

| | | |
|----------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 1/48 |

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою факультету
гірничої справи,
природокористування та будівництва
26 серпня 2025 р., протокол № 07
Голова Вченої ради

_____ Володимир КОТЕНКО

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з навчальної дисципліни «ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ»

(назва навчальної дисципліни)

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня бакалавр»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

Схвалено на засіданні кафедри
маркшейдерії
25 серпня 2025 р., протокол № 07

Завідувач кафедри
_____ Володимир ШЛАПАК

Розробник: к.т.н., доц. кафедри маркшейдерії Панасюк А.В.
ст. викладач кафедри маркшейдерії Куницька М.С.

Житомир
2025

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 2/48 |

Тема 1. Вступні відомості

Предмет геодезії і її місце серед інших наук. Роль геодезії у народному господарстві країни. Поняття про форму та розміри Землі. Визначення положення точок на поверхні Землі. Метод проєкцій та його застосування в геодезії. Абсолютні та відносні висоти точок місцевості.

Сучасна геодезія – багатогранна наука, що вирішує складні наукові й практичні завдання. Це наука про визначення форми й розмірів Землі, про виміри на земній поверхні для відображення її на планах і картах. Завдання геодезії вирішуються на основі вимірів, виконуваних геодезичними інструментами й приладами. У геодезії використовують положення математики, фізики, астрономії, картографії, географії та інших наукових дисциплін.

Інженерна геодезія – призначена розв’язувати геодезичні задачі, пов’язані з побудовою опорної геодезичної основи для виконання знімальних і розмічувальних робіт; складанням крупномасштабних планів і профілів для проектування різноманітних об’єктів; вивчає і розробляє методи проведення геодезичних робіт у процесі вишукування, проектування, будівництва та експлуатації будівель та інженерних споруд поточним обслуговуванням будівельно-монтажних операцій, складанням виконавчих креслень зведених об’єктів та дослідження їх деформацій у процесі будівництва та експлуатації.

Вища геодезія – вивчає форми та розміри Землі, її гравітаційне поле, визначає координати точок на земній поверхні.

Супутникова геодезія – розглядає методи розв’язання геодезичних задач за допомогою штучних супутників Землі.

Топографія – займається детальним вивченням земної поверхні та зображенням великих і малих ділянок земної поверхні на топографічних планах та картах.

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

Фотограмметрія і дистанційне зондування – вивчає методи складання карт і планів за результатами фотографування поверхні Землі з повітря, Космосу та землі.

Маркшейдерська справа – вивчає методи будівництва і застосування геодезії в гірничих копальнях, будівництво шахт, тунелів, метро та інших підземних споруд.

Завдання геодезії поділяють на наукові та практичні. До наукових завдань відносять:

- визначення форми і розмірів Землі та її зовнішнього гравітаційного поля;
- дослідження горизонтальних та вертикальних деформацій земної кори;
- дослідження переміщень берегової смуги морів і океанів;
- спостереження переміщень земних полюсів.

Практичні задачі геодезії надзвичайно різноманітні. До їх числа відносять:

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 3/48 |

- визначення положення окремих точок земної поверхні в обраній системі координат;
- складання карт і планів місцевості;
- виконання вимірювань, необхідних для вишукування, проектування, будівництва і експлуатації будівель і споруд.

Поняття про форму і розміри Землі.

Якщо б Земля була нерухомим однорідним тілом і піддавалась лише дії внутрішніх сил тяжіння, вона мала б форму кулі. Під дією відцентрової сили, яка викликана обертанням навколо осі з постійною швидкістю, Земля набула б форми, стиснутої за напрямком полюсів, тобто форму еліпсоїда обертання.

Однак насправді, внутрішня будова Землі неоднорідна. У зовнішньому шарі Землі – земній корі (товщиною від 6 до 70 км, в середньому 40 км) закономірностей в розподілі щільностей немає; її будова дуже складна. Це пояснюється тим, що в ній без перешкод відбувається переміщення порід під дією внутрішніх і зовнішніх сил. Так утворюється зовнішня, або, як кажуть фізична поверхня Землі, яка являє собою з'єднання материків та океанічних западин зі складними геометричними формами.

Загалом, земну поверхню можна уявити як фігуру, утворену поверхнею морів і океанів, яка продовжена під материками (рис. 1). Таку поверхню називають основною рівневою поверхнею. Рівнева поверхня перпендикулярна в кожній точці напрямку сили тяжіння (прямовисній лінії). Тіло, яке утворює основна рівнева поверхня, називають геоїдом.

Геоїд не є правильним геометричним тілом, і не виражається кінцевим математичним рівнянням. Тому для геодезичних обчислень беруть правильну математичну поверхню тіла, найбільш близького до геоїда – еліпсоїд обертання. Розміри і форма земного еліпсоїда характеризуються наступними параметрами:

- велика напіввісь (екваторіальний радіус), a ;
- мала напіввісь (полярний радіус), b ;
- полярне стиснення $\alpha = (a-b)/a$

Розміри земного еліпсоїда визначали за результатами геодезичних вимірювань неодноразово. Наприклад, розміри загальноземного еліпсоїда WGS-84 (World Geodetic System 1984), який застосовуються в системі супутникової навігації GPS, характеризується параметрами:

Висоти точок земної поверхні, їх види

Висотою H точки A земної поверхні називається відстань по прямовисній лінії (нормалі) між рівневою поверхнею точки A і рівневою поверхнею, прийнятою за початкову (рис. 2). Висотою точки називають відстань від рівневої поверхні до даної точки вздовж прямовисної лінії (рис. 6). Кількісне значення висоти називають відміткою.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 4/48 |

Числове значення висоти точки називають позначкою або відміткою.

За початкову відлікову поверхню для визначення висот в геодезії приймають основну рівневу поверхню (геоїд), яку також називають рівнем моря. Висоти, які відраховують від основної рівневої поверхні, називають абсолютними.

Нуль футштока є мідною пластиною, закріпленою в опорі моста у м. Кронштадт, з нанесеною горизонтальною рисою. Таку систему висот називають Балтійською.

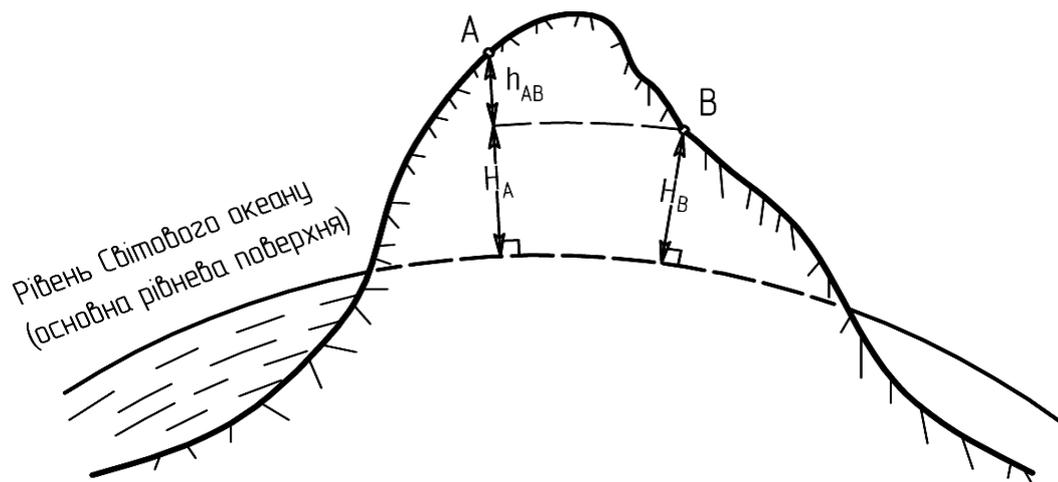


Рис. 6 – Висота точки. Перевищення

В межах будь-якого району або об'єкту будівництва за вихідну для відліку висот можна вибрати будь-яку іншу постійну точку, наприклад, рівень підлоги першого поверху житлового будинку. Такі висоти називають умовними або відносними. Різницю висот двох точок називають перевищенням (h) і вираховують за формулами

Висоти H' точки А визначені від умовно прийнятої рівневої поверхні, називають умовними. Різницю позначок двох суміжних точок називають перевищенням між ними

$$h_{AB} = H_B - H_A.$$

Перевищення може бути додатним або від'ємним, тому завжди супроводжується знаком “плюс” або “мінус”.

Тема 2. Методи зображення земної поверхні на картах та планах

Математична основа та позарамкове оформлення карт і планів. Поняття про цифрову топографічну карту. Фотоплани, ортофотоплани Земної поверхні. Поняття про план, карту і профіль Земної поверхні. Система плоских прямокутних координат Гаусса Крюгера.

Поняття карта, план. Їх класифікація

Фізична поверхня Землі досить складна. Для її вивчення і розв'язання практичних та інженерних задач фізичну поверхню Землі зображають на планах і картах.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 5/48 |

Карта – це зменшене узагальнене зображення на площині всієї поверхні Землі або значних її територій з урахуванням кривизни Землі.

Карти поділяють на загальногеографічні, тематичні й топографічні.

На загальногеографічних картах зображають як фізико- географічні елементи місцевості у вигляді рельєфу, гідрографії, ґрунтово-рослинного покриття, так і соціально-економічні елементи, як населені пункти, кордони, дороги тощо.

До тематичних карт відносять:

- карти, на яких один із елементів загальногеографічної карти (наприклад, рельєф) зображується з особливою повнотою і детальністю, порівняно з іншими елементами, частина яких може бути навіть пропущена;

- карти, на яких всі елементи загальногеографічної карти зображені не повно і спрощено, але додатково нанесені дані, які характеризують, наприклад, клімат, ґрунти, рослинність, корисні копалини або будь-які економічні та екологічні відомості.

Загальні географічні карти масштабу 1:1000000 і більших називають топографічними. Залежно від масштабу топографічні карти поділяють на:

- оглядово-топографічні, масштаб 1:1 000 000 і 1:50 000;
- великомасштабні (1:2 000, 1:5 000, 1:10 000);
- середньомасштабні (1:25 000, 1:50 000, 1:100 000);
- дрібномасштабні (1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000).

Загальні вимоги до зображення місцевості на топокартах

- Карта має бути точною.
- Карта має бути точною і зрозумілою, тобто повинна легко читатись.
- Умовні знаки мають бути однаковими і обов'язковими для усіх відомств, які займаються складанням карт.

- Карта має відображувати дійсну картину місцевості.

- Необхідно правильно узагальнювати карту

План місцевості – це зменшене подібне зображення невеликої ($\approx 40 \text{ км}^2$) ділянки місцевості зі збереженням подібності форм ситуації і рельєфу без урахування кривизни Землі.

На плані довжини ліній, горизонтальні кути, площі і контури ділянок місцевості не спотворюються, ступінь зменшення лінійних елементів місцевості (масштаб зображення) постійний для всіх частин плану.

Плани місцевості поділяють на:

контурні – зображуються тільки межі угідь (ліс, болото і т.д.)

ситуаційні – зображуються тільки предмети місцевості(будівлі, дороги і т.д.);

топографічні – зображуються контури, предмети ситуації і рельєф місцевості.

Топографічні плани використовують для проектування генеральних

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 6/48 |

планів будівельних майданчиків.

На такому плані зображають весь комплекс підземних і надземних споруд залежно від розмірів і призначення підприємства.

Робочий проект генерального плану будівельного майданчика складають у масштабі 1:500 або 1000, а на окремі об'єкти залежно від їх складності – в масштабі 1:200.

По закінченні будівельно-монтажних і опоряджувальних робіт складається виконавчий генеральний план, на якому показують усі побудовані за проектом будівлі і споруди.

Аерознімок. На аерознімку, одержаному з літального апарату, зображують ріки, дороги, будівлі тощо, але не дивлячись на це, аерознімок не може бути планом місцевості, бо в різних напрямках він має різний масштаб.

Аерознімок – центральна проекція, її центром є центр об'єктива аерофотоапарата.

Земну поверхню можна перетнути вертикальною площиною. Побудована на площині за заданим напрямом та певними правилами зображення сліду перетину рельєфу земної поверхні вертикальною площиною називають профіль місцевості.

Профілі місцевості використовують для будівництва і монтажу надземних і підземних інженерних споруд і різноманітних мереж.

Карти та плани використовують для вишукувань, проектування, зведення та експлуатації інженерних споруд, будівель і розв'язування різноманітних задач. Через це карти, плани і профілі мають бути точними, подібними, достовірними та повною мірою відображати земну поверхню.

Тема 3. Орієнтування ліній

Азимути. Зближення меридіанів. Магнітні азимути. Дирекційні кути. Зв'язок дирекційних кутів двох суміжних ліній. Орієнтування карти на місцевості.

Азимути

Азимут – це кут між напрямком на північ і заданим напрямком, виміряний за ходом годинникової стрілки.

Істинний азимут (A) – вимірюється відносно істинного (географічного) меридіана.

Магнітний азимут (A_m) – визначається відносно напрямку магнітного меридіана.

Румб (R) – кут між напрямком на північ або південь та лінією, виражається в межах 0° – 90° .

Зближення меридіанів

Оскільки всі меридіани сходяться на полюсах, їхнє взаємне положення змінюється. Зближення меридіанів (γ) – це кут між істинним меридіаном у даній точці та меридіаном в іншій точці на карті. Воно впливає на розрахунки

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 7/48 |

дирекційних кутів.

Магнітні азимути

Земне магнітне поле змінює напрямок магнітного меридіана, тому істинний і магнітний азимути не збігаються.

Магнітне схилення (δ) – це кут між істинним і магнітним меридіаном.

Для перерахунку магнітного азимута в істинний застосовують формулу:

$$A = A_m + \delta A = A_m + \delta$$

4. Дирекційні кути

Дирекційний кут (D) – це кут між північним напрямком осевого меридіана і лінією, вимірний за годинниковою стрілкою (0° – 360°).

Відмінності між азимутом та дирекційним кутом:

Азимут прив'язаний до географічного чи магнітного меридіана.

Дирекційний кут пов'язаний із координатною системою та проекціями.

5. Зв'язок дирекційних кутів двох суміжних ліній

Дирекційний кут наступної лінії залежить від дирекційного кута попередньої та внутрішнього кута між лініями:

$$D_2 = D_1 \pm 180^\circ + \beta \quad D_2 = D_1 \pm 180^\circ + \beta$$

де β – внутрішній кут між двома лініями.

6. Орієнтування карти на місцевості

Для орієнтування карти виконують такі дії:

За компасом – повертають карту так, щоб напрямок на північ збігався з напрямком стрілки компаса.

За місцевими орієнтирами – розташовують карту відповідно до об'єктів, які є на місцевості.

За Сонцем – визначають приблизний напрямок сторін горизонту за часом доби.

Тема 4. Розв'язання задач на топографічних картах

Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера. Визначення номенклатури листа карти за даними географічними координатами точки. Читання топографічної карти. Визначення довжин ліній по карті. Визначення географічних координат точок по карті. Визначення прямокутних координат точок по карті. Нанесення на топографічну карту точок за заданими координатами. Визначення висот точок по горизонталях. Визначення стрімкості схилу. Побудова на карті осі траси з заданим ухилом. Побудова профілю місцевості за заданим напрямком. Визначення меж водозбірної площі. Визначення дирекційних кутів та азимутів по карті. Визначення площ по топографічній карті.

