовий меридіан проходить посередині зони, і його довгота кратна 3° , але не кратна 6° . Західний граничний меридіан першої шестиградусної зони співпадає з Грінвичським меридіаном (рис. 2.7).

Для території України осьові меридіани мають довготи: 21° , 27° , 33° , 39° .

Для обчислення довготи осьового меридіана *шестиградусної зони* $L_{0,6}$ та номера зони N можна використати такі формули:

$$L_{0,6} = 6^\circ \cdot N - 3^\circ,$$

$$N = (L_{0,6} + 3^\circ) / 6^\circ.$$

Точка перетину екватора з граничним меридіаном має *максимальне* значення ординати y в межах зони. Її значення можна обчислити за формулою:

$$y_{\max} = \frac{l_{\max}}{\rho^\circ} R = \frac{3^\circ}{57,296^\circ} 6371 \approx 334 \text{ км},$$

де $l_{\max}$ – різниця довгот осьового та граничного меридіанів, дорівнює 3° ;

R – середній радіус земної кулі.

З віддаленням точок від осьового меридіана зони ростуть спотворення довжин ліній, досягаючи *максимальної* величини на *межі* координатної зони. Їх величина на площині проєкції Δs визначається за формулою:

$$\Delta s = S - s = \frac{y^2}{2R^2} S, \quad (2.1)$$

де S – довжина на площині проєкції;

s – довжина відповідної лінії на еліпсоїді;

y – середня ордината лінії;

R – середній радіус земної кулі ($R = 6\,371$ км).

Для нашої країни, розташованої *північніше* паралелі з широтою 44° максимальна ордината дорівнює приблизно 236 км, а максимальне спотворення ліній на краю 6-градусної зони складає близько 1:1 100.

Це знаходиться в межах точності похибок *графічної* побудови карт масштабів 1:10 000 і дрібніше.

При будівництві великих об'єктів, виконанні геодезичних робіт у містах для зменшення спотворення довжин ліній при переході на площину за осьовий меридіан приймають середній меридіан ділянки робіт. Він може не співпадати з осьовими меридіанами 3- і 6-градусних зон.

У наш час система координат Гаусса-Крюгера є основною системою координат при обробці геодезичних вимірювань в Україні.

2.4 Розграфлення і номенклатура планів і карт

Топографічні карти *великих* територій світу мають *багатоаркушевий* вигляд. Наявність багатоаркушних карт різних масштабів викликала створення певної системи обліку окремих аркушів карт для швидкого їх знаходження.

Для *зручності користування* картою розмір одного аркуша прийнятий близьким до квадрата із стороною 40–50 см. Межами аркуша карти служать *меридіани і паралелі*, широти і довготи яких вибрані так, щоб забезпечувався вказаний розмір аркуша.

Номенклатурою називається *система* позначення (нумерації) окремих аркушів багатоаркушної карти. Номенклатура знаходиться в тісній залежності як від масштабу карти, так і від географічного розміщення (за географічною широтою і довготою) зображеної на даному аркуші території.

Розграфленням називають систему поділу карт на аркуші за певним законом. Розрізняють трапецієвидне і прямокутне розграфлення.

Розграфлення аркуша карти на частини передбачає отримання аркушів карт різних масштабів приблизно *однакових* розмірів.

Номенклатура, як *система нумерації* окремих аркушів, – це умовне літерно-цифрове позначення аркушів карт і планів певних масштабів, яке дає змогу визначати положення на *земній сфері* тієї *частини* території, що зображена на цих *аркушах*.

В *основі* розграфлення та номенклатури топографічних карт є аркуш карти масштабу 1:1 000 000. Правила складання цієї карти розроблено в 1909 р. та доповнено в 1919 р. За міжнародною угодою номенклатура аркушів карти масштабу 1:1 000 000 прийнята *єдиною для всіх країн*.

Для карт інших масштабів в різних країнах номенклатура *може бути різною*.

Принцип утворення номенклатури карт масштабу 1:1 000 000

Номенклатуру карт і планів визначають за відповідними принципами.

1. Модель Землі у вигляді сфери 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° . Номери *колон* відрізняються від номерів *шестиградусних зон* на 30.

2. Від *екватора* на північ та південь півкулі Землі розбивають паралелями через 4° , утворюючи **ряди**. Отримані ряди від екватора на північ та південь позначають великими літерами латинського алфавіту.

3. У *перетині* довгот через 6° по довготі та 4° по широті отримують *трапецію аркуша* карти масштабу 1:1 000 000.

Їх позначають через *літеру ряду* по широті та *номер колони* по довготі (рис. 2.6).

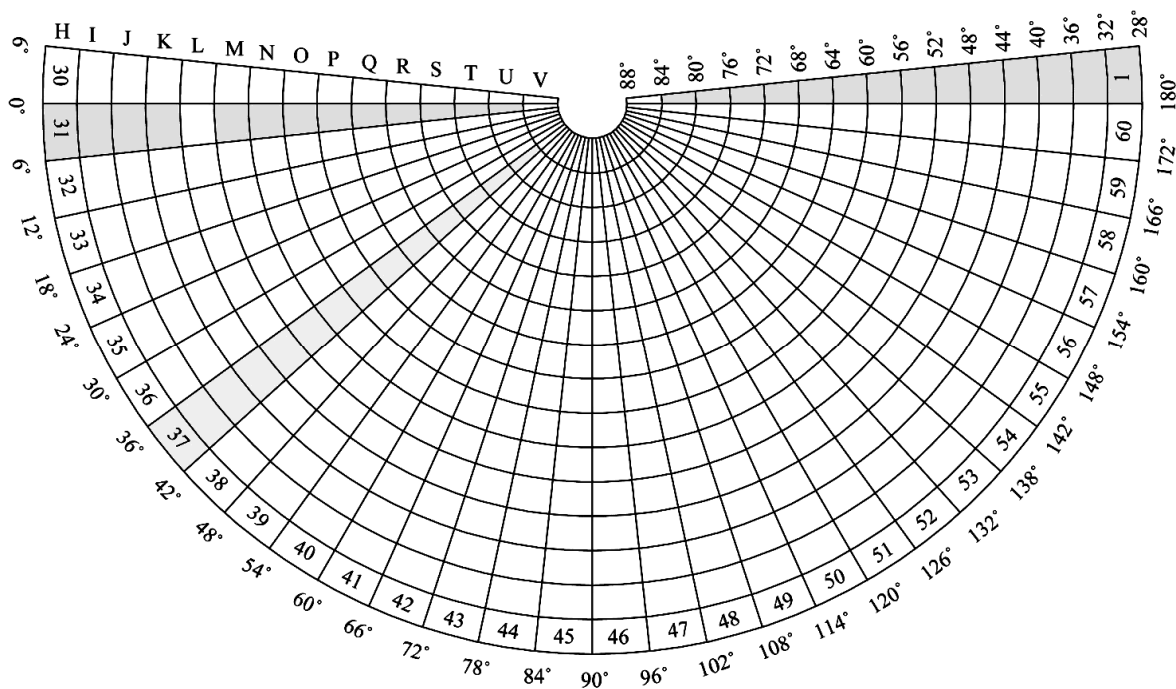


Рисунок 2.6 – Схема розграфлення земної поверхні на аркуші карти масштабу
1:1 000 000

Наприклад: номенклатура карти масштабу 1:1 000 000 для м. Київ – М-36; для м. Львова – М-34; для м. Харкова М-36.

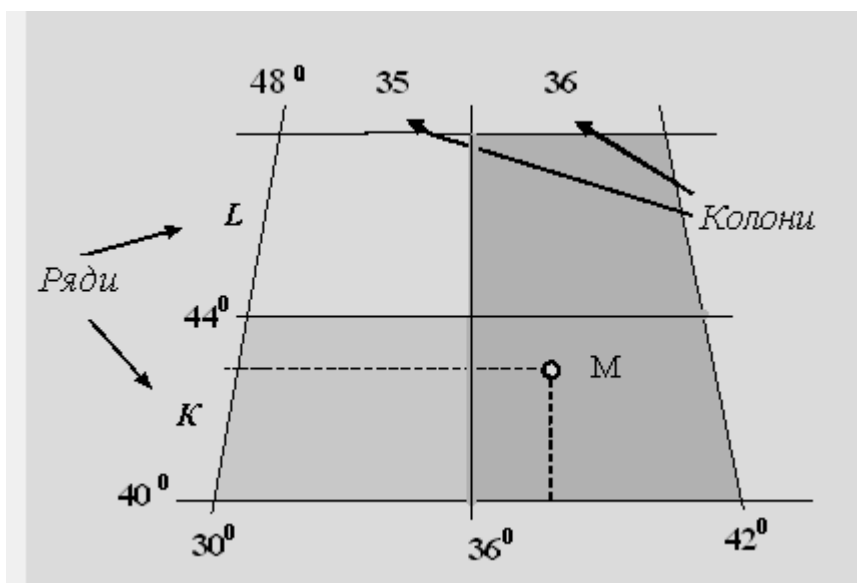


Рисунок 2.7 – До номенклатури масштабу 1:1 000 000

Аркуш карти, зображений на рисунку 2.7 для точки М з координатами $\varphi = 42^\circ 51'$, $\lambda = 37^\circ 42'$ має номенклатуру К-36.

Уся територія України зображується на шести аркушах карти масштабу 1:1 000 000. Уся поверхня земної кулі зображується на 2 640 аркушах.

Принцип утворення номенклатури карт великих масштабів

При переході до більших масштабів їх число *в межах аркуша карти масштабу 1:1 000 000* буде збільшуватися при приблизно однаковій 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*.

Перша гілка розграфлення – меридіанами і паралелями аркуша масштабу 1:1 000 000 (далі – мільйонного) на окремі аркуші карт масштабів від 1:500 000 до 1:100 000 (рис. 2.8).

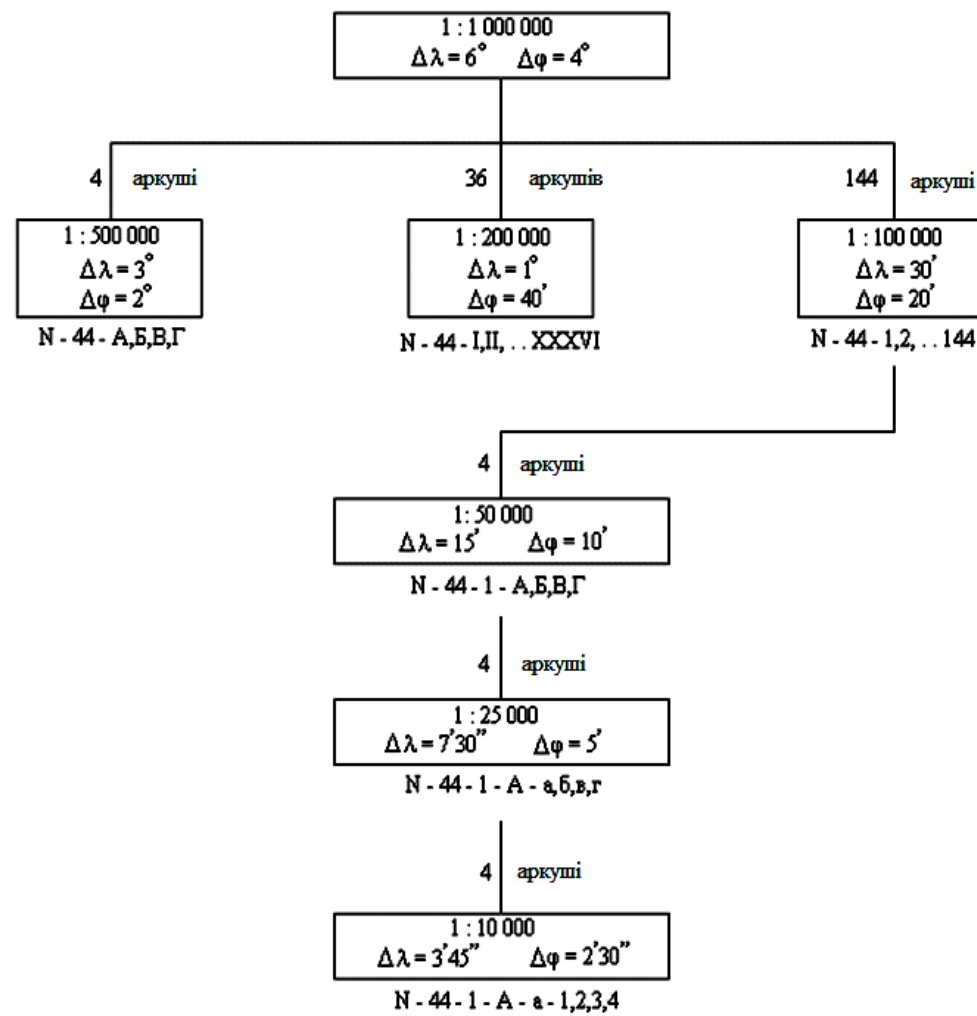


Рисунок 2.8 – Загальна схема поділу аркушів карти від 1:1 000 000

Територія, зображена на одному аркуші карти масштабу 1:1 000 000, може бути відображена на кількох аркушах карти більшого масштабу.

Наприклад, для аркушів карт масштабів 1:500 000 – 1:100 000:

- | | | |
|-----------|--------------|---------------------|
| 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). |

Друга гілка розграфлення – поділ аркуша карти масштабу 1:100 000 на листи карт масштабів від 1:50000 до 1:10000.

Третя гілка розграфлення – поділ аркуша карти масштабу 1:100 000 на листи карт масштабів 1:5000 і 1:2000.

Таким чином, в результаті розподілу аркуша карти масштабу 1:1 000 000 меридіанами і паралелями на окремі аркуші одержують аркуші карт різного масштабу усередині аркуша масштабу 1:1 000 000.

Таблиця 2.3 – Дані про розграфлення, номенклатуру і розміри аркушів топографічних карт

Масштаб карти	Кількість аркушів	Розмір рамок		Приклад номенклатури аркушів
		за широтою	за довготою	
В одному аркуші карти масштабу 1:1 000 000				
1:1 000 000	1	4°	6°	М-36 (Київ)
1:500 000	4	2°	3°	М-35-В
1:300 000	9	1°20'	2°	IV-М-35
1:200 000	36	0°40'	1°	М-35-XIX
1:100 000	144	0°20'	0°30'	М-35-73
В одному аркуші карти масштабу 1:100 000				
1:50 000	4	0°10'	0°15'	М-35-73-В
1:25 000	16	0°05'	0°07'30"	М-35-73-В-В
1:10 000	64	0°02'30"	0°03'45"	М-35-73-В-В-3
1:5 000	256	0°01'15"	0°01'52,5"	М-35-73-(256)
1:2 000	2304	0°00'25"	0°00'37,5"	М-35-73-(256-а)

Великомасштабні плани (1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 і 1:500), складені на ділянки, що мають площу менше 20 км², мають прямокутне або квадратне розграфлення. За *основу* розграфлення приймають план масштабу 1:5 000 з розміром рамки квадрата 40 см × 40 см кожний аркуш плану масштабу 1:5 000 позначається арабською цифрою (табл. 2.3).

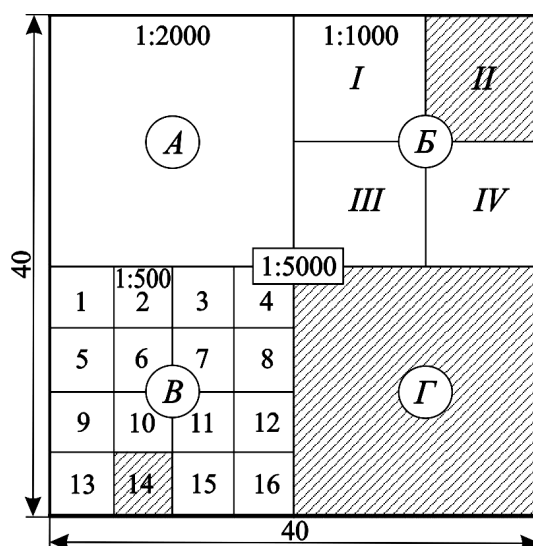


Рисунок 2.9 – До розграфлення і номенклатури топографічних планів

Таблиця 2.4 Розграфлення і номенклатура топографічних планів

Масштаб плану	Кількість аркушів в одному аркуші дрібнішого масштабу	Номенклатура останнього аркуша	Розмір рамки квадрата, см
1:2000	4 в аркуші масштабу 1:5000	5-Г	50 × 50
1:1000	4 в аркуші масштабу 1:2000	5-Г-IV	50 × 50
1:500	16 в аркуші масштабу 1:2000	5-Г-16	50 × 50

Номенклатуру аркушів топографічних карт записують над *верхньою* рамкою карти. Поряд з номенклатурою в дужках пишеться назва найбільшого населеного пункту, розміщеного в межах даної трапеції, наприклад М-36-А (Київ).

У системі топографо – геодезичної служби України прийнято такі масштаби топографічних карт: 1:1000000, 1:500000, 1:300000, 1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Коли відома номенклатура карти масштабу 1:1000000, то можна визначити географічні координати кутів (вершин) цієї трапеції. Навпаки, знаючи координат вершин трапеції можна знайти її номенклатуру. Для отримання аркушів карт більших масштабів, аркуш карти масштабу 1:1000000 поділяють на частини.

Питання для самоконтролю до теми 2

1. Для чого створюють графічні моделі?
2. Як впливає кривизна Землі на вимірювання горизонтальних відстаней?
3. Яку частину рівневої поверхні відносності можна прийняти за площину?
4. Який меридіан зони називається осьовим?
5. Які ординати називають умовними?
6. Як обчислюють довготу осьового меридіана шестиградусної зони?
7. Охарактеризуйте проєкцію Гаусса–Крюгера.
8. Назвіть основні властивості топографічної графічної моделі.
9. В чому суть зональної системи плоских прямокутних координат?
10. Що таке картографічна проєкція?

11. В чому полягає метод проєкцій?
12. Назвіть основний принцип *ортогональної* проєкції?
13. Які ділянки на сфері можна вважати плоскими?
14. Що таке розграфлення і номенклатура топографічних карт та планів?
15. Назвіть основні принципи розграфлення і номенклатури топографічних карт в Україні.
16. Опишіть систему розграфлення міжнародної карти масштабу 1:1000000.
17. З чого складається номенклатура аркуша карти масштабу 1: 1000 000?
18. Які розміри рамок топографічних карт масштабу 1:100000.
19. Скільки аркушів карти масштабу 1:50000 міститься в аркуші масштабу 1:100000?
20. Визнайте номенклатуру аркушів, суміжних аркуша О-36.
21. Визначте номенклатуру аркуша карти масштабу 1:1000000, на якій розташоване м. Харків.
22. У чому полягають особливості утворення номенклатури карт великих масштабів?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

ОСНОВИ ТОПОГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

ТЕМА 3 ТОПОГРАФІЧНІ МОДЕЛІ

План

- 3.1 Основні принципи створення графічних моделей.*
- 3.2 Образно-знакові моделі земної поверхні.*
- 3.3 Орієнтування ліній.*
- 3.4 Умовні знаки на топографічних картах і планах.*

3.1 Основні принципи створення моделей місцевості

Моделювання є одним з основних методів наукового пізнання геодезії. Суть *геодезичного* моделювання полягає у побудові моделей об'єктів земного простору та їх вивчення.

Територія – регіон, обмежена частина земної поверхні в природних, державних, адміністративних або умовних *межах*: визначається *протяжністю*, як специфічним видом «просторового» ресурсу, площею, географічним розташуванням, природними умовами, господарською освоєністю. Територія є об'єктом конкретної діяльності.

Місцевість – це частина земної поверхні з усіма її елементами: рельєфом, ґрунтами, водами, мережею доріг, населеними пунктами, рослинністю та іншими об'єктами. Основним способом вивчення місцевості є використання топографічних моделей у вигляді планів, карт, аерознімків, цифрових моделей.

Саме геодезія, а не будь-яка інша наука відображає просторові властивості та відношення *об'єктів* у *первинних* моделях земного простору, які потім використовуються іншими науками для створення *вторинних* моделей.

Створення *графічних* моделей всієї Землі і окремих її ділянок безумовно потребує застосування пропорційного *зменшення розмірів* того, що підлягає зображенню, тобто застосування *масштабів* зменшення.

Для вирішення величезної кількості завдань різноманітного призначення

у багатьох сферах життєдіяльності людини необхідна інформація про оточуючий простір, яка може бути подана у вигляді *графічних моделей* різного масштабу.

Графічні моделі всієї Землі та окремих її ділянок на протязі багатьох століть створювались на *паперових* носіях з доцільними розмірами 20×20 дюймів або приблизно 50 см × 50 см.

Топографічне моделювання – це моделювання земної поверхні, що здійснюється з метою вивчення її геометричних характеристик.

Об'єкти, розташовані *на* земній поверхні, які необхідно зображувати на топографічних планах і картах, прийнято називати *місцевими предметами*, *топографічними* елементами чи *топографічними об'єктами місцевості*.

Ознаки, що визначають топографічні об'єкти місцевості:

- *речовинність*, тобто матеріальність;
- *зв'язність* у тривимірному просторі, тобто об'єкт може розглядатися як єдине ціле;
- *обмеженість* у тривимірному просторі;
- *стаціонарність* щодо земної поверхні.

У процесі *топографічного моделювання* між місцевістю та її моделлю встановлюється взаємно однозначна *відповідність*. Тобто кожному елементу місцевості, що моделюється, за визначеним правилом ставиться у відповідність один докладно окреслений елемент моделі.

У якій формі і як точно встановлена ця відповідність залежить від призначення моделі, її різновиду та способу одержання. Необхідне тільки виконання умови: *модель повинна забезпечити вирішення усіх тих завдань, для яких вона призначена*.

У топографії моделюють форму, розміри і просторове положення топографічних об'єктів місцевості чи окремих їх частин; якісні або кількісні характеристики цих об'єктів; просторові відносини та зв'язки між об'єктами або їх частинами.

За типом інформації топографічні моделі місцевості можуть бути:

1. Образно-знакові – план, карта, профіль.
2. Об'ємно-пластичні – об'ємний макет місцевості.
3. Фотографічні – аерофото і космічні знімки, фотоплан, стереомодель.
4. Цифрові.

3.2 Образно-знакові моделі земної поверхні

План і карта

За результатами збирання *інформації* про земну поверхню виготовляють *графічні моделі* – зображення різних за розмірами земельних ділянок на папері, які поділяють на топографічні *карти, плани і профілі*.

Топографічним планом називається зменшене, подібне узагальнене, вимірне зображення на площині, в ортогональній проекції місцевих предметів і рельєфу малих за розміром ділянок земної поверхні яке побудоване *без врахування кривизни Землі*. План дає *детальне* зображення місцевості, його *масштаб постійний* у всіх точках. План без зображення рельєфу називають *ситуативним* або *контурним*. Створюються топоплани в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Вони використовуються при підготовці проєктів, інженерно-геодезичних вишукувальних роботах, будівництві інженерних споруд, в житлово-комунальному господарстві, при пошуках та розробці корисних копалин.

Картою називається зменшене, узагальнене, вимірне зображення на площині поверхні Землі, побудоване за певними *математичними* законами в картографічній проекції. При їх складанні враховуються поправки довжини ліній за *кривизну* Землі.

Топографічна карта – це загальногеографічна карта масштабу 1:200000 або крупніше, виконана в проекції Гаусса-Крюгера. Вона відображає розміщення та властивості основних природних та соціально-економічних об'єктів і дає можливість визначити їхнє планове та висотне положення.

Топографічні карти можуть створюватись на основі обробки

аерофотознімків території; шляхом безпосередніх вимірювань і знімачів об'єктів місцевості, картографічними методами за вже наявними картами крупніших масштабів.

