

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГРИБ О. М.

ГЕОДЕЗІЯ ТА КАРТОГРАФІЯ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2020

УДК 528

Г82

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету
Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол № 9 від 29.06.2017 р.)

Гриб О.М.

Геодезія та картографія: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2017. 102 с.

В конспекті лекцій наведені основні відомості про елементи вимірювань на земній поверхні, систему географічних координат і висот, розглянуті системи Державних геодезичних мереж, картографічні проєкції топографічних карт, загальні відомості про топографічні зйомки, розглянуті основні види знімальних робіт і дистанційні методи вивчення земної поверхні. Характеризуються топографічні карти і плани, методи й прийоми їх використання. Викладені методологічні основи картографування і використання ГІС технологій в сучасній геодезії й картографії.

Конспект лекцій призначений для професійної та практичної підготовки студентів, які навчаються на освітньо-кваліфікаційному рівні бакалавр за напрямом підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки».

ISBN 978-966-186-016-1

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 КАРТОГРАФІЧНІ ОБРАЗНО-ЗНАКОВІ ПРОСТОРОВІ МОДЕЛІ.....	6
1.1 Картографічне зображення земної поверхні на площині, геометрична сутність і математична основа карт.....	6
1.2 Класифікація і використання топографічних карт, плани міст та спеціальні карти.....	7
1.3 Поняття про топографічну зйомку.....	9
1.4 Метод проєкцій.....	11
1.5 План, карта, профіль. Умовні знаки топографічних карт і планів.....	14
1.6 Визначення положення точок на земній поверхні.....	18
1.6.1 Системи координат, що використовуються в топографії.....	18
1.6.2 Визначення прямокутних і географічних координат по карті.....	20
1.7 Зображення рельєфу на картах і планах.....	22
1.7.1 Основні елементи і форми рельєфу.....	22
1.7.2 Задачі, розв'язувані по карті в горизонталях.....	23
1.8 Визначення площі топографічної поверхні.....	26
1.9 Орієнтування на місцевості. Азимути ліній, дирекційні кути і магнітні азимути ліній, їхній взаємозв'язок.....	31
2 ТОПОГРАФІЧНІ ЗЙОМКИ.....	35
2.1 Планові зйомки.....	37
2.1.1 Теодолітна зйомка.....	37
2.1.2 Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.....	47
2.2 Висотні зйомки.....	56
2.2.1 Сутність і види нівелювання.....	56
2.2.2 Державна висотна геодезична мережа України.....	72
2.3 Планові і планово-висотні зйомки малої точності.....	73
3 КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕОРІЮ ПОХИБОК ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	75
3.1 Основи теорії похибок вимірів.....	75
3.2 Помилки вимірів і їх види.....	76
3.3 Оцінка точності нерівноточних вимірів.....	78
3.4 Приклади практичного застосування теорії похибок.....	78
3.4.1 Точність положення контурних точок на планах (картах).....	78
3.4.2 Точність зображення ліній на плані.....	79
3.4.3 Точність напрямів і кутів, зображених на плані (карті).....	79
3.4.4 Оцінка точності кутових вимірів.....	80
4 ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ.....	82
4.1 Аерофотозйомка.....	82
4.2 Космічна зйомка.....	85
4.2.1 Предмет і завдання супутникової геодезії.....	85
4.2.2 Методи спостережень зі супутників.....	86
4.2.3 Побудова нової геодезичної основи.....	87

5 КАРТОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЯ З ГІС. ПРОСТОРОВА ІНФОРМАЦІЯ В ГІС	90
5.1 Технологія введення інформації в комп'ютер. Растровий і векторний методи формалізації просторової інформації	91
5.2 Картометричні операції. Застосування ГІС.....	93
5.3 Цифрові моделі місцевості	98
5.4 Перспективи розвитку ГІС	99
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	101

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни «Геодезія та картографія» є знайомство з картографією як наукою, що вивчає земну поверхню в геометричному відношенні і способи зображення її на площині у вигляді топографічної карти. Вивчення проєкцій, які входять до складу картографії, їхніх властивостей, методів створення і використання.

Вивчення дисципліни полягає у вивченні основних методів і прийомів роботи з топографічними картами й аерофотокосмічними знімками різних масштабів для одержання кількісних характеристик при вивченні різних природних явищ і змін ландшафтів, пов'язаних з антропогенною діяльністю.

Прогрес у розвитку топографо-геодезичних робіт і картографічного виробництва пов'язаний безпосередньо з використанням космічної техніки. Можливості вже створеної космічної супутникової апаратури такі, що одержувана з орбіти відеоінформація по своїй здатності дозволяє створити більшість карт встановленого масштабного ряду.

Прогрес у розвитку топографо-геодезичних робіт і картографічного виробництва пов'язаний з використанням сучасних приладів і обладнання, які вже не можуть бути без комп'ютерного забезпечення.

Знання основ геодезії, картографії та топографії для фахівців в області геоінформаційних технологій є базовими і необхідні для освоєння спеціальних дисциплін.

Геодезія – наука, що вивчає фігуру і розміри Землі, розробляє методи створення координатних систем для вивчення земної поверхні і проведення на ній методів різних вимірів, необхідних для спостережень за рухами і деформаціями земної кори, для встановлення висоти і різниць рівнів морів і океанів, вивчення дрейфів полюсів Землі, вирішення різних інженерних завдань будівництва.

Топографія – наука, що вивчає географічний і геометричний стан земної поверхні шляхом створення топографічних карт на основі наземних, повітряних та космічних зйомок. Основні наукові і практичні завдання топографії полягають у розробці та вдосконаленні методів створення топографічних карт, способів зображення на них об'єктів природи і людської діяльності, у використанні карт для вирішення наукових і практичних задач.

Картографія – наука про відображення і дослідження явищ природи і суспільства, їх розміщення, властивостей, взаємозв'язків і змін у просторі і часі за допомогою картографічних зображень, про методи їх створення і використання.

Предметом вивчення картографії є географічні карти, атласи, глобуси, карти небесних тіл, рельєфні карти та інші просторові моделі місцевості.

1 КАРТОГРАФІЧНІ ОБРАЗНО-ЗНАКОВІ ПРОСТОРОВІ МОДЕЛІ

1.1 Картографічне зображення земної поверхні на площині, геометрична сутність і математична основа карт

Карта – зменшене, подібне та узагальнене зображення на площині поверхні Землі, інших небесних тіл або космічного простору, побудоване за певними математичними законами й наочно за допомогою умовних знаків показує розміщення й зв'язки різних предметів, явищ чи процесів, а також їх якісні та кількісні характеристики.

Крім загальноприйнятих карт, використовують анагліфічні, рельєфні й цифрові карти, фотокарти, карти-транспаранти, карти на мікрофліші, блок-діаграми й глобуси.

Анагліфічна карта друкується двома кольорами, які доповнюють один одного (наприклад, синьо-зеленим та червоним). При розгляданні цих карт через спеціальні окуляри-світлофільтри спостерігають об'ємне зображення.

Рельєфна карта – виконується для об'ємного тривимірного зображення місцевості. Вертикальний масштаб таких карт збільшений порівняно з горизонтальним в 2...10 разів. Картографічну інформацію на таких картах показують звичайними знаками.

Фотокарта – це карта, суміщена з фотографічним зображенням. Її отримують суміщенням поліграфічних відбитків фотоплану з умовними позначеннями окремих об'єктів місцевості, горизонталями й підписами. Для складання фотокарт використовують аеро- та космічні знімки, виконані в різних діапазонах.

Цифрова карта – цифрова модель об'єктів, представлена в вигляді закодованих в числовій формі просторових координат X та Y й та інших елементів змісту. Цифрові карти є результат логіко-математичних перетворювань вихідної інформації про об'єкти картографування. Зміст цифрових карт складають масиви даних про об'єкти картографування, проекції, масштаби й геодезичну основу, рамку карти та оформлення, розміщене за рамкою.

Карта-транспарант – карта, віддрукована поліграфічним способом на прозорій плівці й призначена для проектування на екран. При суміщенні комплекту карт з різним, але взаємоузгодженим тематичним змістом розкривається зв'язок явищ між собою.

Карта на мікрофліші – мініатюрна копія з карти або з іншого картографічного твору на фото- і кіноплівці або на масштабних носіях. Мікрофліші дають можливість зберігати оригінали з малими затратами та використовувати їх для картоскладання. Інформація з мікрофлішей може безпосередньо вводитися в ЕОМ при автоматичному складанні та використанні карт.

Блок-діаграма – тривимірний картографічний рисунок, який суміщає зображення якої-небудь поверхні з поздовжніми та поперечними вертикальними розрізами. Вони використовуються для картографування геологічної, геоморфологічної, ландшафтної, океанологічної та іншої інформації про природне середовище.

Глобус – кулеподібна модель Землі, іншої планети або небесної сфери з картографічним зображенням. Глобуси бувають роз'ємними, що дозволяє демонструвати внутрішню будову земної кори.

1.2 Класифікація і використання топографічних карт, плани міст та спеціальні карти

Класифікація карт за різними ознаками необхідна для їх обліку, збереження, пошуку необхідної інформації, що є їх змістом, та вивчення особливостей самих карт. Карти класифікують за такими ознаками: масштаб, територіальне охоплення, зміст, призначення, математична основа, епоха тощо. Карти, на яких зображена Земля або її частини, називають географічними. Зоряні – це карти зоряного неба. Існують карти інших небесних тіл.

За *масштабом* географічні карти класифікують: крупномасштабні (1:200000 та більше), середньомасштабні (1:200000-1:1000000) і дрібномасштабні (менше 1:1000000).

За *просторовим охопленням* карти класифікують, дотримуючись послідовного переходу від найбільш загальних понять до часткових. Першу рубрику класифікації складають карти всієї земної поверхні – карти світу, які часто зображують на двох півкулях. Далі розрізняють карти суші й Світового океану. Карти суші поділяють на карти материків або їх груп. В середині материків карти класифікують в залежності від вибраної ознаки: політико – адміністративна, фізико-географічна або економічна.

За *політико-адміністративним* поділом карти бувають груп держав, окремих держав, областей, штатів, кантонів, районів тощо. За фізико-географічною або економічною ознакою карти поділяють на карти природних чи економічних районів, спочатку великі, а потім дрібні.

За *змістом* географічні карти класифікують на загальногеографічні та тематичні. Загальногеографічні карти відображають сукупність основних елементів місцевості, тобто показують гідрографію, рельєф, населені пункти, шляхи сполучення та інші елементи місцевості. Особливість їх змісту визначається масштабом карти. В залежності від масштабу їх поділяють на топографічні, оглядно-топографічні та оглядові.

Тематичні карти, основний зміст яких визначається конкретною темою відображення, спеціально присвячені якому-небудь елементу або явищу (населені пункти, клімат, екологія, транспорт, події історії тощо).

До кожної групи тематичних карт відносяться карти різних тематик.

Наприклад, до групи геологічних карт відносяться стратиграфічні, тектонічні, гідрогеологічні, інженерно-геологічні та інші.

В залежності від *прийомів дослідження* карти бувають аналітичні, синтетичні та комплексні. Аналітичні карти відображають окремі сторони або властивості явищ без відображення зв'язків і взаємодії з іншими їх сторонами або властивостями (температурою повітря, напрямком і силою вітру, опадами, крутизною схилів тощо). Синтетичні карти дають цілісну інтегральну характеристику явищ, при формуванні яких враховуються складові частини конкретного явища та існуючі між ними зв'язки (ландшафтні, кліматичного чи гідролого-кліматичного районування тощо). Комплекси і карти відображають декілька взаємопов'язаних явищ або їх елементів й причому кожне явище в своїх показниках.

За *ступенем об'єктивності й достовірності* змісту розрізняють карти спостереження, карти-висновки, карти-гіпотетичні та карти-тенденційні. Карти-спостереження містять дані, отримані безпосередньо в результаті спостережень (опадів, забруднення атмосфери). Карти-висновки складають шляхом обробки фактичних даних та їх інтерпретації у відповідності з уявою автора про явище, що зображується (наприклад, клімат). Гіпотетичні карти складають при недостатній кількості фактичних даних на основі гіпотез і припущень (дрейфу материків). Тенденційні карти відображають явно спотворену дійсність.

В залежності від *характеру й ступеня практичної направленості* змісту розрізняють інвентаризаційні, оцінні, рекомендаційні та прогнозні карти. Інвентаризаційні карти відображають об'єкти й явища у відповідності з їх класифікацією, яка враховує інтереси даної області діяльності. Оцінні карти показують необхідність або ефективність використання природних або соціально-екологічних умов й ресурсів для тих чи інших цілей.