Системи координат, прийняті в геодезії

Плани і карти складають на площині. Поверхню еліпсоїда неможливо розгорнути на площину без спотворень. Тому розроблені картографічні проекції дають змогу математичними розрахунками геодезичні (географічні)

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 8/48 |

координати В та L точок еліпсоїда переобчислити в прямокутні координати X та Y.

А) Географічна система координат

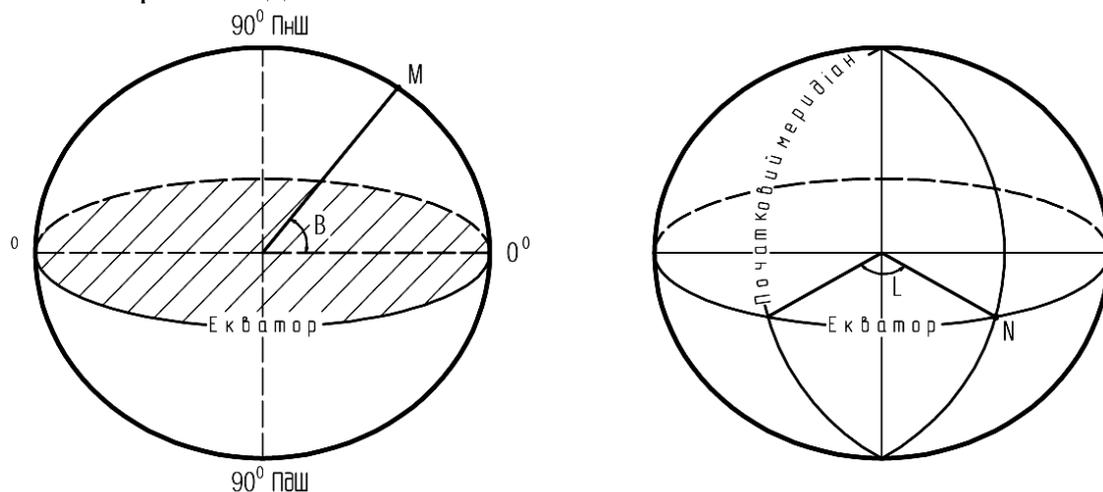
Система географічних координат є єдиною для всіх точок Землі. Тут рівнева поверхня приймається за поверхнею сфери. За початок відліку в географічній системі координат приймають початковий меридіан, який проходить через центр Гринвіцької обсерваторії на окраїні Лондона і площину екватора

Місцеположення точки М на поверхні Землі визначається її географічними координатами: широтою – φ і довготою – λ .

Меридіан – слід від перетинання земної поверхні з площиною, яка проходить крізь вісь обертання Землі.

Паралель – слід від перетинання земної поверхні з площиною, перпендикулярною осі обертання Землі.

Положення точки на поверхні еліпсоїда в географічній системі координат визначається широтою і довготою.



Географічна система координат: а – широта; б – довгота.

Геодезичною широтою (В) точки називають кут між площиною екватора і прямовисною лінією, яка проходить крізь дану точку (рис. 3 а) Широта відлічується в обидва боки від екватора і набуває значення від 0°

до 90° . Широта може бути північна і південна.

Геодезичною довготою (L) точки називають двогранний кут між площиною меридіана, який проходить крізь дану точку, й площиною початкового меридіана (рис. 3 б).

За початковий (нульовий) меридіан прийнятий меридіан, що проходить крізь місто Гринвіч (Англія). Довгота відлічується від 0° до 180° на схід і на захід від Гринвіча.

Б) Система плоских прямокутних координат Гаусса- Крюгера

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 9/48 |

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

Для великомасштабного картографування необхідна проекція, яка забезпечувала б зображення подібності фігур при переході з поверхні Землі на площину і спотворення, які при цьому будуть виникати, мають бути мінімальними та легко враховуватись. Така картографічна проекція називається рівнокутною або камфорною.

У цьому випадку невеликі території місцевості на еліпсоїді та площині будуть подібними, масштаб – практично постійним, а спотворення ліній – незначним.

Таким вимогам відповідає прийнята в Україні поперечно-циліндрична рівнокутна проекція Гаусса-Крюгера.

З центру Землі точки O поверхню еліпсоїда за довготою 6° проєктують на поверхню циліндра, яку потім можна розгорнути в площину. Прокотивши кулю в циліндрі, можна спроекувати на поверхню циліндра всю поверхню еліпсоїда, отримавши 60 зон.

У кожній зоні утворюється прямокутна система координат. Середній меридіан зони називають осьовим, який прийнятий за вісь абсцис X в кожній зоні, а зображення екватора у вигляді прямої, перпендикулярної осьовому меридіану, прийнято за вісь ординати Y .

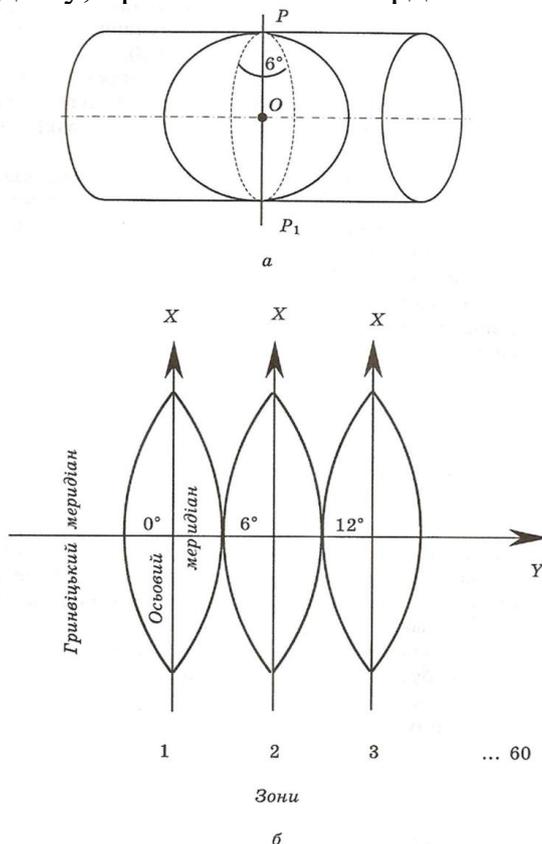
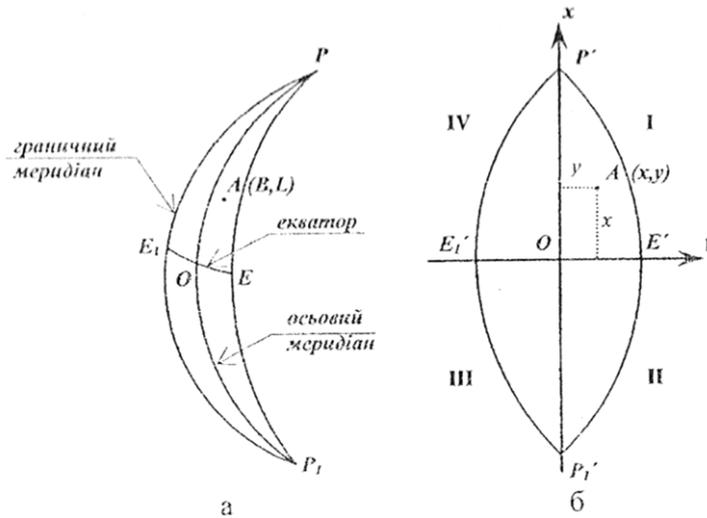


Схема побудови зональної системи плоских прямокутних координат

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 10/ 48 |

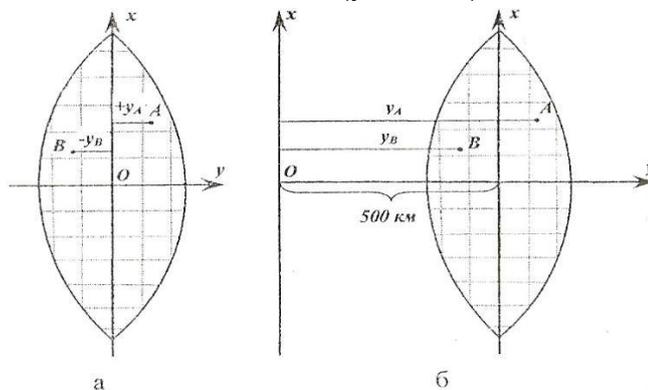
За початок відліку координат у кожній зоні приймається перетин осьового меридіану і лінії екватора (рис.1.5,б).



Координатна зона: а – еліпсоїд; б – на площині
Система координат у кожній зоні однакова.

Україна знаходиться в північній півкулі, тобто над екватором, тоді значення абсцис будуть завжди додатними, а ординати можуть бути додатні або від'ємні.

Для того, щоб ординати були додатними, прийнято умовно перенести вісь абсцис на 500 км на захід (рис. 1.6).



Умовні ординати у масштабних зонах

За початок відліку координат в кожній зоні приймають перетин осьового меридіана – осі абсцис і екватора – осі ординат. Лінії, які паралельні зображенню осьових меридіанів і екватору, утворюють прямокутну координатну сітку.

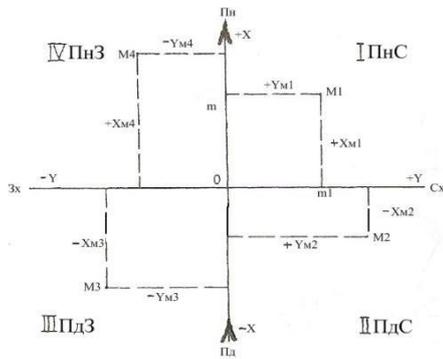
В) Прямокутна система координат

Якщо геодезичні роботи виконують на невеликих ($\approx 40 \text{ км}^2$) ділянках земної поверхні та не враховують сферичності Землі, положення точок можна визначити в системі прямокутних координат (рис. 1.7).

Але тут слід мати на увазі таке: в геодезії кути орієнтування збільшуються за годинниковою стрілкою, а в тригонометрії – проти. Тому в

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 11/ 48 |

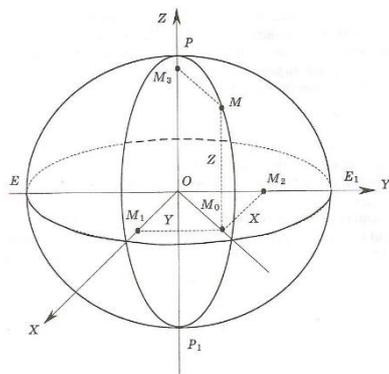
геодезії відлік четвертей прийнятий обернений і вісі координат повернуті на 90° . Таким чином, досягнута можливість застосування в процесі геодезичних обчислень формул тригонометрії та аналітичної геометрії без будь-яких змін.



Прямокутна система координат

Відрізки: Om абсциса і $Om1$ ордината визначають місцеположення точки $M1$ на площині, тобто у геодезії, на відміну від математики, абсциса X направлена на північ, а ордината Y – на схід. Нумерацію четвертей виконують за годинниковою стрілкою.

На сучасному етапі з використанням супутникових навігаційних систем (GPS) в процесі розв'язування геодезичних задач використовують геометричну систему прямокутних просторових координат.



Геометрична система прямокутних просторових координат

Початок координат розміщено в центрі мас Землі. Вісь OX у площині екватора проходить через точку перетину Гринвіцького меридіана і екватора. Вісь OY доповнює прийнятну систему координат до правої, а вісь OZ спрямована вздовж осі обертання Землі до північного полюса.

Для точки M маємо такі просторові координати:

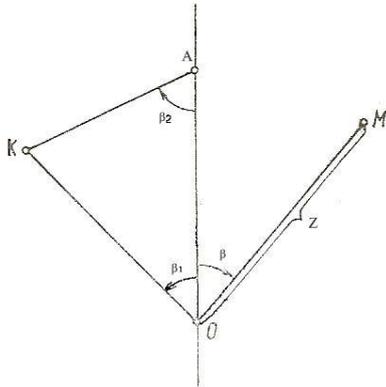
$$X = OM1 = M0M2; Y = OM2 = M1M0; Z = OM3 = M0M.$$

В Україні для вирішення народногосподарських завдань міждержавного рівня запроваджено світову систему просторових координат (WGS-84).

Г) Полярна система координат.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 12/48 |

У практиці інженерно-геодезичних робіт широко застосовують полярну систему координат. Суть її така: на горизонтальній площині через довільно обрану точку O_1 (точка планово-висотної основи на будмайданчику), яку вважають полюсом, проводять лінію OA (це може бути сторона теодолітного ходу). Тоді положення будь-якої точки M , яка не лежить на проведеній лінії, визначатиметься двома величинами: горизонтальним кутом β відхилення напрямку на точку M від лінії OA і відстанню (радіусом-вектором) від полюсу O до точки M , тобто довжиною лінії OM .



Полярні (біполярні) координати

Відрізок OA називається полярною віссю, відрізок $OM = r$ – радіусом-вектором, а кут β – кутом положення, або полярним кутом.

Лінію OA (сторона теодолітного ходу) інколи орієнтують у меридіональному напрямку.

Біполярна (двополюсна) система координат має вісь з двома полюсами O і A . Це дозволяє визначити місцеположення точки на місцевості методом лінійних або кутових засічок.

Для визначення розташування точки K лінійною засічкою необхідно відміряти довжини ліній OK і AK , а для визначення розташування точки кутовими засічками необхідно відміряти кути β_1 і β_2 .

Тема 5. Загальні принципи виконання і організації геодезичних робіт

Основні принципи організації геодезичних робіт. Принципи організації і виконання геодезичних робіт.

Основні принципи організації геодезичних робіт

Кінцевою метою виконання геодезичних робіт є створення топографічних карт і планів. Їх отримують шляхом зйомки місцевості. Зйомкою називається сукупність вимірів з метою складання карт або планів в заданому масштабі.

Розрізняють контурну (горизонтальну), вертикальну і топографічну зйомку місцевості. При горизонтальній зйомці на карті або плані зображається тільки ситуація. При вертикальній зйомці визначають висоти точок, за якими зображають рельєф місцевості в горизонталях. Топографічна зйомка являє

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 13/ 48 |

собою сукупність горизонтальної і вертикальної зйомок, тому на плані або карті зображають об'єкти, контури та рельєф місцевості. Топографічні зйомки, як найбільш повні, є основними.

Топографічні зйомки виконуються в різний час, на різних частинах території країни і різними виконавцями. З цих розрізнених зйомок повинна складатися єдина топографічна карта країни. Для погодженості окремих карт та планів зйомка повинна виконуватися в єдиній системі координат. Для цього на всій території країни необхідні пункти, координати яких відомі з надзвичайно високою точністю. Система таких пунктів створює вихідну геодезичну мережу. Для виконання топографічних зйомок необхідно мати для цих пунктів визначені планові (x, y) та висотні (H) координати пунктів.

Усі вимірювання, в тому числі і геодезичні, супроводжуються неминучими похибками вимірювань. Ці похибки можуть накопичуватися і призводити до більш значних спотворень вимірних величин.

