

Міністерство освіти і науки України  
Відокремлений структурний підрозділ  
«Любешівський технічний фаховий коледж  
Луцького національного технічного університету»



## **Інженерна геодезія**

### *Конспект лекцій*

для здобувачів освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр  
освітньо-професійна програма Опорядження будівель і споруд та будівельний дизайн  
галузь знань 19 Архітектура і будівництво  
спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
денної форми навчання

*УДК 62 (07)*  
*Ш 71*

До друку

Голова методичної ради ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ»

\_\_\_\_\_ Герасимик-Чернова Т.П.

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій коледжу

Бібліотекар \_\_\_\_\_ М.М. Демих

Затверджено методичною радою ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ»

протокол № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Рекомендовано до видання на засіданні циклової методичної комісії викладачів будівельних дисциплін

протокол № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023р.

Голова циклової методичної комісії \_\_\_\_\_ Данилік С.М.

Укладач: \_\_\_\_\_ О.Ф. Шмаль, викладач

Рецензент: \_\_\_\_\_

Відповідальний за випуск: \_\_\_\_\_ Кузьмич Т.П., методист коледжу

Інженерна геодезія [Текст]: Конспект лекцій для здобувачів освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр галузь знань 19 Архітектура і будівництво спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія освітньо-професійної програми Опорядження будівель і споруд та будівельний дизайн денної форми навчання / уклад. О.Ф. Шмаль. – Любешів : ВСП «Любешівського ТФК Луцького НТУ», 2023. – 45 с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми курсу «Інженерна геодезія» з метою поглиблення вивчення та засвоєння основних розділів дисципліни, містить лекції з розгорнутими питаннями та перелік рекомендованої літератури.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. ПРЕДМЕТ, ЗАВДАННЯ КУРСУ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДЕЗІЇ. ЗВ'ЯЗОК КУРСУ З ІНШИМИ ДИСЦИПЛІНАМИ .....	5
2. ФІЗИЧНА ФІГУРА ТА ПОВЕРХНЯ ЗЕМЛІ, РІВНЕВА ПОВЕРХНЯ, ГЕОЇД, ЗЕМНИЙ ЕЛІПСОЇД. РЕФЕРЕНЦ-ЕЛІПСОЇД КРАСОВСЬКОГО.....	9
3. ВИМІРЮВАННЯ ЗА КАРТОЮ ДОВЖИН І ПЛОЩ.....	12
4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЩО ДЛЯ ЦЬОГО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ. СИСТЕМИ ВИСОТ В ГЕОДЕЗІЇ.....	15
5. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ. АЗИМУТИ ТА ДИРЕКЦІЙНІ КУТИ,ЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ. РУМБИ.....	18
6. ПОНЯТТЯ ПРО ПЛАН, КАРТУ, ПРОФІЛЬ. МАСШТАБИ. ТОЧНІСТЬ МАСШТАБУ .....	21
7. РЕЛЬЄФ. СИТУАЦІЯ. ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ ГОРИЗОНТАЛЯМИ. РОЗГРАФЛЕННЯ Й НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ.....	24
8. ВИДИ ЗЙОМОК.....	32
9. ПРИНЦИП ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КУТА. ТЕОДОЛІТ, ЙОГО БУДОВА.....	35
10. ЗАДАЧІ І МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ. СПОСОБИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ.....	39
11. ЛІТЕРАТУРА.....	44

## ВСТУП

Геодезичні методи вимірювань і технології їхнього застосування широко використовуються в багатьох сферах життя людини, не виключенням є і будівництво. За результатами геодезичних вимірювань і топографічних планів розробляють генеральні плани, проекти детального планування і забудови населених пунктів; визначають межі санітарно-захисних зон, зон особливого режиму використання, забудови; виконують проектування архітектурних пам'яток, ландшафтів тощо.

При цьому здобувач освіти повинен навчитися збирати та управляти інформацією про просторове розташування об'єктів, їх властивостей і взаємозв'язків. Таку інформацію отримують з топографічних планів з урахуванням умовних знаків.

Тому, даний конспект лекцій має своєю головною метою ознайомити здобувачів освіти з основами геодезії, а саме: фігурою та формою Землі, системою координат та висот, змістом топографічних карт та планів та широким колом задач, які вирішуються з їхнім використанням, методами і приладами кутових, висотних та лінійних вимірювань, технологію виконання топографічних знімань та основними геодезичними методами вимірювань при розміточних і архітектурних обмірюваннях будівель і споруд.

# ТЕМА 1. ПРЕДМЕТ, ЗАВДАННЯ КУРСУ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДЕЗІЇ. ЗВ'ЯЗОК КУРСУ З ІНШИМИ ДИСЦИПЛІНАМИ

## Предмет, завдання курсу інженерної геодезії

У перекладі з грецької геодезія – землерозподіл.

**Геодезія** – наука, що вивчає фігуру і розміри Землі, її внутрішнє гравітаційне поле, розміщення об'єктів земної поверхні, форми її рельєфу. Це наука, що займається вимірюваннями в природі, необхідними для вирішення різноманітних виробничо-технічних завдань народного господарства і оборони країни.

Геодезія поділяється на такі галузі: геодезія, вища геодезія, аерофотогеодезія, інженерна геодезія.

**Інженерна геодезія** – наукова дисципліна, яка вивчає і розробляє теорію, методи і прилади для проведення вимірювань на поверхні землі з метою пошуків, вимірювання деформацій інженерних споруд, проектування і будівництва інженерних споруд (доріг), аеродромів, мисів, тунелів, трубопроводів, каналів і т.д.

Термін «інженерна» в назві дисципліни вказує на те, що ця гілка геодезії є невід'ємною частиною комплексу робіт, пов'язаних із вишукуванням, проектуванням, будівництвом, реконструкцією, експлуатацією інженерних споруд.

В інженерній геодезії використовуються методи вимірювань і математичної обробки результатів, а також прилади, які застосовуються в геодезії для створення державної геодезичної основи і картографування країни. Однак при вирішенні особливих завдань в будівельно-монтажних роботах, при спостереженнях за деформаціями, вивірці споруд застосовуються спеціальні високоточні методи. До них належать: створні, струнно-оптичні і оптичні, мікронівелювання, вертикальне проектування та ін.

**Основними видами інженерно-геодезичних робіт є:**

- топографо-геодезичні вишукування;
- інженерно-геодезичне проектування;
- геодезичні розбивочні роботи і виконавчі зйомки;
- вивірка конструкцій і агрегатів;
- спостереження за деформаціями основ і споруд.

Кожен з цих видів робіт пов'язаний з певними етапами інженерно-будівельного процесу і відрізняється від інших завданнями, що вирішуються і точністю вимірів.

*Топографо-геодезичні вишукування* – вирішують наступні завдання:

- 1) отримання геодезичних матеріалів, необхідних для створення проекту робіт будівництва споруд, шляхом виконання геодезичних вимірів і обчислювально-графічних робіт;
- 2) трасування лінійних споруд;
- 3) здійснення геодезичної прив'язки геологічних виробіток, гідрологічних створів, визначення точок геофізичної розвідки і ін.

Топографо-геодезичні вишукування є основою для проектування споруд і проведення інших видів вишукувань та досліджень.

*Інженерно-геодезичне проектування* входить в комплекс проектування споруд і включає:

- 1) складання для проектування споруд топографічної основи в необхідних масштабах: планів, профілів, топографічних карт;
- 2) визначення на місцевості положення основних осей і меж споруд, інших характерних для них точок у відповідності до проекту будівництва;
- 3) вирішення завдань горизонтального і вертикального планування, підрахування площ затоплення і об'єму водосховищ та ін.

*Розбивка* споруд є основним видом геодезичних робіт при перенесенні проекту в натуру. Вимагає високої точності геодезичної основи і детальних геодезичних вимірів.

До складу розбивочних робіт входять:

- 1) побудова розбивочної основи у вигляді будівельної сітки, триангуляції, трилатерації, полігонометрії;
- 2) винесення в натуру головних осей, детальна розбивка споруд;
- 3) визначення відхилень об'єкта, що будується, від його проекту (виконавчі зйомки).

*Встановлення в проектне положення конструкцій і агрегатів і їх вивірка* в плані по висоті і по вертикалі, що здійснюється спеціально розробленими меншими приладами.

*Спостереження за деформаціями споруд* здійснюється високоточними геодезичними методами і включає:

- 1) вимірювання осадки основ і фундаментів;
- 2) визначення планових зміщень споруд;
- 3) встановлення кренів (нахилів) висотних будівель, башт, труб.

***Основними науково-технічними завданнями інженерної геодезії є:***

- створення загальної теорії топографо-геодезичних вишукувань і перенесення проектів в натуру, що ґрунтується на найновіших досягненнях в галузі науки і техніки стосовно високих вимог проектно-вишукувальних і будівельно-монтажних робіт;
- розробка науково обґрунтованих схем і програм побудови геодезичної розбивочної основи для основних типів інженерних споруд;
- узагальнення вітчизняного і закордонного досвіду геодезичних робіт, набутого при будівництві найважливіших інженерних споруд.

***Зв'язок курсу інженерної геодезії з іншими дисциплінами.***

Методи вирішення наукових і практичних завдань геодезії ґрунтуються на законах математики і фізики. За допомогою *математики* розробляються науково обґрунтовані схеми постановки і виконання геодезичних вимірів, встановлюється залежність між результатами вимірів і величинами, що досліджуються (наприклад, значеннями відстаней, кутів і координатами точок земної поверхні).

Знання з *фізики*, особливо розділів оптики, електроніки, радіотехніки, необхідні для створення геодезичних приладів і правильної їх експлуатації. На основі законів механіки вирішується завдання вивчення форми Землі і її гравітаційного поля.

Геодезія зв'язана з астрономією, геологією, геофізикою, геоморфологією та ін. науками. Відомості з *астрономії* необхідні для розробки і застосування астрономічних способів визначення координат точок земної поверхні; навпаки, діаметр Землі, що визначається геодезією, використовується астрономією як одиниця довжини при визначення відстаней між планетами Сонячної системи. *Геоморфологія* – наука про походження і розвиток рельєфу земної поверхні, яка необхідна геодезії для правильного зображення форм рельєфу на планах і картах. Відповідно, можна легко побачити зворотний зв'язок між геоморфологією і геодезією.

Існує нерозривний зв'язок між геодезією і картографією, фотограмметрією, гідрографією, військовою справою.

### **Значення інженерної геодезії в народному господарстві**

Інженерну геодезію використовують під час розв'язання багатьох важливих завдань народного господарства, науки, промисловості. Будівництво будь-якого об'єкта розпочинається з розмічування робіт на місцевості й виконується під постійним контролем інженерно-геодезичної служби. До початку будівництва геодезисти здійснюють знімання ділянки місцевості, щоб мати топографічні плани, профілі, систему опорних точок та інші вихідні дані для проектування.

Одним із напрямків сучасних наукових досліджень є вивчення внутрішньої будови Землі і процесів, що відбуваються на її поверхні та в надрах. Геодезичні методи дозволяють фіксувати кількісні характеристики таких явищ як горизонтальні, так і вертикальні тектонічні рухи земної кори, переміщення берегових ліній океанів та морів, визначення ухилів і різниць рівнів морів та ін.

Геодезичні вимірювання забезпечують дотримання геометричних форм і елементів проекту споруди як у відношенні її розташування на місцевості, так і у відношенні її внутрішньої і зовнішньої конфігурації. Навіть після закінчення будівництва виконуються спеціальні геодезичні вимірювання, які мають за мету перевірку стійкості споруди і виявлення можливих деформацій в часі під дією різних сил і причин.

Сучасне будівництво неможливе без широкого використання геодезичних методів розмічування інженерних споруд на місцевості, що забезпечують високу точність і виключають грубі похибки; методів оперативного контролю будівельних робіт і геодезичного керування роботою будівельних машин і механізмів. Із цією метою на будівництві інженерних об'єктів широко застосовують лазерну техніку.

Виняткове значення має інженерна геодезія для оборони країни. Будівництво оборонних споруд, стрільба по невидимих цілях, використання

військової ракетної техніки, планування військових операцій вимагають геодезичних даних, карт, планів.

У процесі будівництва об'єкта інженерам-геодезістам і будівельникам доводиться розв'язувати низку завдань, іноді досить складних, щоб забезпечити реалізацію проекту на місцевості з потрібною точністю. Наведемо кілька прикладів зі світової практики.

У 1986 р. збудовано транспортний тунель Сейкан під протокою Цугару на півночі Японії між островами Хонсю і Хоккайдо. Загальна довжина тунелю – 53,8 км, із них під протокою – 23,3 км. Для здійснення проекту спеціалісти виконали комплекс високоточних інженерно-геодезичних робіт, які забезпечили прокладання тунелю з обох боків під дном протоки.

Не менш вражаючим є Сімплонський тунель в Альпах між Швейцарією та Італією завдовжки 20 км. Його також проклали з обох боків. Геодезисти мали визначити координати початкової й кінцевої точок тунелю в Швейцарії та Італії в єдиній системі координат із високою точністю.

На Байкало-Амурській магістралі в Росії побудовано кілька тунелів, кожний з яких за довжиною дорівнює Сімплонському.

У 1994 р. збудовано три 50-кілометрових паралельних тунелі: два – для руху поїздів, один – для технічних цілей під протоками Ла-Манш між Францією й Великою Британією. Глибина проходження тунелів – 100 м нижче рівня моря і 40 м нижче дна протоки. Залізничні тунелі під протокою Ла-Манш – це видатна інженерна споруда ХХ століття.

1983 року у Вірменії побудовано найдовший у світі гідравлічний тунель «ріка Арпа - озеро Севан» завдовжки 48 км, із великим перепадом висот. Це також приклад складної інженерної споруди, яку будували впродовж 18 років під систематичним геодезичним контролем. У 1986 р. побудовано найдовший у Європі 24-кілометровий Орхотський транспортний тунель на Кавказькій перевальній автомобільній дорозі.

Інженерно-геодезичні роботи істотно впливають на якість автомобільних доріг, оскільки точність реалізації проектних рішень значною мірою визначає їхні транспортно-експлуатаційні характеристики.

Сучасні автомобільні магістралі є досить складними інженерними спорудами. Щоб збудувати дорогу, потрібно виконати великий комплекс інженерно-геодезичних робіт, починаючи з вишукувань і розмічування траси дороги і закінчуючи зведенням інженерних споруд, пов'язаних з її експлуатацією (мостів, шляхопроводів, автовокзалів, кемпінгів, тунелів тощо). У процесі будівництва дороги здійснюється постійний геодезичний контроль усіх операцій дорожньо-будівельних робіт. Особливо велике значення мають геодезичні роботи, які забезпечують на натурі проектні розміри головних геометричних параметрів дороги в плані, поздовжньому і поперечному профілях, оскільки геометрія дороги визначає її основні транспортно-експлуатаційні характеристики.

Високоточні інженерно-геодезичні роботи виконуються під час будівництва висотних будинків, телебашт, метрополітенів, спостереження за

деформаціями інженерних споруд під дією різних зовнішніх і внутрішніх сил і факторів, при вирішенні інших будівельних, виробничих і дослідних завдань.