За *призначенням* карти бувають науково-довідкові, навчальні, морські навігаційні, лоцманські річок, озер й каналів, аеронавігаційні, кадастрові, дорожні, оперативні, проектні, пропагандистські, туристичні.

Географічний атлас – систематизоване зібрання карт, виконане за загальною програмою, як єдиний цілісний твір. В атласі карти тематично поєднані між собою, взаємно узгоджені й доповнюють одна одну.

Основні способи аналізу при картографічному методі дослідження: *візуальний аналіз; картометричні дослідження; графічний аналіз; математичне моделювання; прийоми теорії інформації.*

При *картографічному методі дослідження* можливі різні способи використання карт: безпосередній аналіз окремих карт; аналіз поєднання карт різної тематики; співставлення карт різних років видання; порівняльне вивчення карт-аналогів; аналіз, пов'язаний з перетворенням картографічного зображення на складові.

Прогнозні карти – використовують для просторових, часових й просторово-часових характеристик закономірностей розміщення явищ на досліджуваних територіях, а також для інтерполяції та екстраполяції виявлених закономірностей на недостатньо вивчений простір.

1.3 Поняття про топографічну зйомку

Польова робота, яка проводиться з метою отримання карт, планів і профілів, називається *зйомкою*. Зняти деякі точки місцевості – це означає визначити їх положення на плані або карті.

Залежно від призначення зйомки об'єктами, що підлягають зйомці, можуть бути різні предмети антропогенного і природного характеру, як на земній поверхні, так і під нею.

Сукупність об'єктів, що знімаються, називають *ситуацією*.

Залежно від цілей, для яких проводяться зйомки, останні поділяються на види за назвами: топографічна, сільськогосподарська, ґрунтова, міська, лісова, геологічна, геофізична і ін.

Топографічна зйомка – комплекс польових і камеральних робіт, що мають на меті зображення на папері умовними знаками в заданому масштабі місцевих предметів і рельєфу ділянки земної поверхні.

Топографічні зйомки поділяються на види залежно від приладів, які використовуються. Для отримання планів невеликих ділянок місцевості і порівняно невисокої точності застосовують екерні і бусольні зйомки (екер і бусоль – прості геодезичні прилади), а для точніших планів ділянок, що займають площу в декілька сотень і тисяч гектарів, – теодолітні і мензульні зйомки (теодоліт і мензула – складні геодезичні прилади). При необхідності зобразити на плані невеликі ділянки, рельєф місцевості застосовують тахеометричну зйомку («*тахо*» – швидко).

Основним видом зйомки для значних територій є аерофототопографічна і космічна зйомки.

Для гірської та покритої пагорбами місцевості застосовують фототеодолітну зйомку, при якій місцевість фотографують фототеодолітами, після чого за допомогою спеціальних приладів по фотознімках складають план місцевості.

Інколи виникає необхідність провести зйомку місцевості швидко і приблизно. В цьому випадку застосовують окомірну зйомку.

Всі знімальні роботи є *польовими*; подальші геодезичні роботи – обчислювальні і графічні – виконуються в кабінетах і лабораторіях і називаються *камеральними*.

Зйомка місцевості завжди зводиться до визначення положення деякого числа окремих точок кожного контуру.

З'єднавши послідовно ці точки, ми тим самим накреслимо на плані відповідні контури в зменшеному і подібному вигляді.

Зйомку місцевості і складання плану частіше виконують неодноразово. Це дозволяє прискорити проведення польових робіт і створити кращі умови для виконання камеральних (обчислювальних, креслярських і тому подібне) робіт в приміщенні.

Зроблений від руки схематичний план місцевості, на якому показуються контури угідь, місцеві предмети, результати вимірів, наводяться назви й інші відомості, необхідні для складання точного плану, називається *абрисом*. Його складають на окремі ділянки місцевості або на всю територію відразу. На абрисі треба прагнути замалювати місцевість детально, всі числа підписуються так, щоб було зрозуміло, до яких величин вони відносяться.

Абрис потрібно вести настільки виразно, щоб він був зрозумілий іншій особі, знайомій зі зйомками.

Система (сукупність) опорних точок, які забезпечують зйомку на деякій ділянці поверхні Землі, називають знімальним обґрунтуванням.

При зйомках місцевості використовуються різні способи створення знімального обґрунтування; найважливіші з них наступні:

- *триангуляція* – система трикутників, в яких вимірюються кути і базисні сторони (решта сторін обчислюється);
- *трилатерація* – система трикутників, в яких вимірюються сторони;
- *супутникова триангуляція* – просторова геодезична сітка, елементи якої визначені по вимірних синхронно з різних наземних станцій сферичних координат напрямів на штучні супутники Землі (ШСЗ);
- *полігонометрія* (обхід) і *теодолітні ходи*;
- *створні методи*;
- *спосіб прямокутних координат* (перпендикулярів);
- *спосіб полярних координат* (колового візування);
- *засічки* кутові і лінійні.

Перші чотири способи зазвичай застосовуються для створення геодезичної мережі, решта – для розвитку знімальної сітки.

Геодезичною мережею називається сукупність зафіксованих на місцевості точок, для яких визначені планові координати прямокутні X і Y , географічні φ і λ у взятій двомірній системі координат і відмітки H у взятій системі висот.

Знімальна сітка – сукупність точок, які визначають додатково до пунктів геодезичної мережі, для безпосереднього забезпечення топографічних зйомок.

Визначення положення пунктів знімальних сіток виконують прокладенням теодолітних ходів або побудовою сітки мікротриангуляції, прямими, зворотними або комбінованими засічками або графічними методами при мензульній зйомці. Висоти цих пунктів визначають геометричним або тригонометричним нівелюванням.

1.4 Метод проєкцій

Зображаючи земну поверхню на карті, спочатку переходять від фізичної її форми до математичної, яку представляють у вигляді поверхні еліпсоїда або кулі, а потім вже математичну поверхню зображають на площині.

Оскільки опуклу поверхню неможливо показати на площині без спотворень і розривів, то при зображенні земної поверхні на площині визначають умови, які дозволяють враховувати ці викривлення. Такі умовні зображення на площині земної поверхні називають картографічними проєкціями. Картографічні проєкції будуються за математичним законом, що визначає їх вигляд. Побудову деяких проєкцій можна представити геометрично.

Допустимо, що з будь-якої точки земної осі всі точки земної поверхні проєктуються прямими променями на площину, перпендикулярну до земної осі (рис. 1.1). Така проєкція називається полярною.

У ній меридіани зображені пучком прямих, а паралелі – концентричними колами.

Якщо земну поверхню спроекувати на бічну поверхню циліндра, а потім розгорнути останню на площину, то одержимо пряму циліндричну проєкцію (рис. 1.2).

Проєкцію часто визначають не за способом її геометричної побудови, а за виглядом зображених на ній паралелей і меридіанів, тобто за виглядом картографічної сітки.

Наприклад, конічна проєкція – це картографічна проєкція, в якій паралелі – дуги концентричних кіл, а меридіани – прямі, що сходяться в центрі цих кіл.

Конформна проєкція Гаусса.

Для зображення території нашої країни на топографічних картах береться конформна (рівнокутна) проєкція Гаусса, яка представляє поперечну циліндричну проєкцію (Рис. 1.3 а), б), в), г)).

Вся земна поверхня при зображенні її в проєкції Гаусса поділяється меридіанами на шестиградусні або триградусні зони.

Кожна зона проєкується на поверхню свого циліндра, дотичного до кулі по середньому (осьовому) меридіану.

Поділ земної поверхні на зони при зображенні її на площині в проєкції Гауса зумовлений тим, що по мірі віддалення від осьового меридіана спотворення зростають.

Вибір в 6° або 3° залежить від масштабу карти, що складається: при складанні карти в масштабі 1: 10 000 і дрібніше беруться зони 6° , а при складанні карт масштабу 1: 5 000 і більше беруться зони 3° .

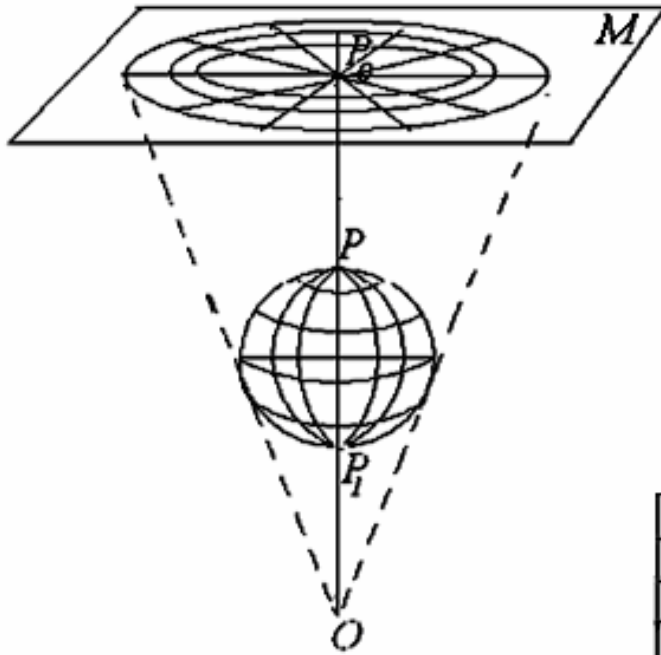
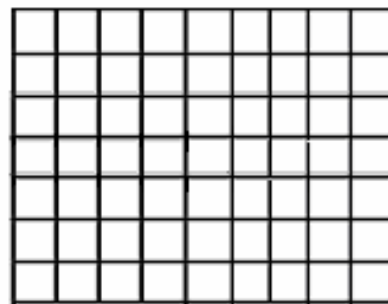


Рис. 1.1 – Полярна система координат



Рис. 1.2 – Циліндрична система координат



Шестиградусні зони за своїм розташуванням співпадають з колонами карти масштабу 1:1000000 і нумеруються арабськими цифрами, починаючи від лондонської гілки Гринвіцького меридіана, із заходу на схід. Оскільки західна межа першої зони співпадає з Гринвіцьким меридіаном, то довготи осьових меридіанів зон будуть 3° , 9° , 15° , 21° . Довготу осьового меридіана можна визначити за формулою:

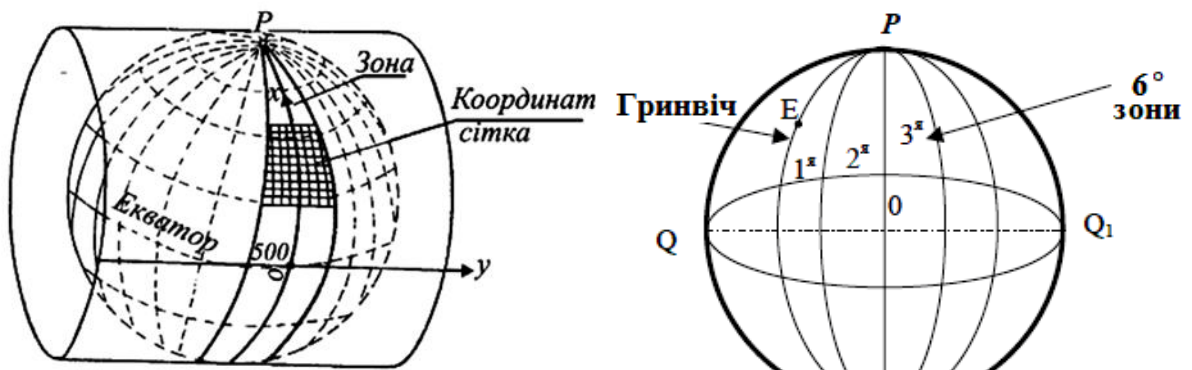
$$\lambda = 6N - 3^\circ, \quad (1.1)$$

де N – номер зони.

Положення точок в проекції Гаусса можна визначити за географічними координатами, але для вирішення геодезичних завдань це незручно. На площині набагато простіше вирішувати завдання за прямокутними координатами.