Для послаблення впливу похибок на результати вимірювань геодезичні роботи ведуться за принципом "від загального до часткового". Це виражається в тому, що спочатку будується рідка мережа пунктів, коли віддаль між пунктами відносно значна. Вимірювання між пунктами виконуються з максимально можливою точністю. Далі відповідно до згущення пунктів по мірі зменшення віддалей між ними вимоги до точності вимірювань знижуються. Таким чином, для правильної організації геодезичних робіт перед зйомкою задалегідь задається необхідна точність вимірювань і з урахуванням її вибирають методику виконання робіт.

Методика виконання геодезичних робіт передбачає вимоги до конструкції геодезичної мережі, до методів вимірювань, до конструкції приладів і обладнання для вимірювань, до точності вимірювань, до способів їх обробки.

Методика вимірювань повинна обов'язково передбачати надійний контроль усіх вимірювальних (польових) і обчислювальних (камеральних) робіт. Не можна виконувати наступні вимірювання, обчислення або графічні побудови, не переконавшись у тому, що всі попередні процеси виконані правильно.

Загальні відомості про зйомки місцевості

Після створення зйомочної мережі в районі робіт проводиться зйомка місцевості. В залежності від застосовуваних методів і приладів розрізняють такі види зйомки.

Окомірна зйомка - це спрощена зйомка з невисокою точністю. Вона може застосовуватися як допоміжна під час інструментальних зйомок дрібного масштабу, так і самостійно під час рекогносцировки, прив'язки геодезичних пунктів до місцевих предметів та контурів, під час різноманітних попередніх розвідок, у воєнній справі і т.п. Окомірна зйомка є найпростіша. При її виконанні використовується планшет з компасом і візирна лінійка. Можливе застосування приладів полегшеного типу: ручних безрейкових віддалемірів,

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 14/ 48 |

крокомірів, ручних бусолей і т.п. При поєднанні окомірної зйомки з барометричним нівелюванням отримують топографічний план місцевості.

Бусольна зйомка виконується за допомогою бусолі (для визначення магнітних азимутів) та мірної стрічки.

Бусольна зйомка дозволяє отримати контурний план місцевості, але тепер, як самостійна зйомка, практично не застосовується. Інколи вона використовується для зйомки невеликих ділянок місцевості як допоміжна під час інших видів зйомки.

Теодолітна зйомка проводиться за допомогою кутомірного приладу - теодоліта і приладу для лінійних вимірювань - сталюї мірної стрічки або оптичного віддалеміра. При виконанні зйомки вимірюються горизонтальні кути і віддалі. За результатами зйомки в камеральних умовах будують ситуаційний план з зображенням контурів і місцевих предметів (див. главу 11).

Тахеометрична зйомка - це топографічна зйомка. Вона виконується теодолітами-тахеометрами - приладами, що дозволяють виміряти вертикальні і горизонтальні кути та віддалі. Даний вид зйомки має широке застосування при великомасштабних зйомках невеликих територій, під час виконання вишукувальних робіт для будівництва різних інженерних споруд і т.п..

В традиційному методі виконання тахеометричної зйомки в польових умовах вимірюють горизонтальні і вертикальні кути, віддалі за допомогою ниткового віддалеміра теодоліта. В камеральних умовах визначають горизонтальні прокладання ліній, перевищення між точками і висоти зйомочних точок. На основі отриманих даних будують топографічний план.

В останні роки все ширше застосовуються електронні тахеометри, що складаються з кодового теодоліта, електронного віддалеміра і обчислювального обладнання. Безпосередньо в польових умовах отримують горизонтальні прокладання і перевищення, значення яких можуть бути виведені на світлове табло у цифровому виді або записані на магнітні носії. Інформація з магнітних носіїв вводиться в ПЕОМ, де виконується наступна обробка і побудова цифрових карт.

Мензуральна зйомка виконується за допомогою мензули - горизонтального столика і кіпрегеля - спеціального кутомірнонarisного приладу, що має вертикальний круг і віддалемір.

В процесі мензуральної зйомки топографічний план місцевості складається безпосередньо в полі. Це дозволяє порівнювати отриманий план з зображуваною місцевістю, що забезпечує вчасний контроль вимірювань (див. главу 13).

Наземна фототеодолітна зйомка виконується фототеодолітом (фотокамерою, з'єднаною з теодолітом). Ділянку місцевості фотографують з двох точок лінії, закріпленої на місцевості (базису). Координати кінців базису визначають геодезичними методами. В процесі фототеодолітної зйомки отримують два знімки однієї і тієї ж ділянки, що складає стереопару. Шляхом

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 15/ 48 |

обробки стереопари на спеціальних фотограмметричних приладах отримують топографічні плани ділянки. Наземна фототеодолітна зйомка застосовується, як правило, у високогірній та гірській, переважно відкритій місцевості зі складними формами рельєфу і в рівнинній місцевості під час дорожніх, геологічних та інших вишукувань. Широке розповсюдження даний вид зйомки отримав при складанні маркшейдерських планів кар'єрів, при архітектурних обмірах та контролі точності монтажу будівельних конструкцій.

Аерофотозйомка проводиться спеціальними аерофотоапаратами, які встановлюються на літаках або вертольотах. На місцевості виконують геодезичні вимірювання для визначення координат і висот незначної кількості опорних точок. Обробка аерофотозйомки виконується на спеціальних фотограмметричних приладах.

Фотограмметричні методи є в наш час основними і найперспективнішими, тому що вони потребують мінімальних витрат на польові роботи і є найпродуктивнішими. Крім того, під час обробки на фотограмметричних приладах одночасно отримують дані для побудови цифрових моделей місцевості.

В останні роки з метою картографування використовуються знімки, отримані з штучних супутників Землі. Таку зйомку можна назвати космічною зйомкою. За матеріалами космічної зйомки вже складаються карти в достатньо великому масштабі 1:50 000. Такою зйомкою сьогодні покрито приблизно 60% Землі.

Опорні геодезичні мережі

Як зазначалось в попередньому параграфі, для топографічної зйомки тієї чи іншої території необхідно створити на ній мережу геодезичних пунктів з відомими координатами і висотами. Такі пункти називаються опорними. Сукупність опорних пунктів, рівномірно розміщених по території країни з визначеними координатами і висотами, складає державну геодезичну мережу (ДГМ).

Державна геодезична мережа поділяється на планову і висотну.

Планова геодезична мережа складається із системи пунктів, для яких точно визначені планові координати x і y , а абсолютні висоти визначаються менш точно або взагалі не визначаються. Висотна геодезична мережа складається із системи пунктів, для яких точно визначені висоти H , а планові координати визначаються менш точно, або взагалі не визначаються.

Традиційними способами визначення планових координат пунктів, які застосовуються геодезистами вже на протязі кількох століть, є астрономічний та геодезичний. В останні роки все ширше застосовуються нові способи (супутникові та інерційні), які ґрунтуються на сучасних досягненнях науки і техніки.

Астрономічний спосіб полягає у визначенні координат (φ , λ) кожного пункту та астрономічних азимутів α напрямів геодезичної мережі за

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 16/ 48 |

спостереженнями небесних світил. Азимути напрямків можуть бути визначені гіроскопічним способом (за допомогою спеціальних приладів, що називаються гірокомпасами або гіротеодолітами). В подальшому від астрономічних координат, використовуючи відхилення прямовисних ліній, переходять до геодезичних (В, L), а потім - до планових (x, y) координат. Перевагою даного способу є незалежне визначення координат пунктів. Однак навіть незначні похибки у визначенні відхилень прямовисних ліній призводять до чималих за величиною похибок у визначенні планових координат, що досягають до 100 м. Тому основним недоліком даного способу є його порівняно невелика точність.

Геодезичний спосіб полягає в тому, що з астрономічних спостережень визначають координати тільки окремих (вихідних) пунктів мережі, а координати інших пунктів обчислюють за вимірними сторонами і кутами геометричних фігур, вершинами яких є опорні пункти. Цей спосіб більш точний в порівнянні з попереднім і є основним при побудові планових геодезичних мереж на території нашої країни.

Супутниковий спосіб полягає у визначенні координат пунктів за радіосигналами спеціальних штучних супутників Землі. З кожного такого супутника постійно випромінюються радіосигнали, які містять інформацію про його координати в навколосемному просторі в даний момент часу. Приймаючи сигнали не менше 4-х супутників, що обертаються по різних орбітах, можна з високою точністю (до кількох сантиметрів) визначити координати будь-якого пункту в будь-якій точці земної кулі. Невід'ємною частиною супутникових систем є спеціальні приймачі, котрі містять вмонтовані мікропроцесори, які за прийнятими радіосигналами обчислюють координати пункту спостережень. Такі системи називаються навігаційними. Перевага супутникового способу полягає у незалежному визначенні координат окремих пунктів, тому мережі виходять однорідними (однаковими) за точністю.

Інерційні способи ґрунтуються на використанні спеціальних приладів: інерційних геодезичних систем. Основними блоками цих систем є акселерометри, пристрої для визначення прискорень у напрямку трьох координатних осей, що виникають при переміщенні приладу. Знаючи час і прискорення, можна визначити проекцію вектора переміщення на координатні осі. Підсумовуючи переміщення за допомогою інтеграторів, визначаються приріст координат в кожній поточній точці шляху переміщення приладу відносно деякого початкового пункту. Точність визначення координат у даному способі зменшується відповідно віддалення від початкового (вихідного) пункту.

Методи побудови планових опорних геодезичних мереж

До традиційних методів, які використовуються на протязі значного часу слід віднести методи тріангуляції, трилатерації, полігонометрії та їх сполучення.

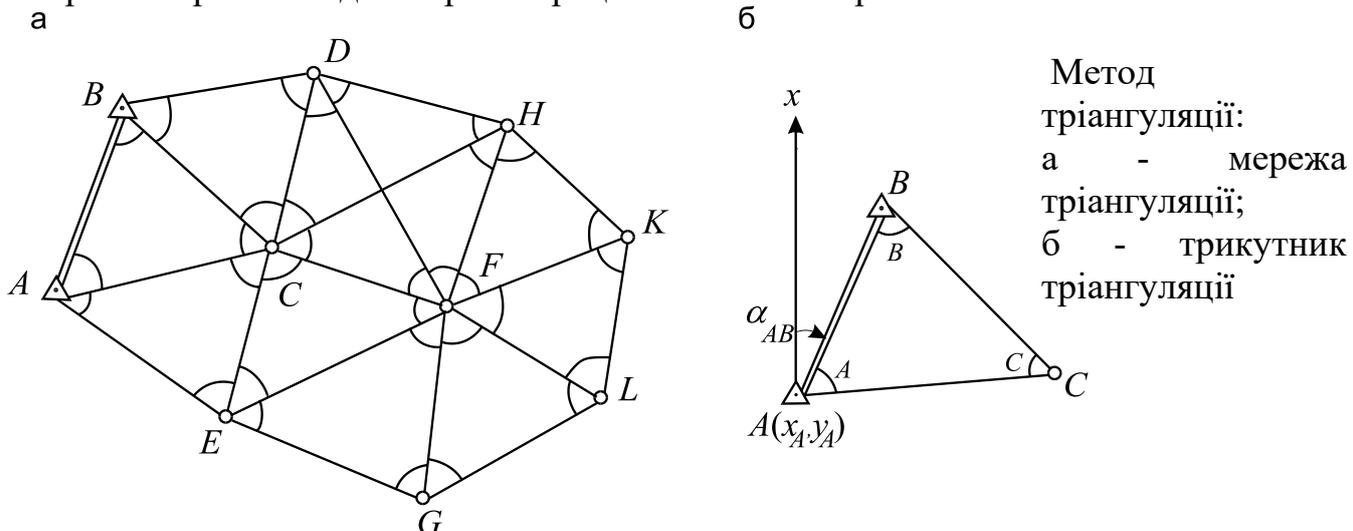
Метод тріангуляції полягає в тому, що на місцевості закріплюють пункти

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 17/ 48 |

так, щоб утворювались трикутники (рис.5.1а). В даних трикутниках вимірюються всі кути. Якщо відомі координати хоча б одного пункту, наприклад А (рис.5.1б), довжина сторони АВ і дирекційний кут α_{AB} цієї сторони, кути А,В,С то за теоремою синусів можна обчислити довжини інших сторін, а потім координати пункту С.

Послідовно вирішуючи всі трикутники тріангуляції, обчислюють довжини та дирекційні кути всіх сторін і координати всіх пунктів. Координати вихідних пунктів визначають астрономічним шляхом, або вибирають з побудованих мереж вищого класу. Довжину вихідної сторони, яку називають базисною, вимірюють з високою точністю радіо- або світловіддалемірами.

Метод тріангуляції найстаріший, але й до останнього часу є найбільш вигідним способом побудови опорних геодезичних мереж. Це пов'язано з тим, що точне вимірювання віддалі було найбільш трудомістким і дорогим в геодезичній практиці. З початку 60-х років нашого століття в геодезичну практику широко впроваджуються нові прилади для вимірювання віддалей: радіо- і світловіддалеміри. Вони дозволяють виміряти на місцевості значні віддалі з високою точністю. У зв'язку з цим стала розвиватися побудова опорних мереж методами трілатерації і полігонометрії.



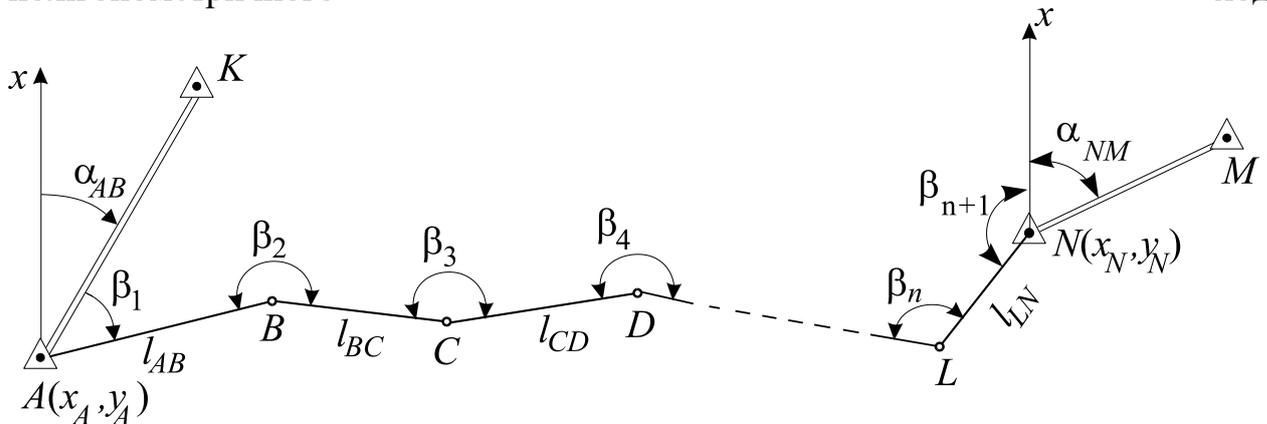
Метод трілатерації. Пункти на місцевості закріплюються так само, як і в тріангуляції, тобто утворюється система трикутників, але в трикутниках вимірюються тільки довжини усіх сторін. Вирішуючи трикутники за теоремою косинусів, обчислюють усі кути трикутників. Маючи довжини усіх сторін і кути трикутників, розв'язують прямі геодезичні задачі і визначають координати всіх пунктів, як і в мережі тріангуляції.