Елементи карти

Математична основа, яка визначає особливості побудови топографічних карт, є базою, до якої прив'язаний весь зміст карти. Це сукупність елементів, що визначають *математичний* зв'язок між зображеною поверхнею і картою.

Вона визначає геометричні закони побудови і геометричні властивості картографічного зображення, забезпечує широкі можливості проведення картографічних і морфометричних робіт та отримання різних характеристик.

Складові частини математичної основи це: масштаб карти, картографічна проекція, геодезична основа карти та компонування карти. До елементів математичної основи, що відображаються на топографічній карті, відносяться рамка карти, картографічна та прямокутна (кілометрова) сітка.

Масштаб карти – відношення, яке показує у скільки разів були зменшені розміри об'єктів на поверхні еліпсоїду чи сфері під час зображення їх на карті. Для топографічних карт важливою складовою *математичної* основи є також *геодезична* основа.

Геодезична основа топографічної карти – сукупність геодезичних даних, що необхідні для створення карти: розміри земного еліпсоїда; система координат і висот; опорна геодезична мережа (сітка). Від точності геодезичної основи залежить *точність* створюваної карти. При побудові карт для спрощення розрахунків Землю приймають за кулю із середнім радіусом $R_e = 6\,371,1$ км.

Картографічна проекція – спосіб зображення на площині математичної поверхні Землі, повинна відповідати таким вимогам: спотворення зображення на карті повинні бути практично невідчутними і не впливати на точність вимірів за нею. Картографічна проекція задається набором рівнянь, що описують математичний закон, за яким встановлюється однозначний зв'язок між координатами точок на земній поверхні, еліпсоїді або кулі та відповідними

координатами цих же точок у зображенні на площині. Картографічні проєкції подаються на картах у вигляді картографічних сіток.

Для створення *топографічних* карт в Україні використовують поперечну циліндричну рівнокутну *проєкцію Гаусса-Крюгера*. Вона дає змогу одержати зображення досить великих ділянок, яке практично не має спотворень і забезпечує можливість побудови на такій площі системи плоских прямокутних координат. Ця особливість системи зумовила надзвичайно широке її використання в топографо-геодезичних роботах.

Для зручності користування системою координат на аркушах топографічних карт наноситься *координатна сітка* – система взаємно перпендикулярних ліній.

Вертикальні лінії паралельні до осьового меридіана, зони, та горизонтальні лінії – екватора. Цю *сітку, проведену через цілу кількість кілометрів*, називають *кілометровою*. Її лінії продовжені за поле карти, біля них підписані значення x та y в кілометрах. Поле карти обмежене *внутрішньою рамкою* (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Частота ліній кілометрової сітки

Масштаб	Частота ліній	на карті
1:100 000	2 км	2 см
1:50 000	1 км	2 см
1:25 000	1 км	4 см
1:10 000	1 км	10 см

Рамка топографічної карти складається з внутрішньої (*мінутної*) рамки, та *зовнішньої* рамки. У проєкції Гаусса-Крюгера аркуш має форму трапеції, тому для рамки карти використовується термін «рамка трапеції».

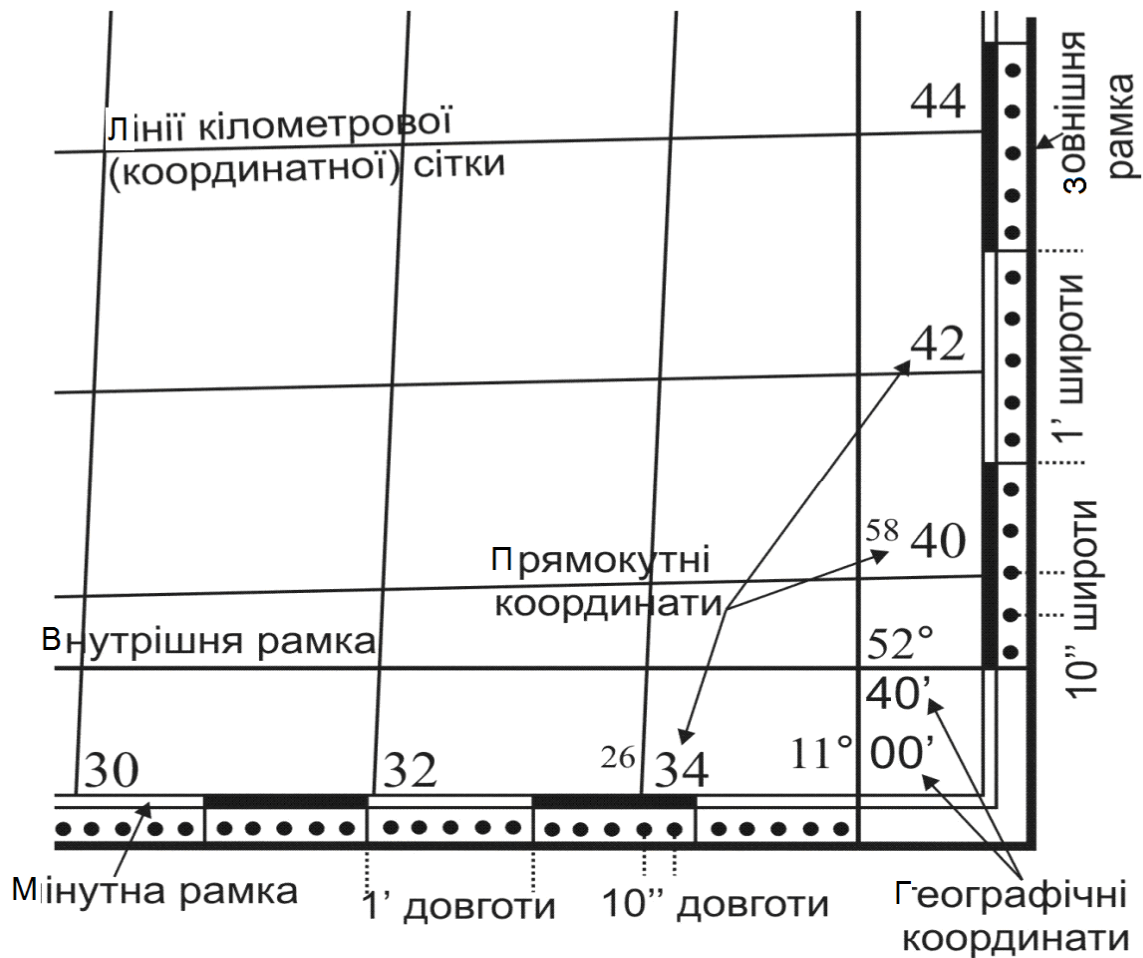


Рисунок 3.1 – Рамки топографічної карти

Зміст топографічних карт

Основним змістом топографічної карти завжди є сама *місцевість*.

Ситуація – це сукупність контурів і нерухомих предметів місцевості.

Рельєф – сукупність форм земної поверхні.

Наявність та ступінь деталізації зображення того чи іншого об'єкта визначаються масштабом карти та правилами картографічної *генералізації*.

На топографічних картах всіх масштабів зображуються елементи математичної основи, об'єкти планово-висотної основи, гідрографія та гідротехнічні споруди, населені пункти, промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти, дороги та дорожні споруди; рельєф; рослинний покрив та ґрунти; кордони та межі, відомості про схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів.

Оскільки однією з основних вимог до топографічної карти є можливість здійснювати по ній орієнтування та різноманітні вимірювання, то елементи *математичної основи* відображаються на топографічних картах дуже детально.

Елементи змісту зображаються з певною детальністю й точністю, що визначається *масштабом*.

3.3 Орієнтування ліній

Основні поняття орієнтування

Орієнтувати лінію на місцевості означає визначити її положення щодо іншого напрямку, прийнятого за *початковий*.

Як *початкові* в геодезії використовують напрями *меридіанів*.

При орієнтуванні відносно меридіана потрібно визначити *орієнтирний* кут між цим напрямом і напрямом даної лінії який відраховують за годинниковою стрілкою від *північного напрямку меридіана* до напрямку лінії в даній точці.

Орієнтирний кут може мати значення від 0° до 360° . Знаки у *орієнтирних кутах* не передбачено.

Істинний (географічний) *меридіан* – лінія перетину поверхні земного еліпсоїда площиною, що проходить через *Північний* і *Південний* географічний полюси.

Магнітний меридіан – лінія, що з'єднує *магнітні полюси* на земній поверхні, тобто меридіан по відношенню до магнітних полюсів (проекція силової лінії магнітного поля на поверхню Землі).

Напрямок *магнітного меридіана* визначають за напрямом *магнітної стрілки*.

Напрямок осьового меридіана зони що в проєкції Гаусса – пряма лінія, паралельна осі x прямокутних координат і вертикальним лініям кілометрової сітки карти.

Він визначається *аналітично* за координатами точок – пунктів геодезичних мереж (результатів координатизації території).

Істинний меридіан названий умовно як узагальнене поняття геодезичного та астрономічного меридіанів.

На топографічних картах вихідні напрями позначають так: географічний меридіан – ★; магнітний меридіан – ↑; осьовий меридіан зони – Y.

Напрями істинного та магнітного меридіанів, проведені в одній і тій самій точці, не співпадатимуть, утворюючи кути.

Магнітне схилення δ – кут між географічним і магнітним меридіанами в точці. Напрямок магнітного меридіана визначається по магнітній стрілці бусолі, або компасу. Магнітні меридіани сходяться в *магнітних* полюсах Землі, які не співпадають з *географічними* полюсами, тому *магнітний* азимут не дорівнює *істинному* і відрізняється від нього на *схилення* магнітної стрілки. Воно може бути західним – або східним.

Якщо північний кінець магнітної стрілки відхилений від північного напрямку *істинного* меридіана на схід, схилення називають *східним* із знаком «+», якщо на захід – *західним* зі знаком «-».

Схилення у цій точці змінюється як протягом доби, так і протягом декількох століть.

Кути орієнтування

Кути орієнтування, вимірювані щодо початкових меридіанів, називають, відповідно *істинним* азимутом A_i та *магнітним* азимутом A_m .

Поняття *істинного азимута* – це узагальнене поняття *геодезичного та астрономічного* азимутів. Воно використовується замість поняття *географічний азимут* – двогранний кут між площиною меридіана даної точки і *вертикальною* площиною в даному напрямі, відлічується від напрямку на північ за ходом годинникової стрілки.

Дирекційними кутами α називаються кути орієнтування, вимірювані від північного напрямку осьового меридіана X_0 , або лінії йому паралельної, за ходом годинникової стрілки від 0° до 360° .

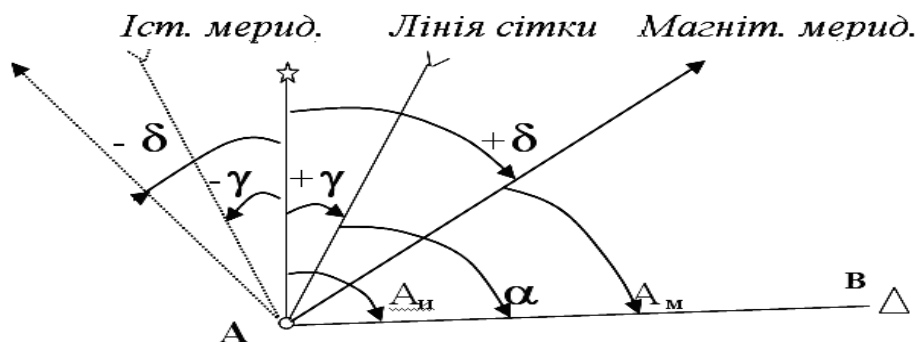


Рисунок 3.2 – Кути орієнтування

Кут γ між істинним меридіаном і вертикальною лінією сітки називають *зближенням меридіанів*. Може бути західним $-\gamma$ (–) або східним γ (+).

Значення *магнітного схилення* і зближення меридіанів зазначають під південною рамкою карти.

Зближення меридіанів можна обчислити за формулою:

$$\gamma = \sin \varphi \cdot (\lambda - \lambda_0), \quad (3.1)$$

де φ , λ – географічні широта і довгота точки, відповідно;

λ_0 – довгота осевого меридіана зони.

Залежності між істинним та магнітним азимутами і дирекційним кутом:

$$A_i = \alpha + (\mp \gamma); \quad A_i = A_m + (\mp \delta); \quad A_m = \alpha + (\pm \gamma) - (\pm \delta).$$

Напрями можуть бути *прямими і зворотними*.

У лінії АВ (рис. 3.3) напрям з точки А на точку В називають *прямим*, а з точки В на точку А – *зворотним*.



Рисунок 3.3 – Прямі і зворотні напрями (дирекційні кути, азимути напрямів)

Відповідно і дирекційні кути і азимути напрямів можуть бути прямими і зворотними: α_{AB} – прямий дирекційний, α_{BA} – зворотний.

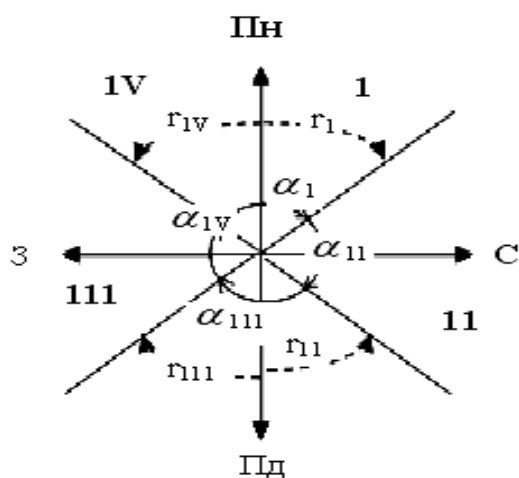
Залежність між прямим і зворотним кутами дирекцій виражається співвідношенням $\alpha_{пр} = \alpha_{зв} \pm 180^\circ$.

При вирішенні різних практичних завдань використовуються *румби*.

Румбом напрямку r називають *гострий кут* в межах 90° в одній із чвертей між найближчим північним або південним меридіаном (вертикальною лінією сітки) і цим напрямом. При позначенні румба зазначають чверть, а потім кутову величину в градусному вимірі.

Наприклад: для першої чверті – Пн Сх: $43^\circ 25'$, для другої – Пд Сх $62^\circ 38'$.

На рисунку 3.4 наведено залежності між румбами та азимутами.



Знаки		Чверть	Формули
X	Y		
+	+	I – ПнС	$\alpha_1 = r_1$
–	+	II – ПвС	$\alpha_2 = 180^\circ - r_2$
–	–	III – ПвЗ	$\alpha_3 = 180^\circ + r_3$
+	–	IV – ПнЗ	$\alpha_4 = 360^\circ - r_4$

Рисунок 3.4 – Залежність між румбами, азимутами та дирекційними кутами

У практиці геодезичних робіт часто доводиться передавати дирекційний кут на подальшу лінію через кут повороту.

Для цього за відомим дирекційним кутом попередньої лінії α_n і кутом повороту (β_l – лівий кут, або β_p – правий кут) обчислюється дирекційний кут подальшої лінії за формулами:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_l - 180^\circ \quad (3.2)$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \beta_{np} + 180^\circ \quad (3.3)$$

3.4 Умовні знаки на топографічних картах і планах

Географічний зміст топографічних карт передається через *топографічні умовні знаки* — застосовані на карті *позначення* різних об'єктів із їхніми кількісними та якісними характеристиками.

Найважливішим показником якості топографічних карт і планів поряд з *точністю* є їх *наочність*. Вона досягається шляхом застосування *умовних знаків*, за допомогою яких на картах і планах зображуються ситуація і рельєф місцевості. *Топографічні карти* відображають переважно ті об'єкти, які в натурі мають певні *обриси*. Зображення місцевості на карті, виконане методом ортогонального проектування, практично *подібне і одномасштабне*.

Умовні знаки є системою графічних, кольорових, літерних та цифрових позначень. *Єдина система умовних знаків* базується на таких основних положеннях: кожному умовному знаку відповідає визначений топографічний об'єкт місцевості; кожен умовний знак повинен мати чіткий і нескладний малюнок, що відрізняє його від інших умовних знаків; на картах різних масштабів умовні знаки того ж об'єкта можуть відрізнятися тільки розмірами.

Графічні знаки — різноманітні графічні побудови у вигляді фігур (значків) та ліній, які відрізняються за *формою, розмірами, кількістю елементів, орієнтуванням*.

Умовні знаки поділяються так:

а) *масштабні (площинні)* умовні знаки застосовуються для зображення об'єктів, натуральні розміри яких дають можливість відобразити в масштабі їхнє положення і конфігурацію;

Масштабний знак показує границю поширення того чи іншого об'єкта у вигляді лінії, характеризує сам об'єкт за допомогою фонового фарбування, літерно-цифрових позначень чи шляхом розстановки однакових значків всередині ділянки.



Рисунок 3.5 – Приклад контурних (масштабних) умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1000

На великомасштабних планах це будівлі, майданчики, проїзні частини вулиць, тротуари, пішохідні доріжки, газони, клумби та ін. На картах дрібних масштабів це ліси, чагарники, сільськогосподарські угіддя, озера, болота, піски тощо.

Масштабний умовний знак складається із зовнішнього контуру, що обмежує даний об'єкт, і внутрішнього малюнка або забарвлення, що відрізняють даний об'єкт від інших, тобто є його ідентифікатором:

б) *позамасштабні* умовні знаки – передають об'єкт, площа якого не виражається в масштабі карти, або який зосереджений у пункті (точці). *Малюнок знака* має правильну геометричну форму або спрощено нагадує (відтворює) зовнішній вигляд об'єкта. Істинне положення об'єкта показує центр фігури, центр основи, прямий кут або центр нижньої фігури умовного знака;

Позамасштабні умовні знаки застосовують для відображення *точкових об'єктів*, тобто об'єктів, натуральні розміри яких настільки малі, що їх не можна відтворити в масштабі. Це дорожні покажчики, кілометрові стовпи, окремі дерева, ліхтарі вуличного освітлення та ін; на картах дрібних масштабів – колодязі, невеликі мости, невеликі будівлі тощо.

в) *лінійні* знаки застосовують для передачі об'єктів, що мають лінійне простягання при невеликій ширині, яка не виражається в масштабі карти. Лінійні знаки показують лише простягання об'єкта (вісь лінії).

Колір як умовний знак застосовується для відображення якісних відмінностей об'єктів місцевості за видовими ознаками або для внутрішньовидових відмін.

Літерні знаки застосуються у вигляді:

а) *географічних назв*; смислове навантаження несуть шрифт, колір шрифту, розмір літер. Різними шрифтами передається тип населеного пункту, його адміністративне значення, а розмір літер вказує на людність (число жителів) поселення;

б) *пояснювальних написів*, які ставляться біля позамасштабних та інших умовних знаків, часто скорочено, наприклад, біля значка завод – його профіль: цукр. – цукровий, цем. – цементний) біля значка видатна споруда – шк. (школа), лік. – лікарня тощо.

Цифрові позначення використовуються для передачі кількісних характеристик об'єктів – ширина автодороги, розмір порому, характеристики броду тощо. Кількісні характеристики елементів місцевості – форм рельєфу, річок, деревостану тощо – усебічно використовуються при визначенні відносних висот точок місцевості, падіння та ухилу річок, прохідності доріг та інших показників.

Усі умовні знаки карт і планів повинні мати наочність і виразність. Умовні знаки для *всіх* масштабів карт і планів встановлюються нормативними та інструктивними документами і є *обов'язковими* для всіх організацій і відомств, що виконують знімальні роботи.

Усі умовні топографічні знаки карт і планів в Україні видаються у вигляді зведених таблиць. Всі знаки (близько 750 – близько 350 умовних знаків і понад 400 пояснювальних написів) розподілені в певні групи за близькими ознаками.

Всі елементи місцевості на топографічних картах поділяються так:

а) ті, що мають закінчені розміри – *місцеві предмети*, чи *ситуація*;

б) ті, що складають *форми поверхні Землі* чи *форми рельєфу*.

Залежно від масштабу карт або плану місцеві предмети показуються з різною детальністю. Так, на плані масштабу 1:2000 в населеному пункті будуть показані не тільки окремі будинки, та їх форма; на карті масштабу 1:50000 – тільки квартали, а на карті масштабу 1:1000000 все місто позначиться невеликим колом. Подібне узагальнення елементів ситуації і рельєфу при

переході від більш великих масштабів до більш дрібним називається *генералізацією* карт.

Питання для самоконтролю до теми 3

1. Що називають топографічними об'єктами місцевості?
2. Переліchte основні групи топографічних об'єктів місцевості.
3. Яке місце займає топографія серед інших наук?
4. Що називають планом, картою, профілем?
5. Що називають масштабом?
6. Що таке точність масштабу?
7. У якій формі може бути поданий масштаб?
8. Що означає орієнтувати лінію місцевості?
9. Як виразити румб через дирекційний кут і азимути?
10. Що називається істинним азимутом лінії місцевості?
11. Що називається зближенням меридіанів?
12. Як здійснюється перехід від азимутів ліній до румбам в різних чвертях?
13. Що називається магнітним азимутом лінії місцевості?
14. Що називається схиленням магнітної стрілки?
15. Що називається дирекційний кутом лінії місцевості?
16. Що таке умовні знаки планів і карт?
17. Як поділяються умовні знаки?
18. Для чого використовують цифрові позначення на картах?
19. Як перейти від істинного азимута лінії до магнітному азимуту?
20. Як перейти від магнітного азимута лінії до дирекційного кута?

ТЕМА 4 ПОБУДОВА І ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ

План

4.1 Рельєф.

4.2 Способи зображення рельєфу на планах та картах.

4.3 Зображення рельєфу на планах та картах горизонталями.

4.1 Рельєф

Рельєф, як топографічна поверхня

Рельєф – сукупність просторових *форм* (нерівностей) земної *поверхні*. Він є одним із головних елементів географічного середовища.

Поверхня – двомірний просторовий об'єкт, який визначається не тільки плановими координатами, але й аплікатою – (координатою Н) як одним з атрибутів об'єктів, що його утворюють, тобто *трійкою* координат.

Характер рельєфу враховується при освоєнні та заселенні території, розвитку транспорту, промисловості, сільського господарства і будівництва, виборі місця для населених пунктів, бойових дій тощо.

Узагальнене визначення поняття *моделі рельєфу* – це знаковий образ земної поверхні (оригіналу), що відтворює його характеристики, структуру і властивості.

Завдання відображення (модельовання) рельєфу на сучасних картах загалом зводиться до двох моментів:

1) модель (зображення) рельєфу на картах повинне бути пластичним, об'ємним, наочним;

2) модель (зображення) рельєфу повинне бути вимірним; за картами важливо визначати абсолютні та відносні висоти, крутизну, довжину та експозицію схилів тощо.

Детальним вивченням типів рельєфу, їх походженням, розвитком і закономірностями розповсюдження займається *геоморфологія*.

Створення зображення (моделювання) рельєфу

Зображення рельєфу далі розглядається, як створення *графічної* моделі.

Форма предмета – взаємне розташування кордонів (контурів) предмета, об'єкта, а також взаємне розташування точок лінії.

Поверхня в геометрії і геодезії – *двовимірне* топологічне різноманіття.

Найбільш відомими прикладами поверхонь є кордони геометричних тіл в звичайному тривимірному евклідовому просторі. «Двовимірність» поверхні має на увазі можливість реалізувати на ній метод координат. Так, поверхня Землі (в ідеалі) становить двовимірну сферу, широта і довгота кожної точки якої є її координатами. Концепція поверхні застосовується в геодезії при вивченні фізичних об'єктів.

Поверхня визначається як безліч точок, координати яких задовольняють певному виду рівнянь:

$$F(x, y, z) = 0.$$

Поверхня може бути визначена явно, якщо одну із змінних, наприклад, z , можна висловити через інші:

$$Z = f(x, y).$$

Також існує параметричний спосіб завдання. В цьому випадку поверхню визначається системою рівнянь.