## ТЕМА 2. ФІЗИЧНА ФІГУРА ТА ПОВЕРХНЯ ЗЕМЛІ, РІВНЕВА ПОВЕРХНЯ, ГЕОЇД, ЗЕМНИЙ ЕЛІПСОЇД, РЕФЕРЕНЦ-ЕЛІПСОЇД КРАСОВСЬКОГО

Поверхня Землі, яку прийнято називати фізичною, або топографічною, є поєднанням поверхні океанів і материків із складними геометричними формами. Океани займають майже три чверті площі планети, а нерівності суші незначні порівняно з її площею, тому форма Землі визначається поверхнею Світового океану. Це підтверджують і зйомки Землі з космічних літальних апаратів.

*Поверхня океану в стані повного спокою і рівноваги є рівневою поверхнею, тобто поверхнею, на якій потенціал сили тяжіння Землі має однакове значення. Напрямки прямовисних ліній (ліній, які збігаються з напрямком дії сили тяжіння) перпендикулярні до рівневої поверхні в будь-якій її точці. Форма Землі, утворена рівневою поверхнею, збігається з поверхнею Світового океану в стані цілковитого спокою та рівноваги й продовжена під материками, називається геоїдом.*

Рівнева поверхня може бути проведена через будь-яку точку фізичної поверхні Землі, а також над або під поверхнею (рис. 2.1). Поверхня, що визначає форму планети й збігається з поверхнею Світового океану, називається основною.

Поверхня геоїда не є правильною фігурою в геометричному відношенні,

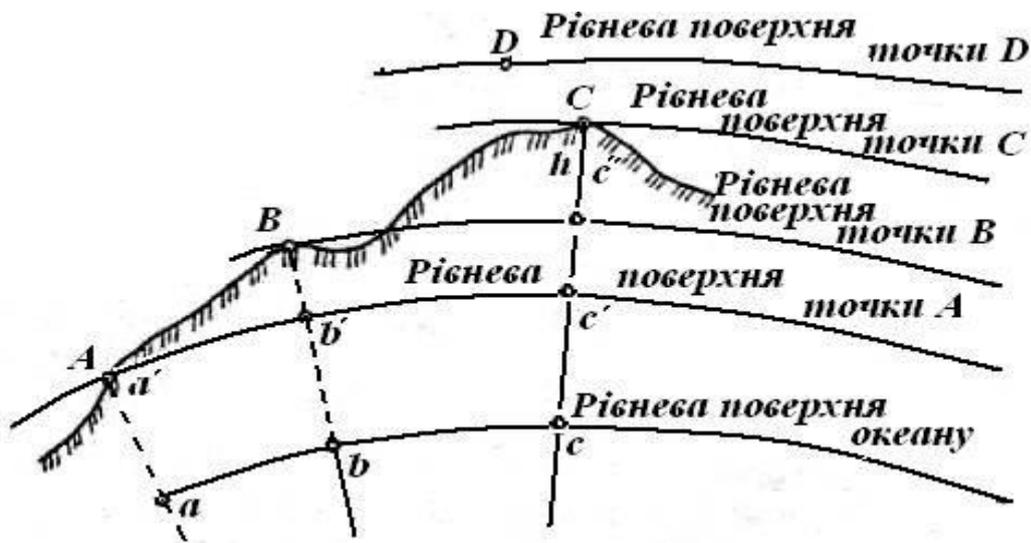


Рис. 2.1. Рівневі поверхні

оскільки внутрішня будова Землі неоднорідна і напрямки її сил тяжіння не збігаються з напрямками, які вони мали б у разі однорідної будови планети. Внаслідок цього рівнева поверхня, залишаючись у кожній точці перпендикулярною до прямовисних ліній, набуває складної і неправильної

форми. Найближчою до геоїда математично визначеною геометричною фігурою, що характеризує форму і розміри Землі, є земний еліпсоїд (рис. 2.2), мала вісь якого збігається з полярною віссю Землі  $PP'$  (еліпсоїдом називається фігура, утворена обертанням еліпса довкола малої осі).

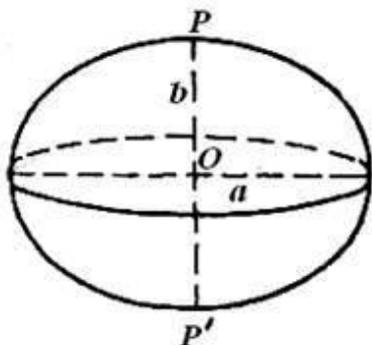


Рис. 2.2. Земний еліпсоїд та його елементи



Рис. 2.3. Відхилення прямовисної лінії

Напрямки прямовисної лінії і нормалі (лінії, перпендикулярної до поверхні еліпсоїда) в точках земної поверхні не збігаються (рис. 2.3) і утворюють **кут відхилення прямовисної лінії  $\epsilon$** . В середньому його значення становить 3 – 4", а в місцях аномалій досягає десятків секунд.

Розміри земного еліпсоїда характеризуються довжинами півосей  $a$  і  $b$  та величиною відносного стиску  $\alpha$ . Для визначення  $a$ ,  $b$  і  $\alpha$  на поверхні Землі вимірюють геодезичними методами довжину дуги меридіана. Ці роботи називають *градусними вимірюваннями*. За даними градусних вимірювань вчені Деламбр (1800), Бессель (1841), Хейфорд (1909) та ін. розраховали розміри земних еліпсоїдів. Параметри еліпсоїда, обчислені вченими ЦНДГАіК під керівництвом Ф. Н. Красовського (1940), такі:  $a=6378245$  м,  $b=6356863$  м,  $\alpha = 1:298,3$ . В 1942 р. ці розміри затверджені як обов'язкові для проведення геодезичних робіт в СРСР.

*Земний еліпсоїд, прийнятий для обробки геодезичних вимірювань встановлення системи геодезичних координат, називають **референц-еліпсоїдом***. В Україні таким референц-еліпсоїдом є еліпсоїд

Ф. Н. Красовського. Відхилення його поверхні від геоїда не перевищує 100 – 150 м, що підтверджує доцільність прийняття еліпсоїда як фігури, найбільш близької до геоїда. Щоб максимально наблизити поверхню

еліпсоїда до поверхні геоїда, еліпсоїд орієнтують, тобто розміщують

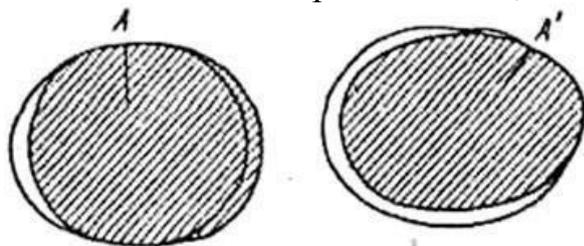


Рис. 2.4. Орієнтування земного еліпсоїда

певним чином по відношенню до поверхні геоїда. Орієнтування залежить від вибору точки земної поверхні, в якій нормаль збігається з прямовисною лінією (точка А і А' на рис. 2.4). Завдання наближення поверхні еліпсоїда до поверхні геоїда може бути вирішене інакше – шляхом добору оптимальних значень відхилення прямовисної лінії, одержаних в результаті проведених вимірювань, як це зроблено для території колишнього Радянського Союзу.

Використання державами планети різних референц-еліпсоїдів призводить до відмінностей координат одних і тих самих пунктів, визначених відносно різних вихідних поверхонь.

При вирішенні багатьох практичних завдань досить прийняти форму Землі за кулю, площа поверхні якої дорівнює площі еліпсоїда, а радіус – 6371,1 км (6400 км після округлення).

### ***Поняття про методи визначення форми та розмірів Землі***

*Астрономо-геодезичний метод.* Визначення форми та розмірів Землі будується на використанні градусних вимірів, які зводяться до визначення лінійної довжини одного градуса дуги меридіана та паралелі на різних широтах. Щоб це зробити, потрібно мати дані про положення певних точок на земній поверхні (їх одержують з астрономічних спостережень) та знати відстань між ними (її визначають за допомогою геодезичних вимірювань). Однак лінійні вимірювання земної поверхні здійснити досить важко, тому що її нерівності знижують точність робіт. Вихід було знайдено голландським вченим В. Снелліусом (1580 – 1628), який запропонував використовувати для цього *метод триангуляції*. Цей метод передбачає обчислення значних відстаней на основі кутових та обмежених лінійних вимірів на місцевості. Наслідком впровадження триангуляції було те, що довжина меридіанів і паралелей стала визначатися значно точніше, ніж це робилося до того.

Триангуляційні роботи для визначення дуг меридіанів та паралелей проводилися вченими багатьох країн. Ще в XVIII ст. було встановлено, що один градус дуги меридіана біля полюса довший, ніж біля екватора. Цим підтверджувалася ідея І. Ньютона (1643 – 1727) про те, що Земля повинна мати форму еліпсоїда обертання, сплюсненого біля полюсів. У результаті градусних вимірювань за участю Ж. Делабра одержано довжину 1/1 000 000 частини паризького меридіана, яку було прийнято за одиницю довжини метричної системи – метр.

*Геофізичний (гравіметричний) метод.* В основу методу покладено вимірювання величин, що характеризують поле тяжіння Землі та його зміни. Цей метод можна застосувати й на акваторіях морів та океанів, де вимірювання астрономо-геодезичним методом неможливі.

Початок гравіметричним вимірам було покладено в 1743 р. французьким вченим А. Клеро. Він припустив, що поверхня Землі має вигляд сфероїда, тобто фігури, якої набула б наша планета в стані гідростатичної рівноваги під впливом тільки сил взаємного тяжіння її частин та центробіжної сили обертання навколо незмінної осі.

*Космічний метод.* Розвиток космічного методу вивчення Землі пов'язаний з освоєнням космічного простору, яке почалося з виведенням на орбіту першого штучного супутника Землі (ШСЗ) у жовтні 1957 р. Перед геодезією постали нові завдання, зокрема спостереження за ШСЗ на орбіті та визначення їх просторових координат. Встановлення відхилень реальних орбіт ШСЗ від теоретичних, викликаних нерівномірним розподілом мас у земній корі, дозволяє уточнити уявлення про гравітаційне поле Землі та її форму.

### ТЕМА 3. ВИМІРЮВАННЯ ЗА КАРТОЮ ДОВЖИН І ПЛОЩ

#### **1. Вимірювання довжин ліній за топографічними картами і планами.**

При вимірюванні довжин за картами слід пам'ятати, що в результаті отримують довжини горизонтальних проекцій, а не довжини ліній на земній поверхні. Однак при невеликих кутах нахилу різниця в довжині похилої лінії і її горизонтальної проекції дуже мала і може не враховуватися.

При вимірюванні за картами відстаней в гірських районах дійсну відстань на похилій площині можна обчислити за формулою

$$S = d \cdot \cos \alpha,$$

де  $S$  – дійсна відстань на похилій площині,  $d$  – довжина горизонтальної проекції лінії  $S$ ,  $\alpha$  – кут нахилу.

Для визначення довжини відрізка прямої між двома точками в розхил циркуля вимірника беруть з карти заданий відрізок, переносять його на лінійний масштаб карти і отримують довжину лінії в метрах чи кілометрах. Аналогічно вимірюють довжину ломаних ліній, беручи в розхил циркуля довжину кожного відрізка, і потім сумуючи їх довжини. Вимірювання довжин кривих ліній (доріг, кордонів, річок та ін.) більш складні і точні. Дуже плавні криві вимірюють як ломані, розбиваючи попередньо на ломані відрізки. Звивисті відрізки вимірюють малим постійним розхилом циркуля, переставляючи його ("крокуючи") всіма вигинами ліній. Очевидно, що дрібнозвивисті лінії слід вимірювати дуже малим розхилом циркуля (2 – 4 мм). Знаючи, якій довжині на місцевості відповідає розхил циркуля, і підрахувавши їх загальну кількість, визначають загальну довжину відрізка.

Для вимірювання кривих ліній користуються також курвиметром. Коліщатко, що розташовується в нижній частині приладу, його котять по вимірювальній кривій. Рух коліщатка передається стрілці. За поділками шкали на циферблаті визначають, яку відстань пройшло коліщатко на карті. Отриману довжину в сантиметрах перетворюють у натуральну величину. Дійсне значення вимірюваної величини через вплив похибок вимірювання залишається невідомим. Тому визначають її **ймовірне значення**. Таким значенням є середнє арифметичне всіх окремих вимірів

$$x = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n) : n = \frac{\sum a}{n},$$

де  $x$  – ймовірне значення вимірюваної величини;  $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$  – результати окремих вимірювань;  $n$  – кількість вимірювань. Чим більше вимірів, тим ймовірне значення вимірювань ближче до істинної величини  $A$ . Якщо припустити, що значення дійсної величини  $A$  відоме, то різниця між цією величиною і виміром  $a$  дасть дійсну похибку вимірювання  $\Delta = A - a$ . Відношення похибки вимірювання будь-якої величини  $A$  до її значення називається **відносною похибкою** —  $\frac{\Delta}{A}$ . Ця похибка виражається у вигляді правильного дробу, в якого в знаменнику – частка похибки від величини, що вимірюється, тобто  $\frac{\Delta}{A} = \frac{1}{A:\Delta}$ .

## 2. Визначення на карті площі ділянки.

Визначити площу ділянки на карті – це значить провести вимірювальні та обчислювальні роботи, в результаті яких площу ділянки одержують у *земельній мірі*: квадратних метрах, гектарах тощо. При цьому визначається площа не фізичної поверхні ділянки місцевості  $P_\phi$ , а її проєкції на горизонтальну площину  $P$  (рис. 3.1):

$$P = P_\phi \cos \gamma, \text{ а } P_\phi = P : \cos \gamma.$$

Залежно від потрібної точності результатів застосовують різні способи визначення площі:

- за допомогою палетки;
- графічний;
- аналітичний;
- механічний;
- фотоелектронний.
- зважування.

Кожний з них застосовують самостійно або разом з іншими.

**Визначення площі за допомогою палетки.** Палетка – це нанесена на прозору основу сітка квадратів, точок, паралельних рівновіддалених ліній тощо (рис. 3.2).

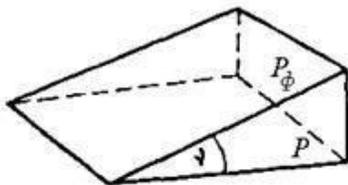


Рис 3.1. Взаємне положення фізичної поверхні ділянки місцевості і горизонтальної площини

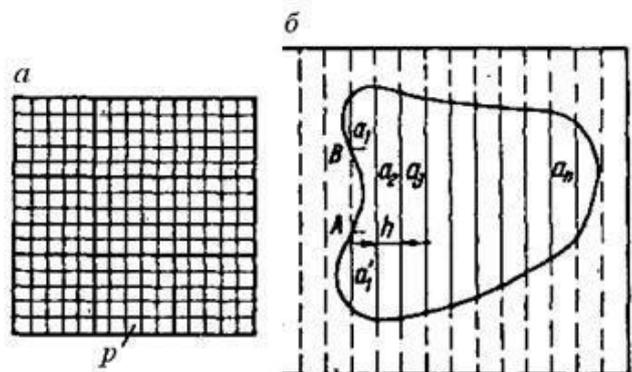


Рис. 3.2. Палетка: а – сітчаста; б – паралельна

Робота з квадратною (сітчастою) палеткою починається з визначення величини її поділки  $p$  в  $\text{мм}^2$  або  $\text{см}^2$ . Відомо, що  $p=a^2$ , де  $a$  – сторона поділки палетки в міліметрах або сантиметрах.

Потім визначають ціну поділки палетки  $c_p$ , тобто число одиниць земельної міри, яке відповідає одній поділці палетки для карти певного масштабу:  $c_p=(ac)^2$ , де  $a$  – ціна 1 мм (1 см) в масштабі карти.