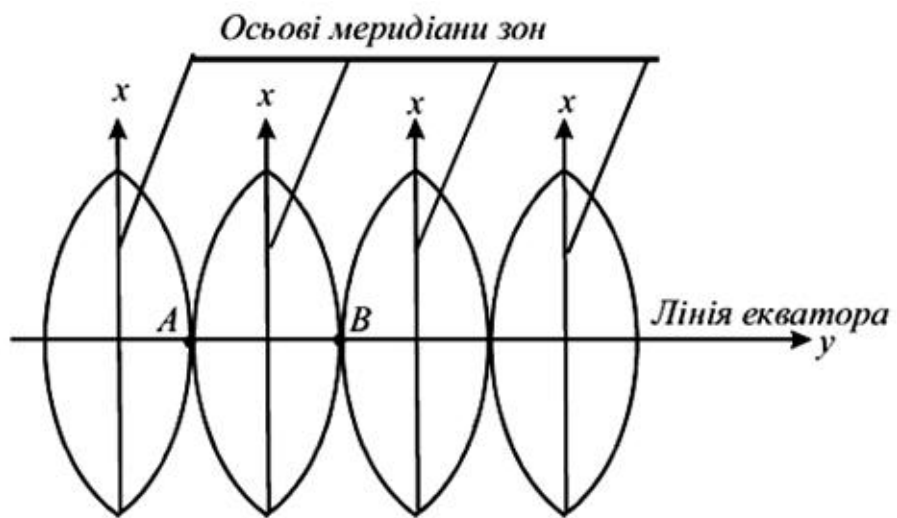
Для цього в кожній зоні систему координат беруть зі своїм початком і своїм орієнтуванням: за вісь абсцис X беруть зображення осьового меридіана, а за вісь Y – зображення екватора.

Відстань X і Y на площині в проекції Гаусса від будь-якої точки зони до осі координат називають координатами Гаусса.

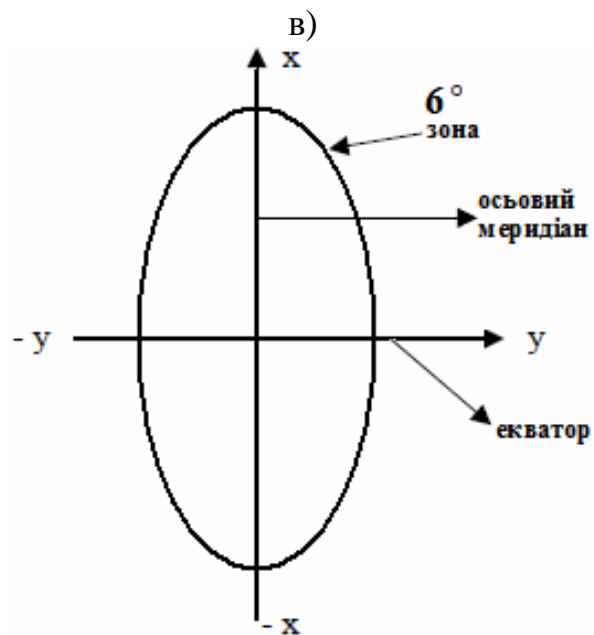


а)

б)



в)



г)

Рис. 1.3 – Картографічна проекція Гаусса

Щоб всі значення ординат були додатними, до них додають 500 км. Для визначення зони, в якій знаходиться точка, до перетвореної ординати цієї точки приписується номер відповідної зони.

У проекції Гаусса не спотворюються тільки кути. Решта елементів фігур місцевості (довжина ліній, площа) в цій проекції спотворюється. Про величину спотворення довжин ліній судять за величиною масштабу зображень.

Масштабом зображення будь-якої проекції називається відношення довжини відрізка в проекції до довжини відповідного відрізка на еліпсоїді (або кулі). Масштаб зображення в межах однієї і тієї ж зони різний і залежить від віддаленості відрізка від осьового меридіана.

У проекції Гауса, внаслідок її конформності, нескінченно малі фігури подібні відповідним фігурам місцевості. Тому відношення довжин нескінченно малих відрізків в проекції, що виходять з однієї і тієї ж точки по всіх напрямках, до довжин відповідних відрізків на земній поверхні будуть однаковими, тобто масштаб зображення в проекції Гаусса в нескінченно малій країні будь-якої точки однаковий по всіх напрямках. На території СНД найбільш відносно спотворення ліній в шестиградусній зоні досягало величини 1:1200, що практично не має значення при зйомках в дрібних масштабах і помітно при зйомках в крупних масштабах (1:5000 і більше).

З цієї причини при великомасштабних зйомках застосовують триградусні зони, спотворення в яких на краю зони значно менше, ніж в шестиградусних зонах. Триградусні зони розташовуються так, щоб осьовий меридіан однієї із зон співпадав з Гринвіцьким меридіаном. З цього виходить, що довготи осьових меридіанів зон, розташованих на схід від Гринвіча, будуть 3° , 6° , 9° ...

1.5 План, карта, профіль. Умовні знаки топографічних карт і планів

Між планом і картою існує вагома різниця. Відомо, що план і карта – зменшене зображення на аркуші паперу горизонтальних проекцій ділянок місцевості.

Планом називається зменшене і подібне зображення горизонтальної проекції ділянки місцевості розміром до 20×20 км на аркуші паперу. Зображення такої горизонтальної проекції отримане без спотворень, а тому можна сказати, що горизонтальна проекція невеликої ділянки місцевості і її зменшене зображення на аркуші паперу подібні.

Природно, що план не можна скласти на дуже велику територію, оскільки кривизна Землі спричинить велику різницю між горизонтальним прокладенням ліній місцевості і їх проекціями на поверхню еліпсоїда.

Картою називається зменшене і спотворене за рахунок кривизни Землі зображення горизонтальної проекції значної частини або всієї земної

поверхні на аркуші паперу та побудоване за відповідними математичними законами. При зображенні на аркуші паперу горизонтальних проєкцій значних ділянок Землі або всієї її поверхні, яку вважають за поверхню еліпсоїда обертання, кривизною рівневої поверхні нехтувати не можна. Тому горизонтальна проєкція і її зменшене зображення на папері не будуть подібними (рис. 1.4).

В залежності від призначення карти під час її побудови вибирається певна картографічна проєкція. Картографічні проєкції будуються за відповідними математичними законами, за якими горизонтальна проєкція зображується на площині.

Особливістю карти, з геометричної точки зору, є те, що вона є найменш спотвореним зображенням земної поверхні.

Це пояснюється тим, що сферичну поверхню Землі неможливо зобразити на папері без спотворень, так само, як не можна поверхню опуклого не еластичного предмета розгорнути на площину без розривів.

Тому при побудові карт користуються різними картографічними проєкціями, в яких за певним математичним законом спочатку будується географічна сітка паралелей і меридіанів, а потім на неї наносяться деталі місцевості.

Існує велика кількість проєкцій і кожній з них властиві спотворення або форм і об'єктів, що зображуються, або співвідношення їх площ, або і того і іншого. Чим більша територія, яка зображується на карті, тим з більшими спотвореннями виходять на карті об'єкти.

До геодезичних матеріалів відноситься також і профіль місцевості, який є зменшеним зображенням вертикального розрізу земної поверхні по заданому напрямку (рис. 1.5).

Лінія, що відображає на кресленні рівневу поверхню, на профілі проводиться у вигляді прямої.

Для посилення зображення рельєфу на профілі, більшій його наочності, вертикальні відрізки (відмітки, перевищення) зображають більшими, ніж горизонтальні. Розріз місцевості є звичайно кривою лінією, а профіль будують у вигляді ламаної лінії, поворотні точки якої є характерними точками місцевості, відмітки яких визначені.

Зменшене зображення перерізу земної поверхні на аркуші паперу теж називається *профілем*.

Профіль місцевості зображують при проектуванні лінійних споруд і при вирішенні багатьох інженерних задач.

Положення точок земної поверхні на карті і плані визначається як географічними, так і прямокутними координатами.

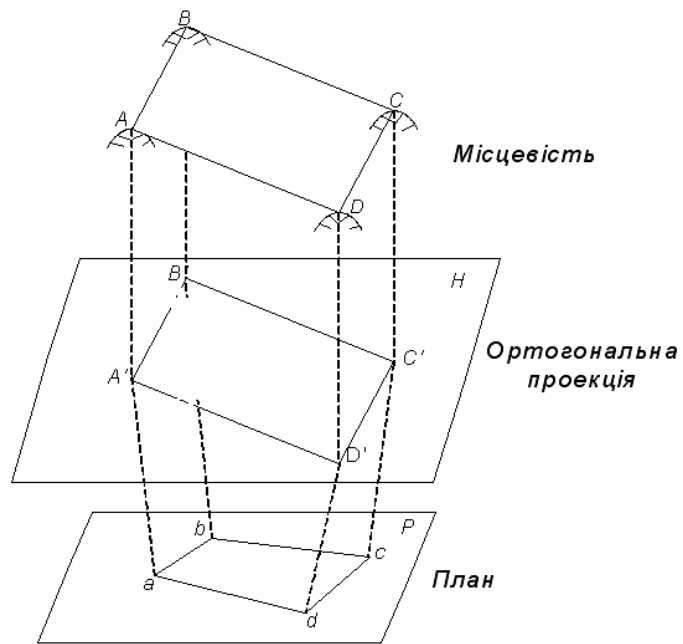


Рис.1.4 – Проектування точок місцевості

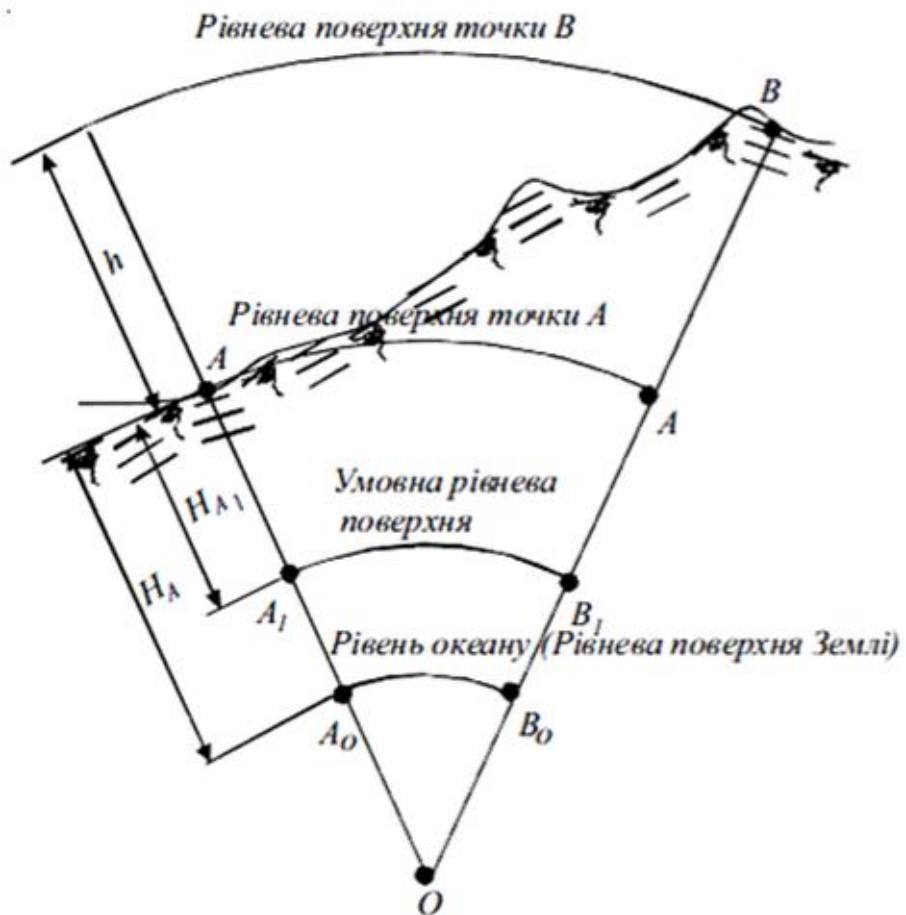


Рис. 1.5 – Профіль місцевості

Умовні знаки – це система графічних позначень зображуваних на картах предметів і явищ, за допомогою яких показуються їх місце розташування, а також якісні і кількісні характеристики. Вони можуть бути *контурними* або *площовими*, для зображення предметів, які виражаються в масштабі карти; *позамасштабними* для показу об'єктів, що не виражаються в масштабі карти і пояснювальними підписами, які служать для додаткової характеристики об'єктів.

Для кращого сприйняття карт використовується багатоколірність змалювання ситуації, гідрографії і рельєфу. Об'єкти, розташовані *на* (іноді також *над* і *під*) земній поверхні, які необхідно зображувати на топографічних планах і картах, заведено називати *місцевими предметами, топографічними елементами* чи *топографічними об'єктами місцевості*.

Єдина система умовних знаків базується на таких основних положеннях:

- 1) кожному умовному знаку відповідає певний топографічний об'єкт місцевості;
- 2) кожен умовний знак повинен мати чіткий і нескладний рисунок, що відрізняє його від інших умовних знаків;
- 3) на картах різних масштабів умовні знаки того самого об'єкта можуть відрізнятися тільки розмірами.

Всі умовні знаки, застосовувані на топографічних картах і планах, а їх кілька сотень, можна поділити на чотири групи.