Топографічні поверхні

Поверхні, в утворенні форми яких немає чіткої *геометричної* закономірності, називаються каркасними і графічними. До них належить земна поверхня, яку прийнято називати *топографічною*. Прикладом *топографічної* поверхні є поверхня деякої ділянки Землі, утворення якої *не підпорядковане* якомусь геометричному закону.

Отже, *топографічний план* – це зменшена модель обмеженої ділянки земної (топографічної) поверхні, побудована на горизонтальній площині в ортогональній проекції без урахування кривизни Землі.

Топографічну поверхню характеризують її *властивості*:

1. *Кінецьність*, – коли будь-яка точка поверхні має кінцеву (висоту) позначку, яка не може бути ні нескінченно великою, ні нескінченно малою величиною.

2. *Однозначність* – кожній парі координат x та y відповідає одне значення третьої координати h .

3. *Безперервність* – нескінченно малій зміні координат x та y відповідає нескінченно малий приріст координати h .

4. *Плавність* – горизонталі в плані і будь-якої лінії перетину мають плавні обриси.

Форми рельєфу

Форми рельєфу поділяють на: *опуклі* з кривизною «+», *угнуті* з кривизною «-», *плоскі* з ухилом «+», *плоскі* з ухилом «-» *горизонтальні* з ухилом «0» і *сполучення форм*.

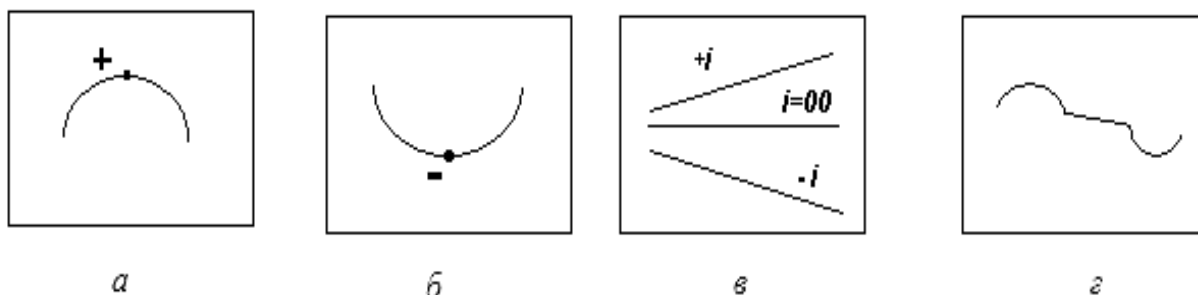


Рисунок 4.1 – Форми рельєфу: а – опукла; б – угнута; в – плоска; г – сполучення форм

При всій різноманітності рельєфу в топографії розрізняють такі основні форми рельєфу: гора, котловина, лощина, хребет, сідловина (рис. 4.1).

Гора, пагорб – це куполоподібна форма рельєфу, що здіймається над навколишньою місцевістю. Найвища її точка – вершина. Бокова поверхня – схили, нижня частина є основою або підшвою гори (рис. 4.2).

Улоговина або западина – це чашоподібне заглиблення, яке не має стоку води. Найнижча її точка – це дно, бокові поверхні – це спади (схили).

Лінія перетину схилу котловини з рівнинною місцевістю – бровка (рис. 4.2).

При зображенні гори і котловини на карті горизонталями останні становлять замкнуті криві.

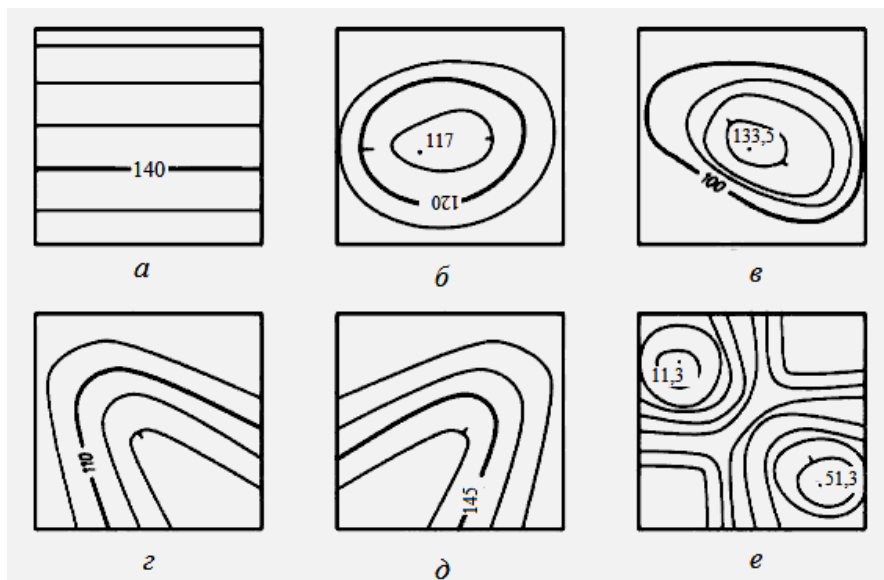


Рисунок 4.2 – Основні форми рельєфу: а – рівний схил; б – котловина; в – гора; г – лощина;
д – хребет; е – сідловина

Берг-штрихи на горизонталях гори спрямовані від її вершини до її основи, на горизонталях котловани – в напрямку до дна котловини.

Лощина – це витягнуте з нахилом заглиблення земної поверхні, що зображується на картах і планах угнутими горизонталями. Вісь лощини (лінія перетину її схилів) називають тальвегом або водостоком, або лінією водозбору (рис. 4.2). Лінія *водозбору* на карті або плані проходить *перпендикулярно горизонталям* в місцях їх найбільшої увігнутості.

Широка лощина з пологим схилом – *долина*, вузька лощина із обривистими схилами – *яр*. Яри зі стрімкими схилами зображаються умовними знаками в вигляді зубців (рис. 4.2). Яр, який заріс травою та кущами і пологими схилами, – *балка*. Майданчик на схилі долини – *тераса*.

Хребет – це витягнута в одному напрямку опукла форма земної поверхні. Зображається на картах і планах випуклими горизонталями. Лінія, що з'єднує найвищі точки хребта, є *вододільною* лінією, або *вододілом* (рис. 4.3).

Сідловина – це частина земної поверхні між двома вершинами. Це початок двох лощин, розміщених в поперечних напрямках від лінії вододілу.

Зображається горизонталями, опуклою частиною поверненими до неї. В горах найнижче місце сідловини називають *перевалом* (рис. 4.3).

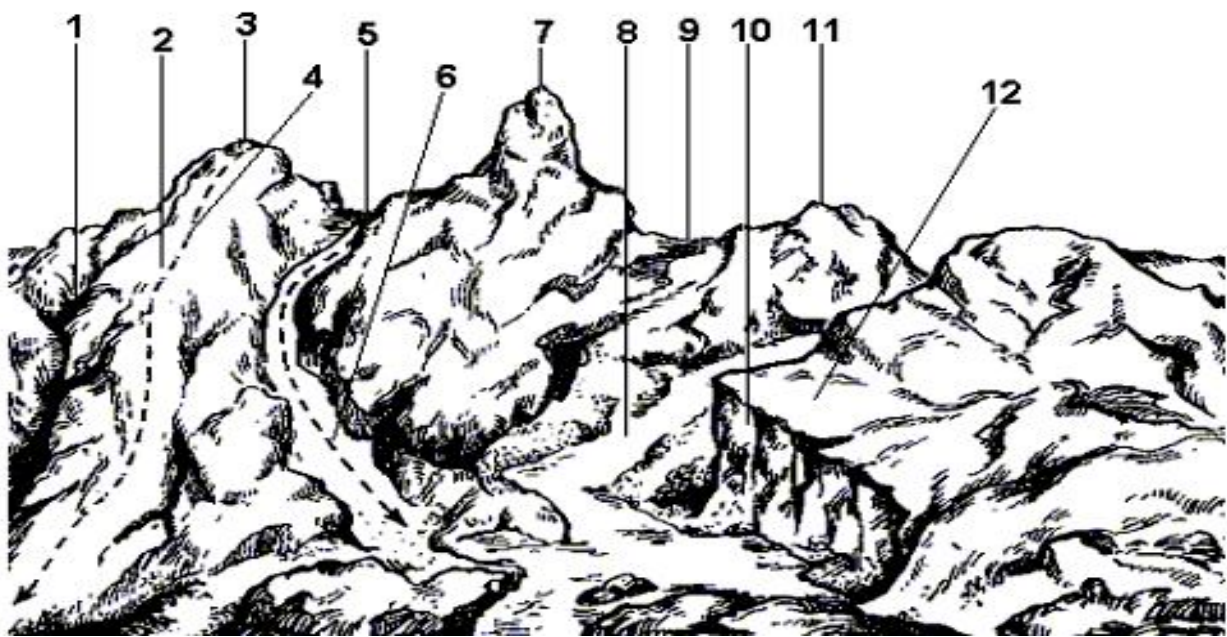


Рисунок 4.3 – Основні форми рельєфу: 1 – лощина; 2 – хребет; 3, 7, 11 – гора; 4 – водорозділ; 5,9 – сідловина; 6 – тальвег; 8 – ріка ; 10 – обрив; 12 – тераса

4.2 Способи зображення рельєфу на планах та картах

Рельєф місцевості – найважливіший елемент топографічних карт. Його зображення на планах та картах є складним завданням.

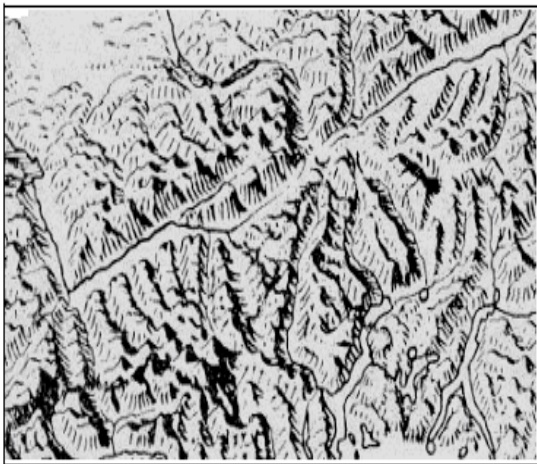
Рельєф – просторовий об'єкт, і його зазвичай розглядають у перспективі, тоді як зображують на площині.

Точності відображення земної поверхні на топографічній карті для проектування і будівництва усіх видів споруд надають особливого значення. Тому не випадково розроблено цілу низку способів зображення рельєфу на планах та картах.

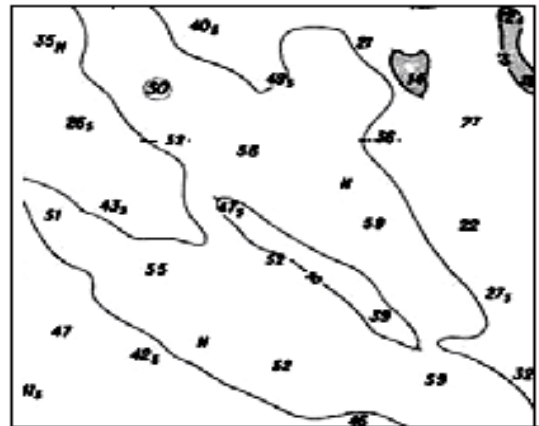
Спосіб зображення рельєфу на картах і планах повинен допомагати визначати напрямок і крутість скатів, а також позначки точок місцевості.

Окрім того, він повинен бути *наочним*. Найбільш досконалим з інженерного погляду способи зображення рельєфу – горизонталями у сполученні з підписом позначок характерних точок і цифровий.

Перспективне зображення рельєфу становить перспективне зображення хребтів, гір та інших великих форм рельєфу. Таке зображення має властивості значності, але не є ні пластичним, ні вимірюваним, бо відображає положення об'єктів зі спотворенням. Для цього способу не потрібні абсолютні та відносні відмітки, позначення крутизни схилів, достатньо лише передати загальне розташування водорозділів, напрями основних пасем і хребтів (рис.4.4)



а



б

Рисунок 4.4 – Зображення рельєфу: а – перспективне; б – способом висотних відміток

Спосіб висотних відміток, або спосіб позначок – спосіб зображення рельєфу за допомогою підписаних на карті абсолютних (відносних) висот точок.

Суть способу: на карту виписують відомі числові значення висот точок місцевості (позначки). Спосіб точний, але не наочний. Висотні точки є вихідними даними для зображення рельєфа горизонталями та іншими засобами.

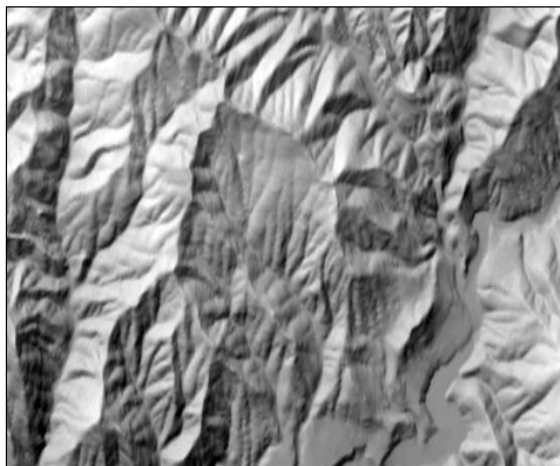
Гіпсометричний спосіб – спосіб зображення рельєфа горизонталями разом з дофарбуванням висотних ступенів між ними (рис. 4.5 а). Зазвичай використовується на гіпсометричних, загальногеографічних та фізичних картах дрібного масштабу.

Ці карти зазвичай охоплюють як рівнинні, так і гірські райони, де крутизна схилів велика, тому висота перетину рельєфу не зберігається однаковою для всієї території і постійно збільшується з підняттям угору.

Для забарвлення висотних ступенів застосовують різні гіпсометричні шкали (шкали кольорових тонів).



а



б

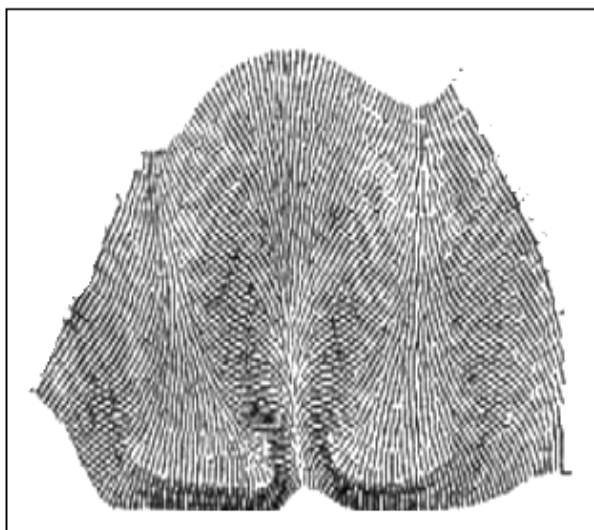
Рисунок 4.5 – Зображення рельєфу різними способами: а – гіпсометричним; б – відмивки

Спосіб відмивки – спосіб, у якому об'ємність зображення рельєфу досягається з допомогою півтонового відтінення на карті схилів шляхом розмивання фарби (рис. 4.5 б). При цьому на круті схили наносять більш темне півтонове зображення, яке висвітлюється в бік пологих схилів. Зображення рельєфа, виконане цим способом, не має властивості вимірності.

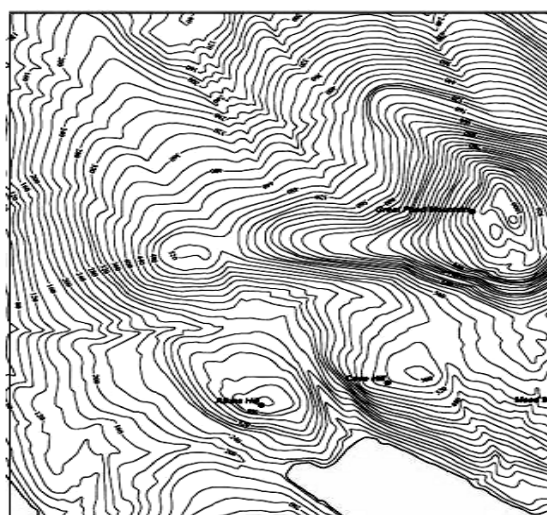
Спосіб штрихів – при якому пластичний ефект досягається з допомогою штрихів, які кресляться зверху вниз по схилах. Ступінь затінення (освітлення) створюється за допомогою співвідношення товщини штрихів та ширини білих проміжків між ними (рис. 4.6 а). Цей спосіб передає пластику рельєфу, але не дозволяє визначити абсолютні та відносні відмітки.

Спосіб горизонталей – спосіб зображення рельєфу за допомогою ліній, які з'єднують точки з однаковими висотами (рис. 4.6 б). Різниця висот двох сусідніх горизонталей є *висотою перерізу* рельєфу.

Цей спосіб є основним для всіх велико- та середньомасштабних загальногеографічних карт.



а



б

Рисунок 4.6 – Зображення рельєфу а – штрихами; б – горизонталями

Горизонталі є основні, додаткові, допоміжні. Цей спосіб дає можливість робити виміри. На дрібномасштабних фізичних та гіпсометричних картах, які відображають великі території, перетин рельєфу може бути перемінним для різних районів: низин, височин, високогірній.

Поняття проєкції з числовими позначками та цифрової моделі рельєфу

1. *Проекція з числовими позначками* (далі – ПЧП) – це модель поверхні, в якій *планове* положення точок описано графічно (у вигляді сітки із заданим кроком), а висотне подано цифрами – висотами точок в одній з систем висот.

Властивості поверхні моделі у ПЧП наведеної на рисунку 4.7, а саме:

– уся ділянка, як топографічна поверхня, обмежена за висотою:

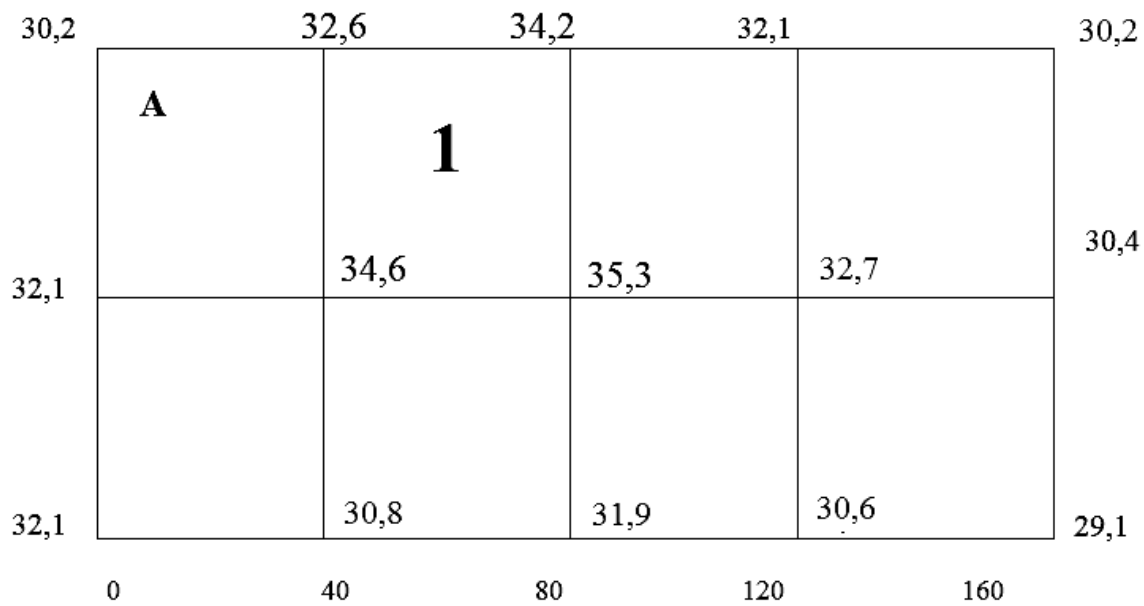
$$H_{\min} = 26,4 \text{ м}; \quad H_{\max} = 35,3 \text{ м}$$

– кожен квадрат у межах моделі – це площа загального положення, яка є *безперервною* поверхнею, населеною точками із обмеженими висотами;

У межах кожного квадрата обмежені висоти: $H_{j\min} < H_{i,j} < H_{j\max}$,

де j – номер квадрата;

Для позначеного квадрата № 1 – $32,6 \text{ м} < H_{i,j} < 35,3 \text{ м}$.



1: 2.000

Рисунок 4.7 – Модель ділянки місцевості в проєкції з числовими позначками

– сторони квадратів є *прямими загального положення*, населеними точками, висоти яких у межах кожної сторони квадрата $H_{min} < H_{nj} < H_{max}$;

– висоти точок по сторонах і діагоналях кожного квадрата змінюються від H_{jn} до H_{jk} , за лінійною залежністю $H_p = H_n + id$, де H_{jn} , H_{jk} – висоти початкової та кінцевої точок інтервалу; i – ухил лінії; d – відстань між точками.

Одже між точками з висотами $H = 32,6$ та $34,2$ (рис. 4.8) обов'язково лежатимуть точки з висотами $H = 33,0$ та $H = 34,0$.

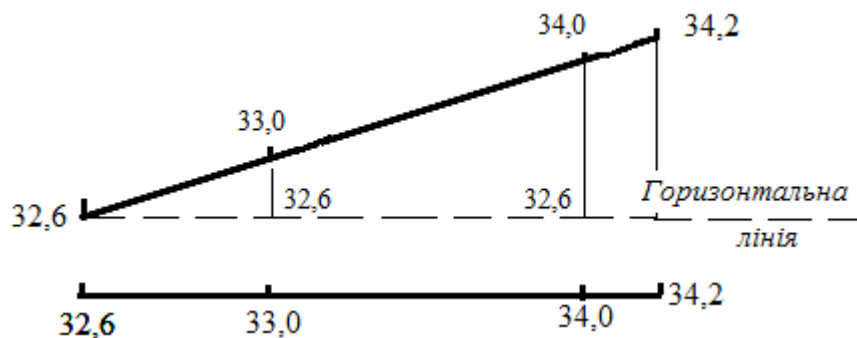


Рисунок 4.8 – Визначення висот точок в інтервалі

Подання топографічної поверхні у вигляді проєкції з числовими позначками *не дозволяє* отримати наочне уявлення про форми рельєфу і не має

широкого використання. В конспекті розглядається як навчальний *допоміжний* приклад.

2. Цифрова модель *земної поверхні* становить множину, елементами якої є топографо-геодезична інформація про рельєф місцевості і правила поводження з нею, яка дозволяє з потрібною точністю відобразити рельєф місцевості або його окремі характеристики. Тобто: цифрова модель *рельєфу* (далі – ЦМР) – сукупність (масив, файл) висотних відміток Z , взятих в вузлах деякої мережі точок з координатами x, y та закодованих в числовій формі.