Метод полігонометрії полягає в побудові на місцевості ламаних ліній (рис.5.2). В полігонометричних ходах вимірюються довжини сторін l_{AB} , l_{BC} , l_{CD} і т.д., кути повороту β_1 , β_2 , ... β_n . За вимірними кутами і сторонами, маючи координати вихідної точки А і дирекційний кут вихідного напрямку α_{AB} , обчислюють дирекційні кути всіх сторін і координати вершин

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 18/ 48 |

полігонометричного

ходу.



Метод полігонометрії

Для вимірювання довжин сторін полігонометричних ходів застосовують світло- і радіовіддалеміри, оптико-механічні віддалеміри, сталі і інварні дроти, стрічки та рулетки.

Загальні принципи побудови державних геодезичних мереж

Державна геодезична мережа є головною геодезичною основою топографічних зйомок усіх масштабів і повинна задовольняти вимоги народного господарства і оборони країни при розв'язуванні відповідних наукових та інженерно-технічних задач. Для цього на всій території країни необхідно мати систему геодезичних пунктів, координати яких обчислені в єдиній системі.

Основу планової державної мережі складали ряди трикутників триангуляції 1 класу. Вони переважно прокладалися за напрямками меридіанів і паралелей, утворюючи замкнені полігони (рис.5.9).

Ряди розміщувалися в середньому через 200 км. Периметри полігонів 800-1000 км. Типовою фігурою, з якої побудовані ряди триангуляції 1 класу є трикутник, близький до рівностороннього, з довжинами сторін 20-25км.

В перетинах рядів триангуляції вимірюються базисні сторони (рис.5.9). На обох кінцях базисних сторін (у вершинах полігонів) з астрономічних спостережень визначають широти і довготи пунктів, а також астрономічний азимут базисної сторони. Такі пункти називаються пунктами Лапласа.

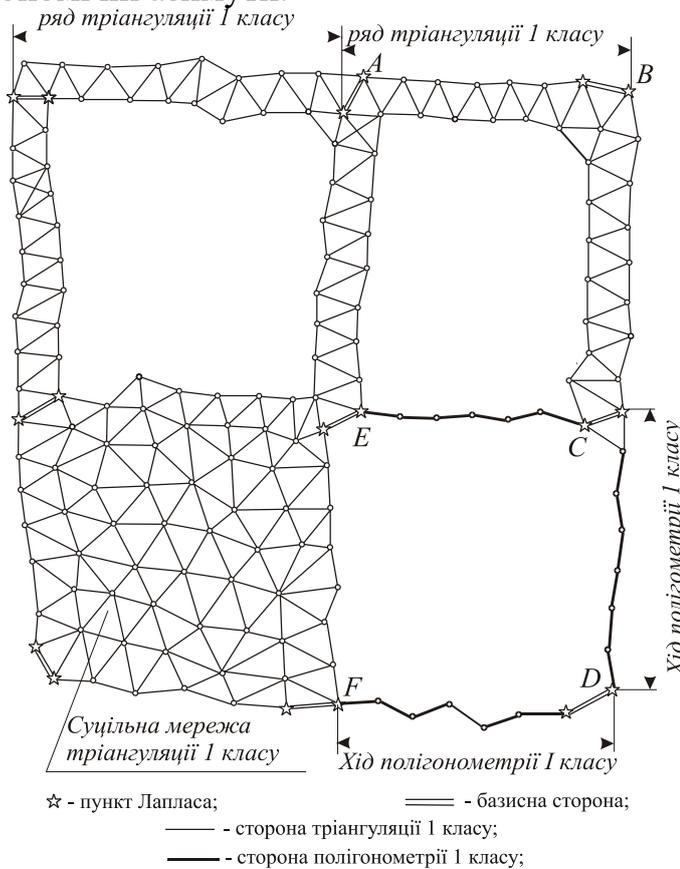
В окремих районах, якщо це доцільно, замість полігонів, творених ланками, може будуватися суцільна мережа триангуляції 1 класу. Базисні сторони і пункти Лапласа повинні розміщуватись в цьому випадку не рідше, ніж через 10 сторін.

Всередині полігонів 1 класу будували суцільну мережу триангуляції 2 класу. Вона є основною мережею, що служить для розвитку подальшого згущення геодезичних мереж і геодезичної основи усіх топографічних зйомок. Трикутники мережі 2 класу мали довжини сторін - 7-20км. Базисні сторони і пункти Лапласа в триангуляції 2 класу розміщувалися рівномірно, не рідше, ніж

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 19/ 48 |

через 25 трикутників, причому одна з базисних сторін розміщується приблизно всередині полігону 1 класу.

Триангуляція 3 і 4 класів була подальшим згущенням державної геодезичної мережі. Пункти визначали відносно пунктів вищих класів. В окремих випадках, при відсутності мереж 1 і 2 класів допускалося створення самостійних мереж 3 і 4 класів на площі не більшій 3000км². В таких мережах вимірювалось не менше двох базисних сторін, розміщених одна від одної не рідше ніж через 20-25 трикутників. Для орієнтування таких мереж визначалися астрономічні азимуту.



Принципова схема
побудови астрономо-
геодезичної мережі 1
класу

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 20/ 48 |

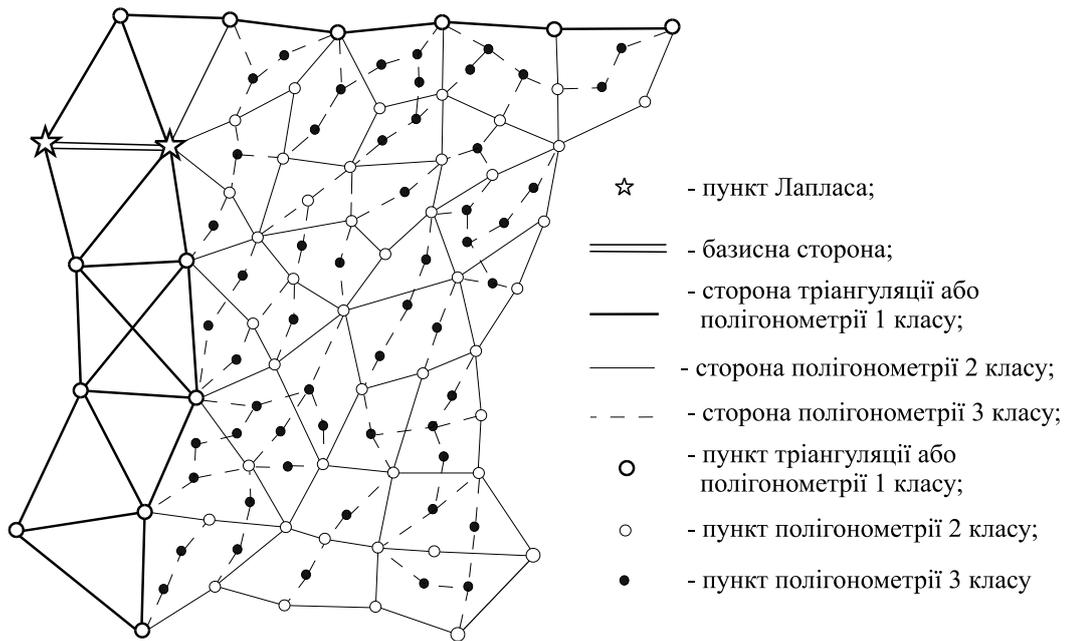


Схема мережі полігонометрії 2 і 3 класів

Основні показники планових державних геодезичних мереж

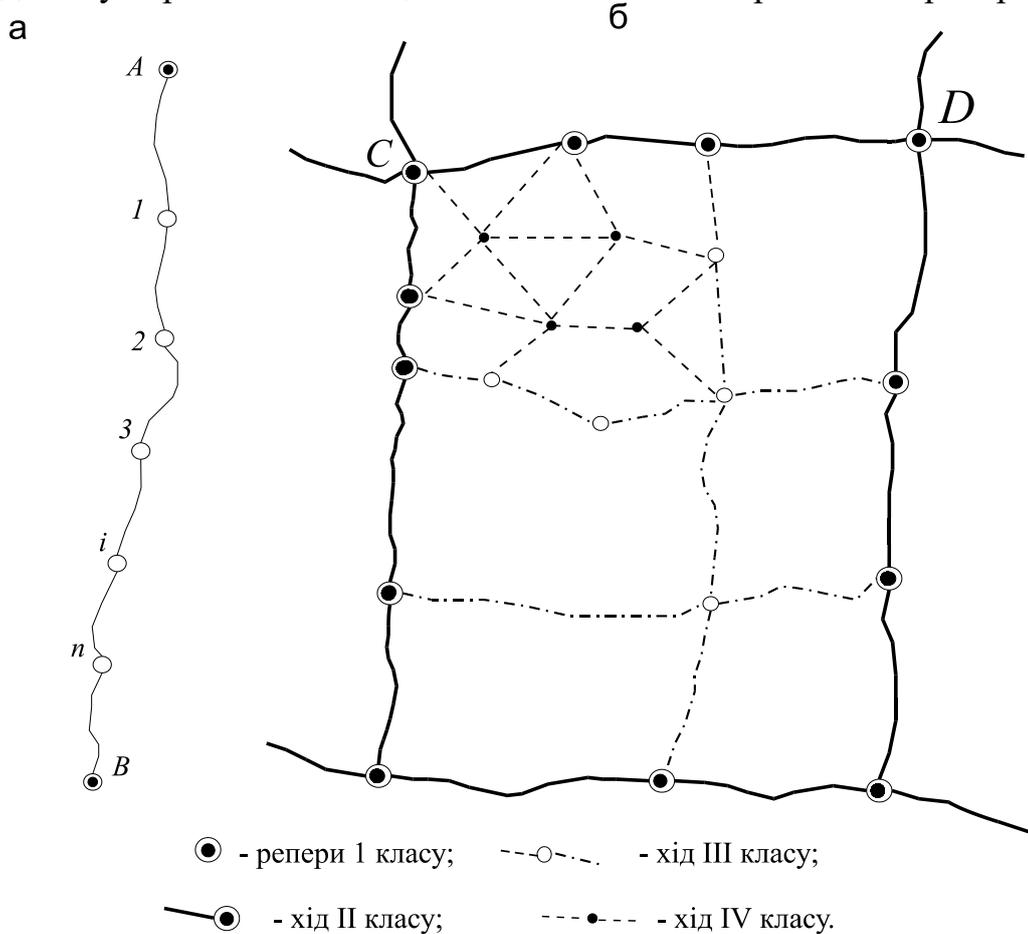
| Клас | Довжина сторін, км | Середня квадратична похибка вимірювання кутів, сек | Відносна похибка вимірювання сторін |
|--|--------------------|--|-------------------------------------|
| Тріангуляція | | | |
| 1 | 20 - 25 | 0.7 | 1:400 000* |
| 2 | 7 - 20 | 1.0 | 1:300 000* |
| 3 | 5 - 8 | 1.5 | 1:200 000* |
| 4 | 2 - 5 | 2.0 | 1:200 000* |
| Полігонометрія | | | |
| 1 | 8 - 30 | 0.4 | 1:300 000 |
| 2 | 5 - 18 | 1.0 | 1:250 000 |
| 3 | 3 - 10 | 1.5 | 1:200 000 |
| 4 | не менш ніж 0.25 | 2.0 | 1: 150 000 |
| Трилатерація | | | |
| 3 | 5 - 8 | - | 1:100 000 |
| 4 | 2 - 5 | - | 1: 40 000 |
| * - відносна похибка вимірювання базисних сторін | | | |

Під державною висотною мережею розуміють систему розміщених на всій

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 21/ 48 |

території країни та надійно закріплених на місцевості геодезичних пунктів (реперів), висоти яких визначені в єдиній системі від одного вихідного пункту, прийнятого за початок відліку висот.

Висоти пунктів державної висотної мережі визначають методом геометричного нівелювання. Нівелірна мережа складається із нівелірних ходів. Нівелірний хід (рис.5.11а) створюється шляхом послідовної передачі висот від початкового вихідного пункту А по проміжних пунктах 1,2,3,..,і,..,n до кінцевого вихідного пункту В. Пункти нівелювання закріплюються на місцевості в середньому через 5-6 км спеціальними знаками: марками або реперами.



Нівелірні ходи та мережі:
а - поодинокий хід; б - нівелірна мережа;
1 - репері I класу; 2 - хід II класу; 3 - хід III класу; 2 - хід IV класу

Тема 6. Вимірювання кутів

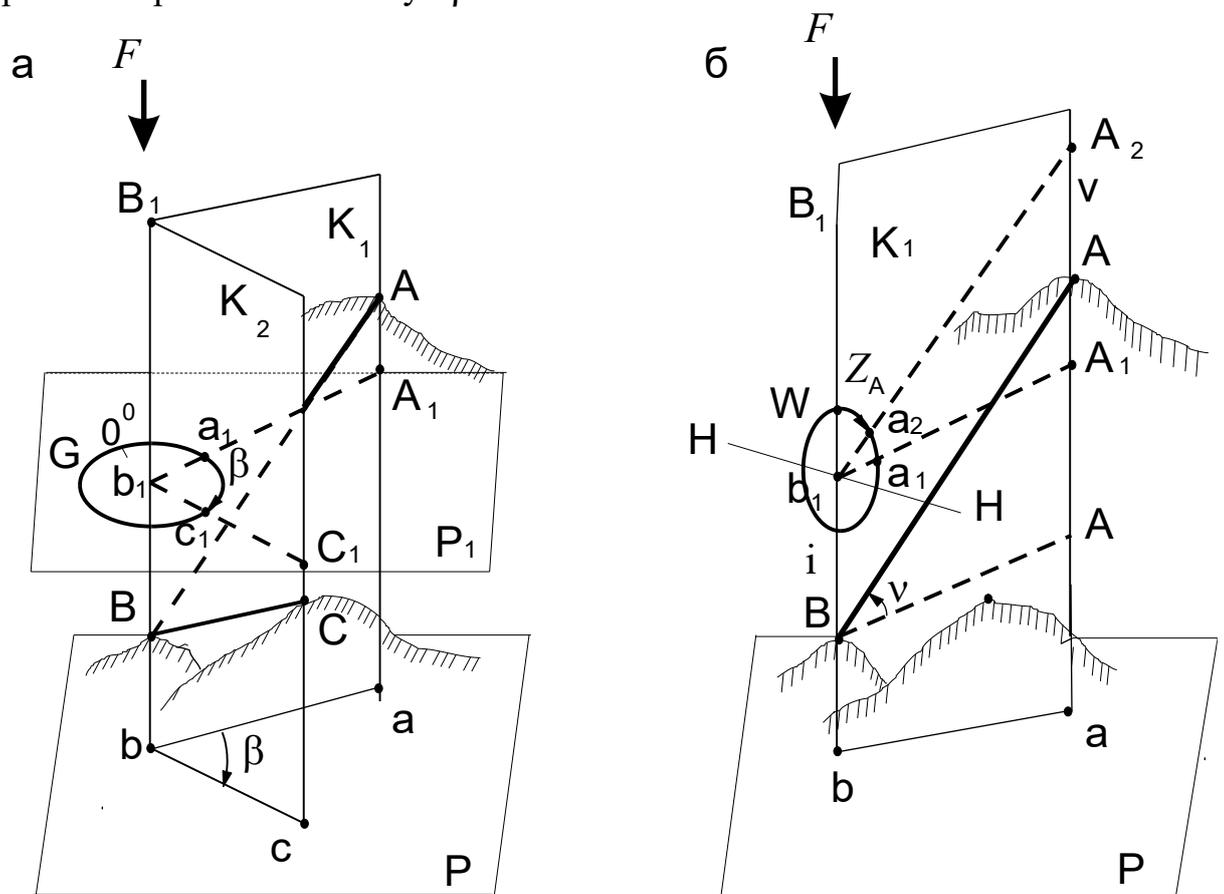
Принцип кутових вимірювань і схема теодоліта. Класифікація теодолітів. Конструкція теодоліта технічної точності. Перевірки теодолітів серії Т-30. Способи вимірювання горизонтального кута. Вимірювання кутів нахилу. Джерела похибок кутових вимірювань.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 22/ 48 |

Принцип кутових вимірювань і схема теодоліта

Кутові вимірювання на місцевості пов'язані з прямою лінією, що проходить через вершину вимірюваного кута. Для побудови планів і карт застосовуються не самі кути між лініями, а проєкції кутів на горизонтальну і прямокутну площину (див. підрозділ 1.6).