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

Лінійні – застосовують для відображення *лінійних об'єктів*, що мають значну протяжність і невелику ширину, яка не може бути виражена в масштабі. Це інженерні мережі (водопровід, каналізація, газопровід, теплотраси, лінії електропередачі і зв'язку); на картах середніх і дрібних масштабів – залізниці, шосейні і ґрунтові дороги, просіки в лісі і т.д.

Масштабні чи *контурні* – застосовують для відображення *площових об'єктів*, тобто об'єктів, натуральні розміри яких дають можливість відтворити в масштабі їхнє положення і конфігурацію. На великомасштабних планах – це всілякі будівлі, майданчики, проїзні частини вулиць, тротуари, пішохідні доріжки, газони, клумби та ін. На картах дрібних масштабів – це ліси, чагарники, сільськогосподарські угіддя, озера, болота, піски і т.д. Масштабний умовний знак складається із зовнішнього контуру, що обмежує об'єкт, і внутрішнього малюнка або забарвлення, які відрізняють цей об'єкт від інших, тобто є його ідентифікаторами.

Пояснювальні – служать для відображення і розкриття якісних і/чи кількісних характеристик зображених на плані чи карті об'єктів.

За своєю суттю пояснювальні знаки, є атрибутами об'єктів. Це матеріал стін, кількість поверхів і стан (діючі, споруджувані чи зруйновані) будинків, матеріал дорожнього покриття, довжина, ширина і вантажопідйомність мостів, напрямок і швидкість течії рік і струмків, якість води в колодязях, порода дерев і характеристика лісових насаджень і багато чого іншого.

1.6 Визначення положення точок на земній поверхні

1.6.1 Системи координат, що використовуються в топографії

Планове і висотне положення будь-якої точки, розташованої на фізичній поверхні Землі, визначається просторовими координатами. Так, точка на сфері визначається географічними координатами: φ – географічною широтою, λ – географічною довготою її горизонтальної проекції та висотою H (рис. 1.6).

Географічною широтою φ – називається кут, який відлічується від площини екватора до прямовисної лінії, яка проходить через задану точку M на сфері і змінюється від 0° до 90° . Широта точки називається північною, якщо вона розташована в північній півкулі, і південною, якщо вона розташована в південній півкулі.

Географічною довготою λ – називається кут, який відлічується від площини початкового меридіана, який проходить через Гринвіч до площини географічного меридіана який проходить через дану точку M земної поверхні і змінюється від 0° до 180° на схід або захід в залежності від розташування точки на сфері. Довгота буває східною і західною.

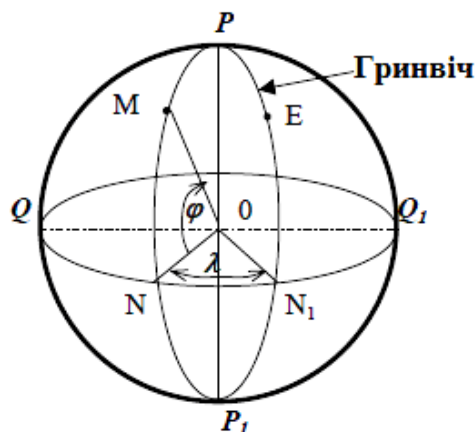


Рис. 1.6 – Географічна система координат

Географічні координати φ і λ на місцевості визначають шляхом астрономічних вимірювань.

У вищій геодезії широко використовується система геодезичних координат на поверхні еліпсоїда (рис. 1.7).

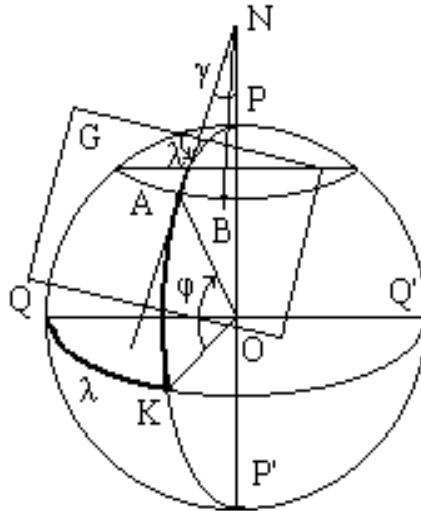


Рис. 1.7 – Геодезична система координат

Геодезичною широтою φ називається кут, який відлічується від площини екватора до нормалі AO , точки A на еліпсоїді обертання і змінюється від 0° до 90° . Широта буває північною і південною, в залежності від того в якій півкулі знаходиться точка.

Геодезичною довготою λ називається кут, який відлічується від площини початкового меридіана (Гринвіч) до площини геодезичного меридіана, який проходить через дану точку A та змінюється від 0° до 180° . Довгота точок, розташованих від початкового меридіана на схід (проти годинникової стрілки), називається східною, а довгота точок, розташованих від початкового меридіана на захід (за годинниковою стрілкою), називається західною.

Положення точки A , розташованої на фізичній поверхні Землі, визначається географічними координатами φ і λ горизонтальної проекції.

За початковий меридіан береться Гринвіцький меридіан (який проходить через астрономічну обсерваторію в Гринвічі). Додатними вважаються північна широта і східна довгота, від'ємними – південна широта і західна довгота.

Для визначення горизонтальних проекцій значно поширена *система плоских прямокутних координат* (рис. 1.8). Вісь абсцис розташована в площині меридіана; додатним вважається північний напрям. Вісь ординат лежить в площині першого вертикала (великого кола, перпендикулярного до площини меридіана), і додатний напрям – східний.

Дуже часто при виконанні топографо-геодезичних робіт використовується система *полярних координат* на площині і в просторі.

У геодезії найчастіше застосовується *полярна система координат* на площині (рис. 1.9). За початок координат береться точка A , звана полюсом, а жорсткий напрям AB називається полярною.

Координатами визначених точок є полярні кути β , відлічувані від полярні за годинниковою стрілкою в діапазоні 0-360°, і полярні відстані ρ .

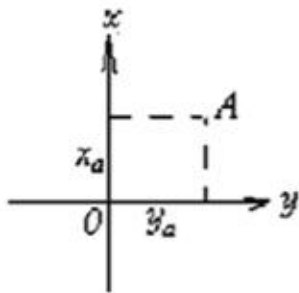


Рис. 1.8 – Прямокутні координати

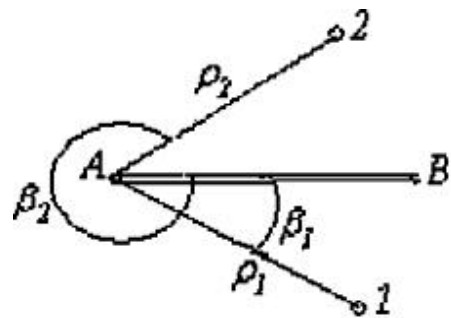


Рис. 1.9 – Полярні координати

Висотою точки називається відстань від рівневої поверхні (поверхні взятої за 0,00 м) до верху знака закріпленої точки. Висоти бувають *абсолютні, умовні і відносні* (або перевищення). Розрахунок абсолютних висот в нашій державі ведуть від нуля Кронштадтського футштока. Назва футшок походить від поєднання англійського слова (*фут*) з німецьким (*палиця, жердина*).

На рис. 1.5 точка *A* має абсолютну висоту H_A , а умовна висота цієї точки буде H_{A1} .

За умовну рівневу поверхню можна брати будь-яку поверхню. Так в будівництві будівельники беруть за висоту $\pm 0,00$ м поверхню, яка співпадає з рівнем чистої підлоги першого поверху кожної будівлі. Таким чином кожна будівля має свою початкову висоту.

Висота однієї точки відносно висоти другої точки називається *відносною* або *перевищенням* і позначається буквою *H*.

Таким чином, перевищення дорівнює різниці висот двох точок з абсолютними або відносними висотами.

Геодезичні вимірювання, за результатами яких обчислюють перевищення між двома точками місцевості, називається *нівелюванням*.

1.6.2 Визначення прямокутних і географічних координат по карті

Земля здійснює протягом доби один повний оберт навколо земної осі PP_1 (рис. 1.10). Ця вісь перетинає рівневу поверхню Землі в двох точках, які називаються полюсами: *P* – північним, P_1 – південним.

Площина, що проходить через земну вісь, перетинає рівневу поверхню Землі по лінії, званої *істинним меридіаном*.

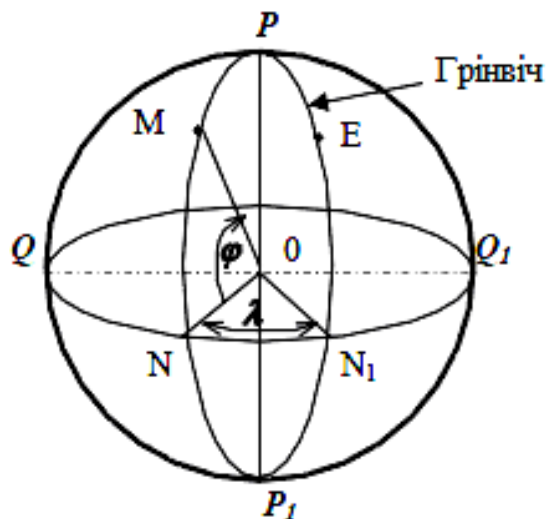


Рис. 1.10 – Визначення географічних координат

Площина, перпендикулярна до земної осі, перетинає рівневу поверхню по лінії, званій паралеллю. Одна з площин, перпендикулярних до земної осі, проходить через центр Землі і перетинає рівневу поверхню по екватору. Якщо взяти Землю за кулю, то паралелі і екватор представляють собою кола, а меридіани півкола.

Через кожену точку земної поверхні, наприклад M (рис. 1.10), можна провести прямовісну лінію MO , меридіан $PMNP_1$ і паралель NN_1 .

Кут φ між прямовісною лінією точки M і площиною екватора називається *географічною широтою* точки M .

Двогранний кут λ , складений площиною меридіана точки M з площиною меридіана PEP_1 , умовно взятого за початковий, називається *географічною довготою* даної точки.

Для розрахунків довгот у нас в країні і в багатьох інших країнах за початковий береться Гринвіцький меридіан.

Широту точки M можна виміряти дугою меридіана MN , а довготу тієї ж точки – дугою паралелі NN_1 . Широти вимірюють на північ і південь від екватора (від 0° до 90°) і називають *північними* і *південними*.

Довготи вимірюють від початкового меридіана на схід і на захід (від 0° до 180°) і називають відповідно *східними* і *західними*.

Широта і довгота, які визначають положення точки на рівній поверхні, називаються *географічними координатами* даної точки, а паралель і меридіан – *координатними лініями системи географічних координат*.

Географічні координати будь-якої точки можна визначити шляхом астрономічних спостережень, за результатами геодезичних вимірювань на місцевості або графічно по карті (рис. 1.11).

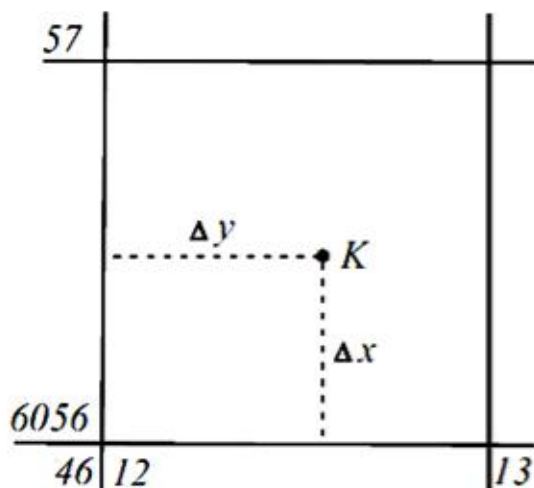


Рис. 1.11 – Визначення прямокутних координат точки K на карті

Коли постає питання визначення прямокутних координат точки K на топографічній карті, то це виконують таким чином (рис. 1.11).

Випишують координати в кілометрах нижнього лівого кута квадрата в якому знаходиться точка K , перетворюють їх на метри та додають до них відповідно Δx і Δy в метрах. Нехай $\Delta x=247\text{м}$ і $\Delta y = 844\text{м}$, тоді повні прямокутні координати точки будуть $x_K = 6056247\text{ м}$; $y_K= 4612844\text{ м}$. Цифри перед тризначним числом кілометрів ординати відповідають номеру зони, тому число кілометрів в кожній зоні не більше від тризначного числа. На рис. 1.11 точка K знаходиться в 4-й зоні на схід від осевого меридіана на відстані 612,844 км.

Запропонована система прямокутних координат Гаусса – Крюгера дозволяє звести спотворення за кривизну Землі до незначної похибки.

1.7 Зображення рельєфу на картах і планах

1.7.1 Основні елементи і форми рельєфу.