При моделюванні рельєфу залежно від розміщення точок і подання інформація, виокремлюють три види ЦМР:

– *регулярні* – із розміщенням точок у вершинах сітки квадратів заданої густоти. Вся інформація про рельєф представлена матрицею висот точок. Така модель дуже компактна за обсягом інформації, але зовсім не враховує характер рельєфу, і в цьому її недолік;

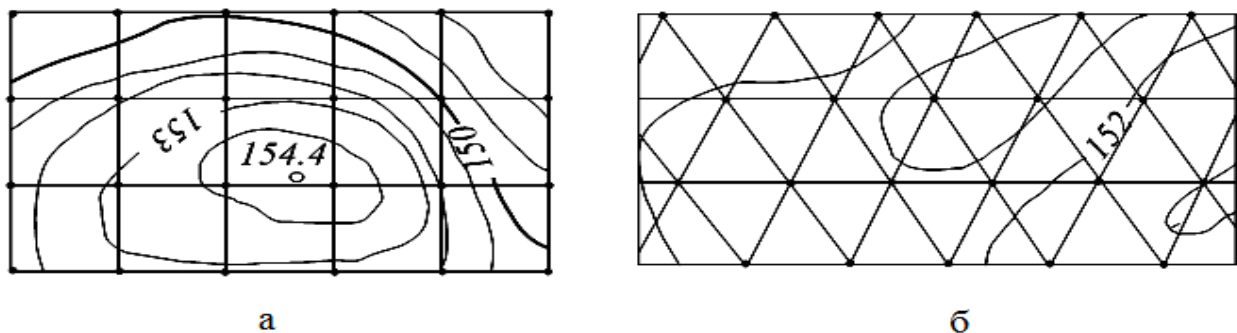


Рисунок 4.9 – Регулярні цифрові моделі рельєфу

Сітка, у вершинах якої розміщені точки, може мати вигляд квадратів (рис. 4.9 а), рівносторонніх або рівнобедрених трикутників (рис. 4.9 б).

Структурні моделі враховують *структурну* будову рельєфу місцевості. В них точки розміщуються на характерних лініях рельєфу (тальвег, вісь, лощини, хребет, лінії вододілу (водозбору) тощо, у місцях змінювання ухилів рельєфу, характерних точках (рис. 4.10).

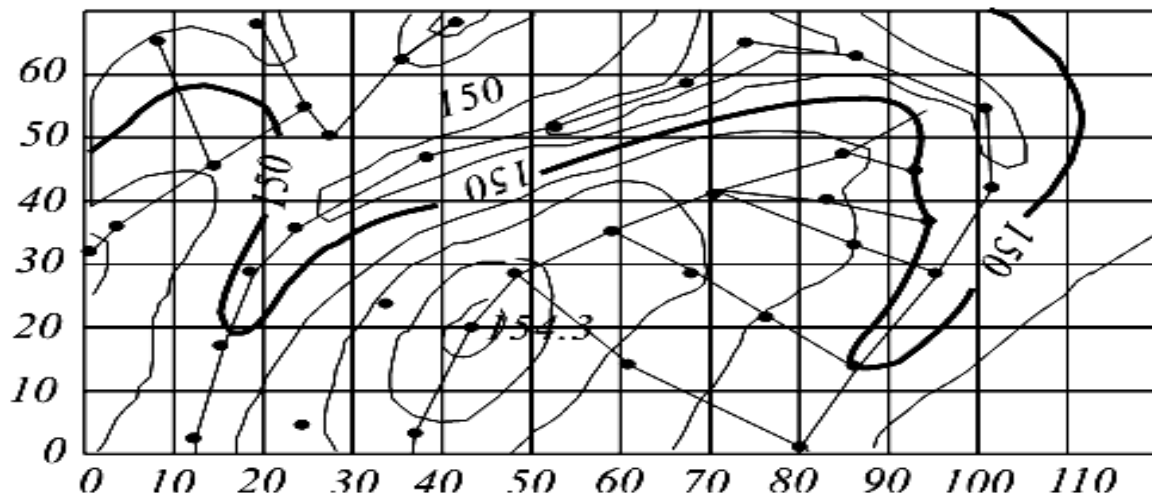


Рисунок 4.10 – Структурна цифрова модель рельєфу

4.3 Зображення рельєфу на планах та картах горизонталями

Принцип моделювання рельєфу горизонталями

За цим принципом перетин рельєфу умовними горизонтальними січними площинами виконують із заданою *постійною* відстанню між площинами по висоті. Таку відстань називають *висотою перетину* рельєфу (h_0).

Січні площини є іменованими – мають *чисельні* значення, які дорівнюють *висотам* січних площин.

Сліди перетину ортогонально проєктують на *горизонтальну* площину у вигляді *ізоліній* – ліній одного рівня (однієї висоти) (рис. 4. 17).

Таким чином, *горизонталь* – це:

- слід від перетину фізичної земної поверхні площиною із заданою висотою;
- крива замкнута лінія, що зображає геометричне місце точок з *однаковими* висотами.

Висота перерізу рельєфу – це відстань по прямовисній лінії між сусідніми січними площинами.

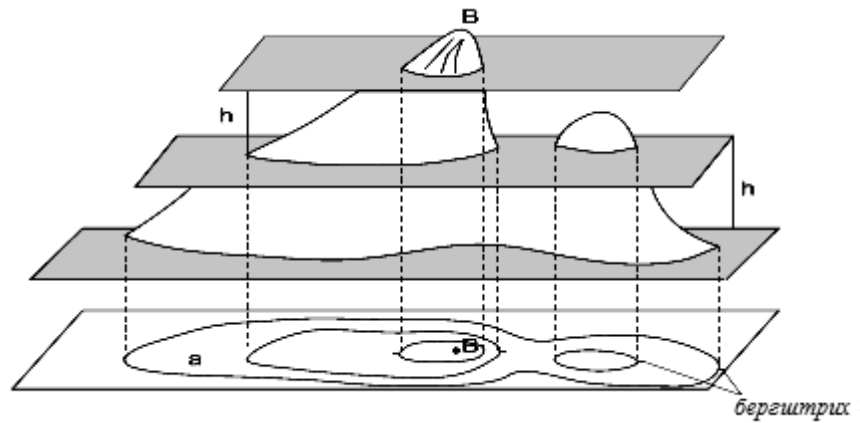


Рисунок 4.11 – Принцип утворення горизонталей

Властивості горизонталей: горизонталі мають однакову висоту у всіх точках, не перетинаються, не роздвоюються не обриваються.

Закладення – відстань між сусідніми горизонталями на плані – показник крутизни схилу.

Слід горизонталі – точка, висота якої дорівнює висоті горизонталі, яку будують. Вона лежить на прямій (стороні, або діагоналі квадрата сітки) між точками з відомими висотами.

Для побудови моделі рельєфу методом горизонталей необхідні:

- упорядкована сукупність точок з *відомими* висотами. Це може бути проєкція з числовими позначками (далі – ПЦП), матриця висот, журнал зйомки та ін;

- опис відносин між точками (абрис), або план з точками;

- спосіб отримання на плані точок, що належать горизонталям (слідів).

Основний принцип при побудові моделі рельєфу горизонталями:

- використовується властивість горизонталі – *лінія, що з'єднує точки з рівними висотами*;

- для побудови горизонталі необхідно серед уже наявних на плані точок з відомими висотами знайти положення *слідів горизонталі* – точок з висотами, рівними висотам горизонталі та з'єднати їх між собою, враховуючи відносини між точками (абрис).

Термін «інтерполяція» з латинської перекладається, як «вставка всередину». У математичному сенсі це спосіб знаходження проміжних значень величини за наявним дискретним набором відомих значень. У геодезії *інтерполяція* слідів горизонталей – це визначення положення між заданими на карті точками точок з *однаковими* висотами.

Види інтерполяції: аналітична (обчисленням), графічна – вручну («на око» та з допомогою палетки).

Побудова ескізу рельєфу

Початківцями для отримання навичок уявлення і подання рельєфу горизонталями та полегшення визначення положення слідів горизонталей при аналітичному і графічному інтерполюванні рекомендується побудова *ескізу рельєфу*. Ескіз – попередній начерк, що фіксує задумане (рис. 4.12).

Метою побудови *ескізу* є визначення наближеного «на око» положення слідів горизонталей у заданому інтервалі між точками з *відомими* висотами.

Послідовність побудови ескізу (відповідно до рисунку (4.12):

- 1) задати висоту перерізу рельєфу h_0 ($h_0 = 1, 0$ м);
- 2) визначити висоту горизонталей, які необхідно зобразити та їхню кількість, обчисливши перепад (різницю) висот на ділянці:
 - знайти найнижчу і найвищу точки: $H_n = 30,2$ м; $H_v = 32,6$ м;
 - заокруглити H_n в більшу сторону до числа, кратного висоті перерізу рельєфу h_0 (1 м);
 - отримаємо висоту *найнижчої* горизонталі $H_n = 31$ м;
 - заокруглити H_v в меншу сторону до числа, кратного h_0 – отримаємо висоту *найвищої* горизонталі $H_v = 32,0$ м;
- 3) визначити перелік горизонталей, які необхідно зобразити 31, 32, ..., 35 м;
- 4) проаналізувати значення висот, розглядаючи кожен квадрат сітки, як окрему поверхню, визначити на його сторонах можливе положення слідів горизонталей;
- 5) позначити попереднє положення горизонталей – (рис. 4.12).

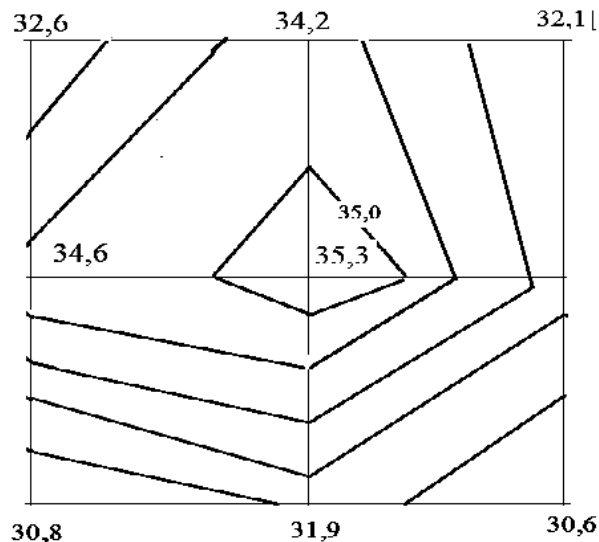


Рисунок 4.12 – До побудови ескізу рельєфа

Наприклад, у інтервалі між точками 32,6 – 34,2 будуть точки з висотами 33,0 та 34,0.

Між точками з однаковими висотами (слідами) проводять лінії, які мають однакову висоту і отримують попереднє зображення рельєфу горизонталями.

Визначення положення слідів горизонталей за допомогою аналітичного інтерполювання

Мета аналітичного інтерполювання – забезпечення максимально високі точності визначення положення слідів горизонталей у заданому інтервалі між точками з відомими висотами, (доцільно використовувати тільки за наявності необхідної програми).

Порядок інтерполювання горизонталей за допомогою аналітичного методу (рис. 4.13):

- задати висоту перерізу рельєфу h_0 та визначити висоти горизонталей, що підлягають зображенню;
- виконати аналітичне інтерполювання відповідно до ескізу і внести результати інтерполювання у таблицю 4.1;
- нанести сліди на план, відкладаючи у масштабі обчислені у таблиці 4.1 відстані від вершин квадратів до шуканих точок;
- поєднати у кожному квадраті (як окремій поверхні) сліди з однаковим висотами, тобто побудувати горизонталі;

- зкоректувати форму горизонталей відповідно до форми рельєфу.

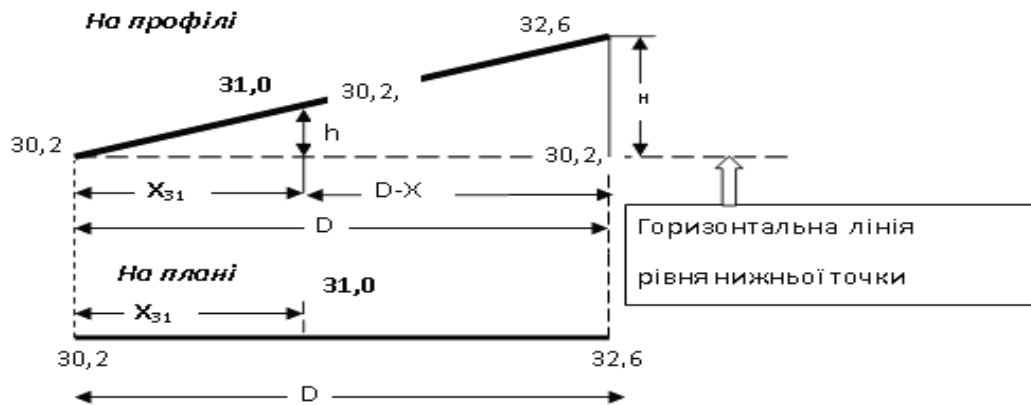


Рисунок 4.13 – До аналітичного інтерполювання слідів горизонталей

Положення слідів горизонталей у заданому інтервалі визначають шляхом розрахунків відповідно до рисунка 4.13:

$$x_n = (h_n \cdot D) / H, \quad (4.1)$$

де x_n – відстань від нижньої точки до сліду горизонталі в плані;

$$h_n = H_z - H_n, \quad H = H_b - H_n,$$

де D – відстань між крайніми точками інтервалу (довжина сторони сітки)

h_n – перевищення між горизонталлю і нижньою точкою інтервалу;

H – перевищення між верхньою і нижньою точками інтервалу;

H_n , H_b , H_z – висоти нижньої і верхньої точок інтервалу та горизонталі відповідно.

Зокрема для рисунка 4.13: $H_n = 30,2$; $H_b = 32,6$; $H_z = 31,0$; $D = 40,0$.

Тоді:

- перевищення між горизонталлю і нижньою точкою інтервалу:

$$h_n = H_z - H_n = 31,0 - 30,2 = 0,8;$$

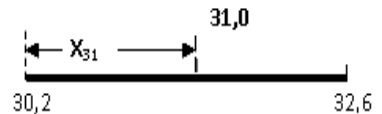
- перевищення між верхньою і нижньою точками інтервалу:

$$H = H_b - H_n = 32,6 - 30,2 = 2,4 \text{ м.}$$

За формулою (4.1): $x_n = (h_n \cdot D) / H = (0,8 \cdot 40) / 2,4 = 13,3 \text{ м.}$

У таблиці 4.1 наведено приклад аналітичного інтерполювання.

Таблиця 4.1 – Аналітичне інтерполювання слідів горизонталей

	Схема	Похідні дані	Результат
1		$H_n = 30,2 ; H_b = 32,6$ $H_z = 31,0 : D = 40,0$	$x_{31} = \frac{0,8 \cdot 40}{2,4} = 13,3$
2	...	...	...

Інтерполювання слідів горизонталей графічним методом

Положення точок з прийнятною точністю може визначатися графічним інтерполюванням відповідно до ескізу.

Для інтерполювання графічним методом застосовується *палетка* – система паралельних ліній (рис. 4.14) з постійною відстанню між ними 5–10 мм (за необхідності). Палетка може бути прозорою або непрозорою.

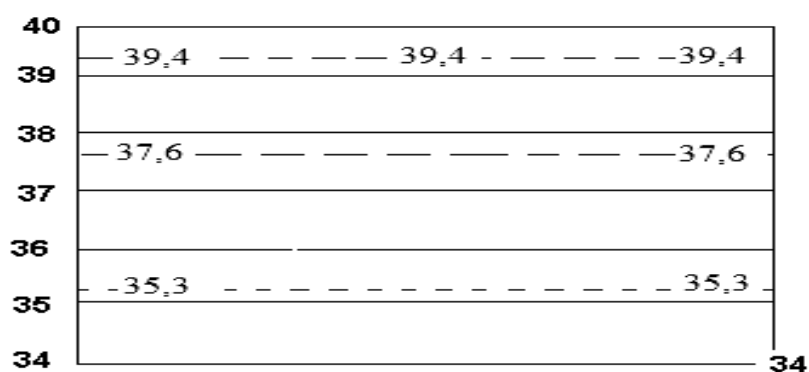


Рисунок 4.14 – Палетка

Властивості палетки:

а) кількість ліній n палетки дорівнює кількості горизонталей, які необхідно зобразити +2: (рис. 4.14, $n = 6$);

б) лініям палетки надані висоти, горизонталей, які необхідно зобразити;

в) усі точки на кожній лінії палетки (і паралельних до даних ліній) мають відповідну *однакову* висоту;

г) простір між лініями палетки заповнений точками з висотами

$$H_n < H < H_b,$$

де H_n та H_b – висоти нижньої та верхньої лінії палетки відповідно;

д) висоти точок між лініями палетки змінюються за лінійним законом у напрямі, перпендикулярному до ліній палетки;

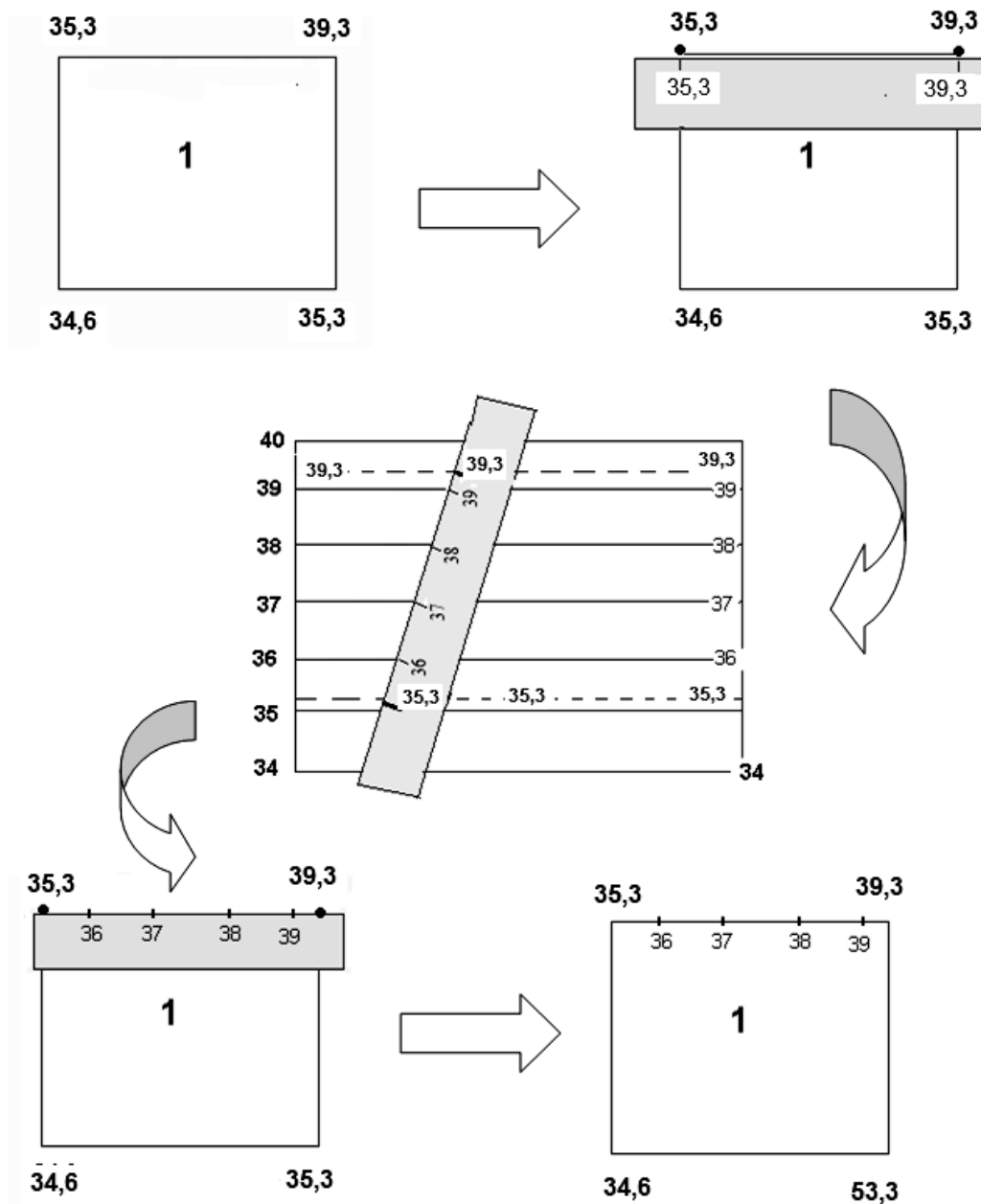


Рисунок 4.15 – Послідовність дій при графічному інтерполюванні слідів горизонталей

Послідовність дій при графічному інтерполюванні слідів горизонталей (рис. 4.15):

- побудувати план з висотами точок;
- встановити висоту перерізу, визначити перелік горизонталей, які необхідно зобразити; 36, 37, 38, 39...;

- підготувати палетку;
- інтерполювати сліди горизонталей і уточнити положення слідів і горизонталей;
- зобразити рельєф з урахуванням форми.

Правила зображення рельєфу горизонталями

У топографії висоти перетину, виражені в метрах, можуть набувати значень: 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 25,0; 50,0; 100,0.

Вибір висоти перетину залежить від рельєфу, масштабу карти або плану.

При зображенні рельєфу горизонталями слід дотримуватись таких правил:

- горизонталі зображують коричневим кольором (сієна палена);
- горизонталі, кратні п'яти висотам перерізу рельєфу роблять товстішими і підписують;
- напрямки скатів показують бергштрихами;
- горизонталь повинна бути безперервною плавною лінією;
- коли відстань між горизонталями (закладення) становить 25 мм, проводять додаткові горизонталі (півгоризонталі) у вигляді штрихової лінії;
- вододільні і водозбірні лінії горизонталі перетинають під прямим кутом;

При кінцевому оформленні плану виконують деяке згладжування горизонталей відповідно до загального характеру рельєфу, при цьому гранична похибка зображення рельєфу горизонталями не повинна перевищувати $\frac{1}{3}$ основного перетину.

Питання для самоконтролю до теми 4

1. Що таке рельєф?
2. Що називається висотою перерізу рельєфу?
3. Які основні вимоги до моделі рельєфу?
4. Наведіть узагальнене визначення поняття моделі рельєфу.
5. Що прийнято називати топографічною поверхнею?

6. Які властивості характеризують топографічну поверхню?
7. Форми рельєфу за кривизною.
8. Дайте визначення лощини.
9. Способи зображення рельєфу.
10. Проекція з числовими позначками.
11. Властивості поверхні моделі у ПЧП.
12. Цифрова модель земної поверхні.
13. Які особливості регулярних ЦМР?
14. Які особливості структурних ЦМР?
15. Принцип моделювання рельєфу горизонталями.
16. Дайте визначення горизонталі.
17. Що таке висота перерізу рельєфу?
18. Назвіть властивості горизонталей.
19. Основний принцип при побудові моделі рельєфу горизонталями.
20. Мета аналітичного інтерполювання.
21. Порядок інтерполювання горизонталей аналітичним методом.
22. Порядок інтерполювання слідів горизонталей графічним методом.
23. Назвіть властивості палетки.
24. Правила зображення рельєфу горизонталями.
25. Коли проводять додаткові горизонталі?
26. Від чого залежить вибір висоти перетину рельєфу?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

ЗАСОБИ І МЕТОДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

ТЕМА 5 ЗАСОБИ І МЕТОДИ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

План

5.1. Принцип кутових вимірювань у геодезії.

5.2. Засоби кутових вимірювань.

5.3. Методи кутових вимірювань.

5.4. Перевірки теодолітів.

5.1 Принцип кутових вимірювань у геодезії

Кутові і лінійні вимірювання і побудови є основою топографо-геодезичних робіт різного призначення та різного рівня складності (точності).

Кут – це властивість, яка характеризує поворот від початкового до кінцевого положення рухомого променя, що виходить з точки – вершини.

У геодезії *горизонтальний кут* звичайно позначають буквою β .