Нехай на місцевості необхідно виміряти кут ABC між лініями BA і BC (рис.6.1а). Проведемо через ці лінії прямокутні площини K_1 і K_2 , які перетинаються по прямокутній лінії BB_1 , що проходить через вершину кута. Площини двогранного кута, перетинаючись з рівневою поверхнею P , утворюють горизонтальний кут β .



Геометрична схема кутових вимірювань

Кут можна отримати, якщо двограний кут перетнути горизонтальною площиною P_1 у довільній точці b_1 прямокутної лінії BB_1 . Якщо у площині P_1 помістити кутомірний круг G і сумістити його центр з прямокутною лінією, то можна виміряти величину горизонтального кута β .

Отже, для вимірювання горизонтального кута β між лініями на місцевості необхідно побудувати дві прямокутні площини K_1 і K_2 . Можна обмежитися однією прямокутною площиною, яка обертається навколо прямокутної лінії BB_1 , що проходить через вершину B вимірюваного кута.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 24/ 48 |

математичні умови принципу кутових вимірювань.

Теодоліт під час кутових вимірювань, як правило, встановлюється на штативі 1, який складається з металевої верхньої частини - головки і трьох розсувних змінної довжини ніжок 2. Становим гвинтом 3 теодоліт прикріплюється до головки штатива. На гвинті є центрований гачок 4, до якого підвішується нитковий висок. За допомогою виска центрують теодоліт над вершиною вимірюваного кута.

Вісь обертання ZZ теодоліта встановлюється у прямовисне положення за циліндричним рівнем 5 (LL - вісь рівня) за допомогою трьох підйомних гвинтів 6 підставки теодоліта 7 (нижня частина теодоліта). Горизонтальний кутомірний круг називається лімбом, він розміщується в площині ГК, яка стає горизонтальною при прямовисному положенні осі ZZ.

Візування на точки здійснюється зоровою трубою, яка обертається навколо горизонтальної осі, втулки якої розміщені в колонках укріплених на алідаді. Для точного наведення і фіксування осі візування труба має закріпний 10 і навідний 11 гвинти.

Вертикальний кутомірний круг 12 розміщений у площині ВК на одному з кінців осі. Він теж складається з лімба та алідади.

При вимірюванні кута β обертанням алідади теодоліта і зорової труби послідовно наводять вісь візування на точки А і С місцевості, при цьому колімаційна площина послідовно проходить через сторони ВА і ВС вимірюваного кута. При кожному суміщенні осі візування з вершиною кута беруть відліки за поділками лімба горизонтального круга за допомогою відлікового мікроскопа 13.

Таким чином, щоб теодолітом можна було виміряти горизонтальний кут, між його геометричними осями повинні виконуватися такі основні умови:

- вісь циліндричного рівня LL повинна бути перпендикулярною до осі обертання ZZ;
- вісь візування VV повинна бути перпендикулярною до осі обертання труби НН;
- вісь обертання НН труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання ZZ.

Для вимірювання горизонтального кута теодоліт центрують над його вершиною А нитковим виском або зоровою трубою. На точках В і С встановлюють візирні цілі: віхи, шпильки, марки тощо.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 25/ 48 |

Прилад приводять у робоче положення.

Вимірювання кута β починаючи з наведення зорової труби на точку В при положенні вертикального кута КЛ.

Перед спостереженнями необхідно домогтися чіткого зображення сітки ниток, обертаючи окулярне діоптрійне, і чіткого зображення візирної цілі обертанням фокусувального гвинта

При закріпленому горизонтальному крузі (лімбі) відкріплюють закріпний гвинт алідади і наводять зорову трубу на т. В за допомогою коліматорного прицілу. Для точного наведення сітки ниток на точку (візирну цілі) користуються навідними гвинтами алідади і зорової труби. Відлічують горизонтальний круг і записують відлік у польовий журнал.

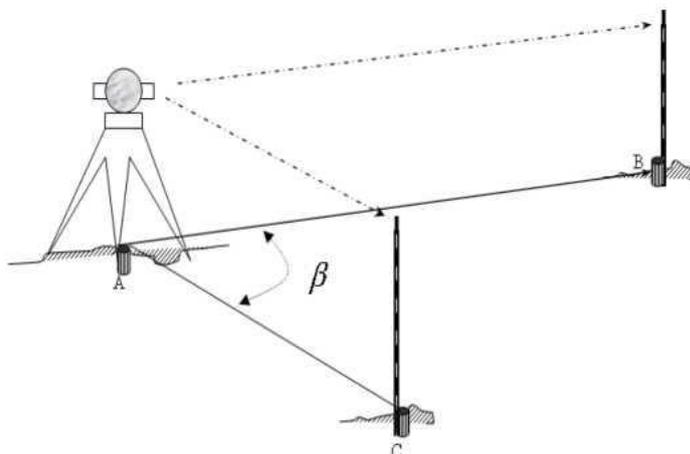
Відкріпивши алідаду наводять зорову трубу на т. С. При цьому горизонтальний круг (лімб) залишається закріпленим. Знову відлічують відліковий пристрій і записують результат.

Описані дії складають перший півприйм вимірювання горизонтального кута.

Після цього зорову трубу переводять через zenit.

При закріпленій алідаді відкріплюють закріпний гвинт лімба і, повертаючи верхню (алідадну) частину приладу, змінюють положення лімба, приблизно, на декілька градусів. Закріплюють лімб, відкріплюють алідаду і при іншому положенні вертикального круга КП знову наводять зорову трубу на т. В. Відлік записують в журнал

Відкріпивши алідаду візують на т. С і знову беруть відлік. Таким чином, закінчують другий півприйм вимірювання кута.



Обидва півприйоми складають повний прийом.

Обчислення в журналі виконують в наступній послідовності:

- Обчислюють значення кута β в півприйомах
- Якщо різниця значень β і β' не перевищує допуск $1'$, обчислюють середнє значення кута $\beta_{сер.}$, яке приймають за остаточне.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 26/ 48 |

Тема 7. Лінійні вимірювання

Мірні стрічки й рулетки. Вимірювання довжин ліній стрічками. Приведення до горизонту довжини похилої лінії. Джерела похибок лінійних вимірювань. Оптичні віддалеміри. Електрооптичні способи вимірювання віддалей.

В інженерно-геодезичних роботах лінійні вимірювання виконують мірними стрічками, рулетками, нитковим та оптичним віддалемірами, електронними тахеометрами. Для топографо-геодезичних та вишукувальних робіт часто застосовується землемірна стрічка і рулетка, а також лазерні рулетки.

Перед початком лінійних вимірювань проводять компарування стрічок та рулеток. За еталон або компаратор приймають відрізки ліній на місцевості або в лабораторії, довжини яких відомі з високою точністю, близько 1 : 100 000. Знаючи точну довжину компаратора L_0 і вимірявши його довжину L за допомогою стрічки (рулетки), що перевіряється, визначають поправку за компарування Δl_k та дійсну довжину l стрічки (рулетки):

$$\Delta l_k = \frac{L_0 - L}{n}, \quad 1)$$

$$l = l_0 + \Delta l_k, \quad 2)$$

де n – кількість укладень стрічки, l_0 – номінальна довжина стальної стрічки.

Якщо вимірювання лінії не буде виконуватись в створі (тобто не по прямій, а по ламаній лінії), тоді виміряна довжина лінії буде більша за дійсну, оскільки ламана лінія завжди довша за пряму. Лінію між точками місцевості вимірюють в прямому та зворотньому напрямках.

Довжина лінії, що виміряна стрічкою, обчислюється за формулою

$$S = n \cdot l_0 + r, \quad 3)$$

де n - кількість укладень стрічки; l_0 - номінальна довжина стальної стрічки;

r - довжина доміру (залишок).

Якщо довжина стрічки відрізняється від номіналу l_0 , то вводять поправку за компарування стрічки Δl_k . В такому випадку довжина лінії обчислиться за формулою

$$S = n(l_0 + \Delta l_k) + \frac{\Delta l_k}{l_0} \cdot r + r + \Delta S_t, \quad 4)$$

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 27/ 48 |

де ΔS_t - поправка у виміряну довжину лінії за різницю температур при компаруванні і вимірюванні лінії, яка обчислюється за формулою

$$\Delta S_t = \alpha(t_{\text{середн.}} - t_{\text{к}})S, \quad 5)$$

де $\alpha = 0,0000125$ - коефіцієнт лінійного розширення сталі; $t_{\text{середн.}}$ - середня температура, при якій проводились виміри; $t_{\text{к}}$ - температура при компаруванні стрічки; S - довжина лінії без введення поправок за компарування. ΔS_t вводиться тільки тоді, коли різниця $t_{\text{середн.}} - t_{\text{к}} \geq 8^{\circ} \text{C}$.

Як відомо, на місцевості вимірюють похилу лінію S . Для побудови плану використовують її горизонтальне прокладення d , тобто її проекцію на горизонтальну площину. Щоб визначити горизонтальну проекцію лінії місцевості, необхідно виміряти кут нахилу v . Тоді

$$d = S \cdot \cos v, \quad 6)$$

Тема 8. Вимірювання перевищень

Вимірювання перевищень. Види івелювання. Геометричне нівелювання. Нівеліри. Типи нівелірів. Нівеліри з циліндричним рівнем. Нівеліри з компенсатором. Нівелірні рейки. Перевірки нівеліра. Методика технічного нівелювання. Джерела похибок геометричного нівелювання. Тригонометричне нівелювання. Вплив кривизни Землі та рефракції на результати нівелювання. Зрівнювання висотних мереж зйомочної основи. Складання поздовжнього профілю. Нівелювання траси і поперечників.

Перевищенням називають різницю висот точок земної поверхні або будівельних конструкцій.

Перевищення можна обчислити за різницею позначок точок з карти, плану чи будівельних креслень. На місцевості перевищення між заданими точками визначають за допомогою нівелювання.

Нівелювання необхідне для створення висотної основи топографічних зйомок, вивчення форм рельєфу і визначення різниці висот точок під час топографічних зйомок, проектування, будівництва та експлуатації різноманітних споруд і будівель. Результати нівелювання мають важливе значення для розв'язування наукових і практичних задач з геодезії.

Існує нівелювання геодезичне та астрономічне.

Астрономічне нівелювання має на меті визначення за ухиленнями прямовисної лінії висот точок земної поверхні або поверхні квазігеоїда ("нібито; майже" геоїда) над реферанс- еліпсоїдом чи поверхнею рівневого еліпсоїда. Поверхня квазігеоїда збігається з поверхнею геоїда на морях і океанах і близька до неї на материках.

В інженерній геодезії застосовують лише методи геодезичного нівелювання:

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 28/ 48 |

- геометричне – використовується принцип горизонтальності візирного променя зорової труби;
- тригонометричне – використовується принцип нахилоного променя зорової труби;
- гідростатичне – ґрунтується на властивості вільної поверхні рідини у сполучених посудинах – знаходиться на однаковому рівні;
- барометричне – ґрунтується на залежності зміни атмосферного тиску від зміни висоти точки;
- автоматичне – використовується принцип перетворення похилого вектора переміщень приладу на вертикальні складові за допомогою спеціальних приладів (велосипеди, автомобілі і т.ін.);
- стереофотограмметричне – ґрунтується на вимірюванні перевищень за моделлю об'єкта, отримуємо в результаті розглядання стереопари фотознімків місцевості.

В інженерно-будівельній справі переважно використовується геометричне, тригонометричне та гідростатичне нівелювання.

Інструменти для вимірювання перевищень

Для геометричного нівелювання використовують нівеліри, нівелірні рейки, штатив, костилі, башмаки.

Нівелір (від нім. *nivellieren* – вирівнювати) – це оптико- механічний прилад – висотомір для побудови у просторі горизонтального променя.

Види та класифікація нівелірів за конструкцією та точністю

За конструкцією та способом устанавлення горизонтально візирного променя нівеліри поділяють на:

- нівеліри з циліндричним рівнем біля зорової труби;
- нівеліри з компенсатором для автоматичного встановлення візирної осі зорової труби в горизонтальне положення;
- електронні.

Залежно від точності нівеліри поділяють на три групи:

- високоточні – типу Н-05, Н-1, Н-2;
- точні – типу Н-3, Н-3К, Н-3КЛ;
- технічні – типу Н-10;

Літера Л – нівелір з лімбаом;

Літера К – нівелір з компенсатором;

Літери КЛ – нівелір з компенсатором і лімбаом.

Будова нівелірів

Основною ознакою нівелірів є те, що візирний промінь, який ним задається, має бути горизонтальним, тобто в ньому має бути пристрій для горизонтального устанавлення візирного променя. За способом устанавлення горизонтального візирного променя нівеліри бувають з компенсатором і рівневі.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 29/ 48 |

У рівневих нівелірах для горизонтального устанавлення візирного променя є циліндричний рівень. Звідси випливає найважливіша умова для нівелірів точного типу – паралельність осей циліндричного рівня і візирного променя.

Нівелірні рейки, костилі та башмаки

Робочими мірами для вимірювання перевищень є нівелірні рейки. Відповідно до стандарту ГОСТ 10528-90, випускають три типи рейок: РН-05; РН-3; РН-10. Шифр “РН” означає “рейка нівелірна”, а число вказує на середню квадратичну похибку вимірювання перевищень на 1 км подвійного ходу.

Костиль – металевий стрижень з загостреним кінцем з одного боку і зі сферичною поверхнею з іншого, на яку устанавлюють нівелірну рейку. Щоб не пошкодити сферичну поверхню, на нього надівають ковпак.

Башмак – товста кругла або трикутна металева пластина на трьох ніжках з одного боку, а з іншого – прикріплений металевий стрижень зі сферичною поверхнею, на який встанавлюють нівелірну рейку.

Нівелірні знаки

Нівелірні ходи всіх видів нівелювання через певні відстані закріплюють на місцевості постійними, або тимчасовими знаками. До постійних відносять стінні марки, стінні і ґрунтові репери (рис. 4.8).