Рельєфом називають сукупність нерівностей земної поверхні. Земна поверхня, чи як її ще називають, *топографічна поверхня*, має такі властивості:

1. *Обмеженість* – на поверхні немає нескінченно високих гір і нескінченно глибоких западин.
2. *Однозначність* – кожній парі координат x, y відповідає одне і тільки одне значення висоти H (виняток – нависла скеля в горах).
3. *Безперервність* – нескінченно малим приросткам $x+\delta x, y+\delta y$ відповідає нескінченно малий приросток висоти $H+\delta H$, тобто її можна диференціювати (виняток – кручі і яри з прямовісними схилами).

Усе розмаїття земної поверхні являє собою складну комбінацію таких *основних форм* рельєфу (рис. 1.12):

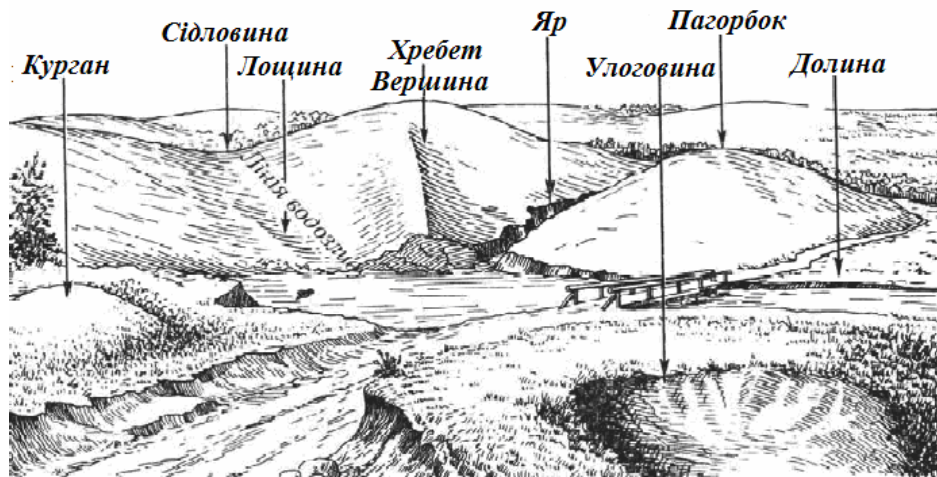


Рис. 1.12 – Основні форми рельєфу

1. *Гора, пагорб* – височина конусо- або куполоподібної форми. Найвищу точку гори чи пагорба називають вершиною, бічні поверхні – схилами, які у нижній частині закінчуються підшвою.

2. *Улоговина (западина)* – безстічне конусо- чи чашоподібне заглиблення. Найнижчу точку улоговини називають дном, бічні поверхні – схилами, які у верхній частині закінчуються брівкою або краєм.

3. *Хребет* – підняття подовженої форми, що поступово знижується. Лінія уздовж хребта, яка проходить по найвищих точках, називається *вододілом*.

4. *Лощина* – заглиблення подовженої форми, що поступово знижується. Лінія уздовж лощини, яка проходить по найнижчих точках, називається *водозливною лінією* або *тальвегом*.

5. *Сідловина* – має форму, що нагадує сідло, утворюється там, де сходяться два хребти і розходяться тальвеги двох лощин.

6. *Долина* – (так само як і лощина, і балка) обмежена двома схилами, які прямують вниз. Це витягнута увігнута форма, що понижується в одному напрямі. По дну долини, як правило, тече постійний водотік. Долина, як і лощина, зображається на карті системою *V-подібних* горизонталей, обернених опуклістю вгору по схилу.

Розглянуті форми не зустрічаються в природі ізольовано, зазвичай вони поєднуються, переходять одна в іншу і утворюють складніші комплекси форм. Наприклад: коли в хребет або увал з протилежних сторін вриваються дві долини або лощини, утворюється прогин, званий *сідловиною*, найбільш знижена точка якої, називається *перевалом*.

1.7.2 Задачі, розв'язувані по карті в горизонталях

Рельєф місцевості на плані можна зобразити *написами висот* характерних точок.

Наочну уяву про форми рельєфу та крутизну схилів дає спосіб штрихів, які наносять паралельно схилу за принципом: чим крутіший схил, тим товщий штрих.

Чітке та об'ємне відображення рельєфу місцевості на географічних картах дає *спосіб відмивки схилів*, тобто фарбування схилів коричневою фарбою (чим крутіший схил, тим темніший тон фарби) і *спосіб кольорової пластики*.

Метод кольорової пластики передбачає фарбування карт різними тонами декількох кольорів в залежності від висот точок місцевості: низин – зеленим кольором, гори й передгір'я – коричневим та ін. Способи відмивки й кольорової пластики, як і спосіб штрихів не дають точної уяви про перевищення між точками земної поверхні, тобто вимірювальні роботи за такими картами виконати дуже важко.

Найбільш розповсюджений спосіб зображення рельєфу на планах і картах – *спосіб горизонталей*. Він відповідає всім перерахованим вище вимогам. Горизонталь можна уявити як слід перерізу рельєфу рівневими поверхнями, паралельними між собою.

Отже *горизонталь* – це лінія на земній поверхні, що з'єднує точки з однаковими висотами. Задана відстань між двома суміжними горизонталями по висоті (суміжними січними поверхнями) називається висотою перерізу рельєфу h , а відстань між двома суміжними горизонталями на карті називається закладенням – d .

Щоб передати закономірності зміни форм рельєфу, значення h встановлюється постійним для карт одного масштабу.

Вважається, що нормальна висота перерізу рельєфу дорівнює 0,2 мм знаменника чисельного масштабу карти. Місцевість за характером рельєфу поділяють на рівнинну, горбкувату та гірську. В залежності від цього висоти перерізу для різних масштабів карт беруться різні.

Горизонталі, якими зображують форми рельєфу у відповідності зі взятою висотою перерізу, називають *основними*. Ці горизонталі кресляться тонкими безперервними лініями. Відмітки їх висоти завжди кратні висоті перерізу.

Наприклад, при $h = 2,5$ м відмітки горизонталей набирають значення 2,5; 5; 7,5; 10 і т.д. при $h = 10$ м – відповідно 10; 20; 30 і т.д.

Основними горизонталями не завжди можна виразити всі деталі рельєфу. Для виявлення його характерних особливостей часто через половину перерізу проводять додаткові, або напівгоризонталі, які кресляться подовженими пунктирними лініями. Інколи в окремих місцях і напівгоризонталі не можуть виразити всіх особливостей рельєфу. В такому випадку проводять допоміжні горизонталі на висоті перерізу, що часто дорівнює чверті основного, їх зображують коротким пунктиром.

Необхідно відзначити, що горизонталі не дають наочного просторового уявлення про рельєф місцевості. Гора й улоговина за

горизонталями мають однакову форму і відрізнити їх можна тільки за напрямком схилів. Для цього на одній або декількох горизонталях проводять *скат-штрихи (бергштрихи)* в сторону пониження схилу. У хребта скат-штрихи проводять від горизонталі з опуклої сторони, а у лощини – з увігнутої. Відмітки висоти горизонталей підписуються в їх розривах так, щоб основа цифри була направлена до підошви схилу.

Для зручності підрахунку горизонталей при вирішуванні практичних задач деякі горизонталі потовщуються. При висоті перерізу 0.5 і 1 м потовщують кожен горизонталь, кратну 5 м (5, 10, ... 115. 120м і т.д.), при перерізі рельєфу через 2,5 м – горизонталі, кратні 10 м (10, 20, ... 100 м і т.д.), при перерізі 5 м потовщуються горизонталі, кратні 25 м.

Обриви, промоїни, ями і круті схили ярів зображують на планах і картах зубцями, а насипи і виїмки залізничних ліній – рисочками.

Горизонталі та інші умовні знаки природних форм рельєфу зображують коричневим кольором, а штучні форми рельєфу – чорним.

Так, для показу на картах ряду форм рельєфу, які не виражаються горизонталями в масштабі карти, застосовують умовні знаки: *курганів, скель-останців, окремо лежачих каменів, обвалів, осипів з піску, каменю, щебеню, а також: ярів, карстових воронок, промоїн, крутих обривів, задернованих уступів.*

Деякі з цих знаків супроводжуються *кількісними показниками.*

Наприклад: поряд з умовним знаком дається підпис *висоти (глибини)* в метрах: обриву, насипу, виїмки, кургану, ями; а ярів і промоїн (підпис у вигляді дробу, де в чисельнику вказується ширина яру або промоїни, а в знаменнику – їх глибина в *метрах*). Штучні форми рельєфу (*насипи, виїмки й інше*) на топографічній карті показують *знаками чорного кольору*, зображення природного рельєфу – *коричневим кольором.*

Основні властивості горизонталей: 1. Всі точки місцевості, що лежать на горизонталі, мають однакові відмітки. 2. Горизонталі не можуть перетинатись на плані: окремий виняток з цього правила – нависла скеля. Сусідні горизонталі можуть відрізнитись за своїми відмітками тільки на одну висоту перерізу, або бути однаковими. 3. Горизонталі безперервні замкнені лінії. 4. Відстань між горизонталями на плані характеризує форму і крутість схилів місцевості (рис. 1.13). Розрізняють чотири форми схилів: рівний, опуклий, увігнутий і хвилястий. При рівних відстанях між горизонталями місцевість має рівний схил. Якщо схил опуклий, відстань між горизонталями зменшується від вершини до підошви: при увігнутому схилі, навпаки, зменшення відстані між горизонталями йде від підошви до вершини. 5. Лінії вододілів і водотоку пересікаються горизонталями під прямим кутом. Для швидкого визначення кута нахилу користуються спеціальним графіком закладення, який поміщається внизу листа карти справа (рис. 1.14).

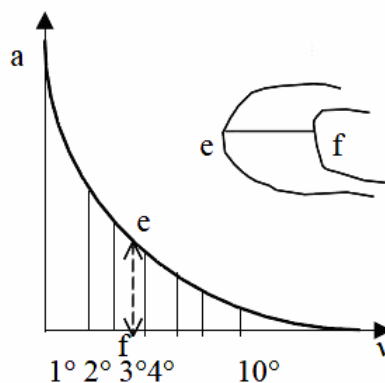
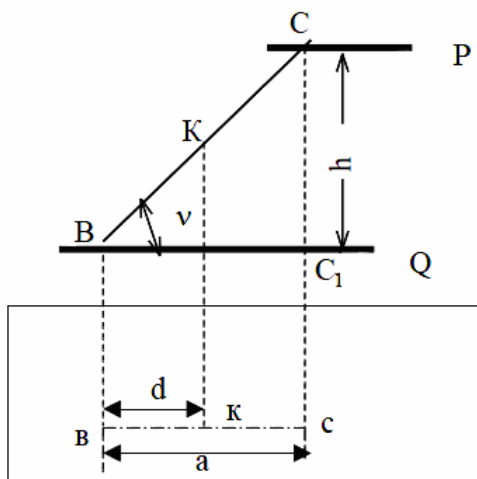


Рис. 1.13 – Визначення крутості ската Рис. 1.14 – Графік закладення для кутів нахилу

Крутість ската BC можна характеризувати кутом ν , який лінія місцевості BC утворює з горизонтальною площиною Q (рис. 1.13).

З прямокутного трикутника BCC_1 виходить $\operatorname{tg} \nu = h/a$, де h – висота перерізу рельєфу, a – закладення.

Крутість ската можна також визначити *ухилом* i , який дорівнює

$$i = \operatorname{tg} \nu. \quad (1.2)$$

Ухил лінії зазвичай виражається у відсотках або в проміле (тисячні частки одиниці).

Відмітка будь-якої точки на топографічній карті визначається по відмітках найближчих горизонталей. Якщо точка знаходиться на самій горизонталі, то її відмітка дорівнює відмітці горизонталі. Якщо точка знаходиться між горизонталями, то необхідно виконати інтерполяцію.

Інтерполяцією горизонталей називається процес знаходження на лінії точок, через які пройдуть горизонталі. Інтерполяцію можна виконати трьома способами: аналітичним, графічним і «на око».

Поздовжній профіль місцевості є зменшеним зображенням вертикального розрізу земної поверхні по заданому напрямку.

1.8 Визначення площі топографічної поверхні

Визначення площі контурів. Обчислення площ за результатами вимірів на місцевості дає більш високу точність. Залежно від розміру та форми ділянок і бажаної точності, площі можна визначати трьома способами: аналітичним, графічним, механічним, які можна застосовувати, як окремо, так і комплексно.

Аналітичний спосіб. Обчислення площ за координатами вершин полігону застосовується, коли полігон має складну форму багатокутника, межі якого прямолінійні і відомі координати його вершин. Для виведення відповідних формул візьмемо простий замкнений полігон у вигляді трикутника ABC, координати вершин якого відомі.