Для вимірювання кута (визначення його величини в одиницях, прийнятих у кутових вимірюваннях) необхідно:

1) кут *означити*: позначити положення вершини кута і напрямків, які його утворюють;

2) мати круг із рівномірною коловою шкалою (поділками) і позначеним центром;

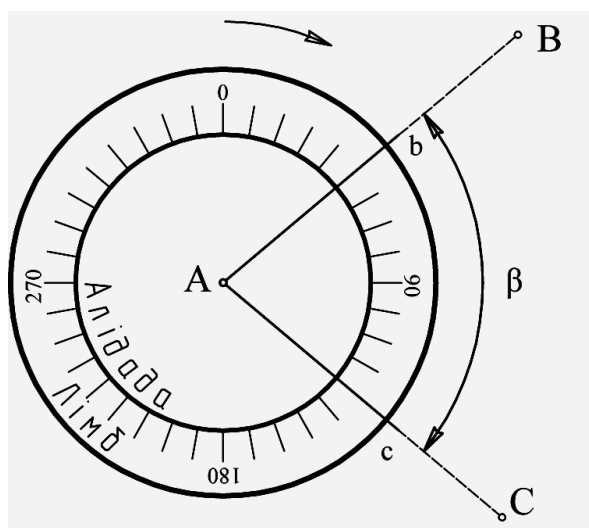


Рисунок 5.1 – Схема круга кутомірного приладу

3) визначити схему вимірювання. Для цього напрями, які утворюють кут позначають так: лівий (задній) (Л) та передній (П) – правий за ходом годинникової стрілки. Відповідні кінцеві точки напрямів – задня (З) та передня (П);

4) сумістити центр круга з вертикальною лінією, яка проходить через вершину кута;

5) знайти на шкалі круга місця перетину з напрямками, які утворюють кут;

6) взяти відліки N_1 (П) та N_2 (З) по шкалі круга за *ходом годинникової стрілки* (зліва направо);

7) обчислити значення виміряного кута: $\beta = П - З = N_1 - N_2$;

8) для контролю виконують декілька вимірювань.

Багаторазові вимірювання кута сприяють підвищенню надійності (зменшують похибку) остаточного результату вимірювань.

Одиниці кутових вимірювань, прийняті в Україні: кутові градуси, мінути, секунди.

$$1 \text{ градус } (1^\circ) = 60 \text{ мінут } (60') = 3600 \text{ секунд } (3600'').$$

У деяких випадках застосовуються десяткові градуси $1^\circ/60 = 0,1^\circ$.

Вимірювання кутів на місцевості

Кутові вимірювання виконують з метою визначення у просторі або на горизонтальній площині взаємного розташування точок місцевості.

Для визначення положення точок в плані вимірюють горизонтальні кути. Для визначення їх положення за висотою вимірюють вертикальні кути (кути нахилу). Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на місцевості виконується спеціальними геодезичними приладами.

Кутові вимірювання на місцевості пов'язані з *прямовисною лінією*, що проходить через вершину вимірюваного кута.

Для вимірювання на місцевості кута ABC між лініями BA і BC (рис. 5.2 а). умовно проводять через ці лінії прямовисні площини K_1 і K_2 , які перетинаються по прямовисній лінії BB_1 , що проходить через *вершину* кута. Площини

двогранного кута, перетинаючись з рівневою поверхнею P , утворюють горизонтальний кут β .

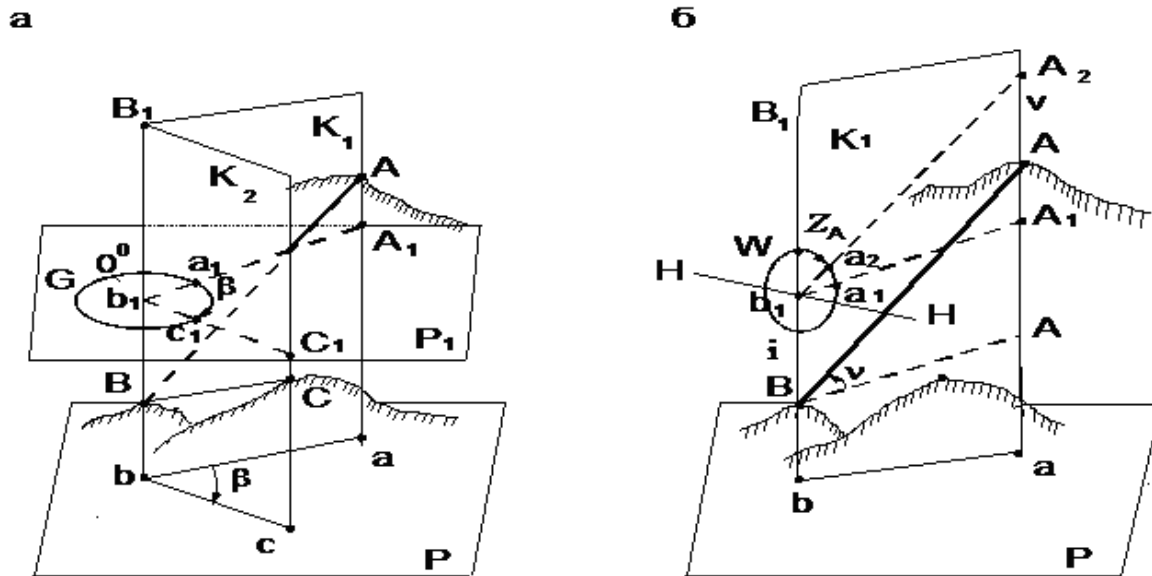


Рисунок 5.2 – Геометрична схема кутових вимірювань

Прямовисну площину K_1 можна уявити, як площину, що утворена лінією b_1A_2 , яка може обертатися навколо горизонтальної осі і проходить через лінію BB_1 (рис. 5.2 б).

Якщо в площині K_1 розмістити вертикальний кутомірний круг W з центром у точці b_1 , то можна визначити *вертикальний кут* нахилу лінії b_1A_2 . Кут нахилу лінії b_1A_2 буде дорівнювати куту нахилу лінії BA місцевості, якщо ці лінії паралельні.

Рухома лінія b_1A_2 називається *лінією візування*, а прямовисна площина K_1 – *колімаційною площиною*.

5.2 Засоби кутових вимірювань

Для вимірювання і побудови кутів при виконанні геодезичних робіт різної точності свого часу були створені різноманітні прилади, які поступово застарівали.

Найбільш досконалим є кутомірний прилад у вигляді *теодоліта*, в якому реалізовано загальний принцип вимірювання кутів (рис. 5.3).

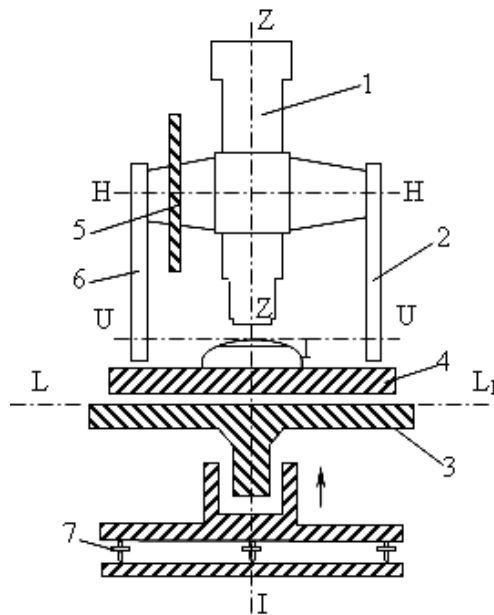


Рисунок 5.3 – Геометрична схема та основні частини теодоліта

Усі теодоліти мають загальні основні частини (рис. 5.3): зорова труба (1), рівні, робочі міри, горизонтальний із лімбом (3) і алідадою (4), та вертикальний (5) круги, відлікові системи і встановлювальні пристрої, підставки (2) і піднімальні гвинти (7).

Конструктивно теодоліт складається з *верхньої* рухомої частини і *нижньої* нерухомої – підставки (3) трьома підйомними гвинтами (7). Теодоліт встановлюється на штатив і прикріплюється становим гвинтом.

Штатив складається з металевої верхньої частини – головки і трьох розсувних ніжок змінюваної довжини. На становому гвинті є центрований гачок, до якого підвішується нитковий висок. За допомогою виска центрують теодоліт над *вершиною* вимірюваного кута.

Виходячи з *принципової схеми* кутових вимірювань теодоліт має такі геометричні елементи: вертикальну вісь обертання (I-I); вісь візування (Z-Z), горизонтальну вісь обертання зорової труби (H-H), площину горизонтального кутомірного круга (ГК).

Обов'язковим є однакове взаємне розміщення таких осей теодоліта: візирна вісь труби Z-Z₁, вісь рівня на алідаді горизонтального круга L-L₁, горизонтальна вісь обертання труби H-H₁ і вісь обертання приладу (основна) I-I₁.

Принципова схема теодоліта забезпечує виконання основних геометричних умов: вісь обертання приладу мусить бути вертикальною; площина лімба LL_1 – горизонтальною; площа візування – вертикальною.

При вимірюванні кутів найбільше значення має дотримування 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 $HH_1 \parallel LL_1$.

При вивченні геодезії на *першому* курсі студентами спеціальності 193 розглядаються тільки засоби і методи геодезичних вимірювань технічної точності. Для кутомірних приладів, це оптичні теодоліти серії Т30.

Основні конструктивні елементи теодолітів

За *функціональним* призначенням конструктивні елементи теодоліта об'єднані в *пристрої* орієнтування в просторі, наведення і вимірювання.

Пристрої орієнтування в просторі включають осьові системи, горизонтуючий пристрій та центрир.

Осьові системи призначені для реалізації геометричної схеми приладу і приведення елементів теодоліта у певне положення в просторі у відповідності з принципом кутових вимірювань. За призначенням і розміщенням розрізняють *вертикальні і горизонтальні осьові системи*.

Під *вертикальною осьовою системою* розуміють систему, що з'єднує нижню частину теодоліта (підставку), з його верхньою частиною, яка несе пристрої наведення і вимірювання. У теодолітах серії Т30 використовується *вертикальна осьова система* повторювального типу, циліндрична, порожня.

Вона забезпечує два види обертання верхньої алідадної частини теодоліта: спільне з лімбом і відокремлене від лімба.

Горизонтальна осьова система, перпендикулярна до вертикальної осьової системи – для обертання зорової труби, розміщення вертикального кутомірного круга та інших деталей.

Пристрій горизонтування для приведення вертикальної осі у прямовисне положення. Він складається з підставки з циліндричною втулкою, трьох підйомних гвинтів і циліндричного *рівня* з виправними гвинтами (рис. 5.4).

На рисунку 5.4 представлено конструктивні елементи теодоліта 2ТЗМ.

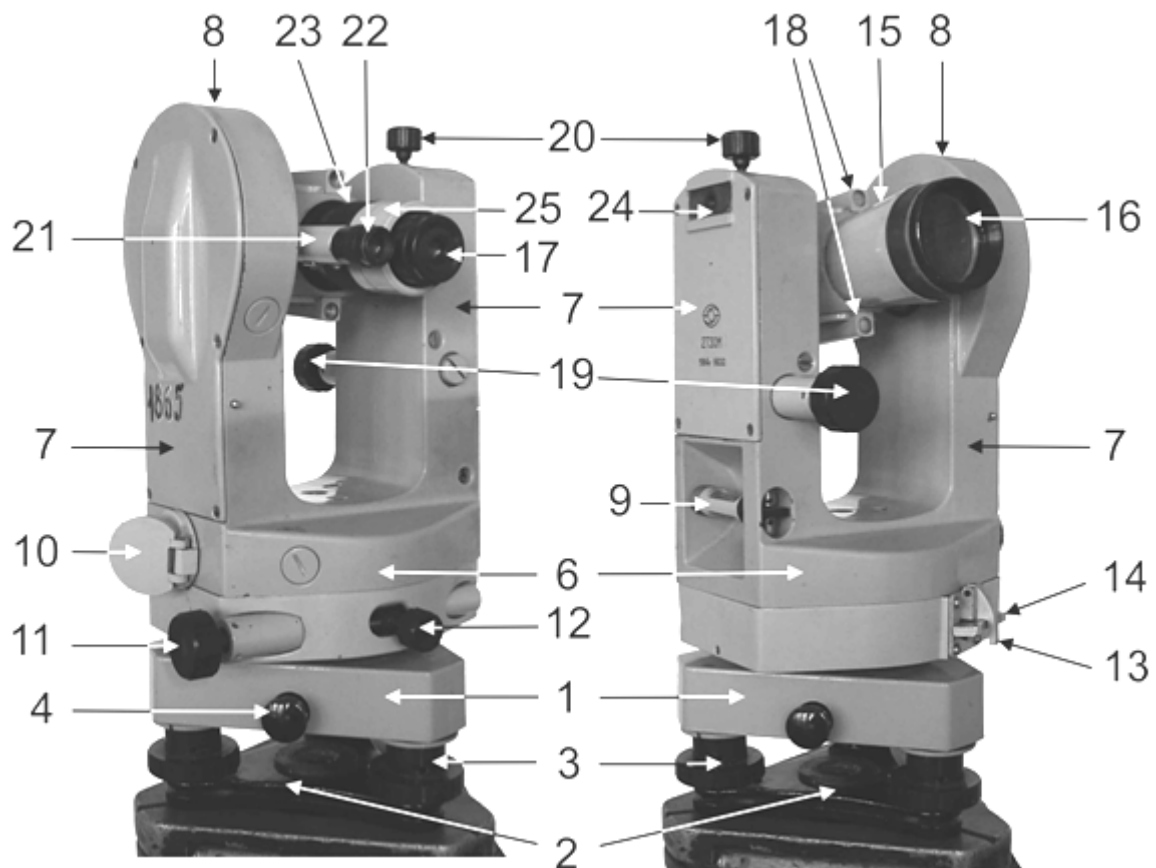


Рисунок 5.4 – Основні конструктивні елементи теодоліта 2ТЗ0М:

1 – підставка теодоліта; 2 – основа підставки; 3 – підйомні гвинти; 4 – фіксатор вертикальної осі; 5 – закріпний гвинт підставки (на малюнку не видно); 6 – корпус горизонтального круга; 7 – несучі колонки; 8 – корпус вертикального круга; 9 – циліндричний рівень; 10 – дзеркало підсвічування оптичної системи всередині теодоліта; 12 – закріпний гвинт лімба горизонтального круга; 11 – навідний гвинт лімба горизонтального круга; 13, 14 – пара «фіксатор»; 15 – зорова труба; 16 – об’єктив зорової труби; 17 – діоптрійне кільце окуляра зорової труби; 18 – колиматорні візири; 19 – закріпний гвинт зорової труби; 20 – навідний гвинт зорової труби; 21 – трубка оптичного мікроскопа; 22 – окуляр оптичного мікроскопа; 23 – кільце фокусування зорової труби; 24 – кронштейн для кріплення магнітної буссоли; 25 – захисний ковпачок.

Циліндричний рівень горизонтального круга складається з двох частин: чутливого елемента (2) і підставки (рис. 5.5). Як чутливий елемент рівня використовується ампула з рідиною і бульбашкою, верхня внутрішня поверхня ампули є дугою великого радіусу. На зовнішній поверхні рівня нанесені

штрихи (4) з кроком 2 мм. У середній частині рівня розташована точка – *нуль-пункт* рівня.

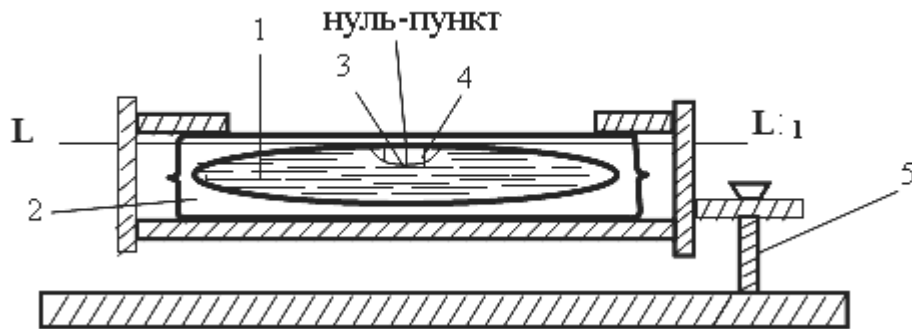


Рисунок 5.5 – Циліндричний рівень

Рівень має виправні гвинти (5), які можуть змінювати його положення.

Лінія LL_1 , дотична до внутрішньої поверхні рівня, називається *віссю рівня*.

Основними параметрами циліндричного рівня є ціна поділки рівня τ і чутливість рівня $D\tau$.

Ціна поділки рівня – кут, на який необхідно нахилити вісь рівня, щоб його бульбашка відхилилася від середини на *одну поділку*.

Чутливість рівня – це найменший кут, на який потрібно нахилити вісь рівня, щоб бульбашка змістилась на десяту частку поділки шкали.

Круги. Відлікові системи

Вимірювальний пристрій теодолітів серії Т30 призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів. До його складу входять лімби горизонтального і вертикального кругів, що відіграють роль еталонів, з якими порівнюються при вимірюванні значення кутових величин, і *відліковий пристрій* (мікроскоп).

Лімб – це робоча міра теодоліта у вигляді кругової шкали, нанесеної на скляний круг. Оцифровка поділок на лімбі виконується через 1° або $10'$.

Ціною поділки лімба називається центральний кут, що відповідає дузі між двома сусідніми штрихами. Ціна поділки лімбів горизонтального і вертикального кругів теодоліта Т30 дорівнює $10'$, теодолітів 2Т30М – 1° .

Вертикальний круг закріплений на торці горизонтальної осі.

Відлікові пристрої служать для відліку часток круга при вимірюванні кутів. У технічних теодолітів це *штрихові* та *шкалові* мікроскопи. Сучасні теодоліти мають скляні лімби, що дозволяє застосовувати оптичні відлікові пристрої.

Виміряні горизонтальні кути відлічують за шкалою Г і вертикальні – за шкалою В (рис. 5.6).

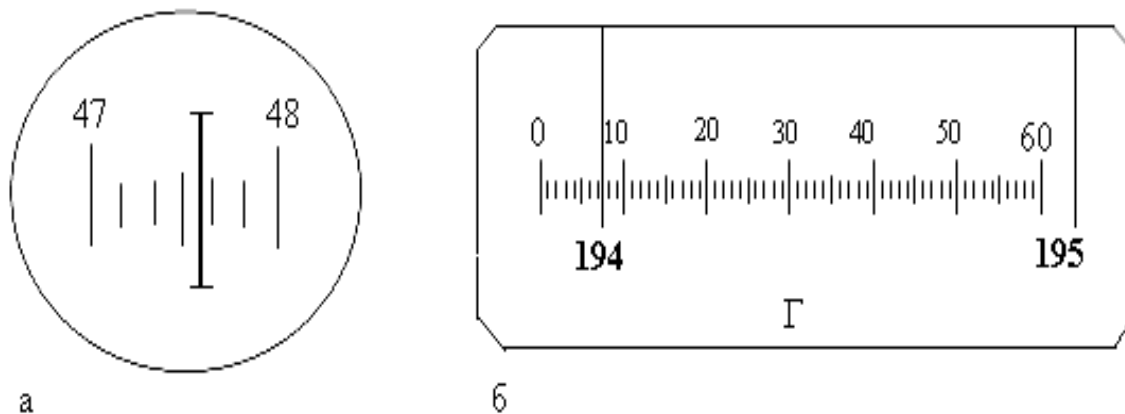


Рисунок 5.6 – Будова мікроскопів: а – штрихового (відлік $47^{\circ}36'$);
б – шкалового (відлік $194^{\circ}07,2'$)

Зорова труба

Зорова труба дозволяє точно візувати на значно віддалені предмети.

До її складу входять об'єктив (1), фокусуюча лінза (2), кремальєра (3), сітка ниток (4) та окуляр (5). Сітка ниток призначена для точного й одноманітного наведення на ціль візування (рис. 5.9).

Зорова труба має оптичну, геометричну осі та вісь візування.

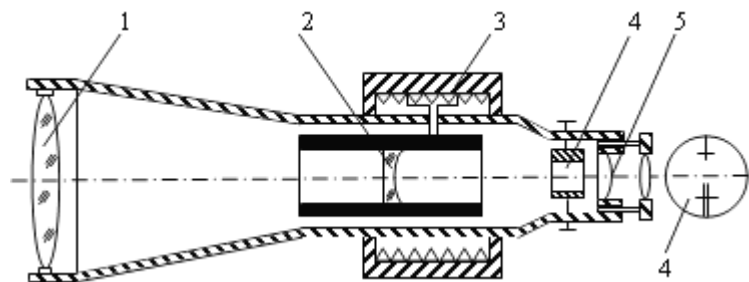


Рисунок 5.7 – Будова зорової труби

Оптична вісь – це пряма, яка з'єднує центри об'єктива й окуляра зорової труби.

Геометрична вісь – це пряма, що проходить через центри поперечних перерізів об'єктива і окуляра труби.

Вісь візування – пряма, яка проходить через оптичний центр об'єктива й центр сітки ниток.

Збільшення зорової труби (рис. 5.8):

$$V = \beta / \alpha ; \quad V = f_{об} / f_{ок}, \quad (5.1)$$

де $f_{об}$, $f_{ок}$ – відповідно фокусна відстань об'єктива й окуляра, мм;

β – кут, під яким предмет видно в зорову трубу;

α – кут, під яким предмет видно неозброєним оком.

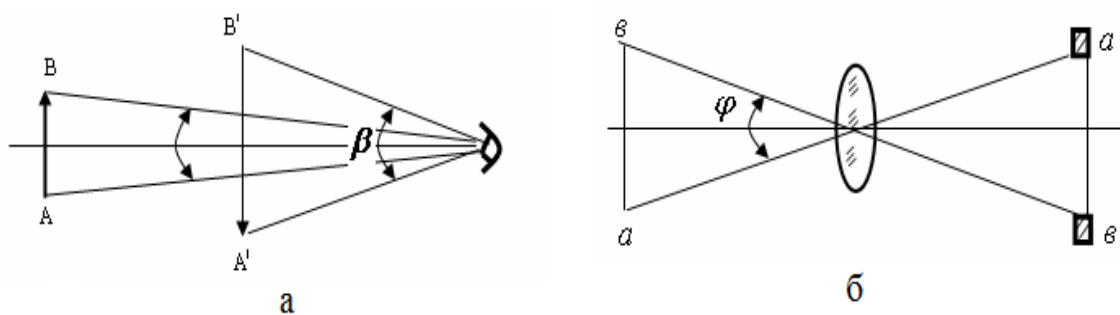


Рисунок 5.8 – Параметри зорової труби: а – збільшення: б – кут поля зору

Поле зору (рис. 5.10 б) – простір, який видно в трубу при її нерухомому стані. Обчислюють залежно від збільшення V :

$$\alpha = 38,2^\circ / V .$$

Похибку візування m_V зорової труби визначають за формулою:

$$m_v = \pm 60'' / V ,$$

де $60''$ – роздільна здатність ока (гранично малий кут, при якому дві точки сприймаються роздільно).

Класифікація теодолітів

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

За конструкцією теодоліти діляться на оптичні та електронні.

За точністю теодоліти діляться на високоточні, точні, технічні з середньою квадратичною похибкою вимірювання горизонтальних кутів від $0.5''$ до $60''$.

Технічні теодоліти призначені для вимірювання горизонтальних кутів з середньою квадратичною похибкою більше $10''$. Це теодоліти серії Т15, Т30, Т60.

Теодоліти з компенсаторами кута нахилу мають в позначенні літеру «К» (ЗТ2К, Т5К, Т15К). Теодоліти з зоровою трубою прямого зображення, позначають літерою «П» (2Т30П, Т15КП, Т60КП).

При вивченні геодезії на першому курсі здобувачами спеціальності 193 розглядаються тільки засоби і методи геодезичних вимірювань *технічної* точності. Для кутомірних приладів це оптичні теодоліти серії Т30.

5.3 Методи кутових вимірювань

Вимірювання горизонтальних кутів

Спосіб прийомів використовується, коли необхідно виміряти один кут на точці (рис. 5.9).

Горизонтування теодоліта виконують за допомогою піднімальних гвинтів та циліндричного рівня.

Дії повторюють, поки бульбашка рівня не залишатиметься на середині при довільному положенні на лімбі.