Площа  $P$ , визначена за допомогою палетки, обчислюється за формулою

$$P = n_p \cdot c_p,$$

де  $n_p$  – кількість поділок палетки, що обмежені контуром ділянки.

Для підрахунку поділок палетки  $n_p$  її накладають на ділянку, що вимірюється, і лічать кількість повних  $n$  та неповних  $n'$  поділок (тих, що розсічені контуром ділянки). Доведено, що  $n_p = n + (n' : 2)$ .

Вимірювання повторюють, змінивши положення палетки відносно початкового. Палетку слід накладати так, щоб контур розсікав якомога менше поділок палетки.

Квадратні палетки рекомендується застосовувати для визначення площ малих ділянок (до  $3 \text{ см}^2$ ) з криволінійними обрисами. Їх використовують також для приблизного визначення площ великих ділянок. Основний недолік цих палеток - імовірність грубої помилки під час підрахунку кількості поділок.

Крім квадратних палеток, використовують паралельні (лінійчасті) палетки, крапкові палетки.

**Графічний спосіб.** Застосовувати цей спосіб доцільно для визначення площ ділянок розміром до  $15 \text{ см}^2$  з відносно прямолінійними межами (звивисті відрізки меж замінюють на прямі). Ділянку, що має форму многокутника, розбивають на прості фігури, площу яких можна вирахувати за відомими формулами. Доведено, що найбільш точні результати одержують при розбивці ділянки на трикутники, особливо на такі, що мають однакові основу  $a$  і висоту  $h$ . Результати обчислень переводять у масштаб карти. Формула площі ділянки має такий вигляд:

$$P = \left( \sum_1^n \frac{a_i h_i}{2} \right) c_p.$$

Точність графічного способу дорівнює  $1/100 - 1/200$  площі, що вимірюється.

**Механічний спосіб** базується на застосуванні *планіметра* – приладу, що дозволяє порівняно швидко і точно виміряти площу ділянки будь-якої конфігурації.

Точність визначення площі планіметром залежить від багатьох причин. Встановлено, що за його допомогою доцільно вимірювати ділянки понад  $20 \text{ см}^2$ . Малі ділянки, а також лінійно витягнуті об'єкти (дороги, річки і т.п.) краще вимірювати палеткою або графічним способом. За сприятливих умов роботи точність результатів близька до  $1/200 - 1/400$  площі, що вимірюється.

**Визначення площі зважуванням.** Для застосування цього способу необхідні аналітичні ваги. Ділянку, площа якої визначається, викреслюють на

прозорому пластику, що не деформується, потім вирізують її за контуром і зважують. З площі контуру вирізують еталонну фігуру (квадрат, коло) і теж зважують. Площу еталонної фігури визначають за відомими формулами. Тоді  $P = B_k \cdot P_e : B_e$

де  $B_k$  – маса цілого контуру,  $B_e$  – маса еталона;  $P_e$  – площа еталона.

Точність визначення площі зважуванням близька до точності механічного способу, але продуктивність його вища.

**Аналітичний спосіб.** Цей спосіб потребує попереднього визначення координат точок контуру.

Точність аналітичного способу залежить від точності визначення координат.

Розвиток техніки сприяє дослідженням у галузі автоматизації обчислювальних робіт у топографії. Застосування ПК спрощує і прискорює визначення площ аналітичним способом. Розробляються нові прилади, що підвищують продуктивність праці при обчисленні площ. Добрі результати дає застосування стандартної фототелеграфної апаратури, фотоелектронних планіметрів, що прискорюють роботу у 8 – 10 разів.

#### **ТЕМА 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ЩО ДЛЯ ЦЬОГО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ. СИСТЕМИ ВИСОТ В ГЕОДЕЗІЇ**

**Координати** – це величини, що визначають положення будь-якої точки на поверхні або в просторі відносно прийнятої системи координат.

Система координат встановлює початкові (вихідні) точки поверхні або лінії відліку потрібних величин – початок відліку координат та одиниці їх обчислення.

У геодезії найбільшого застосування набули системи географічних, плоских прямокутних та полярних координат.

Система географічних координат (географічні координати) застосовується для визначення положення точок Землі відносно екватора і початкового меридіана. Координатами є кутові величини: довгота і широта точки. Координатна (картографічна) сітка створюється лініями меридіанів і паралелей.

*Меридіаном* називають лінію перерізу еліпсоїда площиною, що проходить через дану точку і полярну вісь обертання Землі  $PP'$  (рис. 4.1).

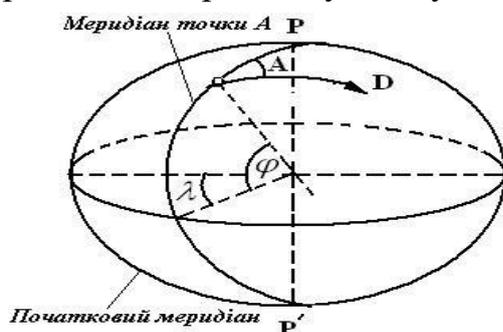


Рис 4.1. Система географічних координат

*Паралель* – це лінія перерізу еліпсоїда площиною, що проходить через дану точку і перпендикулярна до земної  $PP'$  (рис 4.1). Паралель, що проходить через центр еліпсоїда, називають *екватором*. За початковий (нульовий) прийнято Гринвіцький меридіан, тобто меридіан, який проходить через центр головного залу Гринвіцької обсерваторії на околиці Лондона.

Географічні координати визначають в результаті астрономічних спостережень відносно земної поверхні або шляхом геодезичних вимірювань поверхні референц-еліпсоїда. У першому випадку їх називають *астрономічними*, у другому – *геодезичними*. При астрономічних спостереженнях проектування точок на відповідну поверхню здійснюється прямовисними лініями, при геодезичних – нормальми, тому значення астрономічних і геодезичних координат дещо відрізняються.

**Астрономічні координати** обчислюють відносно площини, перпендикулярної до осі обертання Землі (площини екватора) і площини початкового астрономічного меридіана. Площиною астрономічного меридіана є площина, що проходить через прямовисну лінію в даній точці і паралельна осі обертання Землі. Початковою точкою відліку координат є точка перетину початкового меридіана і екватора, для якої широта і довгота дорівнюють  $0^\circ$ .

*Астрономічна широта* ( $\varphi$ ) – це кут, утворений прямовисною лінією в даній точці і площиною, перпендикулярною до осі обертання Землі.

*Астрономічна довгота* ( $\lambda$ ) – це двогранний кут між площинами астрономічного меридіана даної точки та початкового астрономічного меридіана (див. рис. 4.1).

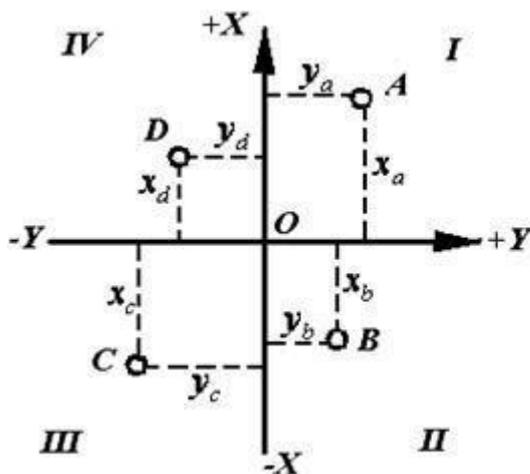


Рис. 4.2 Система плоских прямокутних координат

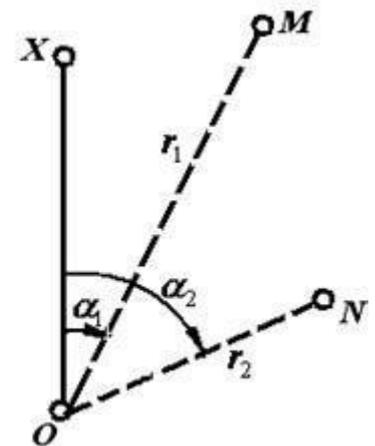


Рис. 4.3. Система полярних координат

**Геодезичні координати** – це координати, які показують положення точок відносно площини початкового геодезичного меридіана і площини екватора земного еліпсоїда. Площиною геодезичного меридіана є площина, що проходить через нормаль до поверхні земного еліпсоїда в даній точці і паралельна до його малої осі.

*Геодезична широта (B)* – це кут, утворений нормаллю до поверхні земного еліпсоїда в даній точці і площиною його екватора.

*Геодезична довгота (L)* – двогранний кут між площинами геодезичного меридіана даної точки і початкового геодезичного меридіана.

За початок відліку координат у геодезичній системі (на референц-еліпсоїді) беруть певну точку з відомими геодезичними координатами або вихідними даними. Відносно неї визначають всі інші координати пунктів геодезичної сітки.

Широта є північна і південна, змінюється вона від  $0^\circ$  (на екваторі), до  $90^\circ$  (на земних полюсах). Довгота є східна та західна і змінюється від  $0^\circ$  (на початковому, Гринвіцькому меридіані) до  $180^\circ$  на схід і на захід від нульового меридіана. Довгота і широта можуть бути також визначені, відповідно довжиною дуги меридіана і паралелі на поверхні еліпсоїда.

**Плоскими прямокутними геодезичними координатами (прямокутними координатами)** називають лінійні величини – абсцису і ординату, що визначають положення точки на площині відносно вихідних напрямків. Вихідними напрямками служать дві взаємно перпендикулярні лінії (рис. 4.2) з початком відліку в точці їх перетину  $O$ . Пряма  $XX$  є віссю абсцис, а пряма  $YY$  – віссю ординат. У цій системі положення будь-якої точки на площині визначається найкоротшою відстанню до неї від осей координат. Так, положення точки  $A$  визначається довжиною перпендикулярів  $x_a$  та  $y_a$ . Відрізок  $x_a$  називають абсцисою, а  $y_a$  – ординатою точки  $A$ . Відображаються абсциси і ординати в лінійних величинах (найчастіше в метрах).

У геодезії прийнято праву систему прямокутних координат: це відрізняє її від лівої системи координат, яка використовується в математиці. Четверті системи координат, назви яких відповідають назвам сторін світу, нумеруються за годинниковою стрілкою (див. рис. 4.2). У такій системі спрощується вимірювання кутів орієнтування. Абсциси точок, розташованих вверху від початку координат, вважають додатними, а вниз – від'ємними; ординати точок, розташованих праворуч від початку координат, вважають додатними, а ліворуч – від'ємними (табл. 4.1). Систему плоских прямокутних координат застосовують на обмежених ділянках земної поверхні, що можуть бути прийняті за плоскі. У державній системі координат за вісь ординат приймають лінію екватора, за вісь абсцис – напрямок меридіана, який називають осьовим (він збігається з напрямком однієї з осей системи прямокутних координат).

Таблиця 4.1

Чвертні системи	Координати	
	X	Y
I – північний схід (Пн.Сх.)	+	+
II – південний схід (Пд.Сх.)	-	+
III – південний захід (Пд.Зх.)	-	-
IV – північний захід (Пн.Зх.)	+	-

При виконанні робіт на значних за розмірами територіях осьовими вибирають кілька меридіанів. Для невеликих ділянок початок відліку координат може бути в будь-якій точці ділянки (це так звана *система з умовним початком координат*).

Координати, початком відліку яких є певна точка на місцевості, називають *топоцентричними*. Якщо на горизонтальній площині через довільно вибрану точку  $O$  провести пряму  $OX$  (так звана *полярна вісь*), то положення будь-якої точки, наприклад  $M$ , визначатиметься радіусом-вектором  $r_1$  та кутом напрямку  $a_1$ , а точка  $N$  – відповідно  $r_2$  і  $a_2$  (рис. 4.3). Такі координати називають полярними. Кути  $a_1$  і  $a_2$  вимірюють від полярної осі за ходом годинникової стрілки до радіуса-вектора. Полярна вісь на площині може розташовуватись довільно або збігатися з напрямком меридіана, що проходить через полюс (точка  $O$ ).

Для визначення положення точок фізичної поверхні Землі не досить знати лише дві координати на поверхні (наприклад,  $x$  і  $y$ ). Потрібна третя координата – висота точки  $A$ , тобто відстань за прямовисним напрямком від даної точки (або від рівневої поверхні, що проходить через неї) до рівневої поверхні, яку взято за початок відліку висот. У геодезії висота визначається відносно поверхні земного еліпсоїда. Числове значення висоти точки називають *позначкою висоти*. Висоту точки, яку обчислюють від основної рівневої поверхні, називають *абсолютною*, а визначену відносно довільно обраної рівневої поверхні – *умовною*. Різницю висоти між двома точками (або відстань за прямовисним напрямком між рівневими поверхнями, що проходять через дві будь-які точки на Землі) називають *відносною висотою*, або *перевищенням*  $H$  (або  $h$ ) цих точок.

У нашій країні прийнято Балтійську систему висот. Відлік висот за цією системою ведуть від рівневої поверхні, що проходить через нуль Кронштадтського футштока біля Санкт-Петербурга. Футшок – рейка, яку встановлюють на берегах океанів і морів для спостережень за рівнем води.

## ТЕМА 5. ОРІЄНТУВАННЯ ЛІНІЙ. АЗИМУТИ ТА ДИРЕКЦІЙНІ КУТИ, ЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ. РУМБИ

При роботі з топографічною картою доводиться визначати напрямки. Напрями ліній на місцевості чи на карті можуть бути визначені відносно якихось *початкових напрямів*. Такими напрямками можуть бути **географічний** (на топографічній карті він має назву істинного меридіана) меридіан, **магнітний** меридіан (збігається з напрямком вільно підвішеної магнітної стрілки), **осьовий** меридіан зони Гауса чи лінії до нього паралельні – вертикальні лінії кілометрової сітки. Через будь-яку точку земної поверхні чи точку на карті можна провести географічний меридіан, магнітна стрілка приладів дасть магнітний меридіан, а також можна провести лінію, паралельну до осьового меридіана зони Гауса.

Залежно від прийнятого початкового напрямку розрізняють азимут географічний (дійсний, істинний), азимут магнітний, дирекційний кут (рис. 5.1). У зв'язку із цим кути на місцевості та на карті визначаються відносно цих названих вихідних напрямів, а відлік їх ведеться від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  за ходом годинникової стрілки, тобто від вихідного напрямку до напрямку на даний предмет (до напрямку даної лінії).

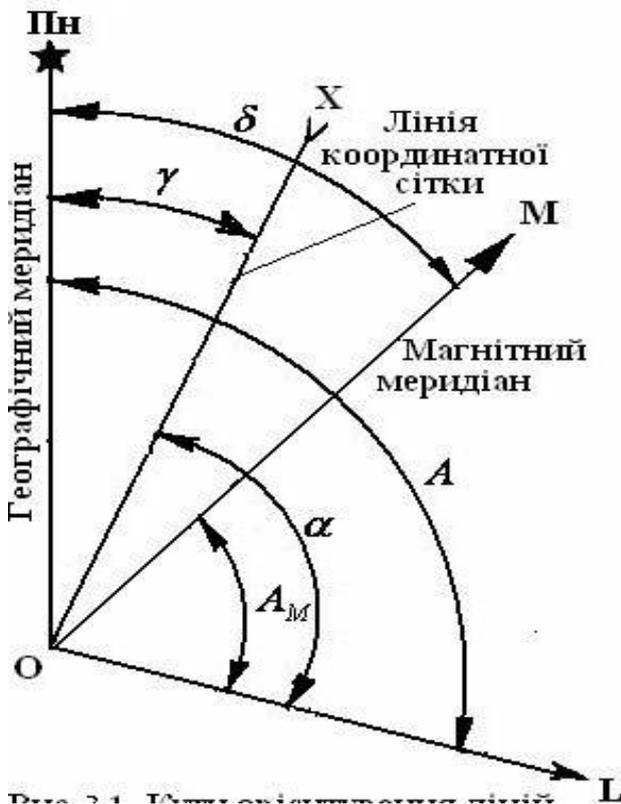


Рис. 5.1. Кути орієнтування:

$A$  – азимут істинний;  $A_M$  – магнітний;  $\alpha$  – дирекційний кут;  $\gamma$  – зближення меридіанів;  
 $\delta$  – магнітне схилення

**Географічним (істинним, дійсним) азимутом ( $A$ )** називається кут, який відраховують від північного напрямку географічного (істинного) меридіана за ходом годинникової стрілки до напрямку на даний предмет в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Для вимірювання на карті географічних азимутів заданого напрямку в початковій точці лінії проводять за лінійкою географічний меридіан і транспортиром вимірюють кут між меридіаном і заданим напрямком.