В загальному випадку це рівняння виразиться такою формулою:

$$2S = \sum X_n \cdot (Y_{n+1} - Y_{n-1}) \quad (1.3)$$

і читається так: *подвійна площа багатокутника дорівнює сумі послідовних добутків абсцис (іксів) на різницю ординат (ігреків) наступної та попередньої по відношенню до абсциси.*

Якщо праву частину рівняння згрупувати по Y (ігреках), то формула набере вигляду:

$$2S = \sum Y_n \cdot (X_{n-1} - X_{n+1}) \quad (1.4)$$

і читається так: *подвійна площа багатокутника дорівнює сумі послідовних добутків ординат (ігреків) на різницю абсцис (іксів) попередньої і наступної по відношенню до ординати.*

Звичайно результати обчислення площі за обома формулами мають бути однаковими. Цей спосіб є найбільш точним, тому що помилка у визначенні площі залежить тільки від помилок вимірювань на місцевості.

Вважається, що відносна помилка визначення площі дорівнює подвійній відносній помилці вимірювання ліній, наприклад, для середніх умов вимірювання ліній мірною стрічкою відносна помилка дорівнює 1:2000, тоді відносна помилка визначення площі буде 1:1000.

Основний недолік способу – складність обчислень. Тому в сучасних умовах для визначення площ полігонів, особливо з великою кількістю вершин, застосовують комп'ютери, в пам'ять яких занесені формули. Оператори вводять у комп'ютер координати точок (вершин полігону) і за лічені хвилини дістають площу полігону, із занесенням результатів у спеціальну відомість.

Графічний спосіб. Цим способом площі обчислюють за результатами вимірів ділянок на місцевості, якщо межі їх прямолінійні і фігура ділянки має просту геометричну форму (трикутника, прямокутника, трапеції тощо). Підставляючи величини основ, висот та інших вимірів у формули, відомі з геометрії та тригонометрії, знаходять їх площу.

Точність визначення площ графічним способом залежить від точності вимірювання ліній на плані. Відомо, що відрізки прямої вимірюються на плані з точністю 0,1 мм незалежно від довжини ліній. Тому відносна помилка при вимірюванні коротких ліній буде більшою, ніж при вимірюванні довгих ліній, отже, фігури, на які поділяється полігон, повинні бути по можливості більшими і не дуже витягнутими, щоб основа

і висота фігури були приблизно однаковими, а план – у крупнішому масштабі. При цьому бажано в розрахунках у першу чергу використовувати лінії, довжина яких виміряна безпосередньо на місцевості. Для того, щоб уникнути грубих помилок і підвищити точність визначення площі, лінії вимірюють двічі з допустимою похибкою 1/200.

Графічний спосіб застосовують також для визначення площі витягнутих контурів (доріг, каналів, невеликих річок).

Загальне правило для графічного способу таке: *чим крупнішим є масштаб плану (карти), тим точніше визначається площа.* До графічного способу відносять також визначення площ палетками.

Палетка – це сітка квадратів із стороною 0,2, 0,4, 0,5 або 1 см, накреслена на прозорому матеріалі (технічній фотоплівці, органічному склі, восківці), або сітка паралельних ліній, накреслених на тому ж матеріалі через однакові відстані одна від одної (0,2, 0,4, 0,5 або 1 см).

Палетки використовують при визначенні площі ділянок, які мають криволінійні контури: невеликі розміри на плані: до 2 см² для квадратної палетки і близько 10 см² для палетки з паралельними лініями.

Квадратну палетку накладають на контур ділянки і підраховують кількість повних квадратів, що вміщуються в контурі. Із неповних квадратів, розміщених на периферії контуру на око складають цілі квадрати і визначають загальну кількість квадратів.

Потім обчислюють площу одного квадрата у квадратних метрах (або гектарах) за масштабом плану. Добуток площі одного квадрата на кількість їх у даному контурі дасть площу всієї ділянки.

Визначення площ квадратною палеткою проводиться з відносною помилкою від 1/50 до 1/100 вимірюваної величини.

Палетка з паралельними сторонами – це сітка паралельних ліній, відстань між якими (h) однакова. Для визначення площі палетку накладають на контур ділянки. Фігуру кожної ділянки, обмеженої двома сусідніми паралельними лініями, умовно беруть за трапецію, площу якої можна визначити через середню лінію (l) і висоту (h).

Площа першої трапеції буде $S_1=l_1h$, другої $S_2=l_2h$, третьої $S_3=l_3h$, n -ї трапеції $S_n=l_nh$. Загальна площа контуру буде дорівнювати сумі площ трапецій, тобто: $S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$. Підставивши значення площі кожної трапеції, одержимо: $S = l_1h + l_2h + l_3h + \dots + l_nh$. Винесемо h за дужки і дістанемо: $S = h(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)$.

Отже, для обчислення площі ділянки за допомогою палетки з паралельними лініями, треба знайти сумарну довжину середніх ліній у сантиметрах. За масштабом перевести її у метри і помножити на відстань між двома сусідніми паралельними лініями (h), також переведену у метри.

Довжини середніх ліній вимірюють циркулем-вимірником. Для прискорення і полегшення визначення площі під палеткою розміщують шкалу – графіки лінійних масштабів площ. Ними користуються як

звичайним лінійним масштабом. На шкалі потрібного масштабу циркулем-вимірювачем відкладають сумарну довжину середніх ліній і на масштабі читають площу даної ділянки відразу у гектарах.

Механічний спосіб визначення площ. При цьому способі застосовують спеціальний прилад – *планіметр*.

Це механічний прилад, який дає можливість шляхом обводу контуру фігури будь-якої форми визначити її площу. Планіметри бувають *лінійні* і *полярні*. Найбільш поширеними є *полярні планіметри*.

Однокаретковий полярний планіметр складається з полюсного і обвідного важелів та каретки (рис. 1.15).

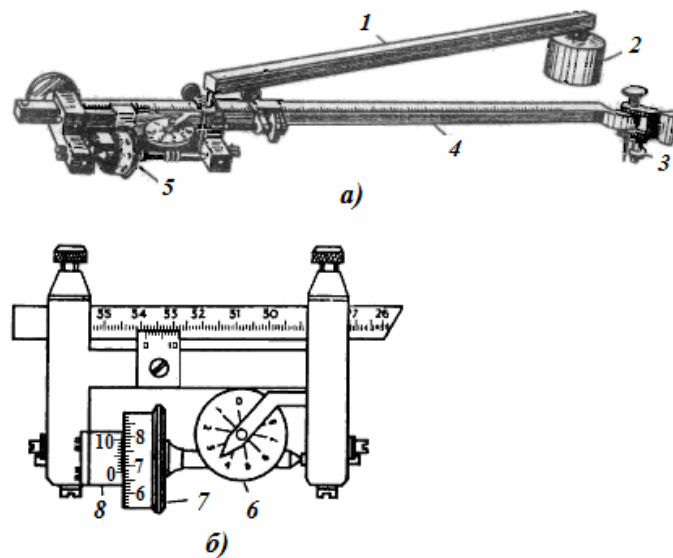


Рис. 1.15 – Полярний планіметр:

а – зовнішній вигляд; *б* – відліковий пристрій (відлік 3682)

На каретці змонтовано відліковий механізм: лічильний ролик з барабаном, який має шкалу на 100 поділок і циферблат з 10 поділками. Лічильний ролик, переміщуючись по плану (карті) показує кількість поділок, пройдених ним під час обводу контуру фігури. Кількість повних обертів ролика відраховують по циферблату, а його частин – за допомогою верньєра. Полюсний важіль (1) представляє собою металевий брусок квадратного перерізу на одному кінці якого прикріплено тягарець – полюс (2), в центрі нижньої частини якого уставлено голку. За допомогою голки полюс закріплюють на плані (карті). Другий кінець полюсного важеля має шарнір (стрижень із кулеподібною головкою), який скріплений з бруском під прямим кутом. Шарнір під час роботи планіметра вільно вставляється у конусний отвір каретки. Полюсний важіль звичайно пофарбований у чорний колір.

Обвідний важіль зроблений з білого металу, має вигляд такого ж бруска, як і полюсний важіль.

На одному кінці обвідного важеля змонтовано обвідний пристрій у вигляді тупого шпиль або обвідного скельця в металевій оправі з точкою у центрі (3). Шпиль або точку обвідного скельця переміщують по плану (карті) за допомогою серги. По обвідному важелю (4) пересувається каретка з відліковим механізмом (5). Залежно від її положення на важелі визначають його довжину, користуючись шкалою верньєра важеля.

У двокареткових планіметрів марки ПП-2К (планіметр полярний двокаретковий) на обвідному важелі змонтовано дві каретки однакової будови.

Для визначення площі якої-небудь фігури полюс полярного важеля закріплюють за допомогою голки на плані поблизу вимірюваної ділянки. Обвідний пристрій (шпиль або центр обвідного скельця) встановлюють на будь-яку позначену олівцем точку контуру і на відліковому механізмі беруть перший відлік (до обводу). Потім обвідним пристроєм обводять ділянку по контуру (бажано за годинниковою стрілкою) до повернення у початкову точку і беруть другий відлік m_2 (після обводу).

Різниця відліків ($m_2 - m_1$) дасть площу обведеної фігури у поділках планіметра. Площа фігури (S) буде визначатись за формулою:

$$S = C (m_2 - m_1), \quad (1.5)$$

де C – ціна поділки планіметра.

Теоретично ціна поділки планіметра (C) визначається за формулою:

$$C = R t, \quad (1.6)$$

де R – довжина обвідного важеля (відстань від обвідної точки скельця до осі обертання важелів); t – розмір однієї поділки планіметра. Звичайно $R \approx 160$ мм, а $t \approx 0,06$ мм. Тобто, $C = 160 \cdot 0,06 \approx 10 \text{ мм}^2 = 0,1 \text{ см}^2$.

Для користування планіметром треба вміти читати відліки і визначати ціну поділки планіметра – встановлювати, скільком квадратним метрам відповідає одна поділка планіметра при даному масштабі плану.

Відлік на лічильному механізмі складається із 4 цифр: першу цифру читають на циферблаті проти нерухомого покажчика (індексу). причому беруть меншу з двох.

Другу цифру читають на барабані лічильного ролика – це номер молодшого підписаного штриха, найближчого до нуля верньєра (2); третю цифру також читають на барабані ролика – це кількість не підписаних поділок від другої цифри до нуля верньєра лічильного механізму (3); четверту цифру читають на верньєрі відлікового механізму – це номер поділки верньєра, рахуючи від нуля, яка точно співпадає з будь-якою поділкою на барабані ролика (4). При додержанні цих рекомендацій площі вимірюють планіметром з точністю $1/200 \div 1/400$ вимірюваної величини.

В сучасних умовах, коли широкого розповсюдження набули електронні прилади, для вимірювання площ застосовують *електронні планіметри*. Ці прилади, крім обвідного пристрою, мають електронно-лічильний пристрій і обчислювальну клавішну машину для друку. На табло електронно-лічильного пристрою фіксується виміряна площа. Величина площі контуру, секції або частини можуть бути надруковані на паперовій стрічці обчислювальної машини для друку. Електронний планіметр підвищує точність визначення площ, тобто підвищує якість і продуктивність роботи по визначенню площ.

1.9 Орієнтування на місцевості. Азимути ліній, дирекційні кути і магнітні азимути ліній, їхній взаємозв'язок

Всі роботи, пов'язані з обстеженням територій, проектуванням і будівництвом об'єктів народного господарства, потребують їх орієнтування відносно сторін світу і існуючих об'єктів на місцевості.

Орієнтування виконують відносно початкових орієнтирних напрямків (рис. 1.16). Початковими орієнтирними напрямками в геодезії беруться такі: *істинний, магнітний і осьовий меридіани*.

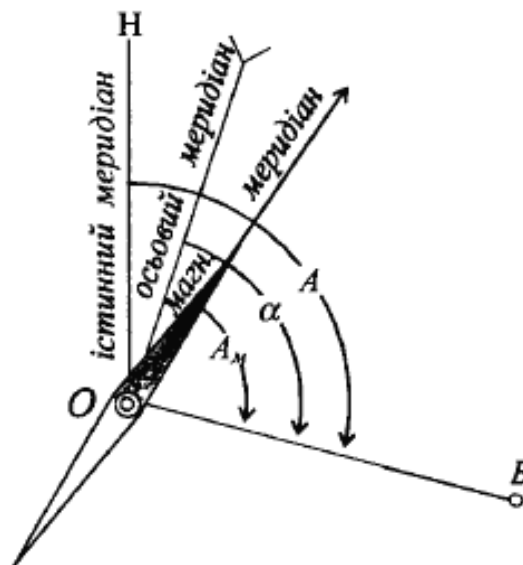


Рис. 1.16 – Орієнтування лінії АВ відносно вихідних

Таким чином через будь-яку точку на місцевості можна провести істинний, магнітний та осьовий меридіани або лінію паралельну осьовому меридіану.