Фокусування зорової труби досягають обертанням кільця кремальєри. Обертаючи окуляр, домагаються чіткого зображення сітки ниток.

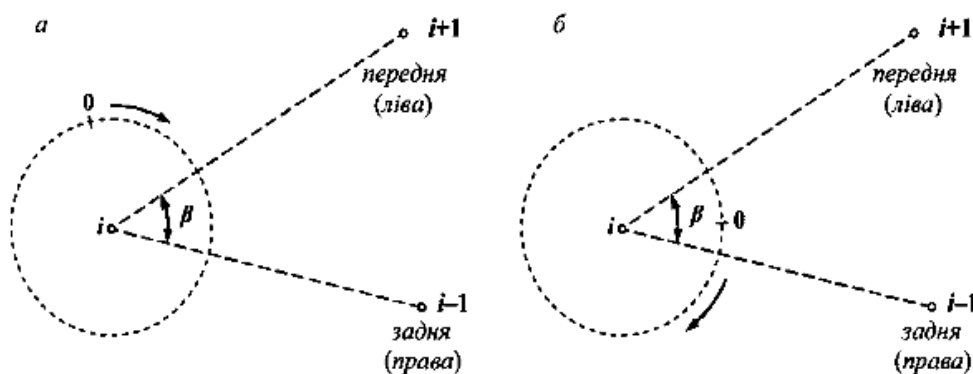


Рисунок 5.9 – До вимірювання горизонтальних кутів

Вимірювання одного й того ж кута при *двох* положеннях вертикального круга (*КП* і *КЛ*) складає один *повний прийом*. Вимірювання кута при якомусь одному положенні круга називається *напівприйомом*.

Якщо значення кута, визначені при положеннях *КП* і *КЛ*, відрізняються *не більше ніж подвійну точність відлікового пристрою*, то з них виводять середнє і записують у журналі, вважаючи його величиною виміряного кута.

Послідовність вимірювання кутів способом прийомів

Перший напівприйом:

- теодоліт встановлюють над вершиною кута і приводять у робоче положення і визначають, яка точка буде правою, а яка лівою;
- закріплюють лімб у положенні (*КП*) і наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на *праву* точку;
- беруть відлік за горизонтальним кругом і записують у журналі вимірювання горизонтальних кутів;
- відкріплюють закріпний гвинт алідади і наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на *ліву* точку і беруть відлік за *ГК*;
- знаходять величину виміряного кута з *півприйому*, віднімаючи від відліку на *праву* точку відлік на *ліву* точку.

Якщо відлік на *праву* точку буде меншим, ніж відлік на *ліву* точку, то до нього *додають 360°*.

Другий напівприйом: переводять зорову трубу через зеніт у положення *КЛ* та повторюють при положенні *КЛ* дії з *вимірювання кута та* обчислюють його величину з другого *півприйому* та остаточне значення з *прийому*.

Приклад вимірювання горизонтального кута наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Точки		КЛ КП	Відлік по ГК		Кут з напівприйому		Середній кут			
Стояння	Візування		°	'	°	'	°	'		
Т1	Т2	КЛ	129	06	150	02	150	01		
	Т3		279	08						
Т1	Т2	КП	309	11	150	00				
	Т3		99	11						

Вимірювання вертикальних кутів

Вертикальним, або кутом нахилу v називають кут між горизонтальною площиною і напрямком на необхідну точку (рис. 5.10). Якщо точка, на яку необхідно визначити кут нахилу, розміщена вище від горизонтальної площини, то кут нахилу буде із знаком плюс, а якщо нижче – мінус.

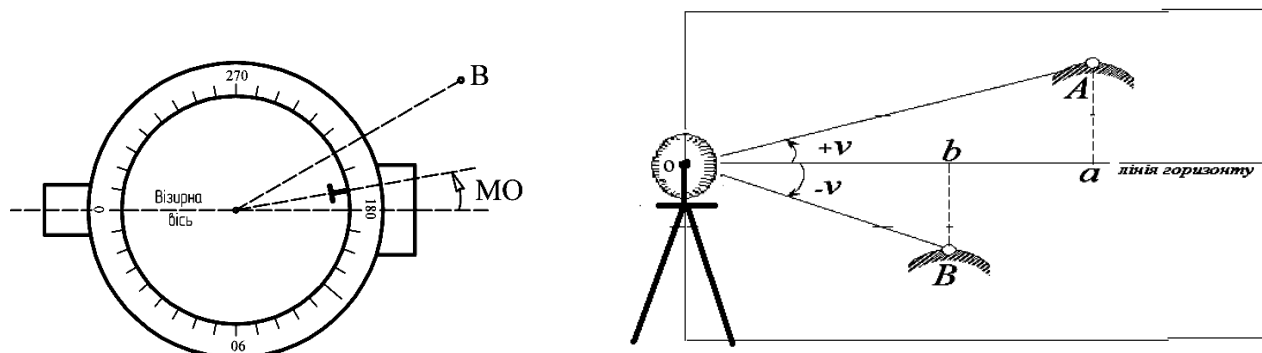


Рисунок 5.10 – Схема вимірювання вертикального кута

У процесі вимірювання кутів нахилу спочатку визначають місце нуля вертикального круга М0.

М0 – це відлік по вертикальному кругу, при якому візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка рівня при алідаді ВК знаходиться в нуль-пункті.

Послідовність вимірювання вертикальних кутів

1. При положенні вертикального круга КЛ зорова труба теодоліта наводиться на обрану точку.

2. Перед взяттям відліку по вертикальному колу бульбашка рівня повинна перебувати в нуль-пункті.

3. Беруть відлік по вертикальному колу.

4. При положенні вертикального колу КП виконуються дії, описані в п.п. 1. При цьому беруть відлік по ВК.

5. Обчислюють місце нуля.

6. Обчислюють кут нахилу.

Обчислення кута нахилу проводиться обов'язково, через КЛ (основна формула), і через КП – для контролю. При обчисленні кута нахилу по двох формулах неправильно обчислене значення місця нуля буде тут же виявлено.

Формули для обчислення кута нахилу для різних теодолітів можуть бути різними через особливості вертикального колу, а також самого пристрою вертикального колу і відліку по ньому.

Формули для обчислення значення кута нахилу і місце нуля M_0 для теодоліта ТЗ0М виглядають так:

$$M_0 = (KL + KP - 180^\circ) / 2; \quad (5.2)$$

$$\delta = KL - M_0; \quad \delta = M_0 - KP - 180^\circ; \quad (5.3)$$

$$\delta = (KL - KP - 180^\circ) / 2. \quad (5.4)$$

При обчисленні за формулами (5.2) – (5.4) треба до значень КЛ, КП та M_0 , менших за 90° , додати 360° .

Детально послідовність вимірювальних операцій при вимірюванні кутів розглядається в методичних рекомендаціях до лабораторних робіт.

5.4 Перевірка теодолітів

При виготовленні теодолітів та після експлуатації положення окремих деталей і частин відрізняється від ідеальної схеми, що приводить до появи помилок при вимірюванні кутів.

Повірка засобів вимірювальної техніки – сукупність операцій, які виконуються з метою підтвердження відповідності засобів вимірювальної техніки метрологічним характеристикам.

Юстирування – сукупність операцій з усунення виявлених при повірці порушень.

Основні геометричні умови витікають з принципової схеми вимірювання горизонтального кута і полягають в наступному: *вертикальна вісь приладу повинна бути прямовисною; площина лімба повинна бути горизонтальною; визирная площина повинна бути прямовисною.*

З метою виявлення ступеня дотримання цих умов виконують *перевірки* теодоліта.

1. Перевірка і юстирування циліндричного рівня горизонтального круга.

Вісь циліндричного рівня UU_1 має бути перпендикулярною до вертикальної (основної) осі II_1 теодоліта (рис. 5.11).

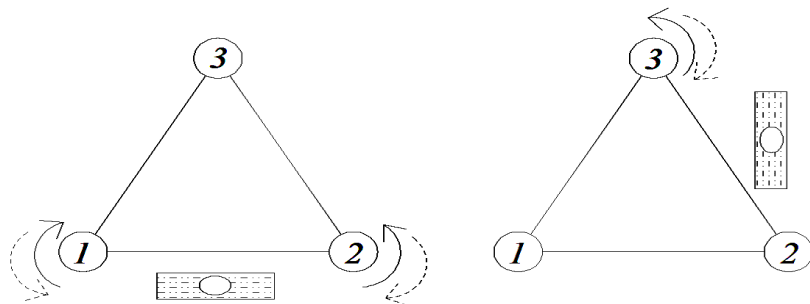


Рисунок 5.11 – До перевірки рівня горизонтального круга

Для перевірки вісь рівня UU_1 розміщують паралельно до лінії, що з'єднує піднімальні гвинти.

Цими гвинтами 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.

2. Визначення колімаційної похибки.

Визирна вісь труби ZZ_1 має бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби HH_1 (рис.5.13), Колімаційна похибка C мусить дорівнювати нулю, або не перевищувати подвійну точність приладу:

$$C = 0,5(KЛ + КП \pm 180^\circ) \leq 2t ,$$

де КЛ, КП – відліки по горизонтальному кругу при КЛ та КП;

t – точність теодоліта.

Колімаційну похибку визначають у такій послідовності:

- теодоліт приводять у робоче положення;
- при КП візують трубу на віддалену й добре видиму точку М і беруть відлік по горизонтальному кругу (ГК);
- візують на ту саму точку М при КЛ та знову роблять відлік по ГК;
- обчислюють колімаційну похибку;
- якщо C не перевищує подвійну точність теодоліта, умову *виконано*.

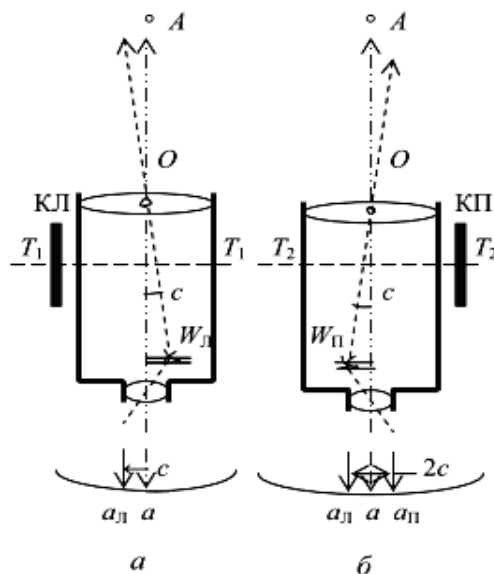


Рисунок 5.15 – Схема визначення колімаційної похибки: а – при КЛ; б – при КП

Юстирування:

- з обох відліків обчислюють середнє: $N = 0,5(KЛ + КП \pm 180^\circ)$;
- навідними гвинтами аліади встановлюють на ГК відлік N . При цьому перехрестя сітки ниток труби зійде зі спостережуваної точки М;
- послабивши виправні гвинти сітки ниток, переміщують її до суміщення із зображенням точки М. Після цього сітку ниток закріплюють.

Питання для самоконтролю до теми 5

1. Для чого призначений теодоліт?
2. Поясніть конструктивну будову теодоліта 2ТЗОМ.
3. Призначення циліндричного рівня при горизонтальному крузі?
4. Які осі є в зоровій трубі? Дати визначення.
5. Для чого необхідний окуляр, об'єктив і сітка ниток зорової труби?
6. Що означає встановити теодоліт в робоче положення?
7. Як виконати горизонтування приладу?
8. Перерахуйте геометричні осі теодоліта.
9. Як визначити відліки по кругах теодоліта 2Т30М?
10. Як класифікують теодоліти?
11. Способи вимірювання горизонтальних кутів?
12. Що таке півприйм та прийом вимірювання кутів?
13. Що таке вертикальний кут і як його визначити?
14. Перерахуйте способи вимірювання горизонтальних кутів.
15. Як обчислити значення кута в півприймом?
16. Як обчислити середнє значення кута на станції?
17. Як виконати перевірку циліндричного рівня теодоліта?
18. Як перевірити правильність встановлення сітки ниток?
19. Що таке колімаційна похибка і як знайти її значення?
20. Місце нуля (M0) вертикального круга і його визначення.

ТЕМА 6 ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕВИЩЕНЬ

План

6.1 Принцип та види нівелювання.

6.2 Геометричне нівелювання.

6.3 Нівеліри.

6.4 Перевірки нівелірів і рейок.

6.5 Тригонометричне нівелювання.

6.6 Гідростатичне нівелювання.

6.1 Принцип та види нівелювання

Нівелювання – це процес визначення *висот* точок простору у одній з систем висот через *визначення перевищення* між точками.

Висота точки – це третя просторова координата у тривимірному просторі вона характеризує відхилення точки від поверхні (площини ХУ) у перпендикулярному до неї напрямку.

Висоти точок визначають через залежність

$$H_n = H_0 + h_{0-n},$$

де H_n – висота точки, яка визначається;

H_0 – відома висота точки, задіяної у вимірюваннях;

h_{0-n} – *перевищення*, деяка величина, яка показує на скільки визначувана точка знаходиться вище, або нижче точки з відомою висотою, тому перевищення може мати знаки $\pm$. До того ж точки 0 та n лежать на прямовисних лініях в одній вертикальній (прямовисній) площині.

Перевищення між точками можуть бути визначені різними методами.

Геометричне нівелювання – за принципом використання горизонтального променя візування.

Тригонометричне нівелювання – за принципом використання похилого променя візування.

Барометричне нівелювання, в основу якого покладена залежність зміни атмосферного тиску зі зміною положення точки по висоті.

Гідростатичне нівелювання, ґрунтоване на властивості вільної поверхні рідини у сполучених посудинах знаходитися на однаковому рівні, незалежно від взаємного розміщення посудин по висоті.

Автоматичне нівелювання ґрунтоване на перетворенні похилого вектора переміщення приладу на горизонтальні та вертикальні складові. Нівелювання виконується спеціальним приладом – профілографом. Профілограф викреслює профіль пройденого шляху або реєструє висоти точок місцевості.

Стереофотограмметричне нівелювання дозволяє визначати перевищення на основі вимірювань на фотознімках, які утворюють стереопару.

6.2 Геометричне нівелювання

Геометричне нівелювання – це метод вимірювання перевищення за допомогою горизонтальної лінії (площини). Вона утворюється, як візирний промінь зорової труби спеціального приладу (рис. 6.1).

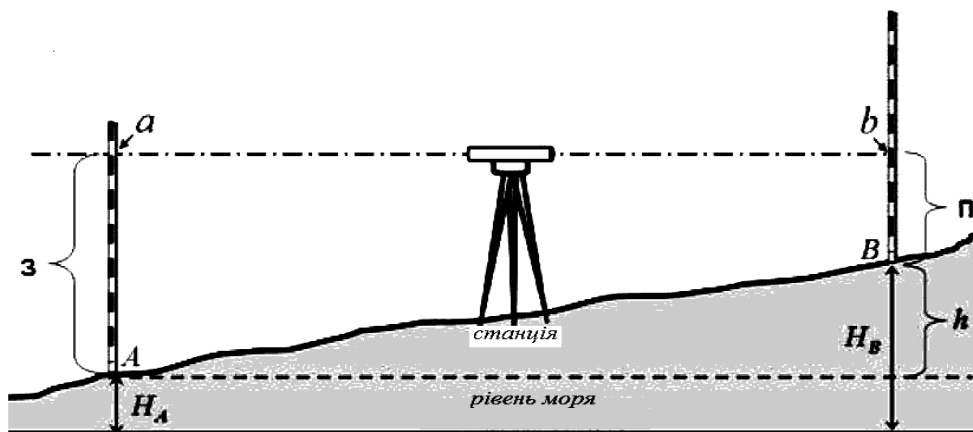


Рисунок 6.1 – Принцип геометричного нівелювання (зсередини)

Для визначення між точками *A* і *B* перевищення h_{BA} в цих точках встановлюють *прямовисно* (шкали) рейки.

За допомогою спеціального приладу утворюють *горизонтальну* лінію – *промінь візування*.

Використовуючи горизонтальний промінь візування, вимірюють вертикальні відстані *a* і *b* від точок до горизонтальної лінії.

Відповідно до рисунка 6.1: $a = b + h$; $h = a - b$

$$h_{BA} = a - b. \quad (6.1)$$

Вертикальні відстані вимірюють як відліки по рейках на перетині проєкції середньої горизонтальної нитки сітки ниток у зоровій трубі приладу із шкалою рейки.

Розрізняють два способи геометричного нівелювання: нівелювання *із середини* і нівелювання *вперед*.

Нівелювання зсередини

Під час нівелювання із середини нівелір встановлюється між точками *A* і *B* приблизно на однаковій відстані від рейок (рис. 6.1). Точку, з якої починають нівелювання (*A*) вважають задньою, а точку (*B*) передньою перевищення обчислюють за формулою (6.1).

Таким чином, при нівелюванні з середини перевищення між точками становить: «задній відлік» мінус «передній відлік». Якщо передня точка вища, то $h_{BA} > 0$, в іншому разі $h_{BA} < 0$.

Нівелювання вперед

При нівелюванні вперед нівелір встановлюють поблизу точки *A*, вимірюють висоту приладу *i*, а потім горизонтальним променем беруть відлік *b* по рейці в точці *B* (рис. 6.2).

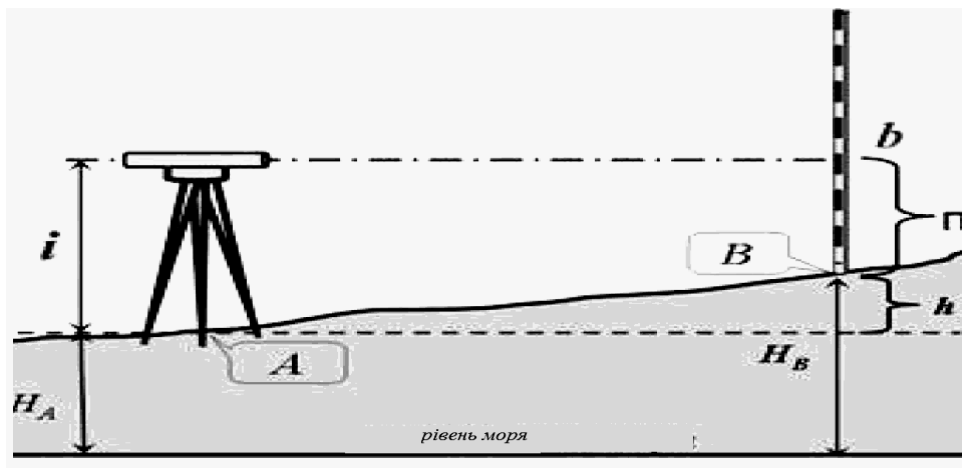


Рисунок 6.2 – Схема нівелювання вперед

Перевищення h_{BA} визначають, як різницю висоти приладу *i* та відліку по рейці *b* за формулою

$$h_{BA} = i - b. \quad (6.2)$$

Якщо відома висота точки *A*, то висоту точки *B* можна обчислити за формулою

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (6.3)$$

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

Висоту точки B можна обчислити і через *горизонт приладу* (рис. 6.1).

Горизонт приладу (далі – $ГП$) – це висота візирного променя відносно рівневої поверхні. Вона обчислюється за формулою:

$$ГП = H_A + a, \quad (6.4)$$

$$\text{або } ГП = H_A + i,$$

де H_A – висота точки A відносно рівневої або умовної поверхні;

a – відлік по рейці;

i – висота приладу.

Таким чином $ГП$ дорівнює висоті точки плюс відлік по рейці, встановлений на цій точці.

Висота точки B обчислюється за формулою:

$$H_B = ГП - b, \quad (6.5)$$

тобто висота точки B дорівнює $ГП$ мінус відлік b по рейці на цій точці.

6.3 Нівеліри

Нівелір – це оптико-механічний геодезичний прилад, призначений для побудови в просторі горизонтального променя (площини) та вимірювання перевищення між точками.

Нівеліри за *точністю* розділяють на три групи: високоточні, точні і технічної точності. Число у позначенні нівеліра після букви N відповідає середній квадратичній похибці визначення перевищення на 1 км подвійного ходу, в мм.

На *першому* курсі вивчається технічне нівелювання, тому розглядаються тільки нівеліри *технічної* точності.

Це нівеліри типу $N-3$, призначені для нівелювання III, IV класів і технічного нівелювання та нівеліри технічної точності, які використовуються при топографічних зйомках, інженерних вишукуваннях та в будівництві.

За *способом* приведення візирного променя в горизонтальне положення, або за видом *горизонтуючого пристрою* (ГП) всі нівеліри розподіляють так:

- нівеліри з ГП – циліндричним рівнем при зоровій трубі;
- нівеліри з ГП – компенсатором.

У нівелірів, що мають ГП у вигляді циліндричного рівня при зоровій трубі, візирна вісь встановлюється в горизонтальне положення шляхом приведення бульбашки рівня на середину *елеваційним* гвинтом.

У нівелірів з ГП – компенсатором, візирна вісь в горизонтальне положення встановлюється автоматично.

Нівеліри з циліндричним рівнем

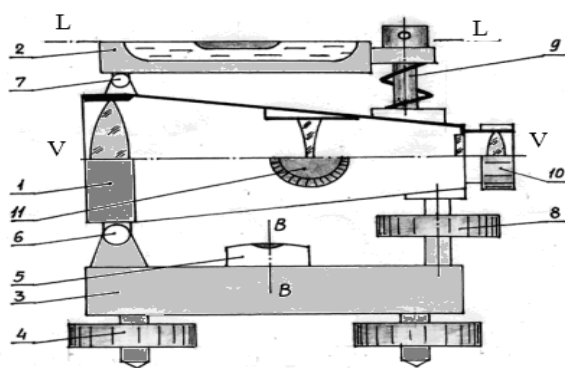


Рисунок 6.3 – Принципова схема нівеліра з циліндричним рівнем

Нівелір з рівнем при зоровій трубі (рис. 6.3) складається, з підставки (3) з трьома підйомними гвинтами (4), за допомогою яких спільно з круглим рівнем (5) приводиться у робочий стан. При обертанні елеваційного гвинта (8) зорова труба (1) може повертатися в вертикальній площині в шарнірі (6) в невеликих межах.

Зорова труба (1) і циліндричний рівень (2) жорстко скріплені один з одним. При юстирування положення осі L-L рівня ця вісь може на невеликі кути повертатися щодо осі зорової труби в шарнірі (7) при обертанні юстувального гвинта (9), розташованого в хвостовику рівня. Фокусування зображення предмета проводиться кремальєрою (11), при обертанні якої переміщується негативний компонент об'єктива зорової труби (фокусуюча лінза).

Чітке зображення сітки ниток отримують обертанням окулярного коліна (10). Тобто налаштування зорової труби нівеліра для спостережень таке ж, як і зорової труби теодоліта. В полі зору труби нівеліра виведені спеціальною оптичною системою протилежні кінці бульбашки циліндричного рівня.