Стінні марки (рис. 4.8, а) і репери (рис. 4.8, б) закріплюють цементним розчином у кам’яні або бетонні основи (цоколь) різноманітних фундаментальних споруд, побудованих не менше, ніж за 2-а роки. Висоту марки визначають для центра отвору диска, а висоту репера – для вершини кутового виступу. Якщо в районі нівелірних робіт відсутні будівлі та споруди, то влаштовують закладання ґрунтових реперів, що є відрізками металевих труб, або арматурних стрижнів, які встанавлюють у бетонний моноліт (рис. 4.8, в).

Нижня частина репера, що називається якорем, має знаходитися на 50 см нижче межі промерзання ґрунту для даної місцевості, щоб не було підняття репера.

Стінні марки і репери дозволяють нівелювати не раніше, ніж через троє діб після їх закладання, а фундаментальні і ґрунтові репери не раніше, ніж через 10 днів після засипання котловану.

У процесі виконання нівелірних робіт користуються іноді тимчасовими реперами, в якості яких мажуть бути дерев’яні стовпи, пеньки спиляних дерев, металеве обрамлення водопровідних і каналізаційних колодязів, анкерні болти та інші виступаючі частини металевих і залізобетонних конструкцій.

Тема 9. Тахеометрична зйомка місцевості

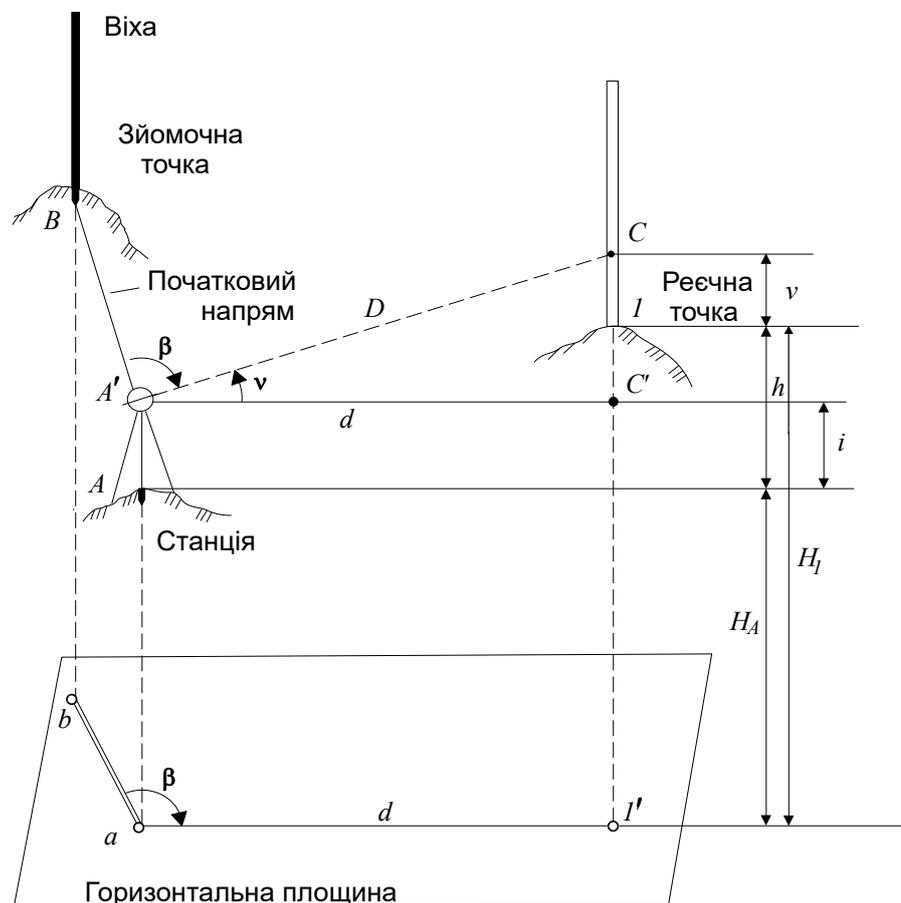
Суть та сфера застосування тахеометричної зйомки. Основні формули тахеометричної зйомки. Прилади для тахеометричної зйомки. Робота на станції тахеометричної зйомки. Складання плану тахеометричної зйомки.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 30/ 48 |

Тахеометрія (від грецької: tachys - швидкий і metric - вимірюю) - це один з видів топографічної зйомки, коли спільно визначають планове і висотне положення точок місцевості, що знімаються. Вимірювання виконують теодолітами - тахеометрами.

Станція - це точка, над якою встановлений прилад. Точка, положення якої визначається під час зйомки за встановленою на ній тахеометричною рейкою, називають рейковою точкою зйомочним пікетом

Суть тахеометричної зйомки полягає в тому, що зі станції одночасно визначають три просторові полярні координати: горизонтальний кут β , який відраховується за лімбом горизонтального круга, вертикальний кут (кут нахилу) V , який відраховується за лімбом вертикального круга, і віддаль D від станції до рейкової точки, що вимірюється віддалеміром.



Геометричні елементи тахеометричної зйомки

Горизонтальне прокладення d і перевищення h обчислюють. При застосуванні електронних та номограмних тахеометрів горизонтальне прокладення і перевищення (висота точки) можуть бути отримані безпосередньо на станції. Метод тахеометрії передбачає, що шукані точки місцевості є доступними для встановлення тахеометричної рейки.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 31/ 48 |

Зйомочна основа тахеометричної зйомки є топографічною, тобто положення зйомочних точок визначено трьома координатами X, Y та H. Планове положення цих точок визначається прокладанням теодолітних ходів, геодезичними засічками та ін.. Висотне положення зйомочних точок визначається геометричним нівелюванням технічної точності або тригонометричним нівелюванням.

Під час тахеометричної зйомки щільність пунктів зйомочної мережі повинна забезпечувати можливість прокладення тахеометричних ходів.

Теодолітні ходи, висоти вершин яких визначаються тригонометричним нівелюванням, називаються тахеометричними.

При зйомці у масштабі 1:1000 їх максимальна довжина не повинна перевищувати 300 м, максимальне число ліній - не більше 3. Сторони тахеометричних ходів можуть бути виміряні мірними стрічками і віддалемірами. При зйомці у масштабі 1:500 лінії вимірюють мірними стрічками.

Кути в тахеометричних ходах вимірюють одним повним прийомом. При цьому кутові нев'язки у тахеометричних ходах не повинні перевищувати :

$$f_{\beta_{\text{доп.}}} = 1' \sqrt{n}$$

де n - кількість кутів у ході.

Допустимі лінійна $f_{l_{\text{доп.}}}$ і висотна $f_{h_{\text{доп.}}}$ нев'язки визначаються за формулами:

$$f_{l_{\text{доп.}}} = \frac{P}{4\sqrt{N}}, \text{ м};$$

$$f_{h_{\text{доп.}}} = \frac{0.04P}{\sqrt{N}}, \text{ м},$$

де P - довжина ходу в сотнях метрів; N - число ліній в ході.

Тахеометрична зйомка застосовується: як основний вид топографічної зйомки в крупних масштабах (1:5000 - 1:500); для зйомки невеликих ділянок, вузьких смуг місцевості під час вишукувань залізниць та автомобільних шляхів, високовольтних ліній передач, трас трубопроводів і т.п. Тахеометрична зйомка застосовується у поєднанні з іншими методами топографічної зйомки: наземної та повітряної стереотопографічної, теодолітної, мензульної та ін.

12.2 Основні формули тахеометричної зйомки

Планове положення рейкової точки (рис.12.1) визначається плоскими полярними координатами β та d, а висотне положення визначається за формулою:

$$H_i = H_A + h,$$

де H_A - висота станції; h - перевищення пікетної точки I над станцією A і

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 32/ 48 |

обчислюється за формулою тригонометричного нівелювання (8.25):

$$h = dtgv + i - v,$$

де i - висота теодоліта, v - висота візування на рейці; d - горизонтальне прокладення віддалі $A'C'$ до пікетної точки 1.

Планове положення рейкової точки у прямокутній системі координат може бути обчислене за формулами прямої геодезичної задачі (див. підрозділ 10.2), або визначається графічно на плані за кутом β і віддалю d .

Кути при тахеометричній зйомці вимірюють при одному положенні вертикального круга, при крузі ліво (КЛ). Горизонтальні кути визначають відносно початкового напрямку $A'B$, з яким суміщають нуль горизонтального круга тахеометра. Значення горизонтальних кутів округлюють до $10'$, кутів нахилу - до $1'$.

Віддалі до рейкових точок можуть бути виміряні безпосередніми та непрямыми методами. При тахеометричній зйомці віддалі визначають за допомогою ниткового чи номограмного віддалеміра, або світловіддалеміра.

При горизонтальному розміщенні осі візування зорової труби віддаль D по нитковому віддалеміру визначається за допомогою формули (7.11) (див. параграф 7.5):

$$D = kl + c,$$

де l - відрізок на рейці між штрихами віддалеміра (відлік за віддалеміром); k і c - відповідно коефіцієнт і постійний додаток віддалеміра.

У сучасних зорових трубах з внутрішнім фокусуванням постійний додаток c практично дорівнює нулю, тому шукана віддаль визначається з виразу:

$$D = kl.$$

Якщо відлік l по рейці становить n (см), а коефіцієнт віддалеміра дорівнює 100, то віддаль в метрах дорівнює числу " n " у сантиметрах.

Отримана формула визначення віддалі нитковим віддалеміром справедлива тільки у випадку горизонтального візування, причому рейка перпендикулярна до візирної осі. В загальному ж випадку візирна вісь утворює з рейкою кут $A'SM$, відмінний від 90° (рис.12.2) і відрізок $l = MN$ між нитками віддалеміра на рейці не можна застосовувати у формулі (12.6).

Повернемо рейку на кут v навколо точки перетину S осі візування і прямовисно встановленої рейки. Тоді по відріжку $l' = M'N'$ між нитками віддалеміра за формулою (12.6) можна обчислити похилу віддаль

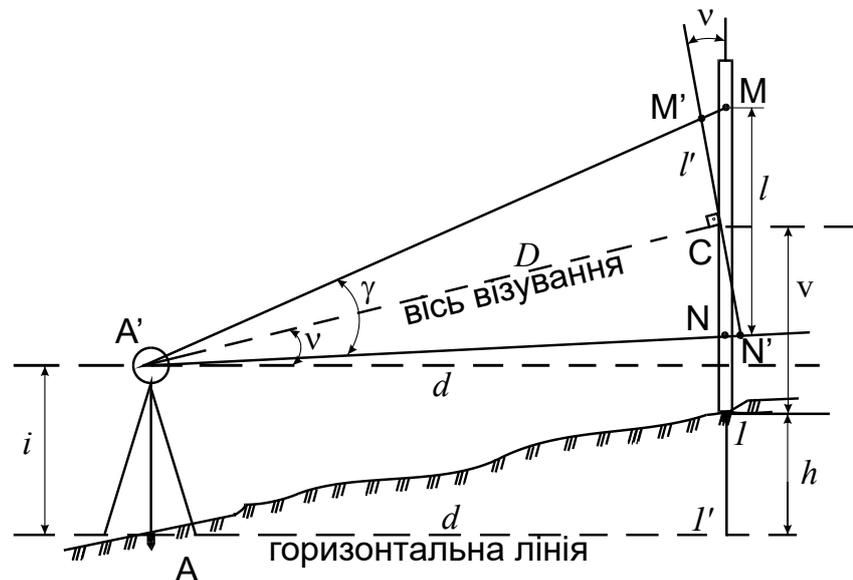
$$D = kl'.$$

Кут v між нитками віддалеміра менший $35'$, тому кути у трикутниках $M'MC$ та NCN' у вершинах M' і N' близькі до 90° . У цьому випадку з достатньою для практики точністю можна приймати, що

$$l' = l \cos v.$$

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 33/ 48 |

Похила віддаль D до рейки буде визначатися з виразу:



Визначення віддалі та перевищення

$$D = l \cos v.$$

З урахуванням формули, отримаємо вираз для обчислення горизонтального прокладення:

$$d = kl \cos^2 v.$$

Перевищення h точки I над точкою A з урахуванням формули (12.10) буде визначатися виразом:

$$h = kl \cos^2 v \operatorname{tg} v + i - v,$$

або

$$h = \frac{1}{2} kl \cos 2v + i - v.$$

Формули (12.10) і (12.11) є основними формулами тахеометричної зйомки під час вимірювання віддалей нитковим віддалеміром.

Горизонтальне прокладення d і перевищення h під час тахеометричної зйомки знаходять з спеціальних таблиць за аргументами l і v - відповідно різниця відліків за рейкою та кут нахилу.

Для виключення даного обчислювального процесу застосовують номограмні тахеометри, які дозволяють під час візування на рейкову точку за лініями сітки відраховувати горизонтальне прокладення і перевищення.

Це досягається за рахунок того, що віддаль між нитками сітки змінюється у відповідності з кутом нахилу осі візування. Причому коефіцієнт віддалеміра k залишається постійним за величиною.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 34/ 48 |

Тема 10. Мензульна топографічна зйомка

Мензульна топографічна зйомка. Прилади, які застосовуються при зйомці. Перевірки кіпрегеля КН. Перевірки мензули. Підготовка планшета. Установка мензули на станції.

Мензульна топографічна зйомка

Мензульна зйомка – це метод топографічної зйомки, що виконується безпосередньо на місцевості шляхом нанесення контурів і рельєфу на планшет за допомогою мензули та кіпрегеля.

Особливості методу:

Висока точність та оперативність отримання плану.

Використовується для створення топографічних карт, планів масштабів 1:5000 – 1:10000.

Поєднує графічний та аналітичний методи фіксації місцевості.

Прилади, які застосовуються при зйомці

Основні прилади, що використовуються в мензульній зйомці:

Мензула – спеціальний столик із закріпленим планшетом для безпосереднього нанесення об'єктів.

Кіпрегель (КН) – оптичний прилад, що дозволяє визначати кути, напрями та виконувати нівелювання.

Штатив – забезпечує стійкість приладу під час роботи.

Планшет з топографічним папером – для безпосереднього нанесення місцевості.

Перевірки кіпрегеля КН

Для забезпечення точності зйомки кіпрегель перевіряють за такими параметрами:

Коліматорна перевірка – перевіряється правильність установки сітки ниток у зоровій трубі.

Перевірка рівнів – контролюється правильність установлення рівнів для точності горизонтальних і вертикальних вимірювань.

Перевірка правильності положення вертикальної осі – перевіряється співвісність обертання зорової труби.

Тестування точності відліку по лімбу – перевіряється правильність роботи відлікових пристроїв.

Перевірки мензули

Перед використанням мензулу перевіряють за такими пунктами:

Горизонтальність столика – встановлення горизонтального положення за допомогою рівнів.

Закріплення планшета – правильне кріплення планшета, щоб уникнути зміщень під час роботи.

Фіксація в штативі – перевіряється жорсткість і стійкість установки.

Підготовка планшета

Підготовка основи – планшет виготовляють із щільного картону або

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 35/ 48 |

фанери.

Закріплення топографічного паперу – папір натягують і фіксують клеєм або кнопками.

Нанесення вихідних точок – закріплюються координатна сітка та основні точки опорної мережі.