**Магнітним азимутом ( $A_M$ )** називається кут, який відраховують від північного напрямку магнітного меридіана до напрямку на даний предмет за ходом годинникової стрілки в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Магнітні азимуті напрямів вимірюються на місцевості за допомогою приладів, що мають магнітну стрілку (компаси, бусолі). На карті магнітні азимуті можуть бути обчислені за зміряним істинним азимутом  $A$  і величиною магнітного схилення, яке вказується на полях карти, зліва від записів масштабів.

**Магнітне схилення ( $\delta$ )** (схилення магнітної стрілки) – кут між істинним (географічним) та магнітним меридіанами в даній точці. Схилення від істинного меридіана на схід називається східним (додатнім), а на захід – західним (від'ємним). Зв'язок між магнітними та істинними азимутами можна представити так:

$$A_M = A - \delta .$$

**Дирекційним кутом напрямку ( $\alpha$ )** називається кут, який вимірюють від північного напрямку осьового меридіана зони Гауса або від вертикальних ліній сітки до напрямку на даний предмет за ходом годинникової стрілки в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Як правило, а вимірюється на карті від вертикальних ліній кілометрової сітки. Використання вертикальних ліній сітки дає можливість швидко і точно зміряти кути за допомогою транспортира.

Дирекційний кут можна вирахувати, знаючи зміряний на місцевості магнітний азимут та *поправку на зближення меридіанів ( $\gamma$ )* – кут між північним напрямом вертикальної лінії кілометрової сітки та північним напрямом географічного (істинного) меридіана. Для точок, які розташовуються у східній частині координатної зони (на схід від осьового меридіана), величина зближення меридіанів додатна, а для точок, розташованих у західній частині зони – від'ємна. Зв'язок між кутами напрямів можна записати так:

$$\begin{aligned} A_M &= \alpha + (\pm \gamma); & \alpha &= A_M - (\pm \gamma); \\ A_M &= -\delta + \gamma; & \alpha &= A_M + \delta - . \end{aligned}$$

Алгебраїчна різниця  $\delta - \gamma = \text{Пн}$  називається *поправкою напрямку*. Дані про величини  $\delta$  і  $\gamma$  даються на графіку під південною рамкою карти. На карті масштабу 1:25 000  $\gamma = 2^\circ 24'$ ,  $\delta = 6^\circ 12'$ . Поправка напрямку Пн =  $8^\circ 36'$ .

У навігації, метеорології, лісо- та землеустрої використовують румби. **Румб ( $r$ )** – кут між напрямом даної лінії та найближчим напрямом меридіана (північним чи південним) в межах від 0 до  $90^\circ$ . Румби є географічні, магнітні та ті, що відраховують від вертикальних ліній сітки. Кожен румб характеризується вказівкою чверті горизонту, в якій розташований даний напрям, і величиною кута.

Наприклад,  $r = \text{Пн.Зх.}: 16^\circ 57'$ , якщо  $A = 343^\circ 03'$ ;  $r = \text{Пн.Сх.}: 36^\circ 21'$ , якщо  $A = 36^\circ 21'$ ;  $r = \text{Пд.Зх.}: 37^\circ 45'$ , якщо  $A = 217^\circ 45'$ ;  $r = \text{Пд.Сх.}: 76^\circ 28'$ , якщо  $A = 103^\circ 32'$ .

У практиці вимірювань використовують прямі й обернені (зворотні) кути. Кути, зміряні у початковій точці, називаються **прямими**, а кути, зміряні в протилежному напрямі (чи в кінцевій точці лінії), називають **оберненими**. Зв'язок між прямими й оберненими істинними азимутами виражається формулою:  $A_{об.} = A_{пр.} \pm 180^\circ + (\pm \gamma)$ ; якщо точки розміщені близько (на карті У-34-37-В-в масштабі 1:25 000), то  $A_{об.} = A_{пр.} \pm 180^\circ$ . Дирекційний кут прямої лінії постійний у всіх точках (в межах однієї зони), тому  $a_{об.} = \alpha_{пр.} \pm 180^\circ$ . Наприклад:  $A_{пр.} = 145^\circ 15'$ ,  $A_{об.} = 145^\circ 15' + 180^\circ = 325^\circ 15'$ ;  $A_{пр.} = 271^\circ 21'$ ,  $A_{об.} = 271^\circ 21' - 180^\circ = 91^\circ 21'$ ;  $A_{пр.} = 28^\circ 53'$ ,  $\gamma = -2^\circ 04'$ ,  $A_{об.} = 28^\circ 53' -$

$2^{\circ}04'+180^{\circ}=26^{\circ}49'+180^{\circ}=206^{\circ}49'$ ;  $A_{пр}=295^{\circ}32'$ ,  $\gamma=+1^{\circ}42'$ ,  $A_{об} =295^{\circ}32'+1^{\circ}42'=298^{\circ} 14'-180^{\circ}= 19^{\circ} 14'$ .

## ТЕМА 6. ПОНЯТТЯ ПРО ПЛАН, КАРТУ, ПРОФІЛЬ. МАСШТАБИ. ТОЧНІСТЬ МАСШТАБУ

### *Поняття про план, карту, профіль*

*Планом* називають рисунок, на якому в зменшеному і подібному вигляді зображено горизонтальну проекцію невеликої ділянки земної поверхні.

Як уже зазначалося, при зйомках невеликих ділянок за загальну фігуру Землі беруть геоїд, а його поверхню вважають плоскою. Величину ділянки, що зображалася б у вигляді плану, обмежують такими розмірами, за межами яких помилка на загальну кривизну Землі почне помітно впливати на точність складання плану і разом з неминучими помилками польових вимірювань і нанесення точок на папір виходитиме за межі допусків, що визначаються інструкціями.

Вважають, що план можна складати на територію, яка не перевищує площу круга радіусом 10 км.

Якщо на плані зображено тільки границі предметів місцевості, його називають *контурним* (мал. 6.1, а). Якщо, крім контурів, на план нанесено й рельєф, такий план називають *топографічним* (мал. 6.1, б). Масштаб плану в усіх його точках однаковий.

*Картою* називають рисунок, на якому за певними математичними правилами, з урахуванням кривизни загальної фігури Землі, можна зобразити поверхню всієї Землі або будь-якої її частини в узагальненому і зменшеному вигляді.

Карти можуть мати різне призначення: сільськогосподарські, меліоративні, економічні, політичні і т. ін. – це так звані *спеціальні* карти, на яких показують контури і спеціальне навантаження. Карти, на яких, крім контурів ситуації, зображено рельєф земної поверхні, називають *загальногеографічними*. Карти, складені у великих масштабах (від 1 : 100 000 і більші, тобто до 1 : 10 000, 1 : 5000), називають *топографічними*, вони служать основою для складання всіх інших карт. Масштаб в усіх точках карти різний.

Для позначення предметів на карті розроблено умовні знаки. Застосовувати однакові умовні знаки обов'язково для всіх відомств.

*Профіль* – рисунок, на якому зображено вертикальний розріз земної поверхні в заданому напрямі. Як правило, масштаб профілю

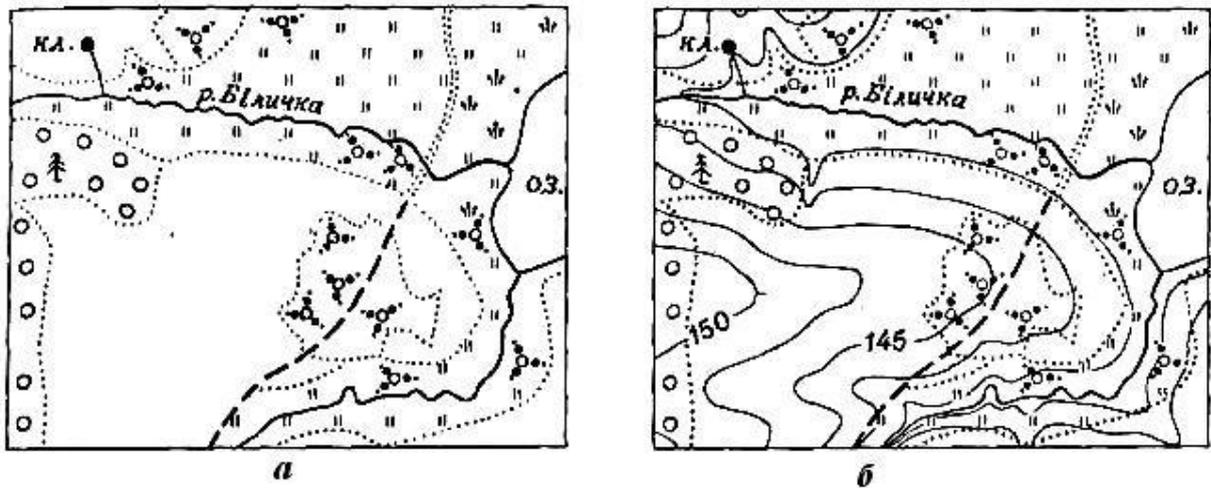


Рис. 6.1. Контурний (а) і топографічний (б) плани

вздовж вертикальних ліній більший за масштаб вздовж горизонтальних ліній. Інакше зображення зміни висот місцевості не буде наочним, бо висоти точок змінюються повільніше, ніж відстані між ними.

### **Масштаби. Точність масштабу**

Масштабом називається число, яке показує, у скільки разів відбулося зменшення розмірів земного еліпсоїда до розмірів його моделі. Розрізняють масштаб головний та поодинокий (окремі). Масштаб зображення невеликих ділянок практично повсюдно постійний, що властиве топографічним картам. Через це масштабом топографічної карти називають *відношення довжини лінії на карті до довжини горизонтальної проекції відповідної лінії на місцевості*. Таке відношення називають масштабом довжин. При невеликих кутах нахилу фізичної поверхні (на рівнинах) довжина горизонтальної проекції лінії дуже мало відрізняється від довжини похилої лінії. В цих випадках можна вважати масштабом довжин відношення довжини лінії на карті до довжин відповідної лінії на місцевості.

На картах показують масштаб у трьох видах (масштаб є елементом оснащення топокарти і записується всі його види під нижньою рамкою):

1) **числовий** (чисельний) **масштаб** (М) виражається дробом, у чисельнику якого одиниця, а в знаменнику – число  $m$ , яке показує ступінь зменшення:  $M = 1 : m$ , наприклад,  $1 : 1000$ ,  $1 : 25\ 000$ ,  $1 : 5\ 000\ 000$ . Так, наприклад, на топографічній карті масштабу  $1:10\ 000$  довжини зменшені по відношенню до дійсних довжин на місцевості у  $10\ 000$  разів. Чим більше значення  $m$ , тим дрібніший масштаб, тим більше зменшення, тим дрібніше зображення об'єктів на карті; записують числовий масштаб так:  $1 : 1\ 000$ ,  $1 : 25\ 000$ , або  $1/1\ 000$ ,  $1/25\ 000$ ;

2) **іменований масштаб** подається у вигляді пояснень до числового і вказує, як співвідносяться довжини ліній на карті та на місцевості, тобто скільком метрам чи кілометрам на місцевості відповідає 1 см на карті. Так, для числового масштабу  $1:1\ 000$  іменований масштаб запишеться так: 1 см на карті відповідає 1 000 см на місцевості, або скорочено: в 1 см 10 м. Для

числового 1:200 000 іменованій масштаб виглядатиме так: в 1 см 2 км, для числового 1:50 000 000 – в 1 см 500 км;

3) **графічний масштаб** – зображений у вигляді викресленого графіка, який спрощує переведення довжин відрізків на карті у відстані на місцевості. Графічний масштаб має два різновиди – лінійний та поперечний.

**Лінійний масштаб** – графічна побудова у вигляді двох паралельних ліній, розділених на рівні відрізки; служить для вимірювання довжин прямих ліній на карті або ж їх відкладання на карту. Рівні відрізки  $a$ , які відкладаються вправо від нуля (як правило, це цілі, кратні десяткам чи сотням, числа), називають *основою лінійного масштабу*, а відстань на місцевості, що відповідає основі – *величиною лінійного масштабу*. Для підвищення точності вимірювань відстаней крайній зліва від нуля відрізок (основу) ділять на менші відрізки  $b$ , які називаються найменшою поділкою лінійного масштабу. Відстань на місцевості, яка відповідає найменшій поділці лінійного масштабу, називається його *точністю*.

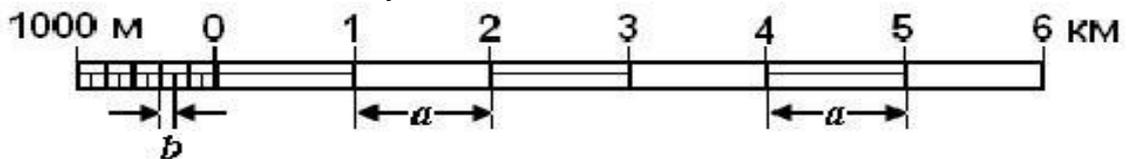


Рис. 6.2. Лінійний масштаб:  $a$  – основа лінійного масштабу;  $b$  – точність лінійного масштабу.

*Гранична точність масштабу карти* – відстань на місцевості, що відповідає 0,1 мм в масштабі даної карти. При  $M=1:100\ 000$  гранична точність складе 10 м.

**Поперечний масштаб** – графічна побудова у вигляді паралельних рівновідділених прямих, розділених так само, як і лінійний масштаб, на рівні відрізки. Довжина основи може бути 1 см, 2 см, 4 см або 5 см. Крайню ліву частину масштабу ділять на 10 рівних частин, а точки поділу з'єднують косими лініями – *трансверсальми*.