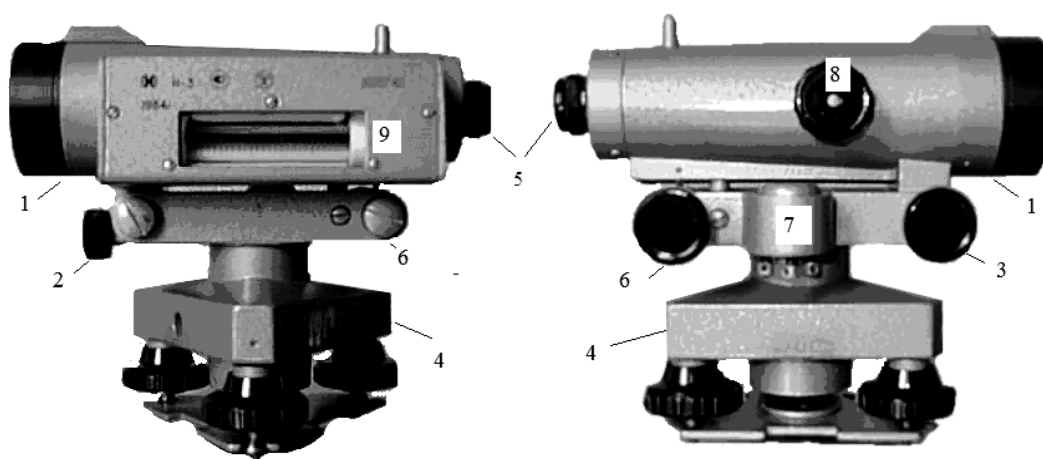


Рисунок 6.4 – Нівелір Н-3, загальний вигляд: 1 – зорова труба; 2 – закріпний гвинт труби; 3 – навідний гвинт труби; 4 – підставка нівеліра з підйомними гвинтами; 5 – окуляр; 6 – еліваційний гвинт труби; 7 – круглий рівень; 8 – гвинт фокусування труби; 9 – камера циліндричного рівня.

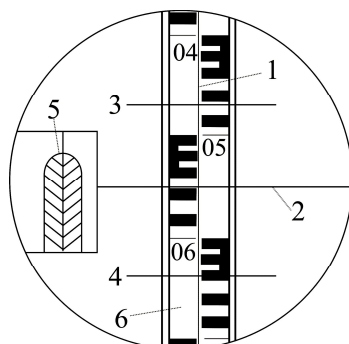


Рисунок 6.5 – Сітка ниток нівеліра Н-3: 1 – вертикальна нитка; 3, 4 – віддалемірні нитки; 2 – середня горизонтальна нитка; 5 – зображення кінців бульбашки циліндричного рівня

Зображення кінців бульбашки циліндричного рівня оптичною системою призм передається в поле зору труби і зображається в площині сітки ниток (рис. 6.5). Такий рівень називають *контактним*.

Нівеліри з компенсатором

Компенсатор – це пристрій, який автоматично встановлює промінь візування у горизонтальне положення при нахилах зорової труби до десятків мінут. У нівелірах з *компенсатором* промінь візування у горизонтальне

положення приводиться автоматично після попередньої установки осі обертання приладу у прямовисне положення за круглим рівнем. До позначенні нівелірів з компенсаторами у додають літеру «К», наприклад Н-3К (рис. 6.6).



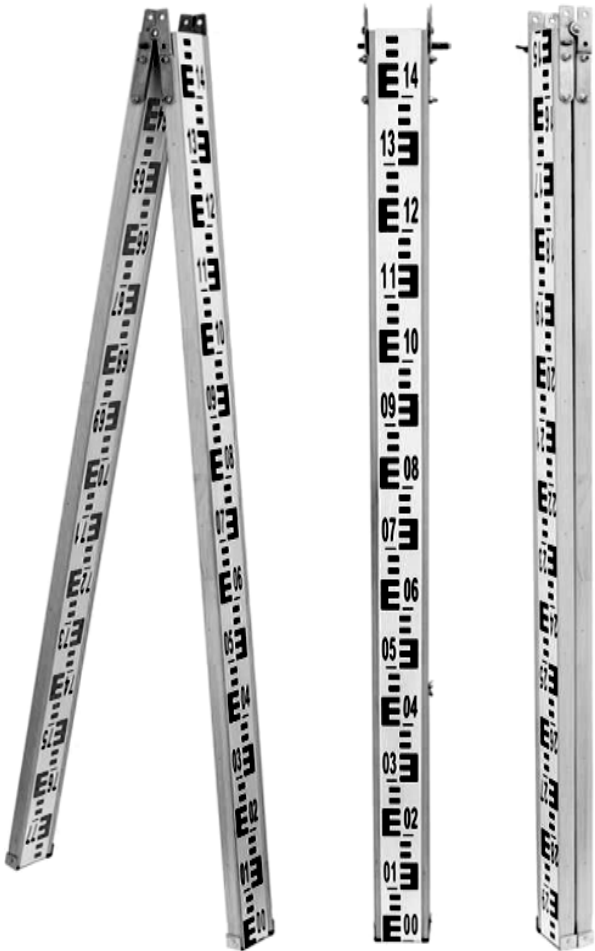
Рисунок 6.6 – Нівелір з компенсатором Н-3К

Нівелірні рейки

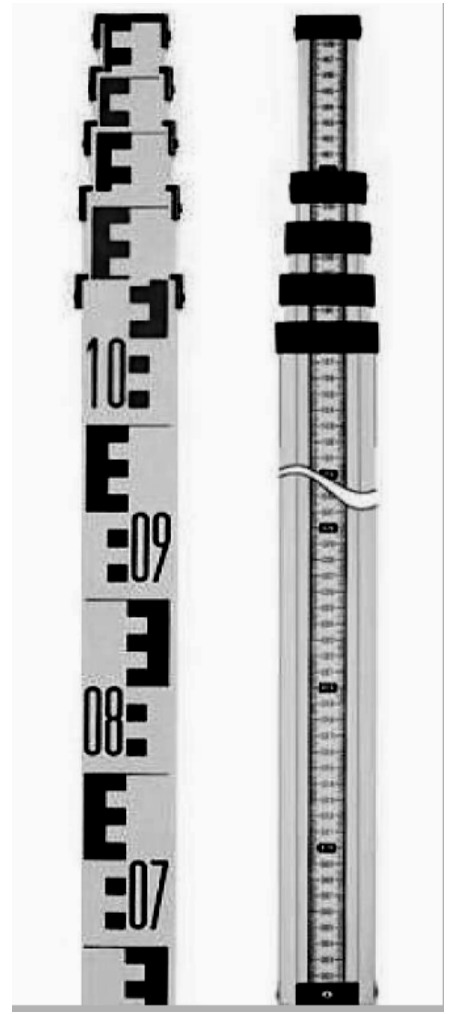
Нівелювання здійснюється за допомогою нівелірних рейок. *Нівелірна рейка* служить робочою мірою для вимірювання перевищень і віддалей.

Кожен дециметр шкал оцифрований: з одного боку – поділки *чорного* кольору на білому фоні, з іншого – *червоного*.

Для зручності взяття відліку за рейкою поділки об'єднані в групи по п'ять у вигляді букви Е. Початок кожної дециметрової поділки відмічений рисою і підписаний двозначним числом, наприклад 01, 02, 03 і т. д.



а



б

Рисунок 6.7 – Нівелірні рейки: а – які складаються; б – телескопічні

На *чорному боці* рейки нуль співпадає з п'ятою рейки. На червоній відлік відрізняється, наприклад: 4682 або 4782, що дозволяє в процесі нівелювання контролювати правильність відліків: різниця відліків: по чорному і червоному боках однієї і тієї ж самої рейки (*п'ятка*) повинна бути постійною.

Початок першої *дециметрової* поділки на чорному боці рейки позначений двома нулями.

У робочому положенні рейки утримують за допомогою ручок.

Залежно від того, яке зображення будує зорова труба, підписані цифри перевернуті (для нівеліра Н-10) або прямі (Н-10КЛ).

6.4 Перевірка нівелірів і рейок

У процесі експлуатації нівелірів необхідно періодично виконувати їх польові перевірки та необхідні юстирування. При зовнішньому огляді нівеліра перевіряють справність круглого та циліндричного рівнів та їх юстирувальних гвинтів, плавність обертання зорової труби, роботу її гвинтів – навідного, закріплювального та елеваційного, фокусування сітки ниток та предмета, дію підйомних гвинтів підставки.

У штативі усувають хитання (люфти) його деталей помірною підтяжкою відповідних болтів.

Перевірити нівелір означає перевірити виконання геометричних умов, тобто взаємне положення у просторі окремих геометричних осей приладу, яке повинно відповідати вимогам нормативних документів.

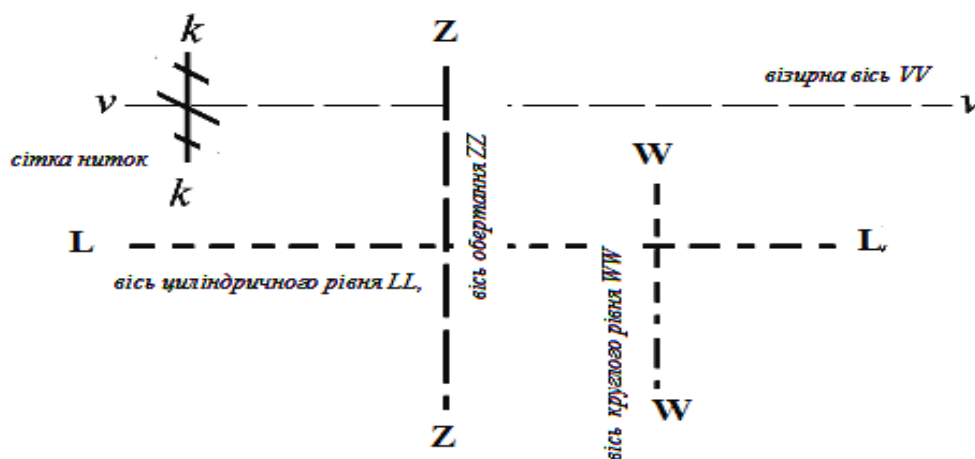


Рисунок 6.8 – Геометрична схема нівеліра з циліндричним рівнем

Конструктивно нівелір призначений забезпечити горизонтальність променя візування. За конструкцією осі нівеліра повинні бути взаємно перпендикулярними або паралельними.

Виконується ця умова за допомогою циліндричного рівня або компенсатора.

У нівелірі згідно з рисунком 6.8 визначають такі геометричні осі:

- вертикальна вісь ZZ обертання верхньої частини нівеліра;
- візирна вісь зорової труби VV , яка умовно проходить через центри об'єктиву і окуляру;

– вертикальна вісь круглого рівня WW , яка проходить через нуль-пункт шкали рівня;

– горизонтальна вісь циліндричного рівня LL , яка є дотичною до поверхні бульбашки рівня, коли вона знаходиться в нуль-пункті.

Перевірки нівеліра з циліндричним рівнем

1. Перевірка круглого рівня

Умова: вісь круглого рівня WW повинна бути паралельною до осі обертання ZZ приладу (рис. 6.8).

Діючи підйомними гвинтами підставки, приводять бульбашку круглого рівня в нуль-пункт. Потім верхню частину нівеліра повертають на 180° навколо осі ZZ . Якщо бульбашка залишилася в нуль-пункті, то умова виконана. Якщо ж вона відхилилася більше, ніж на 0,5 величини поділки шкали, переміщують бульбашку до центра на половину відхилення підйомними гвинтами і точно виводять її в нуль-пункт обертанням трьох юстирувальних гвинтів круглого рівня.

2. Перевірка сітки ниток

Умова: Горизонтальний штрих сітки повинен бути перпендикулярним до осі обертання нівеліра ZZ .

Зоровою трубою візують на рейку, встановлену за 50–60 м від нівеліра. Обертаючи зорову трубу навколо вертикальної осі, переміщують зображення рейки від одного краю поля зору до іншого. Якщо відлік змінюється більше, ніж на 1 мм, знімають ковпачок окуляра, злегка відкріплюють три торцеві гвинти та повертаючи оправу з сіткою ниток добиваються виконання умови.

Для полегшення юстування рекомендується виконувати, як перевірку сітки ниток теодоліта, наведенням вертикальної нитки на нитку виска. підвішеного в 5–10 м від приладу.

3. Перевірка головної умови нівеліра

Умова: візирна вісь VV зорової труби нівеліра повинна бути паралельною до осі циліндричного рівня LL .

Виконання: 1) на лінії довжиною $l = 50\text{--}75$ м (рис. 6.9), на кінцях А і В ставлять нівелірні рейки. На **станції 1** нівелір встановлюють на однаковій відстані від рейок і, привівши нівелір в робоче положення, беруть відліки a_1 по задній і b_1 по передній рейках. Отримані на станції 1 відліки a_1 і b_1 будуть відрізнятися від правильних a_1 та b_1 на одну і ту ж похибку, так як кут і між візирним променем і лінією горизонту постійний, а відстані від нівеліра до рейок *рівні*.

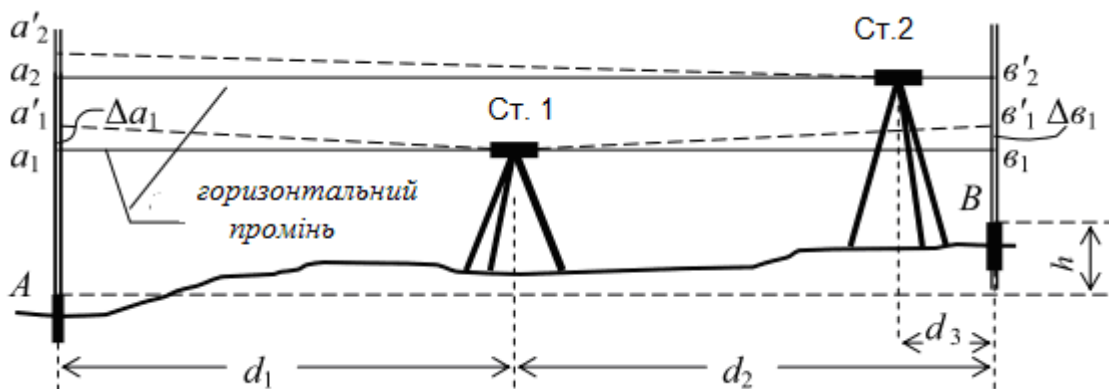


Рисунок 6.9 – До перевірки головної геометричної умови нівеліра

Отже, значення виміряне перевищення на станції 1, буде, правильним:

$$h_{np} = a_1 - b_1 = (a_{np} + \Delta) - (b_{np} + \Delta) = a_{np} - b_{np} \quad (6.6)$$

2) на **станції 2** нівелір встановлюють за передній рейкою на найменшій відстані візування (2–3 м) і беруть відліки a_2 по ближній і b_2 по дальній рейках. Відлік a_2 по ближній рейці вважають практично безпомилковим, так як помилкою Δ можна знехтувати по малості відстані від нівеліра до рейки. Це дозволяє передчислити правильний відлік по дальній рейці, відповідний горизонтальному положенню променя візування:

$$b_{2np} = a_2 - h_{np} \quad (6.7)$$

Різниця фактичного, видимого в трубу відліку b_2 і правильного b_{2np} , буде помилкою, спричиненого недотриманням головної умови нівеліра:

$$x = b_2 - b_{2np} \quad (6.8)$$

Вона не повинна перевищувати по абсолютній величині 4 мм.

За необхідності можна обчислити і кутову величину помилки:

$$i = x \cdot \rho / l \quad (6.9)$$

У разі недотримання головної умови у нівеліра з циліндричним рівнем виконують юстирування. Якщо величина кута i'' перевищує $20''$, то обчислюють *правильний* відлік b_2' за формулою (6.6).

Елеваційним гвинтом, встановлюють середню горизонтальну нитку сітки на передрахованій відлік b_{2np} ; при цьому бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля – пункту, контакт зображень половинок кінців бульбашки порушиться. Юстирувальними гвинтами циліндричного рівня та вертикальним гвинтами, досягають контакту зображень половинок кінців бульбашки і стежачи за тим, щоб відлік по рейці залишався рівним b_{2np} .

Перевірка в нівелірах з компенсатором

Умова: в нівелірах з компенсатором: візирна вісь зорової труби нівеліра повинна бути горизонтальною і перпендикулярною до прямовисної лінії.

Перевірка виконується так само, як і для нівеліра Н-3.

Різниця полягає в тому, що виправлений відлік a_2' по рейці в точці A встановлюється зміщенням горизонтального штриха сітки ниток обертанням вертикальних виправних гвинтів сітки ниток.

Таким чином, під час нівелювання із середини похибка x не впливає на величину h . Однак під час виконання технічного нівелювання рівність віддалей від нівеліра до задньої та передньої рейок дотримується не завжди, тому, якщо $i'' > 20''$, необхідно виконати юстирування.

Перевірки нівелірних рейок

Нівелірні рейки до початку польових робіт перевіряють за такими умовами:

- величина *прогинання* рейки – не більше 10 мм.
- для технічного нівелювання різниця між середньою довжиною пари рейок – одного комплекту не повинна перевищувати 1,5 мм.
- відхилення дециметрових поділок рейок на чорному та червоному боках рейки допускається до 0,5 мм.

В разі їх відхилення різниці початку нулів пари рейок для чорного та червоного боків одну із рейок замінюють.

6.5 Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання здійснюють за допомогою теодоліта похилим променем візування. Цей метод є особливо ефективним за умови необхідності визначення великих перевищень. Для визначення перевищення між точками 1 і 2 (рис. 6.10):

- теодоліт встановлюють над точкою **т1** з відомою висотою і приводять його в робоче положення (центрують та горизонтують);
- вимірюють висоту теодоліту, або визначають горизонт приладу від іншої точки з відомою висотою;
- позначають точку (**т2**), висоту якої необхідно визначити.

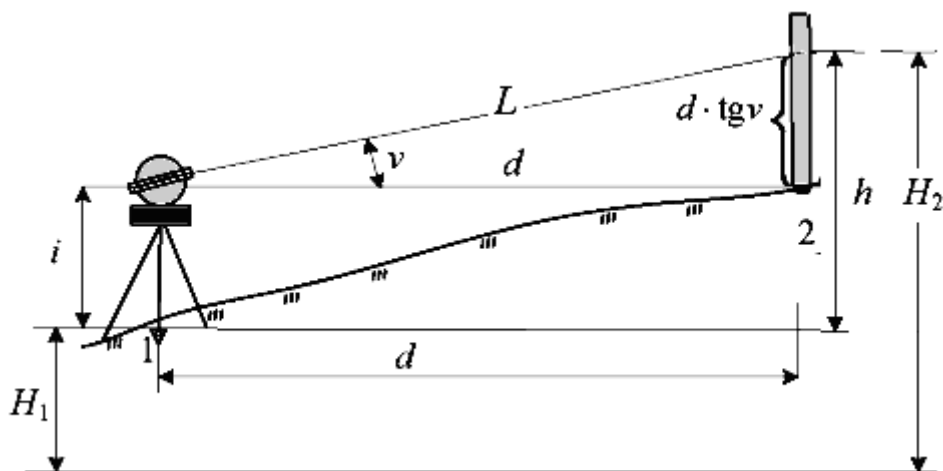


Рисунок 6.10 – Схема тригонометричного нівелювання

Трубу теодоліта спрямовують на точку 2 і вимірюють кут нахилу візирної осі труби V .

Можливі варіанти:

1. Виміряна похила відстань L до точки 2, тоді:

$$- \text{горизонтальна відстань } d = L \cdot \cos V; \quad (6.10)$$

$$- \text{перевищення } h = i + d \cdot \operatorname{tg} V = \Gamma\Pi + d \cdot \operatorname{tg} V \quad h' = 0.5L \cdot \sin 2V \quad (6.11)$$

2. Виміряна (відома) горизонтальна відстань d , тоді перевищення:

$$h = i + d \cdot \operatorname{tg} V = \Gamma\Pi + d \cdot \operatorname{tg} V \quad (6.12)$$

$$h' = 0.5L \cdot \sin 2V \quad (6.13)$$

6.6 Гідростатичне нівелювання

У двох посудинах, з'єднаних гнучким шлангом, при заповненні рідиною рівень рідини буде займати рівневу (горизонтальну) площину (рис. 6.11).

Тоді відліки по шкалах приладу

$$a = l_1 - C_1; \quad b = l_2 - C_2. \quad (6.14)$$

Перевищення точки A над точкою B обчислюється за формулою

$$h = a - b; \quad h = (l_1 - C_1) - (l_2 - C_2); \quad (6.15)$$

$$\text{або:} \quad h = (l_1 - l_2) - (C_1 - C_2). \quad (6.16)$$

Якщо різницю висот склянок позначити $K = l_1 - l_2$, то

$$h = K - C_1 + C_2. \quad (6.17)$$

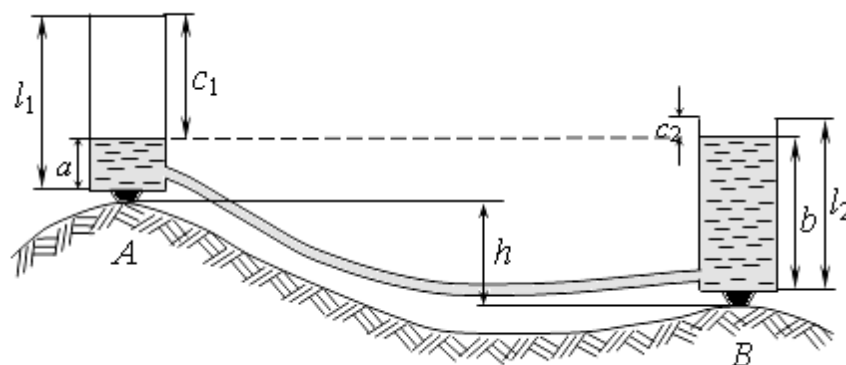


Рисунок 6.11 – Гідростатичне нівелювання: a – геометрична схема;

b – гідростатичний нівелір; 1 – склянка (посудина); 2 – шкала відліку; 3 – кран; 4 – шланг

Точність гідростатичного нівелювання залежить від призначення та конструкції приладу і може складати від десятих до сотих і навіть тисячних долей міліметра.

Питання для самоконтролю до теми 6

1. Що таке нівелювання?
2. Які види нівелювання Ви знаєте?
3. В чому полягає суть геометричного нівелювання?
4. Які способи геометричного нівелювання?
5. Що таке нівелір?
6. Принципова схема будови нівеліра з циліндричним рівнем.
7. Як виконуються відліки по рейках?
8. Що таке перевірка нівеліра?
9. Яка головна умова нівелірів з циліндричним рівнем і компенсатором?
10. Як виконати перевірку круглого рівня?
11. Як перевірити правильність положення сітки ниток?
12. Перевірка головної умови нівеліра.
13. Які нівелірні рейки застосовуються при геометричному нівелюванні?
14. Принцип тригонометричного нівелювання.
15. Принцип гідростатичного нівелювання.
16. Як поділяють нівеліри за точністю?
17. Назвіть основні осі нівеліра.
18. Назвіть основні частини нівеліра Н-3.
19. Що таке нівелірні рейки?

ТЕМА 7 ЗАСОБИ І МЕТОДИ ЛІНІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ

План

7.1 Принципи лінійних вимірювань в геодезії.

7.2 Непрямі методи лінійних вимірювань.

7.3 Електронні засоби вимірювання відстаней.

7.1 Принципи лінійних вимірювань у геодезії

Лінійні вимірювання в геодезії можуть виконуватись з використанням рулеток, оптичних та електронних віддалемірів. У наш час широке використання рулеток і оптичних віддалемірів у геодезії та землепорядкуванні є анахронізмом. Тому в конспекті вони розглядаються в історичному та методичному аспектах. Для вимірювання відстаней між точками на місцевості застосовують спеціальні лінійні мірні прилади.

Механічні мірні прилади

Прилади для вимірювання довжин ліній, що в наш час застосовуються в геодезії, умовно поділяють на механічні та фізико-оптичні. Механічні мірні прилади – лінійні міри різної довжини у вигляді *рулеток* (рис. 7.1).