Розташування всіх меридіанів відносно один одного може бути будь-яке тому, що воно залежить від місця розташування самої точки на земній поверхні.

Орієнтування лінії на земній поверхні полягає у визначенні горизонтального кута між початковим орієнтирним напрямком і даною лінією. Оскільки існує три початкових напрямки, то горизонтальні кути визначені відповідно них мають свої назви. Все залежить від того, відносно якого початкового напрямку виконують орієнтування.

Коли орієнтування виконують відносно істинного меридіана, то визначають *істинний азимут*.

Істинним азимутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку істинного меридіана за ходом годинникової стрілки та напрямом на предмет і змінюється від 0° до 360° , позначається великою буквою A .

Якщо орієнтування виконують відносно магнітного меридіана, то визначають *магнітний азимут*.

Магнітним азимутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку магнітного меридіана за ходом годинникової стрілки та напрямком на предмет і змінюється від 0° до 360° , позначається великою буквою A_m .

Якщо орієнтування виконують відносно осьового меридіану, то визначають *дирекційний кут*.

Дирекційним кутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку осьового меридіана або лінії, паралельної йому, за ходом годинникової стрілки та напрямом на предмет і змінюється від 0° до 360° , позначається грецькою буквою α .

На рис. 1.17 наведено положення точок M і N , які розташовані на земній поверхні, та їх азимути і дирекційні кути.

Істинний і магнітний меридіани, як правило, не співпадають.

Напрямок N_m – це горизонтальна лінія в площині магнітного меридіана, тобто в прямокутній площині, яка проходить через вісь вільно підвішеної магнітної стрілки.

Через нерівномірний розподіл магнітних мас всередині Землі напрям магнітного меридіана не співпадає з напрямком на магнітний полюс. Крім того, магнітна вісь Землі відхилена від осі обертання Землі приблизно на 12° . Під впливом цих факторів між напрямками географічного і магнітного меридіанів в якій-небудь точці на поверхні Землі утворюється кут δ (рис. 1.17).

Цей кут називають *схиленням* магнітної стрілки і відраховують від істинного меридіана до магнітного. Східному схиленню приписують знак плюс, західному – знак мінус.

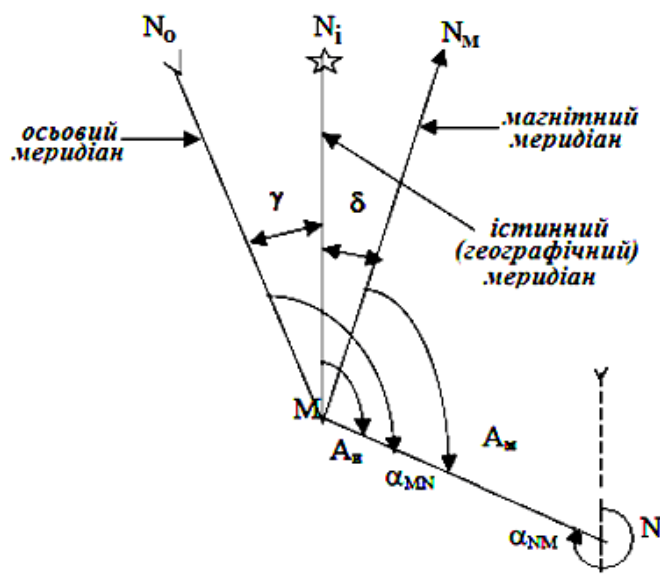


Рис. 1.17 – Залежність між істинним і магнітним азимутами та дирекційними кутами

Напрямок N_0 – це напрямок, як правило, паралельний осьовому меридіану або осі абсцис координатної сітки зони. Якщо точка розташована на осьовому меридіані, то напрями N_i та N_0 збігаються. Якщо точка не на осьовому меридіані, то між осьовим та істинним меридіаном утворюється кут γ . Цей кут називають *зближенням* меридіанів. Він відраховується від істинного меридіана до осьового. Східному зближенню приписують знак плюс, західному – мінус.

Зближення меридіанів можна вибрати зі схеми під південною рамкою топографічної карти або обчислити за формулою

$$\gamma = \Delta\lambda \operatorname{Sin}\varphi, \quad (1.7)$$

де $\Delta\lambda$ – різниця довгот географічного меридіана точки і осьового меридіана зони; φ – широта точки.

Орієнтування лінії місцевості щодо вихідних напрямків здійснюють за допомогою орієнтирних кутів. Кут між північним напрямком істинного меридіана і напрямком лінії AB називають *істинним азимутом* (рис. 1.17). Істинний азимут A відраховують від істинного меридіана за годинниковою стрілкою, він змінюється від 0° до 360° .

Між істинним і магнітним азимутами та дирекційними кутами при відомих схиленнях магнітної стрілки і зближеннях меридіанів існує наступна математична залежність:

$$A = A_M + \delta; \quad A = \alpha + \delta. \quad (1.8)$$

Контрольні запитання

1. Дайте визначення карти.
2. Охарактеризуйте властивості карти.
3. За якими ознаками класифікують географічні карти?
4. Наведіть класифікацію тематичних карт.
5. Дайте визначення географічних атласів.
6. Для чого призначені регіональні екологічні атласи?
7. Дайте визначення топографічних карт і планів.
8. Які властивості топографічних карт зумовлюють можливість їх використання в багатьох галузях наукової і практичної діяльності?
9. Наведіть характеристику форм рельєфу.
10. Поясніть суть зображення рельєфу горизонталями.
11. Охарактеризуйте, як зображуються місцеві предмети на топографічних планах і картах.
12. Які кількісні характеристики елементів місцевості одержують з допомогою топографічних карт?
13. Які координати називаються геодезичними, астрономічними, географічними?
14. Що таке висота точки? Дати поняття системи висот. Що таке перевищення?
15. Що таке осьовий меридіан?
16. Як відлічуються координати в зональній плоскій прямокутній системі координат?
17. Що таке місцева система координат?
18. Що таке топографічний план і топографічна карта? У чому їх схожість і в чому відмінність?
19. Що називають висотою перерізу рельєфу і закладанням? Як визначити відмітку точки, що знаходиться між горизонталями?
20. Що таке схил і за якою формулою його можна визначити? У яких одиницях вимірювання можна виразити схил? Як побудувати графік закладання для схилів і як провести на плані або карті лінію заданого схилу?
21. Як визначити географічні і прямокутні координати точки на топографічній карті?
22. Дати визначення кутів орієнтування. Якими способами можуть бути визначені кути орієнтування на місцевості?
23. Як виміряти на карті дирекційний кут і перейти від нього до магнітного азимута?

2 ТОПОГРАФІЧНІ ЗЙОМКИ

Зйомки виконують різними приладами із застосуванням різних матеріалів для реєстрації одержаних вихідних даних.

Традиційно зйомки поділяють, перш за все, *залежно від місця знаходження знімального обладнання під час зйомок, на наземні та повітряні* з використанням фотографічних приладів (аерофото-топографічна зйомка). Однак становлення й розвиток наземного знімання із застосуванням фотографій місцевості дає підставу класифікувати зйомки на топографічні та фототопографічні з подальшим поділом на наземні та повітряні. Можна також виділити зйомки суші і зйомки шельфу.

Найчастіше зйомки класифікують *за приладами, які застосовують під час їх виконання*. У практиці геодезичних досліджень поширені такі види зйомок: *теодолітна*, що виконується за допомогою теодолітів, *тахеометрична*, яку виконують за допомогою тахеометрів, і *мензульна*, яку здійснюють за допомогою мензульного комплекту.

В окремих випадках використовують *бусольну* зйомку, при якій основним геодезичним приладом є бусоль, та *окомірну* зйомку, суть якої становить визначення відстаней на місцевості "на око". На місцевості з нечітко вираженими формами рельєфу застосовують *нівелювання* поверхні.

Наземні топографічні зйомки потребують значних затрат часу і зусиль на безпосередні вимірювання на місцевості, тому їх проводять лише тоді, коли інші види зйомок недоцільні з економічних міркувань (мала площа ділянок, ділянки у вигляді вузької смуги тощо).

Розрізняють також горизонтальну (*планову*) і вертикальну (*висотну*) топографічні зйомки.

Всі знімальні роботи є *польовими*; подальші геодезичні роботи – обчислювальні і графічні – виконуються в кабінетах і лабораторіях і називаються *камеральними*.

Основні закони зйомок: *безперервний контроль всіх дій і проведення робіт за принципом від загального до частинного*.

Спочатку визначають з великою точністю положення невеликого числа допоміжних – геодезичних точок, а потім вже знімають решту всіх точок, які мають бути нанесені на плані. Зйомці підлягають не всі деталі, а тільки ті, які необхідні для даної мети. Чим більше деталей треба відобразити на плані і чим точніший він має бути, тим більший масштаб слід взяти для нього.

Зйомка будь-якого угіддя або споруди починається зі зйомки його межі. Ця межа найчастіше буває кривою лінією. Кожну криву можна замінити деякою ламаною лінією, причому чим більше зламів, тим ближча вона буде до реальної кривої.

Кожен відрізок ламаної лінії визначається положенням двох його кінцевих точок.

Отже, зйомка місцевості завжди зводиться до визначення положення деякого числа окремих точок кожного контуру.

З'єднавши послідовно ці точки, ми тим самим накреслимо на плані відповідні контури в зменшеному і подібному вигляді.

Деякі предмети, розташовані на поверхні Землі, мають правильні межі, контури яких підпорядковані відомим геометричним умовам. Наприклад, горизонтальні прокладення будов – прямокутники, клумби і квітники – правильні багатокутники, сторони доріг – паралельні лінії, лінії телефонних і електропередач – прямі лінії і так далі.

Всі ці закономірності необхідно враховувати під час зйомки. Для визначення положення будь-якого предмета правильної форми на горизонтальній площині щодо опорних геодезичних точок (пунктів) досить визначити положення тільки двох точок цього предмета. При цьому передбачається, що є всі дані, необхідні для побудови плану цього предмета, і визначається лише місце на площині, де його необхідно розташувати.

Наприклад, при зйомці в саду клумби, що має форму правильного багатокутника, досить визначити положення лише двох його вершин відносно межі саду, останні – легко буде побудувати, знаючи довжину і число сторін багатокутника (контури клумби). Так само поступають і під час зйомки окремої будови: побудувавши два її кута, решту кутів можна нанести по відповідним вимірам. Якщо межа, що знімається, має неправильну форму, то всі її характерні точки визначають незалежно один від одного (прив'язують до опорних точок).

Зйомку місцевості і складання плану частіше виконують неодноразово. Це дозволяє прискорити проведення польових робіт і створити кращі умови для виконання камеральних (обчислювальних, креслярських і тому подібне) робіт в приміщенні.

Для того, щоб зйомник не помилився в проведених ним промірах і щоб правильно зумів з'єднати на плані зняті точки, він веде схематичну зарисовку місцевості, вказуючи виміряні величини.

Такий зроблений від руки схематичний план місцевості, на якому показуються контури угідь, місцеві предмети, результати вимірів, наводяться назви і інші відомості, необхідні для складання точного плану, називається *абрисом*. Його складають на окремі ділянки місцевості або на всю територію відразу. На абрисі треба прагнути замалювати місцевість детально, всі числа підписуються так, щоб було зрозуміло, до яких величин вони відносяться. Абрис потрібно вести настільки виразно, щоб він був зрозумілий іншій особі, знайомій зі зйомками.

Система (сукупність) опорних точок, що забезпечують зйомку на деякій ділянці поверхні Землі, називають знімальним обґрунтуванням.

Проста сітка складається з однієї сторони, далі за ступенем складності слідує сітка з одного трикутника, потім – з одного

багатокутника (полігону) і, нарешті, сітка, що складаються з декількох трикутників і багатокутників.

При зйомках місцевості використовуються різні *способи створення знімального обґрунтування*; найважливіші з них наступні:

- *триангуляція* – система трикутників, в яких вимірюються кути і базисні сторони (решта сторін обчислюється);
- *трилатерація* – система трикутників, в яких вимірюються сторони;
- *супутникова триангуляція* – просторова геодезична сітка, елементи якої отримані по вимірних синхронно з різних наземних станцій сферичних координат напрямів на ШСЗ;
- *полігонометрія* (обхід) і теодолітні ходи;
- *створні методи*;
- *спосіб прямокутних координат* (перпендикулярів);
- *спосіб полярних координат* (кругового візування);
- *засічки* кутові і лінійні.