Масштаби топографічних карт значною мірою впливають на відбір географічних об'єктів і детальність їхнього показу на карті. Чим дрібніший масштаб карти, тим менша детальність і точність зображення об'єктів місцевості. Для задоволення різноманітних потреб господарства, науки і оборони країни необхідні карти різних масштабів. Для державних топографічних карт розроблені стандартні масштаби (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1

№ з/п	Числові масштаби	1 см на карті відповідає на місцевості відстані	1 см <sup>2</sup> на карті відповідає на місцевості площі
<b>Топографічні плани</b>			
1.	1:500	5 м	25 м <sup>2</sup>
2.	1:1000	10 м	100 м <sup>2</sup>
3.	1:2000	20 м	400 м <sup>2</sup>
4.	1:5000	50 м	2500 м <sup>2</sup> (0,25 га)
<b>Топографічні карти</b>			
1.	1:10000	100 м	10000 м <sup>2</sup> (1га)
2.	1:25000	250 м	6 250 м <sup>2</sup> (6,25 га)
3.	1:50000	500 м	25 000 м <sup>2</sup> (25 га)
4.	1:100000	1000 м чи 1 км	1 км <sup>2</sup>
5.	1:200000	2 000 м чи 2 км	4 км <sup>2</sup>

## **ТЕМА 7. РЕЛЬЄФ. СИТУАЦІЯ. ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ ГОРИЗОНТАЛЯМИ. РОЗГРАФЛЕННЯ Й НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ**

### ***Рельєф. Ситуація. Зображення рельєфу горизонталями***

**Рельєф** – це сукупність форм нерівностей місцевості. Земна поверхня має різні форми нерівностей, які можна поділити на дві групи: опуклі й увігнуті. До опуклих форм належать горби, сопки, гори, до увігнутих улоговини (западини), лощини, яри.

**Горб** – опукла, порівняно невисока (до кількох десятків метрів) полого форма рельєфу.

**Сопка** – опукла, досить висока (до кількох сотень метрів) і крута форма рельєфу.

**Гора** – опукла, значних розмірів, великої висоти і крута форма рельєфу.

**Хребет** - витягнута височина, що має два стрімких схили, перехрещення яких утворює вісь хребта, яка є вододільною лінією, що розділяє водозбірні басейни.

**Улоговина (западина)** - увігнута форма рельєфу у вигляді чаші; найнижча її частина – дно, верхній край – брівка, бічна поверхня – схили.

**Лощина** – витягнута увігнута форма рельєфу, що поступово знижується в одному напрямку, найнижча частина лощини (дно) є її віссю й називають її *водозливом*, або *тальвегом*.

**Яр** – вузька лощина з крутими схилами; виникає і збільшується в розмірах через розмивання ґрунту зливовими й талими водами на схилах горбів, сопок і гір.

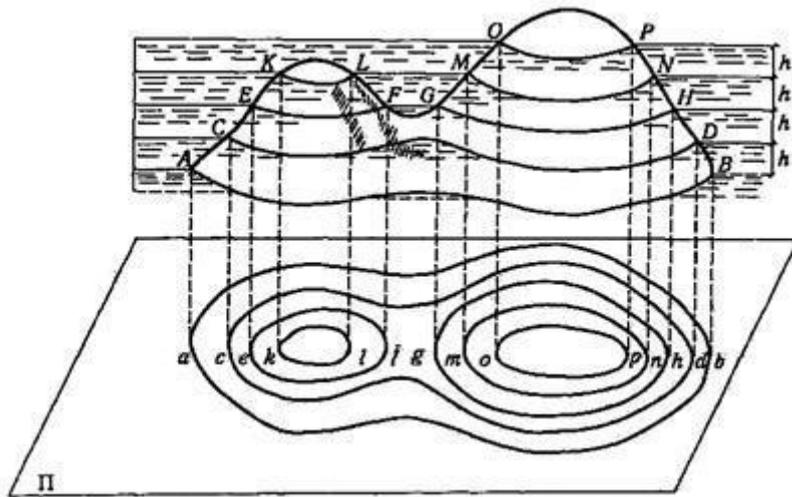


Рис. 7.1. Схема зображення рельєфу горизонталями.

Рельєф є основною частиною змісту плану або карти. Під час проектування і будівництва інженерних споруд він має велике значення, тому точності й детальності його знімання і зображення на планах надають особливого значення. На сучасних топографічних планах і картах рельєф зображують горизонталями.

Наприклад, маємо опуклу форму у вигляді горба, розміщеного на середині озера (рис. 7.1). Уявімо, що рівень води в озері підвищується, тому фіксуємо його за висотою через інтервал  $h$  метрів. Гладь води на рівнях  $AB$ ,  $CO$ ,  $EM$ ,  $KM$ ,  $OP$  на боковій поверхні горба залишатиме замкнуті лінії неправильної форми, які називають *горизонталями*. Кожна горизонталь перебуває на відстані від сусідньої за висотою через інтервал  $h$  метрів, який називають *висотою перерізу рельєфу*.

Спроеціюємо горизонталі прямовисними лініями на горизонтальну площину. В результаті отримаємо зображення горизонталей на плані. Кожна горизонталь є лінією, всі точки якої мають ту саму висоту (позначку) над рівнем моря. Рахувати позначки горизонталей починають від рівня моря. Оскільки всі горизонталі перебувають на відстані одна від одної за висотою через  $h$  метрів, то їхні позначки кратні висоті перерізу рельєфу  $h$ .

Відстань між горизонталями на плані називають *закладанням*. Що менша відстань між горизонталями в цьому місці на карті або плані, то крутіша топографічна поверхня. Закладання залежить не тільки від крутості рельєфу, а й від його перерізу  $h$ .

Горизонталі на планах і картах мають висотні позначки, які надписують у розривах кожної четвертої або п'ятої горизонталі. Щоб полегшити читання рельєфу і розв'язування задач, у яких він використовується, введено таке правило запису висотних позначок. Якщо вважати, що кожна цифра має «головку» (верхня частина цифри), то позначки у розривах горизонталей мають бути записані так, щоб «головки» цифр були спрямовані вгору по схилу рельєфу. Нижче за цю позначку по схилу завжди розміщується менша висотна позначка. Уздовж ліній вододілу або водозливу (тальвегу) на горизонталях креслять бергштрихи, які визначають напрямки стоку талих і

зливових вод. Ці позначки також полегшують читання рельєфу. Фрагмент топографічної поверхні (горб із двома вершинами, лініями вододілу і тальвегу) в горизонталях з перерізом рельєфу  $h = 1$  м зображено на рис. 7.2. Горизонталі мають позначки від 99 до 107 м, на лініях вододілу і тальвегу показані бергштрихи.

**Ситуація** є другою частиною змісту карти або плану. До ситуації на карті належать:

- населені пункти (міста, селища, села);
- комунікації (залізниці, автомобільні дороги, лінії електропередач і телефонного зв'язку, трубопроводи тощо);
- гідрографія (ріки, канали, озера, моря, водосховища, струмки, джерела);
- сільськогосподарські угіддя (ліси, поля, ниви, плантації, луки, перелогові землі);
- різні інженерні споруди (аеродроми, дороги, мости, тунелі, шахти, башти тощо).

Усі ці об'єкти й елементи ситуації зображують на картах і планах за допомогою спеціальних умовних позначок, що мають стандартні розміри та зображення для карт і планів різних масштабів.

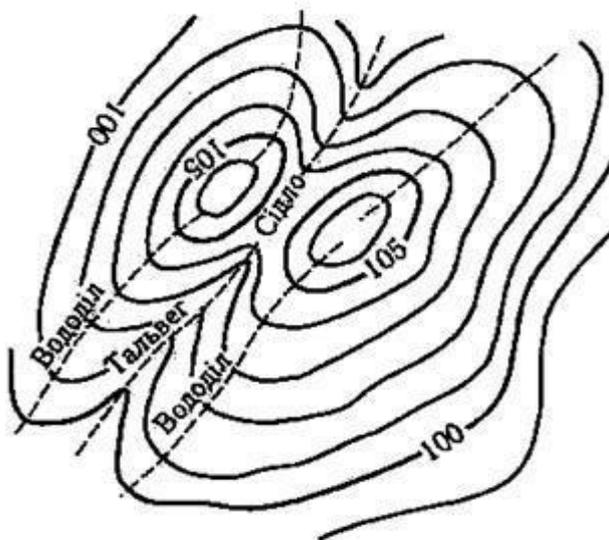


Рис. 7.2. Фрагмент зображення рельєфу горизонталями

### ***Розграфлення й номенклатура топографічних карт***

Топографічні карти дозволяють проводити широкий спектр вимірювальних робіт. Топографічні карти повинні мати мінімальні спотворення довжин і площ, які неминуче виникають при переході від еліпсоїдальної поверхні до площини. При картографуванні великих територій кривизна Землі буде впливати на величину спотворень. Тому для побудови топографічних карт в Україні та інших країнах Східної Європи застосовується **поперечна циліндрична рівнокутна проекція Гауса – Крюгера** (Гаус – німецький вчений, який розробив загальну теорію рівнокутних проекцій, а Крюгер – німецький вчений, який розробив робочі

формули даної проекції). Застосування цієї проекції дає можливість практично без суттєвих спотворень зобразити досить значні ділянки земної поверхні, і що дуже важливо, побудувати на цій території систему плоских прямокутних координат. Ця система є найбільш простою і зручною при проведенні інженерних та топографо-геодезичних роботах.

Зображення земного еліпсоїда в проекції Гауса – Крюгера можна отримати таким чином. Еліпсоїд вписують у циліндр так, щоб один із меридіанів дотикався до його бічної поверхні, а площина екватора співпадала із віссю циліндра (була перпендикулярною до осі обертання Землі). Проектування поверхні земного еліпсоїда на бічну поверхню циліндра відбувається так, щоб нескінченно мала фігура еліпсоїда зберігала свою форму на проекції (бічній поверхні циліндра). Цим досягається рівність кутів на місцевості і на карті (площині). Після проектування поверхню циліндра розгортають в площину, розрізавши її по дотичних на полюсах. На отриманому зображенні земної півкулі дотичний меридіан та екватор зображуються прямими, всі інші – кривими лініями. Масштаб зображення буде зберігатися на дотичному меридіані. В місцях, що прилягають до цього меридіана, спотворення будуть мінімальними, а при віддаленні від нього вони швидко зростатимуть.

В результаті досліджень було встановлено, що оптимальні розміри території зображення повинні обмежуватися меридіанами, віддаленими один від одного на  $6^\circ$ . Ця фігура отримала назву *сфероїдального двокутника*. Його розміри:  $180^\circ$  по широті (від полюса до полюса), і  $6^\circ$  по довготі. Не зважаючи на те, що площа зони в проекції (зони Гауса) буде збільшеною, відносні спотворення довжин у найбільш віддалених від середнього меридіана точках екватора на межі зони становитиме  $1/800$ . Максимальні спотворення довжин в межах зони  $+0,14\%$ , площ  $+0,27\%$ , а в межах України – ще менші. Таким чином, спотворення довжин та площ в межах зони менші, ніж спотворення, що виникають при друкуванні карти за рахунок деформації паперу. *Зображення зони в проекції Гауса практично не має спотворень і допускає будь-які карто- та морфометричні роботи.*

Кожна шестиградусна зона будується на окремому дотичному циліндрі. Границями зон є меридіани, які одночасно є границями колон, що використовуються при розграфленні аркушів карт. Границі зон на поверхні земного еліпсоїда проводяться в системі географічних координат. Нульовий (Гринвіцький) меридіан є західною границею першої зони,  $6^\circ$  сх.д. – 2-ої,  $12^\circ$  сх.д. – 3-ої. Всього є 60 зон. Їх нумерують із заходу на схід проти годинникової стрілки. Територія України розташовується в 4–7 зонах Гауса, для визначення довготи меридіанів, що обмежують зону, та середнього (осьового) меридіана зони застосовують такі формули:

для східної півкулі:  $L_{зах.} = 6^\circ(n - 1)$ ;  $L_{ос.} = 6^\circ n - 3^\circ$ ;  $L_{сх.} = 6^\circ n$ ;

для західної півкулі:  $L_{зах.} = 180^\circ - 6^\circ(n - 30)$ ;  $L_{ос.} = 180^\circ - 6^\circ(-30) + 3^\circ$ ;

$L_{сх.} = 180^\circ - 6^\circ(n - 30)$ , де  $n$  – номер зони Гауса.

Нумерації колон і зон пов'язані між собою і різняться на 30 одиниць. У східній півкулі топографічні карти на великі території видаються багатоаркушевими серіями. Земна поверхня (поверхня земного еліпсоїда) зображається на топокарті невеликими ділянками. Поділ карти на окремі аркуші називають **розграфленням**. Під час розграфлення межі окремих аркушів проводять строго за напрямками меридіанів та паралелей.

Кожен аркуш топографічної карти обмежується відрізками меридіанів та паралелей і є трапецією. Рамки аркушів точно вказують положення зображеної на карті території на поверхні земного еліпсоїда. Розмір аркушів та їхня кількість залежать від масштабу карти: чим крупніший масштаб, тим меншу територію на ньому можна показати, тим більша кількість аркушів необхідна для її зображення.

Для встановлення адреси аркуша застосовується особлива система позначень – **номенклатура аркушів карт**. Вона залежить від масштабу карти та географічного положення зображеної території.

Основними принципами розграфлення і складання номенклатури карт є: 1) зв'язок із географічним положенням зображеної на карті території; це забезпечує можливість швидко підібрати аркуші карти на будь-які ділянки земної поверхні; 2) залежність від масштабу зображення, яка дозволяє переходити від карт одного масштабу до карт іншого.

В основу розграфлення та номенклатури топографічних і оглядово-топографічних карт покладені розграфлення та номенклатура т. з. "міжнародної мільйонної карти" (в 1891 р. на V Міжнародному географічному конгресі було прийнято рішення про створення топографічної карти, єдиної для всього суходолу, в єдиному масштабі, в єдиній проекції, єдиній системі умовних позначень, єдиним підходом до генералізації, а Міжнародний конгрес в Лондоні в 1909р. затвердив принципи розграфлення й номенклатури, зміст та інші складові цієї карти). Вітчизняну карту масштабу 1:1 000 000 розроблено з урахуванням рекомендацій Лондонського конгресу та інших міжнародних угод.

Межі аркуша карти мільйонного масштабу збігаються за довготою з межами координатної зони в проекції Гауса–Крюгера, тобто відстань між ними становить  $6^\circ$ . За широтою аркуш обмежується паралелями з відстанню в  $4^\circ$ .

Аркуш цієї карти має розміри  $4^\circ$  по широті та  $6^\circ$  по довготі. Смуги від екватора до полюсів через кожні  $4^\circ$  називаються **рядами** (поясами) (рис. 7.3) і позначаються великими буквами латинського алфавіту на північ та південь від екватора:  $0^\circ\text{--}4^\circ$  - А,  $4^\circ\text{--}8^\circ$  - В,  $8^\circ\text{--}12^\circ$  - С...,  $84^\circ\text{--}88^\circ$  - V. Наприклад, 12-ий ряд обмежується паралелями з широтою  $44^\circ$  та  $48^\circ$  пн. ш. і позначається літерою L, 15-ий  $56^\circ$  та  $60^\circ$  ш. (літерою O), 19-ий –  $72^\circ$  та  $76^\circ$  ш. (літера S).

Шестиградусні двокутники називаються **колонами** і позначаються арабськими цифрами (як і зони Гауса) із заходу на схід від  $180^\circ$  довготи:  $180^\circ\text{--}174^\circ$  зх.д. -1,  $174^\circ\text{--}168^\circ$  зах.д. - 2,  $168^\circ\text{--}162^\circ$  зх. д. -3...,  $6^\circ$  зах.д.- $0^\circ$  д. -

30, 0° д. –6° сх. д –31, і т.д. Грінвіцький меридіан розділяє 30-ту і 31-шу колони. Колон всього 60.

Номенклатура будь-якого аркуша масштабу 1:1 000 000 визначається перетином рядів та колон і складається із двох позначень: буквеного позначення ряду та цифрового позначення колони, наприклад, E-34, L-36, K-45, M-32, N-36. На "Міжнародній мільйонній карті," до номенклатури аркушів на північ та південь додається літери N або в, наприклад: NM-37, SK-42. На вітчизняних картах такі позначення відсутні.