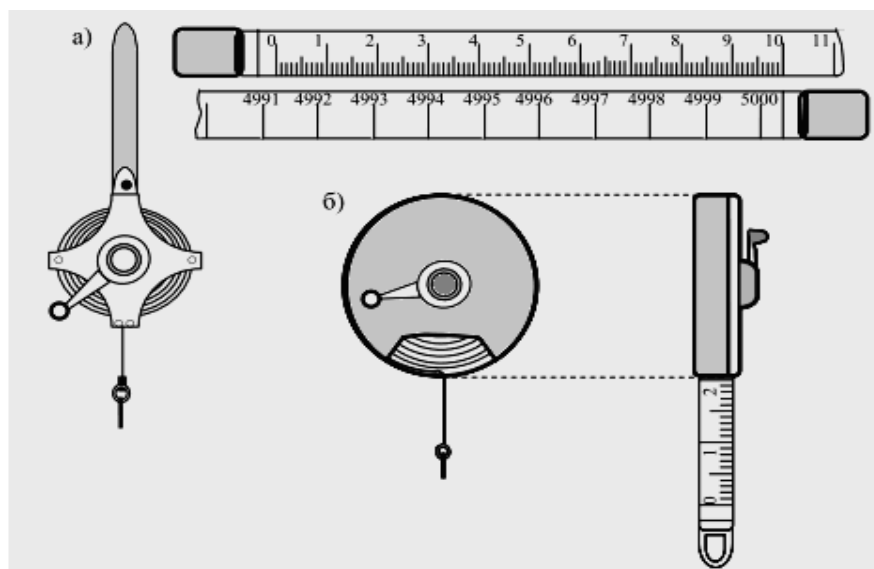


Рисунок 7.1 – Рулетки для точних вимірювань

Вони використовуються для *безпосереднього* вимірювання довжини лінії шляхом послідовного відкладення довжини мірного приладу в створі вимірюваної лінії.

Результат вимірювань отримують підсумовуванням кількості відкладень в прийнятих одиницях вимірювання. Для отримання горизонтального прокладання вимірюють кути нахилу лінії або окремих її частин. При геодезичних вимірюваннях використовують рулетки зі *шкалами* номінальної довжини: 20, 30, 50 і 100 м.

До початку вимірювань рулетку необхідно *компарувати*.

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

$$\Delta l = l - l_0, \quad (7.1)$$

де l_0 – еталон;

l – довжина робочої стрічки.

Поправка за компарування мірного приладу обчислюється за формулою:

$$\Delta D_k = D \cdot \Delta l / l_0, \quad (7.2)$$

де D – виміряна віддаль;

l_0 – номінальне значення вимірювального приладу;

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

Вимірювання за допомогою рулеток здійснюється шляхом послідовного укладання їх у *створ* між точками, які закріплені на місцевості.

Створ – це прямовисна площина, що проходить через точки, відстань між якими потрібно визначити.

Лінії на місцевості *провішують* – між відомими точками знаходять у створі додаткові, які закріплюють віхами.

Вимірювання лінії виконують два вимірювачі – *передній і задній*. Задній вимірювач прикладає початок рулетки до початкової точки і орієнтує переднього вимірювача в створі. Після натягування стрічки передній, закріплює її кінець шпилькою. Потім передній вимірювач протягує рулетку вперед. Укладання на другому і подальших прольотах виконується аналогічним способом. У кінці лінії між останньою шпилькою і передньою вимірюють залишок, менший ніж довжина рулетки.

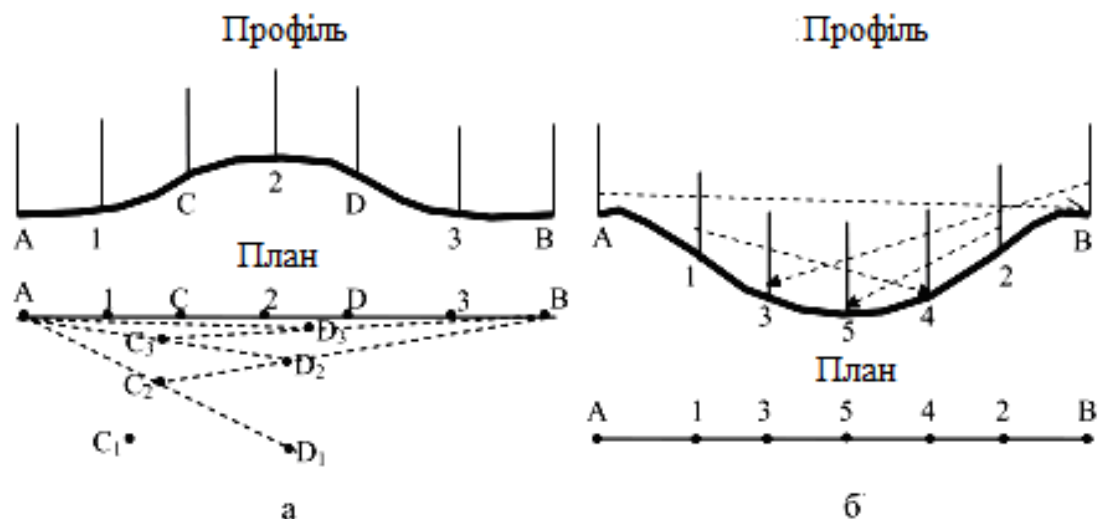


Рисунок 7.2 – Схеми провішування лінії: а – через бугор; б – через западину

Відстань між точками можна визначити за формулою:

$$D = n \cdot l + d \quad (7.3)$$

де D – довжина лінії;

n – кількість вкладень мірного приладу;

l – фактична довжина мірного приладу;

d – довжина залишку (домір).

Для контролю лінію вимірюють два рази – у прямому і зворотному напрямку. Якщо розходження з подвійних вимірювань цієї лінії виявляється допустимим, то за кінцевий результат приймають середнє значення.

Приводять довжину лінії D до горизонту:

$$L = D \cdot \cos \nu, \quad (7.4)$$

де L – горизонтальне прокладання;

ν – кут нахилу лінії.

7.2 Непрямі методи лінійних вимірювань

Непрямі вимірювання відстаней полягають у створенні додаткових геометричних побудов, які дозволяють при виконанні додаткових вимірювань визначити необхідні довжини.

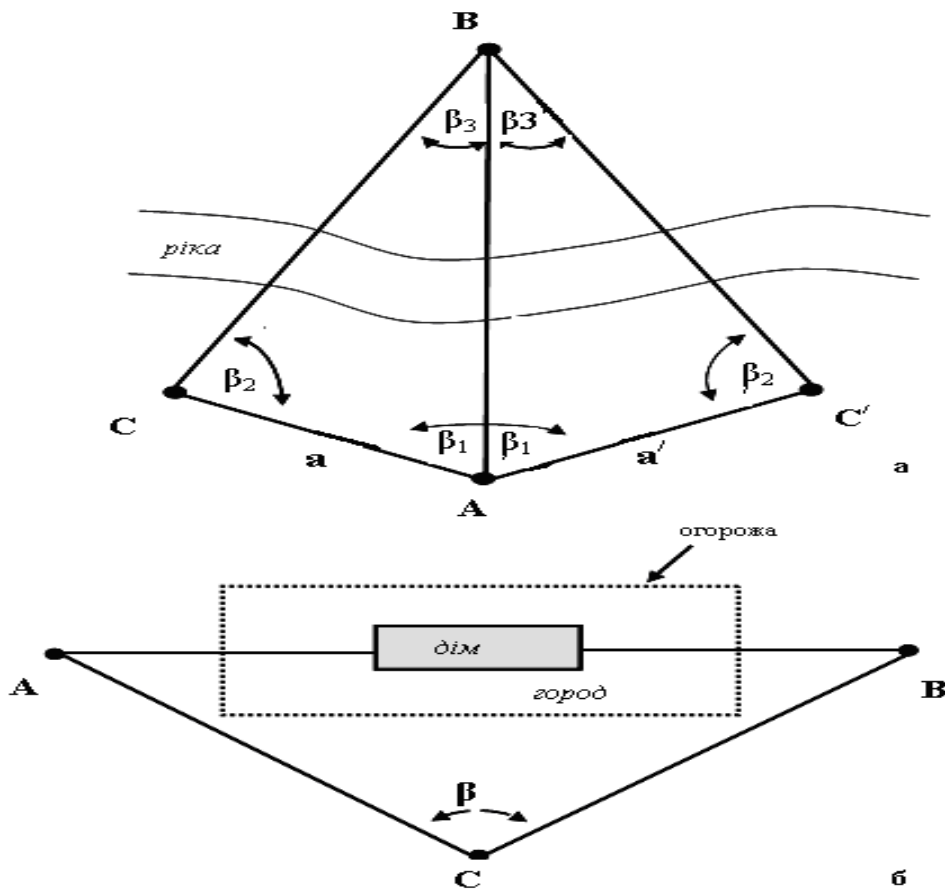


Рисунок 7.5 – Визначення неприступних відстаней: а – з використанням базисів;
б – з використанням кута і ліній

Для визначення *неприступної відстані між* точками *A* і *B*, розділених перешкодою (рис.7.5). З одного боку розміщують і вимірюють безпосередньо лінію *AC*, яка називається *базисом*. Довжина базису вибирається таким чином, щоб кути у трикутнику *ABC* були близькими до 60° . В трикутнику теодолітом вимірюють кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, сума яких повинна дорівнювати 180° з урахуванням похибок вимірювань.

Неприступну віддаль *AB* обчислюють за теоремою синусів:

$$\frac{AB}{\sin \beta_2} = \frac{a}{\sin \beta_3} ; \quad AB = a \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_3} . \quad (7.5)$$

$$\text{Контроль: } AB = a' \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_3} \quad (7.6)$$

Для контролю вимірюють додатковий базис і будують трикутник *ABC*. Розходження між двома визначеннями неприступної віддалі допускається не

більше 1:1 000. Якщо розходження допустиме, то з двох значень d виводять середнє арифметичне.

Оптичні віддалеміри

Віддалемірами називаються прилади, які дозволяють визначити віддаль між точками місцевості *непрямим* способом.

Геометричний спосіб вимірювання довжин покладений в основу оптичних віддалемірів.

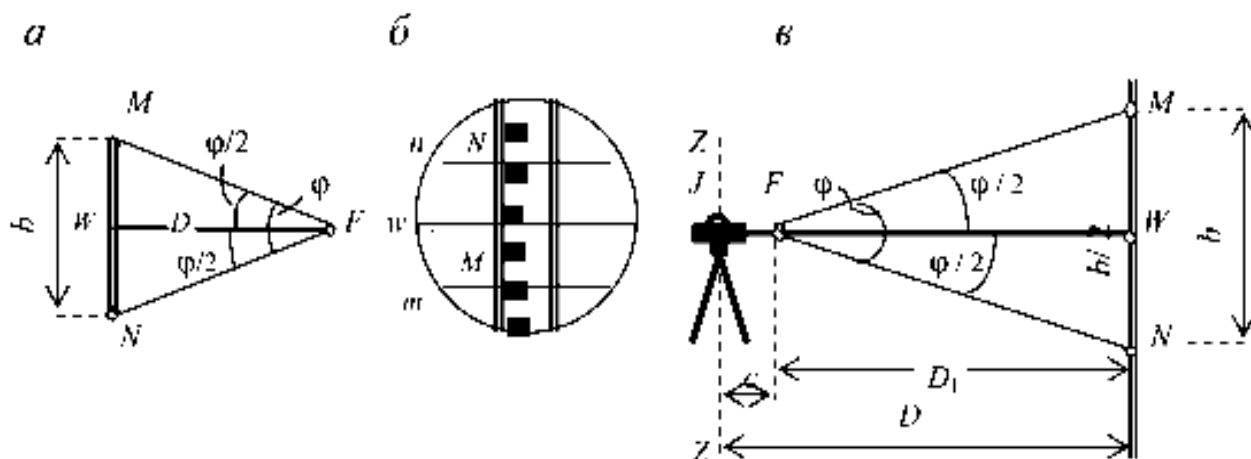


Рисунок 7.6 – Оптичний віддалемір геометричного типу: а – геометрична схема;

б – поле зору труби; в – схема вимірювань

Оптичний віддалемір – це оптико-механічний пристрій, принцип дії якого заснований на вирішенні паралактичного трикутника FMN, утвореного базою b і паралактическим кутом φ (рис. 7.6 а).

З паралактичного трикутника визначають вимірювану відстань:

$$D = (b / 2) \cdot \operatorname{ctg} \varphi / 2 + c \quad (7.7)$$

Розрізняють оптичні віддалеміри зі змінною (вимірюваною) базою b і постійним кутом. або з постійною базою b і змінним (вимірюваним) кутом φ . Одну з величин (b або φ) приймають постійною, іншу вимірюють.

Конструктивно оптичні віддалеміри виконувались у вигляді насадки на зорову трубу, самостійного приладу, вбудованого вузла або у вигляді одного з елементів зорової труби.

В наш час здебільшого використовується *нитковий віддалемір* – найпростіший оптичний віддалемір з *постійним* паралактичним кутом.

Нитковий віддалемір розміщується у зорових трубах більшості геодезичних приладів. Він містить скляну пластинку з нанесеними на ній двома горизонтальними нитками, розташованими на рівній відстані одна від одної в окулярної частини зорової труби.

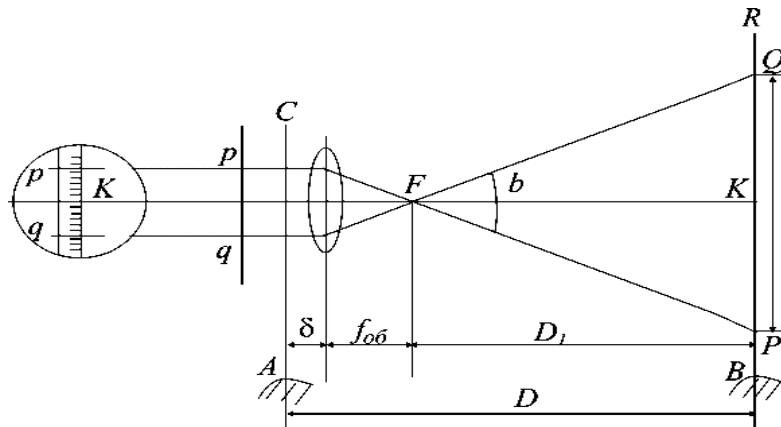


Рисунок 7.7 – Принципова схема ниткового віддалеміру

Вимірювана відстань:
$$D = D_1 + f_{об.} + \delta, \quad (7.8)$$

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

δ – постійна складова.

При $c = f_{об.} + \delta$,
$$D = k \cdot l + c \quad (7.9)$$

Для зручності користування підбирають $k = 100, (\beta = 34'38)$ Величина c не перевищує 4 см, і нею нехтують.

Відлік по віддалеміру довжини l визначають як різницю відліків за рейкою, взятих по нижній та верхній віддалемірних нитках. Точність визначення віддалі нитковим віддалеміром становить 1:200 – 1:400.

7.3 Електронні засоби вимірювання відстаней

У зв'язку з розвитком електронних методів вимірювання віддалей, заснованих на фізичному принципі, оптичні віддалеміри подвійного зображення практично витіснені з геодезичного виробництва електронними віддалемірами.

Вимірювання віддалей за допомогою електромагнітного випромінювання базується на залежності довжини шляху і часу, за який його проходить електромагнітна хвиля. Якщо швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль позначити через v , то за кінцевий час t хвиля пройде віддаль D :

$$D = vt \quad (7.10)$$

Для визначення D необхідно знати швидкість розповсюдження електромагнітного випромінювання і *інтервал часу* t , що відповідає вимірюваній віддалі. Інтервал часу вимірюють через інший параметр, що є функцією цього інтервалу.

Найбільш розповсюджений у геодезичних віддалемірах *фазовий метод* вимірювання віддалей. Він заснований на залежності фази гармонічного коливання від часу.

Основне рівняння фазового віддалеміра:

$$D = \frac{v}{2f} \left(N + \frac{\varphi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} (N + \Delta N), \quad (7.11)$$

де $\lambda = \frac{v}{f}$ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання;

$\Delta N = \frac{\varphi}{2\pi}$ – фазовий залишок.

Основне рівняння містить два невідомі – відстань D і кількість цілих фазових циклів N , для визначення яких вживають спеціальних заходів, що називаються «розв'язання неоднозначності».

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

При фазовому методі вимірювання відстаней час вимірюється *опосередковано* з дуже високою точністю. Зокрема, у фазових світловіддалемірах частота модуляції становить приблизно $10^7 - 5 \cdot 10^8$ Гц, а фаза коливань може бути виміряна з похибкою $0,1^\circ$, що відповідає похибці у вимірі часу $0,3 \cdot 10^{-10} - 0,6 \cdot 10^{-12}$ с, або еквівалентна похибці у відстані близько 5–0,1 мм.

Для вимірювання невеликих відстаней використовують лазерні рулетки (віддалеміри).

Наприклад лазерний віддалемір «Leica Disto» дозволяє виконувати лінійні вимірювання відстані від 0,05 до 200 м із точністю $\pm 1,5$ мм.

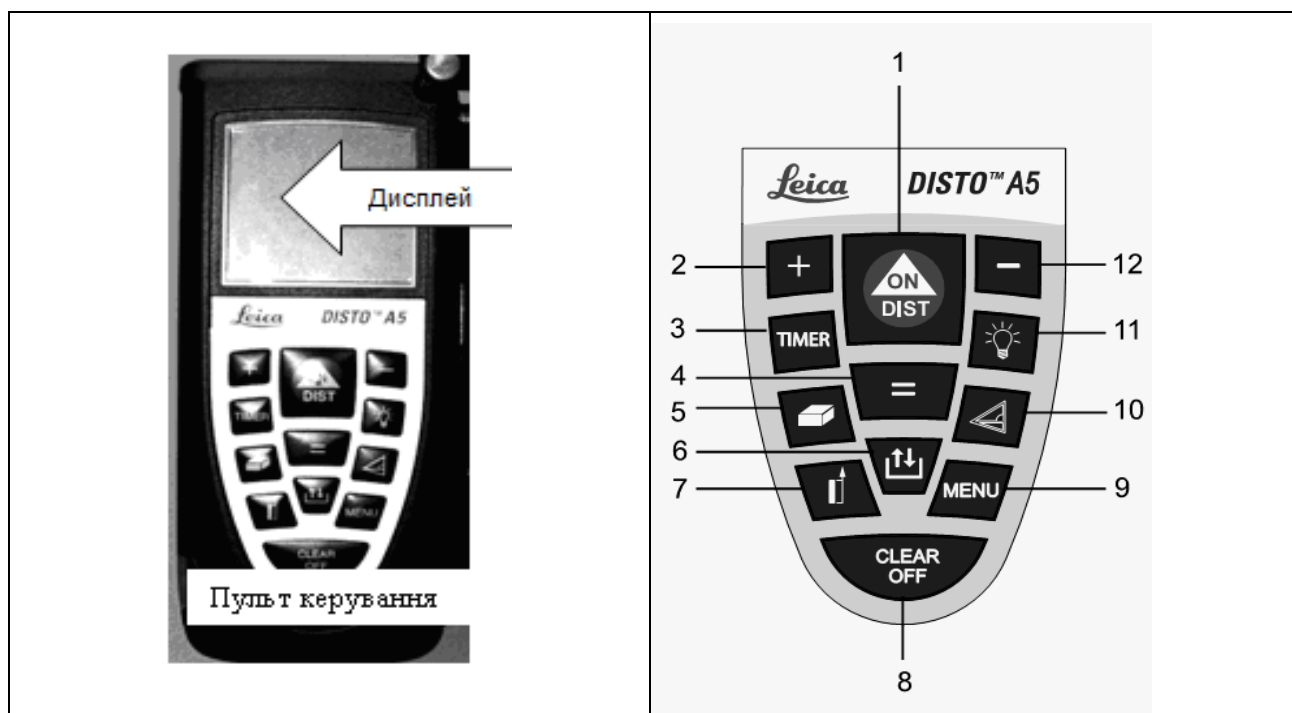


Рисунок 7.8 – Клавіатура «Leica Disto»: а – загальний вигляд; б – пульт керування

При вимірюванні відстані «Leica Disto» за допомогою клавiш 1 або 2 (рис. 7.8) вмикають лазер. У момент наведення лазерної плями на цiль iз повторним натисненням тiєї самої клавiшi через 1–2 с вимiрюється дальнiсть. Решта клавiш пульта слугують для програмного обчислення, виклику даних з оперативної пам'ятi.

1	ON/DIST (включити/зміряти)	7	REFERENCE (точка відліку)
2	[+] (плюс)	8	CLEAR / OFF (стерти/викл.)
3	TIMER (таймер)	9	MENU (меню)
4	[=] (дорівнює)	10	INDIRECT MEASUREMENT (непрямі вимірювання)
5	AREA/VOLUME (площа/об'єм)	11	ILLUMINATION (підсвічування)
6	STORAGE (пам'ять)	12	[-] (мінус)

Рисунок 7.9 – Дисплей «Leica Disto»

Детально електронні засоби геодезичних вимірювань розглядаються при вивченні навчальної дисципліни «Електронні геодезичні прилади» на другому курсі.

Питання для самоконтролю до теми 7

1. Методи вимірюються довжини ліній на місцевості і в чому їх відмінності?
2. Які прилади застосовують для вимірювання ліній на місцевості?
3. Що називається компаруванням мірних приладів?
4. Порядок вимірювання ліній на місцевості рулетками?
5. Які поправки вводять в виміряну довжину лінійними мірними приладами?
6. Як обчислюються поправки в довжину за температуру і нахил лінії?
7. Яка відносна помилка при виміру ліній рулетками?
8. Обчислення довжини лінії виміряної нитяним віддалеміром.
9. Як визначити недоступну відстань на земній поверхні?
10. На які типи поділяються віддалеміри?
11. Конструктивні елементи «Leica Disto».
12. Послідовність дій при вимірюванні відстаней «Leica Disto».
13. Що таке нитковий віддалемір?
14. Суть вимірювання віддалей за допомогою електромагнітних хвиль?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Геодезія. Частина перша. Топографія : навч. посібник / А. Л. Островський, О. І. Мороз, З. Р. Тартачинська, І. Ф. Гарасимчук [Електронне видання]. – Львів : Нац. унів. «Львівська політехніка», 2011 – 440 с. Режим доступу : <https://ua1lib.org/book/3159621/d9cd45?id=3159621&secret=d9cd45>
2. Калинич І. В. Геодезія : навчальний посібник / І. В. Калинич, Г. Г. Гриник, М. Р. Ничвид. – Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2020. – 248 с. – ISBN 978-617-7825-16-5
3. Шемякин М. Геодезія / М. Шемякин, С. Романчук, В. Кирилюк. – Київ : Видав. Центр навчальної літератури, 2019. – 296 с. <https://www.yakaboo.ua/geodezija-1636309.html#tab-attributes>
4. Ващенко В. І. Топографо-геодезичний практикум : навч. посібник / В. І. Ващенко, В. О. Літинський, С. С. Перій. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 428 с.
5. Дмитрів О. П. Геодезія : навч. посібник [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2019. – 166 с. – Режим доступу : <http://ep3.nuwm.edu.ua/16813>
6. О. П. Дмитрів Геодезія. Частина І : навч. посібник [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2019. – 166 с. – Режим доступу : <http://ep3.nuwm.edu.ua/16813>
7. Остапчук С. М. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Топографія з основами геодезії» [Електронне видання] / С. М. Остапчук. – Рівне : НУВГП, 2020. – 77 с. – Режим доступу : <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/18470>
8. Журнал «Professional Surveyor» сайт. URL: www.profsurv.com
9. Науки про Землю – Geo-Science сайт. URL: www.geo-science.ru.
10. Журнал «Геопрофи» сайт. URL: www.geoprofi.ru
11. Довідники <http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=geod>

Навчальне видання

ПЕНЬКОВ Володимир Олексійович

ГЕОДЕЗІЯ

Модуль 1 Геодезичні вимірювання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Відповідальний за випуск *С. Г. Нестеренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *В. О. Пеньков*

План 2021, поз. 15 Л

Підп. до друку 17.12.2021. Формат 60 × 84/16.

Електронне видання. Ум. друк. арк. 6,8.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.