Встановлення масштабу та орієнтування – планшет орієнтують на місцевості за допомогою компаса або відомих орієнтирів.

Установка мензули на станції

Встановлення штатива – надійно фіксується на місцевості.

Закріплення мензули – встановлюється горизонтально та фіксується на штативі.

Орієнтування планшета – виконується за допомогою компаса або відомих геодезичних точок.

Встановлення кіпрегеля – закріплюється на мензулі, перевіряється точність його положення.

Проведення контрольних вимірювань – здійснюється пробне знімання для перевірки правильності орієнтації.

Мензульна топографічна зйомка є ефективним методом польового картографування, що дозволяє оперативно створювати детальні топографічні плани. Правильне налаштування приладів та дотримання методики гарантує високу точність отриманих результатів.

Тема 11. Окомірна зйомка та барометричне нівелювання

Суть окомірної зйомки. Інструменти і прилади для окомірної зйомки. Визначення віддалей під час окомірної зйомки. Методика виконання окомірної зйомки. Загальні основи барометричного нівелювання. Прилади для барометричного нівелювання. Головні способи виконання барометричного нівелювання.

Окомірна зйомка – це метод топографічної зйомки, при якому контури місцевості наносяться безпосередньо в польових умовах на план або карту за допомогою окомірних спостережень та наближених вимірювань.

Особливості методу:

Виконується без складних геодезичних приладів.

Менш точна, ніж інструментальна зйомка, але швидша.

Використовується для створення схематичних планів, ескізів місцевості, попередніх досліджень.

Інструменти і прилади для окомірної зйомки

Компас – для орієнтування на місцевості.

Рулетка, вимірювальна стрічка – для вимірювання відстаней.

Лінійка, масштабна рейка – для перенесення вимірювань на планшет.

Планшет із топографічним папером – для нанесення контурів.

Бусоль – для вимірювання азимутів та румбів.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 36/ 48 |

Візерна рейка – допомагає оцінити відстані та зміни висот.

Визначення віддалей під час окомірної зйомки

Окомірне оцінювання – приблизне визначення відстаней на основі досвіду.

Вимірювання кроками – орієнтовне визначення відстаней шляхом підрахунку кроків.

За відомими розмірами об'єктів – порівняння розміру відомих об'єктів із відстанню.

За тригонометричними формулами – використання базового вимірювання та кутів нахилу.

За допомогою рулетки або далекоміра – точніші вимірювання в контрольних точках.

Методика виконання окомірної зйомки

Орієнтування планшету – встановлення напрямку північ-південь.

Вибір основних опорних точок – визначення реперних точок на місцевості.

Визначення напрямків та кутів – нанесення основних ліній.

Проведення окомірного вимірювання відстаней.

Нанесення рельєфу та контурів – умовне позначення форм рельєфу, водойм, доріг.

Остаточна обробка плану – уточнення деталей, перевірка правильності нанесення об'єктів.

Загальні основи барометричного нівелювання

Барометричне нівелювання – метод визначення висот точок місцевості на основі вимірювання атмосферного тиску.

Принцип дії:

Атмосферний тиск змінюється з висотою: чим вище точка, тим нижчий тиск.

Прилади для барометричного нівелювання

Барометр-анероїд – механічний прилад для вимірювання атмосферного тиску.

Альтиметр – портативний прилад для визначення висоти за тиском.

Електронні метеостанції – використовують датчики тиску та висоти.

Головні способи виконання барометричного нівелювання

Абсолютний метод – визначення висоти точки щодо рівня моря.

Диференційний метод – визначення різниці висот між двома точками.

Динамічний метод – застосовується для вимірювань у русі (наприклад, у літаках).

Комбінований метод – поєднання барометричного та геометричного нівелювання.

Окомірна зйомка використовується для швидкого складання планів місцевості з мінімальними приладами.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 37/ 48 |

Барометричне нівелювання є швидким способом визначення висот, але має похибки, пов'язані з атмосферними умовами.

Обидва методи є допоміжними в геодезичних дослідженнях і часто застосовуються для попередніх вимірювань.

Тема 12. Теодолітна зйомка

Теодолітна зйомка. Сутність теодолітної зйомки і вимоги до її виконання. Елементи ситуації, які підлягають зйомці. Методи виконання теодолітної зйомки. Камеральна обробка теодолітної зйомки.

Теодолітною зйомкою називається контурна зйомка місцевості, в результаті якої отримують план з зображенням елементів ситуації без рельєфу. При проведенні цієї зйомки кутові вимірювання виконуються теодолітами, лінійні - стальними стрічками і рулетками, віддалемірами або віддалемірними насадками.

Теодолітні зйомки частіше виконуються у масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500, рідше у масштабі 1:5000 і застосовуються в рівнинній місцевості, в умовах складної ситуації та під час зйомок забудованих територій (у населених пунктах, на будівельних майданчиках, на територіях різних підприємств).

Зйомочною основою для виконання теодолітних зйомок є точки теодолітних ходів, при цьому, як правило, зйомка виконується одночасно з прокладенням ходу.

Середні похибки в положенні на плані зображень предметів і контурів місцевості з чіткими контурами відносно найближчих точок зйомочної основи не повинні перевищувати 0.5 мм, а в гірських та лісних районах - 0.7 мм. Відповідно до інструкції зв'язок між середньою θ і середньою квадратичною m похибками виражається формулою:

$$m = 1.4\theta$$

Тому в залежності від масштабу зйомки вищевказані вимоги характеризуються середніми квадратичними похибками безпосередньо на місцевості, що наведені у табл.11.1.

Теодолітна зйомка супроводжується веденням схематичного креслення - абрису.

Абрис складається від руки в достатньо великому довільному масштабі. На ньому показують опорні пункти і лінії, з яких проводилась зйомка, розміщення місцевих предметів і контурів з пояснювальними написами (нива, дорога і т.д.) та результати вимірювань, зроблених під час зйомки.

Елементи ситуації, які підлягають зйомці

В залежності від масштабу плану одні й ті ж контури будуть мати різні розміри. Тому вимоги до об'єктів зйомки та її детальності змінюються в залежності від масштабу зйомки.

Зйомці у масштабах 1:5000 і крупніше підлягають об'єкти ситуації, які виражаються у масштабі плану і передбачені діючими умовними знаками [6].

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 38/ 48 |

До них належать:

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

Під час зйомок забудованих територій на планах показують межі кварталів забудови, усі будинки і споруди, житлові та не житлові, з зазначенням їх поверховості, призначення і матеріалу стін. На планах усіх масштабів обов'язково відображаються шляхи сполучення: залізничні, шосейні та ґрунтові дороги усіх видів і споруди на них (станції, мости, тунелі, переїзди, переправи, шляхопроводи, віадуки і т.п.).

Під час зйомки автомобільних доріг у масштабах 1:1000 - 1:500 на планах показують кілометрові та пікетажні стовпи, а у масштабах 1:2000 - 1:5000 - тільки кілометрові стовпи.

Для зображення водної мережі знімають берегову лінію морів, озер, рік, струмків, каналів з місцевими предметами і забудовою біля неї.

Методи виконання теодолітної зйомки

Зйомка ситуації полягає у вимірюваннях, які визначають положення контурів і окремих предметів ситуації на плані. Визначення положення може проводитися різними способами. Застосування того чи іншого способу залежить від конкретних умов місцевості.

Найчастіше застосовуються такі способи:

- перпендикулярів;
- полярний;
- прямих кутових засічок;
- лінійних засічок;
- обходу;
- створів.

Спосіб перпендикулярів (спосіб абсцис і ординат) застосовується при зйомці об'єктів ситуації, розміщених біля сторін теодолітного ходу. Положення точки визначається двома величинами

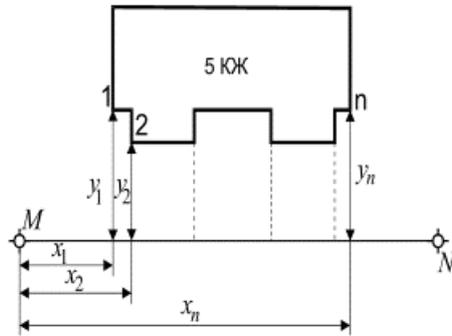
- віддалю по стороні теодолітного ходу від точки зйомочної основи - абсцисою x ;

- довжиною перпендикуляра, який побудовано з сторони теодолітного ходу до точки, що визначається, - ординатою y .

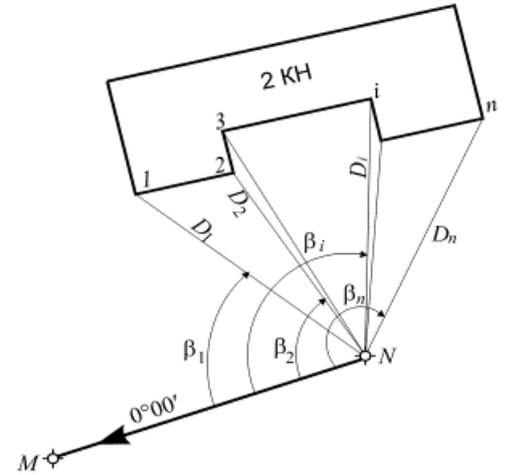
Полярний спосіб (спосіб полярних координат). Положення точки визначається кутом β_i , вимірним від сторони теодолітного ходу MN (яка приймається за полярну вісь) і віддаллю D_i , від точки теодолітного ходу, яка приймається за полюс (рис.11.8).

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 39/ 48 |

Спосіб перпендикулярів
(спосіб ординат)



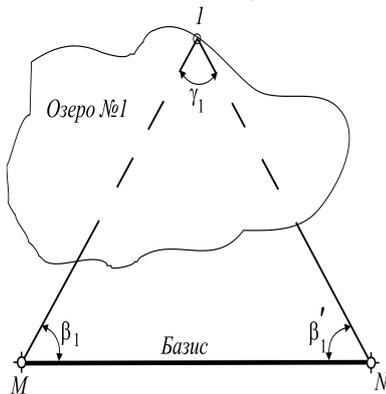
Полярний спосіб зйомки



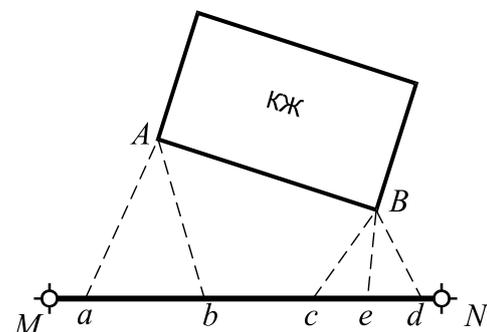
Спосіб кутових засічок Спосіб застосовується на відкритих ділянках, там, де неможливо проводити безпосереднє вимірювання віддалей від вершини теодолітного ходу до точки, яка знімається (протилежний берег водоймища, яру і т.д.).

Спосіб лінійних засічок. Застосовується для зйомки об'єктів ситуації з чіткими контурами (обрисами), коли відстані до точок не перевищують довжини мірного приладу та умови місцевості дозволяють легко проводити лінійні вимірювання.

Зйомка способом кутових засічок



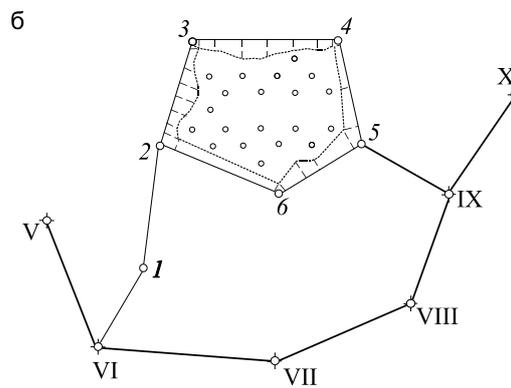
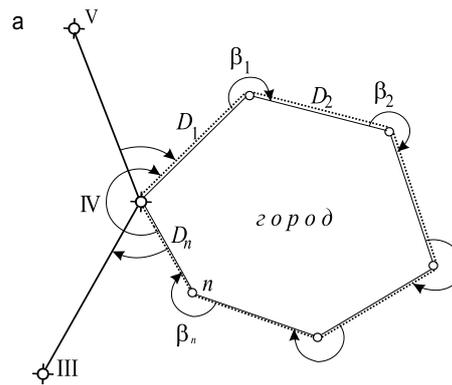
Зйомка способом лінійних засічок



Спосіб обходу. Спосіб застосовується для зйомки таких об'єктів, які через віддаленість або перешкоди не можуть бути зняті з точок і сторін основного теодолітного ходу.

Якщо контур об'єкта, що знімається, має прямолінійні границі, то зйомочний хід прокладають безпосередньо по межах об'єкта.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 40/ 48 |



Зйомка способом обходу

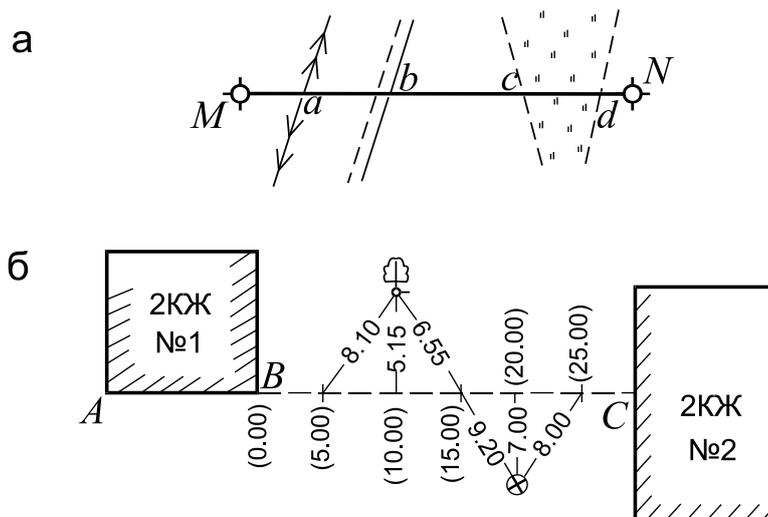
В цьому випадку контур ходу являє собою контур об'єкта, який знімається. Коли контур має складну форму, то його межі знімають способом перпендикулярів від сторін зйомочного ходу (рис. б).

При зйомці площинних контурів (садиби, плантації, культур і т.п.) прокладають замкнені зйомочні теодолітні ходи, а під час зйомки витягнутих контурів (доріг, меж і т.п.) прокладають окремі витягнуті ходи.

Спосіб створів. Сутність способу полягає в тому, що в створі двох відомих точок М та N за допомогою теодоліта і мірного приладу визначають положення контурів (рис. а). Кінцями створної лінії можуть бути пункти геодезичної зйомочної основи, вже зняті кути кварталів, будинків і т.п.

Даний спосіб широко застосовується під час зйомки забудованих територій

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 41/ 48 |



Зйомка способом створів

Тема 13. Відомості з теорії математичної обробки геодезичних вимірювань

Властивості похибок результатів вимірювань. Кількісні критерії точності результатів вимірювань та їх функцій. Проста арифметична середина та її властивості. Допуски результатів вимірювань та їх функцій.

Під час найретельніших вимірювань результати не співпадають з істинними значеннями вимірюваних величин, тобто містять похибки. Це підтверджується тим, що результати вимірювань однієї і тієї ж величини, як правило, нетотожні один одному.