До широти  $\pm 60^\circ$  аркуші видаються нормальними по довготі із розмірами  $4^\circ \times 6^\circ$ , для ділянок зони між  $60^\circ$  та  $72^\circ$  ш. аркуші подвоюються за довготою (мають розміри  $4^\circ$  ш.  $12^\circ$  д. – P-37, 38), між паралелями  $72^\circ$  та  $84^\circ$  ш. об'єднуються чотири аркуші розміром  $4^\circ$  ш.  $\times$   $24^\circ$  д., наприклад, R-33, 34, 35, 36; S-37, 38, 39, 40.

На практиці застосовують не тільки карту масштабу 1:1 000 000, але й карти крупніших масштабів. Їх розграфлення виглядає таким чином.

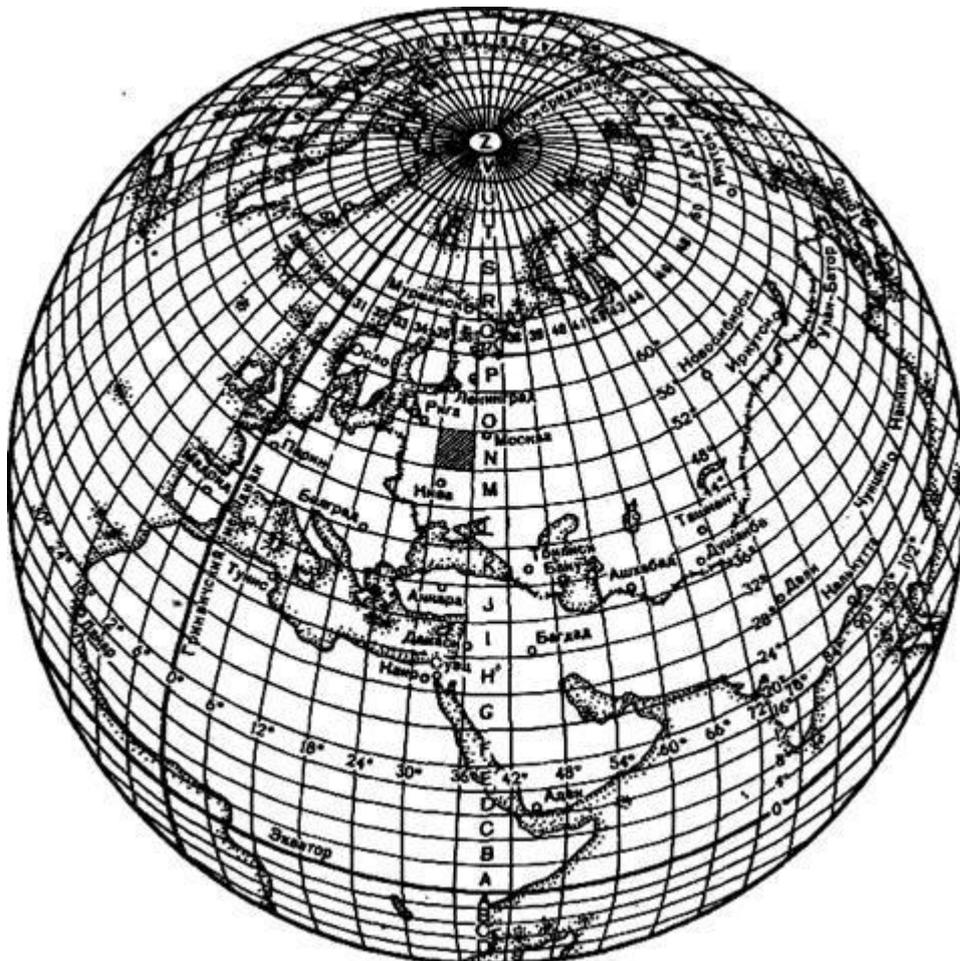


Рис. 7.3. Схема розграфлення і номенклатури аркушів карти масштабу 1:1 000 000 (для Північної півкулі). Заштрихований лист N -36

Розграфлення аркушів карти масштабу 1 : 500 000 і крупнішого проводиться поділом карти мільйонного масштабу на певну кількість часток. Межами аркушів є відрізки паралелей та меридіанів, що проведені з

інтервалом, який встановлено для кожного масштабу. При цьому виконується умова: аркуші карт всього масштабного ряду повинні бути приблизно однакових розмірів, а паралелі й меридіани, що їх обмежують, мати широту або довготу, які позначаються цілим числом хвилин і секунд. Кожен аркуш є трапецією, хоча аркуші великомасштабних карт – прямокутні.

При збільшенні лінійного масштабу карти в 2 рази (від 1 : 1 000 000 до 1:500 000) площа аркуша зростає в чотири рази. Внаслідок цього показати цю територію на одному аркуші у масштабі 1:500 000 важко і незручно. Тому аркуш карти масштабу 1:500 000 (трапецію) отримують шляхом поділу вихідного мільйонного аркуша середньою паралеллю та середнім меридіаном на чотири частини. Розміри кожного такого аркуша – 2° по широті та 3° по довготі (межами аркушів п'ятсоттисячної карти є паралелі, що проведені через кожні 2°, і меридіани з інтервалом 3°).

Аркуші позначаються великими буквами нашого алфавіту зліва направо і зверху вниз – А, Б, В, Г. Номенклатура такого аркуша складається із трьох позначень: К-38-А, М-43-Г, L-49-В.

Наприклад, точка із координатами  $\varphi = 48^{\circ}5'$  пн.ш. та  $\lambda = 25^{\circ}16'$  сх.д. знаходиться в межах аркушів: масштабу 1:1 000 000 - М - 35 (його рамки:  $48^{\circ}-52^{\circ}$  пн.ш. і  $24^{\circ}-30^{\circ}$  сх.д.); масштабу 1:500 000 - М-35-В (його рамки:  $48^{\circ}-50^{\circ}$  пн.ш. і  $24^{\circ}-27^{\circ}$  сх.д.).

Зі збільшенням масштабу більш, ніж у тричі (до 1:300 000), площа такого аркуша зростає більш, ніж у 9 разів. У цьому випадку аркуш "мільйонної карти" ділять на 9 частин із розмірами кожного аркуша  $1^{\circ}20'$  по широті та 2° по довготі і позначають римськими цифрами. Номенклатура такого аркуша складається із трьох позначень: номенклатури "мільйонного аркуша" і однієї із 9-ти римських цифр, які ставлять перед позначенням "мільйонної карти", наприклад, VII-М-35 (його рамки:  $48^{\circ} - 49^{\circ}20'$  пн. ш. і  $24^{\circ} - 26^{\circ}$  сх.д.).

Із збільшенням лінійного масштабу карти в 5 разів (від 1 : 1 000 000 до 1 : 200 000) площа "мільйонного аркуша" зростає у 25 разів. У цьому випадку аркуш "мільйонної карти" ділять на 36 частин із розмірами  $40'$  по широті та  $1^{\circ}$  по довготі і теж позначають римськими цифрами. Номенклатура такого аркуша складається із позначення "мільйонного аркуша" і однієї із 36-ти римської цифри, яку ставлять після позначення "мільйонного аркуша", наприклад, М-35-XXVI (його рамки:  $48^{\circ}00' - 48^{\circ}40'$  пн. ш. і  $24^{\circ}-25^{\circ}$  сх. д.).

Із збільшенням лінійного масштабу в 10 раз (від 1:1000 000 до 1:100 000) площа «мільйонного аркуша» зростає у 100 разів. Такий аркуш ділять на 144 частини із розмірами  $20'$  по широті та  $30'$  по довготі і позначають арабськими цифрами від 1 до 144 зліва направо і зверху вниз (1–12, 13–24,...121–132, 133–144). Номенклатура такого аркуша складається теж із трьох позначень - позначення "мільйонного аркуша" та однієї із 144-х цифр, які ставляться після позначення "мільйонного аркуша", наприклад, М-35–111 (його рамки:  $48^{\circ}00'-48^{\circ}20'$  пн. ш. і  $25^{\circ}00'-25^{\circ}30'$  сх. д.).

Таким чином, розграфлення й номенклатура аркушів карт масштабів 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000 і 1:100 000 базуються на аркуші карти масштабу 1:1 000 000 і утворюються шляхом поділу останнього відповідно на 4, 9, 36 і 144 частини (аркуші), а номенклатура складається із трьох позначень.

Розграфлення карт крупніших масштабів відбувається в дещо інший спосіб.

Аркуш карти масштабу 1:50 000 отримують шляхом поділу попереднього, вихідного масштабу 1:100 000 (М-35-111) на 4 частини середньою паралеллю ( $48^{\circ}50'$ ) та середнім меридіаном ( $25^{\circ}15'$ ) із розмірами  $10'$  по широті та  $15'$  по довготі і позначають великими буквами нашого алфавіту зліва направо і зверху вниз. Номенклатура такого аркуша складається із чотирьох позначень: позначення вихідного, стотисячного аркуша і однієї із чотирьох літер, наприклад, М-35-111-Б (його рамки:  $48^{\circ}50' - 49^{\circ}00'$  пн. ш. і  $25^{\circ}15' - 25^{\circ}30'$  сх. д.).

Аркуш карти масштабу 1:25 000 отримують із вихідного аркуша масштабу 1:50 000 (М-35-111-Б) шляхом поділу його на чотири частини середньою паралеллю ( $48^{\circ}55'$ ) і середнім меридіаном ( $25^{\circ}22'30''$ ) і позначають малими буквами нашого алфавіту із розмірами  $5'$  по широті та  $7'30''$  по довготі. Номенклатура такого аркуша складається із п'яти позначень: позначення вихідного аркуша масштабу 1:50 000 і однієї із чотирьох малих літер, наприклад, М-35-111—Б-в (його рамки:  $48^{\circ}50' - 48^{\circ}55'$  пн. ш.  $25^{\circ}15' - 25^{\circ}22'30''$  сх. д.).

Аркуш карти масштабу 1:10 000 отримують із вихідного аркуша масштабу 1:25 000 (М-35-111-Б-в) шляхом поділу його на чотири частини середньою паралеллю ( $48^{\circ}52'30''$ ) і середнім меридіаном ( $25^{\circ}18'45''$ ) із розмірами  $2'30''$  по широті та  $3'45''$  по довготі і позначають арабськими цифрами зліва направо і зверху вниз. Номенклатура такого аркуша складається із шести позначень: М-35-111—Б—в-3 (його рамки:  $48^{\circ}50' - 48^{\circ}52'30''$  пн. ш. і  $25^{\circ}15' - 25^{\circ}18'45''$  сх. д.). Розграфлення й номенклатуру всіх масштабів зображено на таблиці.

#### *Розграфлення та номенклатура аркушів карт*

Масштаб	Розмір аркушів, у градусах		Кількість аркушів	
	за широтою	за довготою	в аркуші карти вихідного масштабу	в аркуші карти млн. масштабу
1:1000 000	$4^{\circ}$	$6^{\circ}$	1	1
1:500 000	$2^{\circ}$	$3^{\circ}$	4	4
1:200 000	$40'$	$1^{\circ}$	36	36
1:1000 000	$0^{\circ}20'$	$0^{\circ}30'$	144	144

1:50 000	0°10'	0°15'	4	576
1:25 000	0°05'	0°7'30"	4	2 304
1:10 000	0°02'30"	0°03'45"	4	9216
1:5 000	0°01'15"	0°01'52,5"	256	36 864
1:2 000	0°00'25"	0°00'37,5"	9	331 776

Для зручності підбору карт і роботи з ними разом із номенклатурою записують назву найбільшого населеного пункту, наприклад, М - 35 (Львів), М -35-XX (Тернопіль).

Неважко встановити, що номенклатура аркушів конкретного масштабу – це кількість, послідовність і вид елементів, з яких вони складаються, тому за номенклатурою можна встановити масштаб аркуша карти та координати кутів його рамок.

Дані про розграфлення, номенклатуру та розміри аркушів карт різних масштабів наводяться у відповідних таблицях.

## ТЕМА 8. ВИДИ ЗЙОМОК

Зйомки виконують різними приладами із застосуванням різних матеріалів для реєстрації одержаних вихідних даних. Традиційно зйомки поділяють, перш за все, залежно від місця знаходження знімального обладнання під час зйомок на *наземні* та *повітряні* з використанням фотографічних приладів (аерофототопографічна зйомка). Однак становлення й розвиток наземного знімання із застосуванням фотографій місцевості дає підставу класифікувати зйомки на *топографічні* та *фототопографічні* з подальшим поділом на наземні та повітряні. Можна також виділити зйомки суші і зйомки шельфу.

Найчастіше зйомки класифікують за приладами, які застосовують під час їх виконання. У практиці геодезичних досліджень поширені такі види зйомок: теодолітна, що виконується за допомогою теодолітів, тахеометрична, яку виконують за допомогою тахеометрів і мензульна, яку здійснюють за допомогою мензульного комплекту. В окремих випадках використовують бусольну зйомку, при якій основним геодезичним приладом є бусоль, та окомірну зйомку, суть якої становить визначення відстаней на місцевості «на око». На місцевості з нечітко вираженими формами рельєфу застосовують нівелювання поверхні.

Наземні топографічні зйомки потребують значних затрат часу і зусиль на безпосередні вимірювання на місцевості, тому їх проводять лише тоді, коли інші види зйомок недоцільні з економічних міркувань (мала площа ділянок, ділянки у вигляді вузької смуги тощо). Разом з тим мензульна і тахеометрична зйомки – дійовий метод навчання розумінню карти, зв'язків графічного зображення з реальними об'єктами.

Тепер основним видом знімання є аерофототопографічна зйомка, застосування якої дуже скорочує обсяг польових робіт і підвищує

продуктивність праці. Розрізняють також **горизонтальну, вертикальну та топографічну** зйомки.

**Горизонтальна зйомка.** Суть горизонтальної зйомки полягає у вимірюванні горизонтальних кутів за допомогою кутомірних приладів – теодолітів. Тому таку зйомку ще називають теодолітною зйомкою. За результатами теодолітного знімання будують контурний план місцевості, на якому зображують контури (горизонтальні проекції обрисів) населених пунктів, річок, озер, лісів, полів, доріг та інших об'єктів і ситуації.

Контурний план не відображає рельєфу, висотних позначень точок, тому є плоским зображенням місцевості, а теодолітне знімання – *плановим*, тобто таким, що не визначає висотного положення точок, які знімають.

Теодолітне знімання виконують з метою отримання плану місцевості у великому масштабі (1:2000 – 1:10 000) для складання проектів будівництва інженерних споруд, будівель, автомобільних доріг тощо.

Під час теодолітного знімання виконують такі види робіт:

- 1) Рекогносціювання місцевості, вибір місць закладання і закріплення вершин теодолітного полігона.
- 2) Вимірювання довжин ліній полігона.
- 3) Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на точках полігона.
- 4) Прив'язка полігона до опорних пунктів державної або місцевої геодезичної мережі.
- 5) Знімання ситуації місцевості.
- 6) Камеральні роботи – опрацювання лінійних і кутових вимірів, обчислення координат точок, побудова плану.

**Вертикальна зйомка.** Суть вертикальної зйомки полягає у визначенні висот точок місцевості шляхом нівелювання. *Нівелюванням називають визначення перевищень між окремими точками земної поверхні з наступним обчисленням їх висот.* Якщо висоти точок обчислено відносно основної рівневої поверхні, їх називають абсолютними висотами, позначками, альтитудами. Якщо їх обчислено відносно будь-якої іншої, умовно взятої поверхні, їх називають умовними.