Отже, в результаті вимірювань спостерігач отримує не істинне значення фізичної величини, а тільки деяке наближення до неї.

Істинною похибкою ε результату вимірювання l називається різниця між цим результатом і істинним значенням L вимірюваної фізичної величини, тобто:

$$\varepsilon = l - L.$$

У відповідності з факторами, що визначають умови вимірювань, розрізняють такі види похибок за джерелом їх походження:

- особисті похибки спостерігача;
- інструментальні похибки;
- похибки методу вимірювань;
- похибки через вплив зовнішнього середовища.

Особисті похибки спостерігача викликаються обмеженістю можливостей його органів чуття. Так, наприклад, точність наведення спостерігачем зорової труби на предмет обмежена гостротою зору людини.

Інструментальні похибки виникають через неточності виготовлення мірного приладу та неможливість його абсолютно точного регулювання.

Похибки методу вимірювань виникають в тих випадках, коли в його основі лежить яке-небудь припущення про властивості вимірюваного об'єкта або приладу. Наприклад, при барометричному нівелюванні припускається, що

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 42/ 48 |

атмосферний тиск змінюється за певним законом. Насправді тиск змінюється дещо інакше, що призводить до похибок в визначенні перевищення між точками.

Вплив зовнішнього середовища теж призводить до похибок в вимірюваннях. Так, наприклад, під впливом температури в нівелірі порушується головна геометрична умова, що призводить до виникнення похибок в перевищеннях; вітер викликає коливання рейок і самого нівеліра, що знов-таки породжує похибки.

Зауважимо, що будь-який результат вимірювання містить не по одній похибці кожного з названих видів похибок, його похибка - це результат сумісної дії всіх факторів.

За своїм характером похибки діляться на два класи: грубі та немінучі похибки

Грубі похибки - це результат прорахунку під час вимірювань. Наприклад, прорахунок на довжину стрічки при вимірюванні віддалей або ж на сантиметр (дециметр) в відліку по нівелірній рейці.

Немінучі похибки в свою чергу діляться на два види: систематичні і випадкові похибки. Систематичні похибки найбільш небажані при вимірюваннях, тому що вони мають властивість накопичуватися, суттєво викривляти результати вимірювань. Тому завжди методику вимірювань встановлюють таку, щоб виключити систематичні похибки. Наприклад, вимірюючи горизонтальний кут при двох положеннях вертикального круга, виключають колімаційну похибку теодоліта і т.п.

Вже сама назва "випадкова похибка" говорить про те, що не можна заздалегідь передбачити в кожному конкретному випадку вимірювань її величину і знак. Однак, при багаторазових вимірюваннях випадкові похибки підкоряються деяким статистичним закономірностям, вивчення яких дозволяє суттєво зменшити їх вплив на результат вимірювань. Випадкові похибки будемо позначати через δ .

Випадкові похибки мають наступні чотири головні властивості:

Властивість обмеженості. За даних умов вимірювань випадкова похибка за абсолютною величиною не може перевищити деяку межу, властиву для даних умов вимірювань. Ця межа називається граничною похибкою.

Властивість симетричності. В достатньо великому ряді результатів вимірювань, проведених в однакових умовах, похибки, рівні за абсолютною величиною, але різні за знаком, зустрічаються однаково часто.

Властивість унімодалності. В великому ряді похибок вимірювань великі за абсолютною величиною похибки вимірювань зустрічаються рідше, ніж менші.

Властивість компенсації. Якщо ряд вимірювань однієї величини проводиться в одних і тих самих умовах, то сума випадкових похибок, розділена на їх число, при необмеженому збільшенні цього ряду вимірювань

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 43/ 48 |

наближається до нуля, тобто:

Четверта властивість є визначальною для випадкових похибок вимірювань. Якщо похибки вимірювань не підкоряються четвертій властивості, то їх потрібно віднести до систематичних похибок.

В загальному випадку похибку вимірювання ϵ можна сприймати в вигляді суми двох похибок: систематичної та випадкової:

Якщо вимірювання проведені в таких умовах, що $\theta = 0$, то вимірювання обтяжені тільки випадковими похибками.

Властивості похибок результатів вимірювань

У геодезичних вимірюваннях похибки – це відхилення вимірних значень від істинного значення величини. Вони поділяються на такі типи:

Систематичні похибки

Виникають через вплив постійних факторів (температурні зміни, неточність приладу).

Їх можна врахувати та усунути шляхом калібрування приладів і введення поправок.

Випадкові похибки

Виникають через неконтрольовані фактори (людський фактор, мікроколивання приладу).

Підпорядковуються законам теорії ймовірності та статистики.

Грубі похибки (помилки)

Це значні відхилення, що виникають через неправильне зчитування показників або несправність приладу.

Їх потрібно виявляти та виключати.

Властивості похибок

Збалансованість: випадкові похибки можуть мати як додатні, так і від'ємні значення, тому при великій кількості вимірювань вони взаємно компенсуються.

Зменшення впливу при збільшенні вимірювань: середня величина випадкової похибки зменшується при збільшенні кількості повторень вимірювань.

Накопичення систематичних похибок: на відміну від випадкових похибок, систематичні похибки накопичуються, що може суттєво вплинути на кінцевий результат.

Кількісні критерії точності результатів вимірювань та їх функцій

Для оцінки точності геодезичних вимірювань використовуються такі статистичні характеристики:

Середня квадратична похибка (mm)

Визначає рівень розсіювання результатів навколо середнього значення:

Чим менше mm, тим точніші вимірювання.

Дисперсія показує середню квадратичну відхиленість вимірних значень:

Коефіцієнт варіації Відношення середньої квадратичної похибки до

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 44/ 48 |

середнього значення вимірюваної величини.

Межа допустимої похибки Найбільше допустиме відхилення, що залежить від класу точності вимірювань.

Проста арифметична середина та її властивості

Проста арифметична середина – це середнє значення всіх проведених вимірювань:

Властивості:

Мінімізує випадкові похибки – використовується для усереднення результатів вимірювань.

Є найбільш ймовірним значенням істинної величини при великій кількості спостережень.

Зменшує вплив похибок – чим більше вимірювань, тим точніше значення.

Допуски результатів вимірювань та їх функцій

Допуск – це граничне відхилення вимірюваної величини, що визначає допустимий рівень похибки.

Основні види допусків у геодезії:

Лінійні вимірювання:

Для полігонометрії встановлюються граничні похибки залежно від довжини ходу.

Кутові вимірювання:

Допускається незначна похибка вимірювання дирекційних кутів (наприклад, $\pm 10''$).

Нівелювання:

Гранична допустима похибка визначається як функція відстані між точками.

Похибки вимірювань бувають систематичними, випадковими та грубими.

Основними критеріями точності є середня квадратична похибка, дисперсія та коефіцієнт варіації.

Використання арифметичної середини дозволяє зменшити вплив випадкових похибок.

Встановлені допуски гарантують відповідність вимірювань стандартам точності в геодезії.

Тема 14. Обчислювальна обробка мереж геодезичної зйомочної основи

Пряма і зворотна геодезичні задачі. Обробка теодолітного ходу. Особливості зрівноваження діагональних теодолітних ходів. Розв'язування кутових і лінійних геодезичних засічок. Обробка геодезичних зйомочних мереж на ПЕОМ.

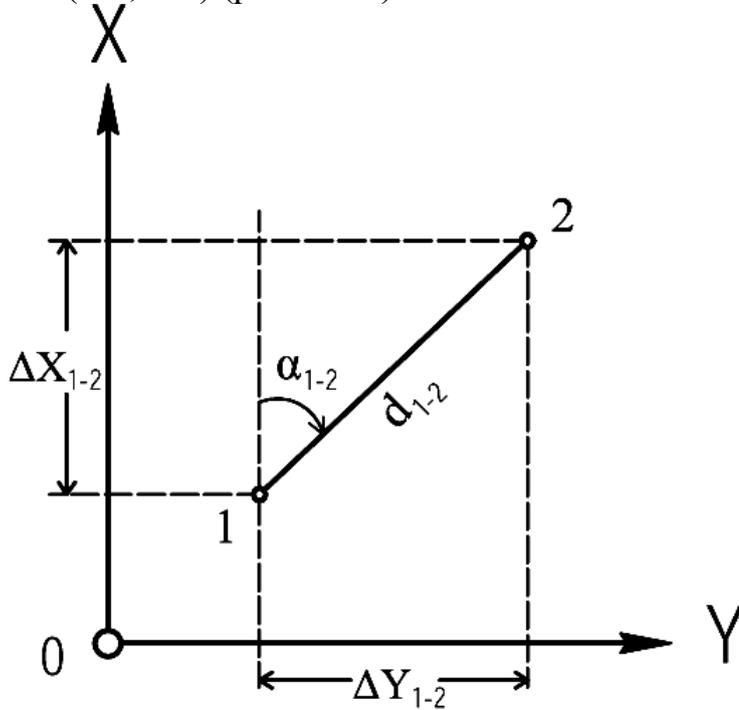
Пряма та обернена геодезичні задачі

Розв'язування прямої та оберненої геодезичних задач застосовується в процесі аналітичної підготовки даних для виносу проектів будівель і споруд на місцевості, вирівнювання геодезичних мереж та ін.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 45/48 |

а) Пряма геодезична задача

Дано: прямокутні координати точки А (X_A, Y_A), віддаль d_{AB} , та дирекційний кут α_{AB} лінії АВ. Потрібно обчислити прямокутні координати точки В (X_B, Y_B) (рис. 1. 19).



Геометрична схема прямої та оберненої геодезичних задач

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2}$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2}$$

$$\Delta X_{1-2} = d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2}$$

$$\Delta Y_{1-2} = d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}$$

б) Обернена геодезична задача

Дано: прямокутні координати точок А (X_A, Y_A), і В (X_B, Y_B). Потрібно обчислити відстань d_{AB} між цими точками і дирекційний кут α_{AB} лінії АВ (рис. 1. 19).

Вираховуємо прирости координат:

$$\Delta x = X_B - X_A; \Delta y = Y_B - Y_A; \alpha = r. \quad (1.17)$$

Значення румба в градусній мірі знаходять у таблицях натуральних значень тригонометричних величин.

$$r = \arctg \frac{\Delta Y_{1-2}}{\Delta X_{1-2}} = \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Із прямокутного трикутника АВС Знаки приростів координат вкажуть чверть, в якій знаходиться лінія АВ, і знаючи залежність між дирекційними кутами і румбами вчислюють дирекційний кут (табл.1.3. і рис. 1.15).

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 46/ 48 |

Обробка теодолітного ходу

Теодолітний хід – замкнута або розімкнена геодезична мережа, що складається з послідовно з'єднаних точок, у яких виміряні кути та відстані.

Етапи обробки:

Обчислення дирекційних кутів

Визначення дирекційного кута першої сторони.

Послідовний розрахунок інших кутів.

Обчислення координатних приростів

Для кожної лінії ходу визначаються прирости координат:

Розрахунок координат точок ходу

Контроль закриття ходу

Визначення лінійних нев'язок:

Визначення відносної похибки ходу.

Зрівноваження ходу

Виконується за методом пропорційного розподілу похибок.

Особливості зрівноваження діагональних теодолітних ходів

Діагональний теодолітний хід – це полігональна мережа, що містить діагональні вимірювання, які дозволяють підвищити точність зрівноваження.

Методи зрівноваження:

Метод умовних рівнянь

Враховує додаткові виміряні діагоналі для точного розрахунку.

Гаусове зрівноваження

Використовується при великій кількості вимірювань.

Графоаналітичний метод

Дозволяє враховувати усі можливі зв'язки між точками.

Розв'язування кутових і лінійних геодезичних засічок

Геодезичні засічки – метод визначення координат точок за допомогою кутових та лінійних вимірювань.

Кутові засічки

Визначення координат точки за відомими координатами двох вихідних точок А, В_А, В_А, В і виміряними кутами α, β .

Основні методи:

Пряма засічка (точка знаходиться між двома вихідними точками).

Зворотна засічка (визначення координат точки за трьома відомими точками).

Лінійні засічки

Метод визначення точки за допомогою двох або більше вимірних відстаней від вихідних точок.

Методи:

Перетин двох кіл – якщо відомі відстані до точки від двох вихідних точок.

Перетин кола та прямої – якщо відома відстань до однієї точки та азимут із іншої.

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | Екземпляр № 1 | Арк 47/ 48 |

Обробка геодезичних зйомочних мереж на ПЕОМ

Сучасні геодезичні мережі обробляються з використанням програмного забезпечення (ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина).

Основні програмні пакети:

AutoCAD Civil 3D – для створення топографічних моделей.

GeoCalc – для обробки координатних даних.

Topcon Tools – для роботи з GNSS-даними.

Surfer, ArcGIS – для створення цифрових моделей місцевості.

Етапи обробки в ПЕОМ:

Введення вихідних даних (координати, кути, відстані).

Розрахунок теодолітного ходу або засічки (автоматизовані алгоритми).

Зрівноваження мережі (метод найменших квадратів).

Аналіз та візуалізація результатів (побудова графічних матеріалів).

Тема 15. Охорона навколишнього середовища і техніка безпеки на геодезичних роботах

Правила поведінки з геодезичними приладами. Техніка безпеки під час геодезичних робіт. Перша медична допомога при нещасних випадках. Роль геодезії у заходах з охорони навколишнього середовища.

Правила поведінки з геодезичними приладами:

- Транспортування приладів здійснюється тільки в спеціальних футлярах
- Перед початком роботи необхідно перевірити справність усіх механізмів
- Встановлення приладів має бути стійким, на твердій основі
- Забороняється залишати прилади без нагляду
- Після роботи прилади очищають від пилу та вологи
- Зберігання здійснюється в сухому приміщенні при оптимальній температурі

Техніка безпеки під час геодезичних робіт:

- Обов'язкове проходження інструктажу з техніки безпеки
- Використання захисного спорядження (каски, сигнальні жилети)
- Заборона працювати під час грози та сильного вітру
- Особлива обережність при роботі поблизу доріг та електромереж
- Дотримання правил роботи на висоті
- Використання огорожень при роботі в населених пунктах

Перша медична допомога при нещасних випадках:

- При травмах: зупинка кровотечі, накладання пов'язки, іммобілізація
- При тепловому ударі: перемістити в тінь, дати воду, охолодити тіло
- При укусах змій: забезпечити спокій, накласти пов'язку, транспортувати до лікарні
- При ураженні електрострумом: звільнити від дії струму, перевірити дихання, за необхідності провести реанімацію
- При переломах: забезпечити нерухомість, накласти шину

| | | |
|----------------------------|---|--|
| Житомирська політехніка | МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 | Ф-23.06- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК16 -2025 |
| | <i>Екземпляр № 1</i> | <i>Арк 48/ 48</i> |

Роль геодезії в охороні навколишнього середовища:

- Моніторинг зсувів та ерозії ґрунтів
- Контроль деформації будівель та споруд
- Спостереження за рівнем ґрунтових вод
- Картографування екологічно небезпечних зон
- Планування природоохоронних заходів
- Оцінка впливу будівництва на довкілля
- Моніторинг забруднення територій
- Контроль за використанням земельних ресурсів