**Топографічна зйомка.** Топографічна зйомка поділяється на тахеометричну, мензульну, бусольну, окомірну, фототопографічну (наземну і повітряну).

**Тахеометрична зйомка** – один з видів великомасштабної топографічної зйомки, що виконується за допомогою тахеометрів. Слово «тахеометрія» у перекладі з грецької означає «швидке вимірювання». Швидкість тахеометричної зйомки досягається тим, що при одному наведенні геодезичного приладу на знімальний пікет одержують дані, необхідні для визначення як планового, так і висотного його положення.

Цей вид зйомки має ряд переваг перед іншими видами наземних зйомок, якщо польові роботи необхідно виконати за короткий час або коли немає сприятливої погоди для виконання зйомки іншими методами. Недолік

тахеометричної зйомки в тому, що при складанні карт у камеральних умовах виконавець не бачить місцевості, внаслідок чого можливе упущення окремих деталей місцевості та пов'язані з цим деякі спотворення в її зображенні.

**Мензульна зйомка** – один з видів топографічної зйомки, при якій за допомогою оптико-механічного приладу *кiнрегеля* та *мензули* безпосередньо на знімальній ділянці створюється топографічний план або карта місцевості. Під час мензульної зйомки горизонтальні кути не вимірюють приладом, а одержують шляхом графічних побудов на знімальному планшеті, який закріплений на мензульній дошці, тому мензульну зйомку називають також кутонарисною (графічною). Мензульна зйомка проводиться в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 у разі відсутності матеріалів аерофотозйомки або коли застосовувати її економічно не вигідно.

У тому, що план будується безпосередньо на місцевості, основна перевага мензульної зйомки. Такий спосіб зйомки дає змогу порівнювати картографічне зображення з натурою, більш точно проводити горизонталі, вилучати більшість камеральних обчислювальних робіт. Недоліками мензульної зйомки є залежність її від погоди, низька продуктивність праці, громіздке знімальне устаткування.

Мензульна зйомка може бути виконана за такою схемою: підготовчі роботи; згущення геодезичної основи прокладення теодолітних ходів з вирахуванням координат його точок; підготовка знімального планшета (сюди входять побудова координатної сітки і нанесення точок геодезичної основи з відомими координатами; згущення знімальної основи створенням геометричної сітки, прокладенням мензульних ходів тощо); проведення зйомки з одночасним кресленням плану місцевості; остаточне оформлення плану.

**Аеротопографічна зйомка.** Фототопографія – дисципліна, яка вивчає способи створення топографічних карт і планів за матеріалами фотографічної зйомки місцевості. Фотографування може бути виконане з літака або іншого літального апарата, а також з високих точок земної поверхні. Залежно від того, як зроблено фотознімки місцевості, виділяють два види фототопографічної зйомки: аерофототопографічну і наземну фототопографічну, або фототеодолітну.

Для перетворення знімка в топографічну карту чи план крім фотографування місцевості потрібно провести у певному обсязі польові топографо-геодезичні і камеральні фотограмметричні роботи. Останні пов'язані з визначенням за фотознімками виду, форми і положення об'єктів місцевості тощо, внаслідок чого значно скорочуються польові роботи.

Аерофототопографічна зйомка – це основна державна зйомка, яку виконує топографо-геодезична служба. Широко застосовують її також під час географічних та гідрографічних досліджень, у геології, при земле- та лісовпорядних роботах, у будівництві. На відміну від тахеометричної, мензульної та наземної фототопографічної зйомок аерофототопографічна значно скорочує витрати часу і коштів на складання топографічних карт і

планів. Це відбувається насамперед за рахунок того, що фотозйомка дає змогу одержати одномоментні зображення значної за розміром ділянки місцевості у вигляді *аерофотознімки*, а під час наземної традиційної зйомки на це потрібно значно більше часу, тому що зображення місцевості створюється поступово, від точки до точки. Крім того, більшість робіт для створення топографічної карти виконується за допомогою технічних засобів у камеральних умовах.

Наземну фототопографічну зйомку застосовують для картографування невеликих, головним чином гірських, територій, які на наземних фотознімках зображаються краще, ніж на аерознімках. Її використовують також для вивчення руху льодовиків, зсувів, під час зйомки кар'єрів та для вирішення ряду інженерних завдань. У деяких випадках її комбінують з аерофототопографічною зйомкою.

Аерофотозйомка полягає у фотографуванні земної поверхні з літака за чітко розробленими технічними умовами. Її здійснюють спеціальними *топографічними аерофотоапаратами* (АФА), робота яких повністю автоматизована, тобто експонування (відкриття та закриття затвора АФА), перемотування плівки для нового кадру, вирівнювання плівки у площину здійснюється без втручання людини. В результаті багаторазового повторення циклу утворюється аерофільм у вигляді ряду суміжних знімків.

## ТЕМА 9. ПРИНЦИП ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КУТА. ТЕОДОЛІТ, ЙОГО БУДОВА

Горизонтальний кут – це проекція кута на місцевості, утвореного спостережувальними напрямками. Він є лінійним кутом двогранного кута, утвореного прямовисними проектуючими площинами, проведеними через ці напрямки.

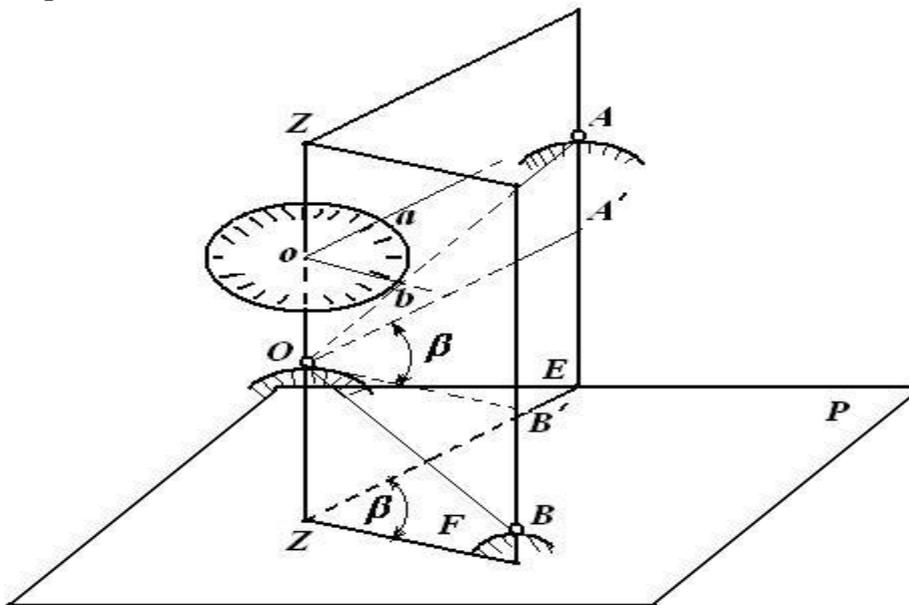


Рис. 13.1. Принцип вимірювання горизонтального кута

На рисунку 13.1 такий кут утворюють площини  $E$  і  $F$ , що проходять через напрямки  $OA$  та  $OB$  і перетинаються на прямовисній лінії  $ZZ_1$ , яка

проходить через точку стояння спостерігача. Мірою кута  $AOB$  є горизонтальний кут  $A'OB' = \beta$ . Кут  $AOB$  вимірюють за допомогою кутомірного круга, встановленого горизонтально (паралельно площині  $P$ ) так, щоб його центр  $o$  збігався з прямовисною лінією  $ZZ_1$  точки  $O$ . Радіуси  $oa$  і  $ob$  круга розташовані відповідно в площинах  $E$  та  $F$  і паралельні сторонам горизонтального кута  $AOB$ . Величина кута  $\beta$  дорівнює різниці відліків по кругу в точках  $a$  і  $b$ .

**Класифікація теодолітів.** За точністю теодоліти поділені на три групи: технічні, точні та високоточні. *Технічні* дають змогу визначати кути з середньою квадратичною похибкою від 10 до 30". До цієї групи належать теодоліти Т 15, Т30, 2Т30, 2Т30П та ін. похибки вимірювання кутів *точними* теодолітами становлять від 2 до 10", *високоточними*—від 0,5 до 1". Використовують ці прилади при побудові державної геодезичної сітки.

**Джерела похибок.** Кутові вимірювання неминуче супроводжуються похибками випадкового і систематичного характеру. Сумарну похибку вимірюваного кута утворюють такі елементи: 1) похибки вимірювання кута, які виникають внаслідок неточного центрування теодоліта і візирних цілей; 2) приладні похибки, які виникають внаслідок порушень взаємодії частин і механізмів теодоліта; 3) власні похибки вимірювання кута – помилки візування і відлічування; 4) похибки, викликані впливом несприятливих зовнішніх чинників (умови видимості, коливання зображень тощо).

Дія випадкових похибок може бути послаблена використанням більш досконалих приладів та засобів вимірювань, збільшення числа прийомів. Найсприятливішим для вимірювань кутів вважають час приблизно через 0,5–1 год. після сходу Сонця і за 0,5–1 год. до його заходу. У полуденні години коливання зображень дуже сильні. Сприятливими для вимірювань є похмурі дні.

**Будова теодоліта 2Т30П.** Теодоліт (рис. 13.3) призначений для вимірювання кутів в теодолітних та тахеометричних ходах, при розбивці планових і висотних знімальних сіток, для вимірювання відстаней з використанням нитяного далекоміра зорової труби, визначення магнітних азимутів за орієнтир-бусоллю, а також для нівелювання горизонтальним променем за допомогою циліндричного рівня на трубі.

Основними його частинами є горизонтальний кутомірний круг, вертикальний кутомірний круг, зорова труба, яка кріпиться на колонках, система циліндричних рівнів. Кутомірні круги мають співвісні з ними алідади з відліковими пристроями.

Теодоліт кріпиться на штативі підставкою із трьома підйомними гвинтами. Під кожухом знаходиться лімба, який служить для вимірювання горизонтальних кутів (має рівномірну кутову шкалу). Шкала виконана радіальними штрихами з позначенням градусних поділок за годинниковою стрілкою. Довжина дуги лімба між двома сусідніми штрихами в градусному вимірі має назву ціни поділки лімба.

Вісь горизонтального круга збігається із вертикальною віссю, навколо якої обертається прилад. Горизонтальна вісь з'єднує зорову трубу і вертикальний круг з алідадою, при цьому труба і круг насаджені на вісь наглухо, а алідада з відліковим пристроєм – вільно. Зорова труба обертається навколо осі через zenit, тому вертикальний круг може знаходитися справа від труби (це положення "круг справа" – КП) та зліва (положення "круг зліва" – КЛ).

Лімб закріплюється затискним гвинтом, а мікрометричним гвинтом наводиться точно на потрібну точку. Аналогічно є затискний та мікрометричний гвинти алідади.

Зорова труба закріплюється затискним гвинтом, а мікрометричним наводиться точно на предмет у вертикальній площині. Спеціальним кільцем проводиться фокусування. На кожусі вертикального круга паз для кріплення бусолі. Труба служить для розглядання предметів, розташованих на відстані. Складовими частинами труби є об'єктив та окуляр. В сучасних приладах застосовано внутрішнє фокусування, завдяки чому труба герметична і в процесі фокусування не змінює своєї довжини. Установку зорової труби для спостереження (фокусування) виконують "по оку" обертанням діоптрійного кільця до отримання чіткого зображення сітки ниток і "по предмету" зміною положення фокуруючої лінзи за допомогою кремальєри до отримання чіткого зображення об'єктів спостереження. У теодоліта 2Т30П – гвинт кремальєри через порожнисту горизонтальну вісь приладу виведений на колонку. У передній фокальній площині окуляра розташована сітка ниток, яка дозволяє, окрім візування напрямів, визначати відстані за допомогою нитяного віддалеміра (рис. 13.2).

Вертикальний круг приладу має подібну будову до горизонтального. Вісь обертання лімба та алідади співпадають.

Даний теодоліт є оптичним і влаштований так, що зображення шкал із горизонтального та вертикального кругів передаються на мікроскоп, який знаходиться поруч із зоровою трубою. Це підвищує точність і зручність у роботі з приладом – у полі зору мікроскопа спостерігаються відліки одразу із двох кругів.

Штриховий мікроскоп – це оптичний пристрій, у полі зору якого видно відліковий штрих; відносно нього переміщуються зображення поділок лімбів горизонтального (Г) і вертикального (В) кругів. Ціна поділки лімба 05', десяти частки поділки оцінюються "на око".

Система рівнів служить для встановлення теодоліта (або його окремих частин) у правильне положення відносно горизонтальної площини. Рівні бувають циліндричні та круглі, теодоліти обладнані переважно циліндричними рівнями. Ампула такого рівня являє собою заповнену сірчанним ефіром або етиловим спиртом скляну трубку з веретеноподібною внутрішньою поверхнею. Пара заповнюючої рідини утворює бульбашку рівня. Із зовнішнього боку ампули наносять шкалу з ціною поділки від 1" до

2'. Центр шкали вважають за нуль-пункт. Якщо бульбашка рівня знаходиться у нуль-пункті, то вісь циліндричного рівня займає горизонтальне положення.

Круглий рівень застосовують лише на деяких типах теодолітів, де він відіграє допоміжну роль установчого рівня.

Для виконання робіт теодоліт закріплюють за допомогою станового гвинта на штативі, що є пристроєм у вигляді трьох з'єднаних з одного кінця "ніг".

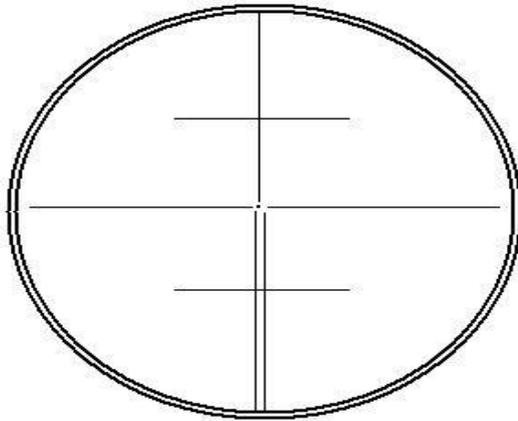


Рис. 13.2. Сітка ниток зорової труби

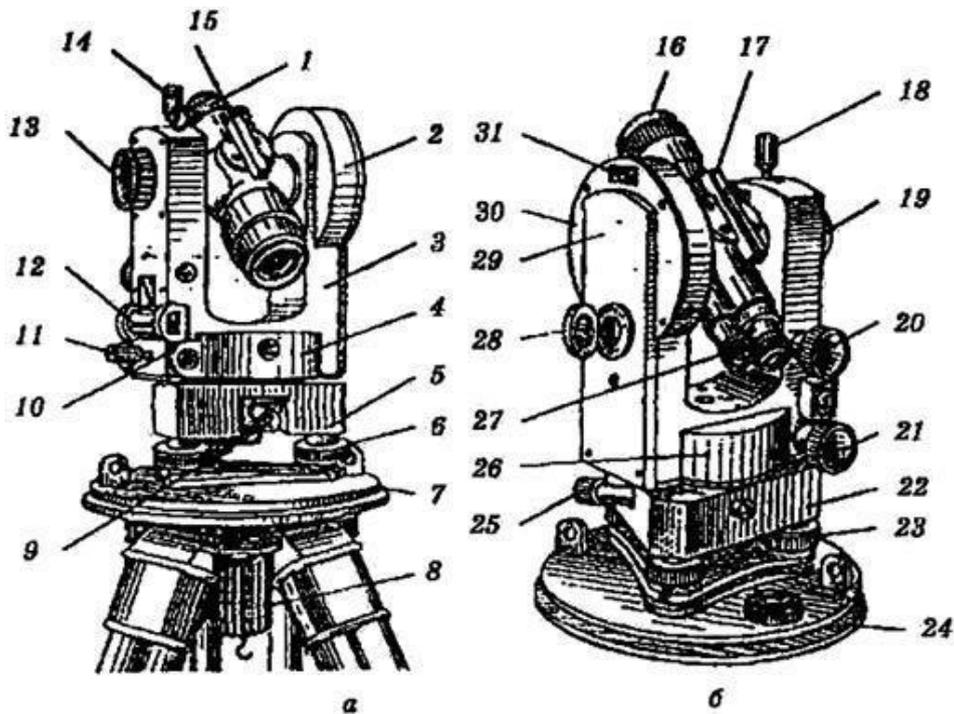


Рис. 13.3. Технічний теодоліт 2Т30П: 1–зорова труба; 2,30–вертикальний круг; 3,29–колонки труби; 4,26–горизонтальний круг; 5,22–підставка теодоліта; 6,23–підйомний гвинт; 7,24–основа; 8–становий гвинт; 9–закріпний гвинт лімба горизонтального круга; 10–виправні гвинти циліндричного рівня; 11–закріпний гвинт алідади горизонтального круга; 12–циліндричний рівень; 13,19–гвинт кремальєри; 14,18–закріпний гвинт труби; 15,17–візир зорової труби; 16–зорова труба; 20–мікрометричний гвинт зорової труби; 21–мікрометричний гвинт алідади горизонтального круга; 25–мікрометричний гвинт лімба горизонтального круга; 27–окуляр відлікового мікроскопа; 28–дзеркальце; 31–паз для кріплення бусолі.

## ТЕМА 10. ЗАДАЧІ І МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ. СПОСОБИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

### *Нівелювання. Методи нівелювання*

Сукупність геодезичних вимірювань, які виконують з метою визначення перевищень між точками фізичної поверхні Землі або їх висот відносно прийнятої початкової поверхні називають *нівелюванням*.

Нівелювання використовується для визначення висот опорних точок державної і зйомочних висотних та планово-висотних геодезичних мереж, при топографічних зйомках місцевості, при будівництві автомобільних та залізничних шляхів сполучення, водо- та газопроводів, при проектуванні, будівництві і експлуатації промислових та соціально-культурних об'єктів тощо.

Розрізняють декілька основних методів нівелювання: *геометричне, тригонометричне, фізичне, стереофотограмметричне та механічне*. *Геометричне* нівелювання виконують горизонтальним променем візування. При цьому використовують нівелір і рейки (рис. 15.1, *а*).

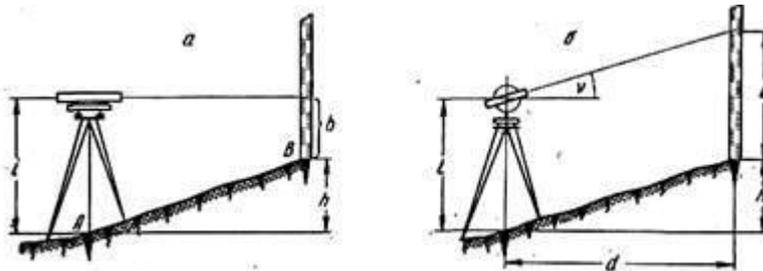


Рис. 15.1. Методи нівелювання: *а* – геометричний, *б* – тригонометричний

*Тригонометричне* нівелювання виконують похилим променем (мал. 15.1, *б*). Вимірявши кут нахилу лінії  $V$  і відстань  $сi$  між точками, перевищення обчислюють за тригонометричними формулами.

*Фізичних* способів нівелювання кілька. При цьому використовують певні закономірності природних явищ. Сюди належать барометричне, гідростатичне, радіо- і звукове нівелювання.

Барометричне нівелювання засноване на тому, що із зміною висоти точок над рівневою поверхнею змінюється атмосферний тиск. Вимірюючи тиск барометрами, анероїдами та іншими приладами, одержують дані для обчислення висот точок.

Гідростатичне нівелювання засноване на властивості рідини займати в сполучених посудинах однакову висоту.

*Механічне* нівелювання виконують нівелірами-автоматами, будову яких засновано на дії виска. До рами велосипеда (рис. 15.2) або автомобіля підвішено маятник. Системою передач маятник зв'язано з олівцем, який на міліметровому папері накреслює профіль пройденого шляху.

Масштаб профілю для горизонтальних ліній 1 : 2000 або 1 : 5000, для вертикальних ліній в 10 разів більший.

Середню квадратичну помилку визначення висот нівелірами-автоматами в сприятливих умовах обчислюють за формулою:

$$m_A \mp 0,15\sqrt{L}, \text{ м} , (15.1)$$

де  $L$  – довжина нівелірного ходу, км.

При роботі на зораній ріллі помилка збільшується вдвоє.

Нівеліри-автомати доцільно використати при попередньому виборі трас доріг, каналів та інших лінійних споруд, а також при визначенні поперечних перерізів долин рік або лощовин, на яких передбачають побудувати греблі.

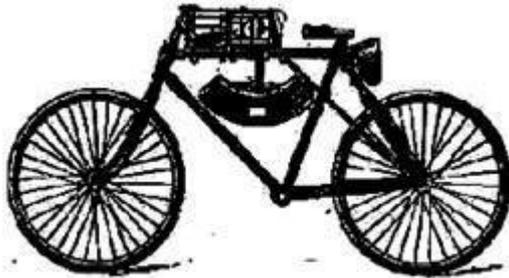


Рис 15.2. Нівелір-автомат Артанова

*Фотограмметричне* нівелювання застосовують при наземній і аерофотозйомці.

Нівелювання називають *складним*, якщо перевищення між двома точками визначають більш як з однієї станції. У переважній більшості випадків користуються складним нівелюванням.

### ***Геометричне нівелювання. Будова нівеліра Н-3***

Геометричне нівелювання виконують за допомогою *нівеліра* – геодезичного приладу, який призначений для визначення різниці висот двох точок горизонтальним променем і приладів, які входять в нівелірний комплект: штатив, дві нівелірні рейки і башмаки.

*Нівелір* будь-якої конструкції складається з трьох основних частин: зорової труби з сіткою ниток для зняття відліків по рейці; пристрою, що забезпечує горизонтальне положення лінії візування і підставки з пристроєм для приведення приладу в робоче положення.

*Нівелірні рейки* виготовляють із витриманих, спеціально оброблених ялинових або соснових брусків, пластмас, металу або інших матеріалів, які відповідають вимогам до рейок. Поділki на рейках нанесені у вигляді сантиметрових шашечок, які оцифровані через сантиметр. Рейки, як правило, трьохметрові, двосторонні: основна шкала – чорна, додаткова – червона. Нуль чорної сторони рейки співпадає з окованим її кінцем – п'яткою. Поділki на червоній стороні рейки зсунуті відносно поділок на чорній стороні. При нівелюванні рейки встановлюють на кілки, металічні костилі або башмаки.

*Нівелірні башмаки* представляють собою металеві злитки у вигляді пластинок зі сферичними головками посередині. Під час нівелювання, попередньо знявши дерн, башмаки кладуть на ґрунт і встановлюють на них рейки п'яткою донизу.

За класом точності нівеліри поділяють на: високоточні *Н-05, №007*, точні *Н-3, Н-3КЛ* та технічні *Н-10* (цифри в шифрі нівеліра означають середню квадратичну похибку в мм, яку отримують при нівелюванні на 1 км

подвійного ходу, букви *K* і *L*, які стоять після цифри, означають, відповідно, нівелір з компенсатором і лімбом).

Нівелір *H-3* дає перевернуте зображення, належить до класу точних нівелірів і забезпечує збільшення зорової труби –  $31.5^{\times}$ , найменшу відстань візування їм, ціну поділки рівнів: круглого –  $10'$ , контактного циліндричного –  $15''$ . Маса приладу у футлярі 1.8 кг. Прилад призначений для виконання нівелювання III і IV класів, а також для інженерно-геодезичних робіт при вишукуванні в будівництві.

Нівелір прикріплюють до штатива за допомогою станового гвинта і пружної пластини. Вісь обертання нівеліра у вертикальне положення встановлюють за круглим рівнем з допомогою підйомних гвинтів, гвинтова нарізка яких входить в гнізда підставки (тригера). Для наближеного наведення труби на рейку використовують мушку над об'єктивом зорової труби нівеліра, для точного – навідний гвинт, який працює, коли труба зафіксована закріплювальним гвинтом. Гвинт кремальєри призначений для фокусування труби, а різкість зображення сітки ниток досягається обертанням діоптрійного кільця окуляра. Перед кожним відліком по рейці візирну вісь нівеліра встановлюють у горизонтальне положення елеваційним гвинтом. Зображення половинок кінців бульбашки контактної циліндричного рівня через систему призм передаються в поле зору труби. Якщо центр бульбашки рівня сумістити з нуль-пунктом ампули, то виникне оптичний контакт – зображення половинок кінців бульбашки рівня будуть рівними за довжиною і утворять у верхній частині суцільну дугу. При нахилі осі рівня контакт порушується.

Суть геометричного нівелювання полягає у вимірюванні відстаней від деякої умовної рівневої поверхні до точок фізичної поверхні Землі. Оскільки незначні за площею ділянки рівневої поверхні приймаються за площину, то систему таких рівневих поверхонь, які проходять через точки нівелювання, представляють у вигляді горизонтальних паралельних прямих, а перевищенням вважають довжину нормалі між ними, яка визначається різницею довжин відрізків від рівневих (фізичних) поверхонь точок до умовної рівневої поверхні, яка проходить над точками.

Розрізняють два способи геометричного нівелювання: із середини і вперед.

При нівелюванні із середини для визначення перевищення однієї точки над іншою встановлюють нівелір на однакових відстанях між ними і приводять його візирну вісь у горизонтальне положення. Над точкою вертикально встановлюють нівелірні рейки з нанесеними на них сантиметровими поділками, відлік яких ведеться від їх нижніх кінців до верхніх. Візуючи послідовно горизонтальним променем на рейки, беруть відліки *a* по задній і *b* передній рейках. Точку *B*, перевищення для якої визначають і рейку встановлену на ній, називають *передньою*, а точку *A*, відносно якої визначають перевищення і рейку встановлену на ній – *задньою*

(рис. 15.3). Перевищення між двома точками визначають як різницю відліків по задній і по передній рейках.

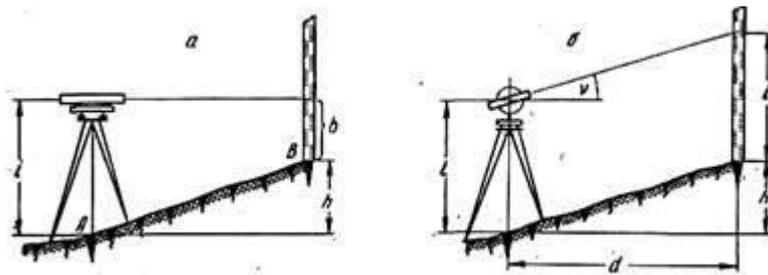


Рис. 15.3. Геометричне нівелювання

В залежності від висотного положення точки  $B$  по відношенню до точки  $A$ , перевищення може бути додатнім, якщо  $a > b$  або від'ємним, якщо  $a < b$ . Якщо абсолютна висота однієї із точок відома, то висота іншої визначається за формулою :

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (15.3).$$

При нівелюванні вперед нівелір встановлюють над точкою  $A$ , вимірюють його висоту  $i$  і беруть відлік по рейці  $b$ , яка встановлена на точці  $B$ . В такому випадку, для визначення перевищення  $h_{AB}$  в формулу (2) замість величини  $a$  підставляють  $i$ :

а висоту точки визначають за формулою:

$$H_B = H_A + i - b, \quad (15.5),$$

де суму  $H_A + i$  називають висотою візирної осі зорової труби нівеліра над рівнем моря або над умовним рівнем – горизонтом приладу ГП, звідки формула (3) набуває вигляду:

$$H_B = ГП - b. \quad (15.6).$$

Нівелювання із середини має переваги перед нівелюванням вперед, оскільки, по-перше, компенсуються похибки відліків, які виникають за рахунок можливого відхилення візирної осі нівеліра від горизонтального положення і, по-друге, збільшується відстань між пікетами (максимальна відстань між нівеліром і рейками при нівелюванні вперед становить 100–150 м, а при нівелюванні із середини, якщо дозволяють умови місцевості, можна нівелювати точки, які знаходяться на відстані 200–300 м). Відстані більшої протяжності нівелюють з декількох станцій, які зв'язані між собою спільними точками. Спільні для двох суміжних станцій точки називають *зв'язуючими*, і їх висоти, як правило, обчислюють послідовно за напрямком нівелювання через перевищення. Інші точки нівелювання, які відображають характерні точки місцевості, називають *проміжними*, і їх висоти обчислюють через горизонт приладу. Нівелювання називається *простим*, якщо перевищення між двома точками місцевості визначають з однієї станції. *Станцією* називають місце встановлення нівеліра в процесі вимірювання.

Нівелювання між значно віддаленими або розміщеними на схилі точками проводять з декількох станцій, які утворюють *нівелірний хід*. Таке нівелювання називають *складним* або *послідовним*. Спільні точки для двох

суміжних станцій називають *зв'язуючими*, а перевищення між кінцевими точками ходу при відліках  $a_i$  по задніх і  $b_i$  – по передніх рейках визначаються за формулою:

$$\sum h_i = \sum a_i - \sum b_i, \quad (15.7)$$

тобто сума перевищень ходу дорівнює різниці сум відліків по задній і передній рейках. Відмітку кінцевої точки  $B$  ходу обчислюють за формулою.

Нівелірні ходи можуть бути замкненими і розімкненими. Різновидом замкненого нівелірного ходу є хід, виконаний у прямому і зворотному напрямках по одній і тій же лінії нівелювання. При відсутності похибок вимірювання перевищення по прямому і зворотному ходу повинні бути рівні за абсолютною величиною і обернені за знаком.

## ЛІТЕРАТУРА

1. В.І. Ващенко, В.О. Літинський, С.С. Перій. Топографо-геодезичний практикум: навч. посібник. – Львів: Видавництво Львівська політехніка. 2018. – 428 с.
2. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві: навч. посіб. – К.: Вища шк., 2006. – 278 с.
3. Глущенко В.М., Павленко Н.В., Угненко Є.Б., Ужвієва О.М., Тимченко О.М. Навчальна геодезична практика: навч. посібник. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 196 с.

Інженерна геодезія [Текст]: Конспект лекцій для здобувачів освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр галузь знань 19 Архітектура і будівництво спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія освітньо-професійної програми Опорядження будівель і споруд та будівельний дизайн денної форми навчання / уклад. О.Ф. Шмаль. – Любешів : ВСП «Любешівського ТФК Луцького НТУ», 2023. – 45 с.

Комп'ютерний набір і верстка :  
Редактор:

О.Ф. Шмаль  
О.Ф. Шмаль

Підп. до друку \_\_\_\_\_ 2023 р. Формат А4.  
Папір офіс. Гарн. Таймс. Умов. друк. арк. 3,5  
Обл. вид. арк. 3,4. Тираж 15 прим.