Перші чотири способи зазвичай застосовуються для створення геодезичної мережі, останні – для розвитку знімальної сітки.

2.1 Планові зйомки

Суть горизонтальної зйомки полягає у вимірюванні горизонтальних кутів за допомогою кутомірних приладів – теодолітів. Тому таку зйомку ще називають теодолітною зйомкою.

За результатами теодолітного знімання будують контурний план місцевості, на якому зображують контури (горизонтальні проекції обрисів) населених пунктів, річок, озер, лісів, полів, доріг і інших об'єктів і ситуації.

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

Теодолітне знімання виконують з метою отримання плану місцевості у великому масштабі (1:2000 – 1:10000) для складання проектів будівництва інженерних споруд, будівель, автомобільних доріг тощо.

2.1.1 Теодолітна зйомка

Будова та перевірки теодоліта. Орієнтування теодолітних ходів, зйомка ситуації. Вимір горизонтальних кутів.

Теодолітна зйомка, як і інші зйомки, проводиться за основним правилом геодезії «від загального до конкретного», тобто спочатку створюється знімальна геодезична мережа, а потім виконується зйомка подробиць (ситуації). Знімальною геодезичною мережею при теодолітній

зйомці може бути мережа трикутників (триангуляція) або мережа теодолітних полігонів, що складають групу суміжних багатокутників або теодолітних ходів.

Теодолітним ходом називається побудований на місцевості розімкнений або зімкнутий багатокутник, в якому вимірюються всі сторони і горизонтальні кути між ними. Хід, прокладений всередині крупного полігону для згущення знімального обґрунтування і, опираючись на точки полігону, називається діагональним. Хід може бути прокладений між двома жорсткими точками (координати таких точок відомі), жорсткими сторонами (координати початкової і кінцевої сторін відомі). Хід, що спирається на жорстку точку (або сторону) тільки одним кінцем, називається висячим.

Перед початком вимірів на місцевості всі вершини (поворотні точки) полігонів і ходів залежно від їх призначення і термінів робіт закріплюються кілками, стовпами і іншими знаками. Після закріплення точок вимірюють кути і довжини сторін (ліній) полігонів і ходів. Перед виміром ліній проводять підготовку, що полягає у вішенні їх, а також видаленні з вимірюваної лінії каменів, куців, горбків і тому подібне

Таким чином, *процес теодолітної зйомки складається з:*

- позначення і закріплення точок на місцевості;
- підготовки ліній до виміру;
- вимірів ліній і кутів між ними;
- зйомки ситуації.

Для виміру сторін теодолітного ходу застосовуються сталеві стрічки, рулетки, різні далекоміри; кути вимірюються за допомогою теодолітів. Залежно від умов місцевості, призначення зйомки, точності вимірів, вимог до збереження точок для їх позначення застосовуються різні знаки. Для позначення точок знімального теодолітного ходу в сільській місцевості застосовують дерев'яні кілки завдовжки 20-30 см, які забиваються врівень із землею або їх верхні грані залишають над поверхнею не більше 2 см. Для швидкого розшуку знаку навколо кола викопується канава у вигляді трикутника, квадрата або кільця діаметром 0,5-1,0 м, шириною 0,1-0,2 м. Кілок має зазвичай круглий або квадратний переріз. Центр у верхньому зрізі кола представляє вершину кута, над якою встановлюється кутомірний інструмент і яка служить початком лінії ходу. Для позначення номера точки поряд з кілком інколи забивають другий кілок – сторожок, на верхній частині якого над землею 0,1 м підписують номер. При необхідності зберегти позначення точки на триваліший термін замість кілка в землю вкопують дерев'яний або бетонний стовп завдовжки 1,5 м на глибину 0,6-1,0 м, під який кладуть камінь або цеглину; навколо стовпа виривають канаву на багнет лопати, землю з канави насипають біля стовпа у вигляді кургану, що має форму усіченого конуса з діаметром нижньої основи до 2 м.

З метою запобігання витягування дерев'яного стовпа із землі в нижню його частину врізають шаблину. Для точнішого позначення точки у верхній зріз дерев'яного стовпчика забивають цвях, центр головки якого і є вершиною вимірюваного кута, а на верхній грані бетонного стовпчика робиться насічка у вигляді хреста. У містах точки позначають металевими стрижнями, що закладаються під асфальт тротуару і накриваються чавунною кришкою врівень з поверхнею асфальту.

Вимірювання довжин сторін теодолітного ходу мірною стрічкою.

Вішення ліній. Якщо лінії вимірюються шляхом укладання мірного приладу (стрічки, рулетки) по землі, то треба стежити за тим, щоб між точками вимірювалася найкоротша відстань по земній поверхні. Для цього мірний прилад не повинен відхилятися убік від напряму лінії і укладати треба його в створі вимірюваної лінії, тобто у вертикальній площині, що проходить через її кінці. Установка віх в створі лінії називається *вішенням*. Практика показує, що вішення необхідне тільки для ліній, довших за 200 м. Віхи при вішенні встановлюються приблизно через 100 – 200 м залежно від рельєфу місцевості. Віхи мають бути прямими, забарвленими в білий і чорний (або червоний) кольори впереміш через 2 дм.

Для вішення лінії на її кінцях встановлюються віхи. Вішення ведеться зазвичай "на себе". Для цього технік встає перед віхою *A* і дивиться на віху *B*, а робітник по вказівці техника ставить віху *1* так, щоб вона закривала собою віху *B*. Після цього робітник прямує до точки *A* і ставить віху *2* так, щоб вона закривала віхи *1* і *B*. В такому ж порядку встановлюється решта всіх віх.

Вішення "на себе" точніше за вішення "від себе", оскільки ближня до точки *A* вішка закриває більший простір (створює ширшу зону невидимості) до точки *B*, чим з точок *1*, *2* і ін., що не дозволяє встановлювати наступні вішки в створ лінії;

Вимірювання ліній на місцевості мірною стрічкою. Вимір ліній стрічкою полягає в послідовному укладанні вимірюваного приладу в створі вимірюваної лінії (*створом* називається лінія перерізу земної поверхні вертикальною площиною, що проходить через закріплені вішками кінці лінії). Вимір виконують двоє робітників. При першому укладанні стрічки передній робітник бере в ліву руку ручку стрічки і всі десять шпильок і по вказівці заднього робітника встає в створі лінії. Коли задній робітник поєднає нульовий штрих з початком лінії (центром кола, стовпа і ін.), передній робітник, натягнувши стрічку в створі лінії, виймає правою рукою з лівої руки шпильку і через гачок стрічки встромляє її вертикально в землю.

Після цього стрічку переміщують вперед по лінії, задній робітник заднім гачком чіпляє стрічку за першу шпильку і направляє переднього робітника по створу лінії. Передній робітник, уклавши стрічку в створі лінії, через передній гачок стрічки встромляє другу шпильку в землю,

після чого задній робітник виймає першу шпильку і стрічку переміщують вперед. Так після кожного укладання стрічки число шпильок у переднього робітника зменшується, у заднього – збільшується. Коли у переднього робітника не залишається жодної шпильки, то, уклавши стрічку в створі і натягнувши її, передній робітник встає ногами на стрічку, отримує від заднього робітника, що підійшов, всі десять шпильок, встромляє одну шпильку через гачок стрічки в землю, обережно переміщає стрічку вперед і виміри продовжують в попередньому порядку. Дійшовши до кінця лінії, передній робітник протягує стрічку вперед за межі лінії, поки задній робітник не зачепить гачком стрічки за останню шпильку. Після цього підраховують кількість шпильок у заднього робітника, включаючи шпильку, що стоїть в землі, і для контролю підраховують кількість шпильок у переднього робітника. Біля кінця лінії по натягнутій стрічці з точністю до 0.01 м відлічують залишок – відстань від останньої шпильки заднього робітника до кінця лінії. Довжина вимірної лінії дорівнює

$$D = nl_0 + r + n\Delta l, \quad (2.1)$$

де n – число шпильок у заднього робітника, l_0 – номінальна довжина стрічки, Δl – поправка за компарування стрічки, $n\Delta l$ – поправка в довжину лінії за компарування стрічки, r – залишок (компарування – точне визначення довжини стрічки за допомогою спеціального еталону, званому компаратором). При підрахунку n необхідно врахувати кількість передач шпильок заднім робітникам передньому і, щоб уникнути грубих помилок, кожену передачу відзначати в журналі.

Для контролю лінії в теодолітних ходах вимірюють двічі в двох напрямках, і якщо між двома значеннями розбіжність допустима, то з двох набутих значень виводять середнє арифметичне, яке і береться за результат виміру. Допустима розбіжність між двома вимірами однією і тією ж стрічкою визначається за формулою:

$$f_D = 0,014\sqrt{D}, \quad (2.2)$$

де D – довжина лінії в метрах.

Точність виміру довжини лінії 20-метровою сталевією стрічкою характеризується середніми відносними помилками: за сприятливих умов 1:2000, при найсприятливіших – 1:3000 і при несприятливих – 1:1000. Якщо величина поправки за компарування менша за 0,002 м, то вона не враховується, оскільки її відносна величина буде 1:10000.

Для визначення горизонтального прокладення d на місцевості вимірюють відстань D та кут його нахилу ν до горизонту:

$$d = D \cos \nu \quad \text{або} \quad d = D - \Delta D, \quad (2.3)$$

де поправка за нахил до горизонту дорівнює

$$\Delta D = D - d = D - D \cos v = D(1 - \cos v) = 2D \sin^2(v/2). \quad (2.4)$$

Для обчислення поправок за нахил до горизонту можна користуватися таблицями поправок за нахил лінії, обчислених за формулою (2.4).

Вимірювання кута нахилу екліметром. Кути нахилу можна виміряти екліметром (рис. 2.1) – порожниста трубка прямокутного перетину з двома діоптрами: наочним, що представляє горизонтальну нитку, і очним – горизонтальним прорізом на передній стінці трубки.

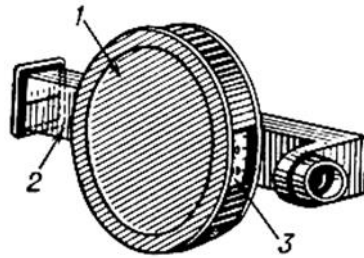


Рис. 2.1 – Екліметр:

1 – кругла металева коробка; 2 – трубка; 3 – диск з поділками

З правого боку трубки закріплена кругла коробка, усередині якої при натисненні гальмуючої кнопки вільно обертається на осі диск з градусними поділками на ободі та з прикріпленим до нього в нижній частині вантажем, що знаходиться проти поділки 90° . Проріз і горизонтальна нитка паралельні осі круга. Вимір кута нахилу полягає в тому, що спостерігач, узявши в руку екліметр, натискує на кнопку, що закріплює круг, дивиться на мітку віхи, висота якої дорівнює висоті ока спостерігача над землею, через проріз і дочекавшись, коли круг заспокоїться, відлічується кут нахилу по кругу проти видимої нитки, одночасно дивлячись в лупу і проріз. Перед роботою екліметром треба перевірити, чи виконана умова – при горизонтальному положенні лінії візування відлік по кругу має бути рівним нулю. Якщо умова виконана, то відліки по кругу, взяті на обох кінцях лінії, по абсолютній величині мають бути рівні куту нахилу і протилежні за знаком. Якщо лінія горизонту утворює з нульовим діаметром кут δ , та умова не виконана, відліки a не дорівнюватимуть куту нахилу і можна написати рівняння

$$v = a_1 - \delta, \quad v = a_2 + \delta \quad (2.5)$$

Проте для зручності користування екліметром його слід виправити, якщо поправка більша ніж $0,25^\circ$. Для цього треба відвернути гвинти кришки коробки, зняти її і, відкріпивши важок, перемістити його в потрібне положення та закріпити.

Будова та перевірки теодоліта.

Теодоліт – геодезичний прилад для виміру на місцевості горизонтальних і вертикальних кутів за допомогою оптичних систем, лімбів і відлікових пристроїв.

Основними елементами теодоліта є: лімб, алідада, зорова труба, рівні, вертикальний круг, тригер, штатив.

Лімб – кутомірний круг з поділками від 0° до 360° .

Ціна поділки лімба – величина центрального кута, що має дугу, відповідну найменшій поділці лімба.

Алідада – рухлива частка теодоліта, що відповідає за систему відліку по лімбу.

Зорова труба – служить для візування на спостережувані предмети, кріпиться на підставках алідадної частини інструменту.

Рівні – служать для приведення осей інструменту в горизонтальне або вертикальне положення. Бувають циліндрові і круглі, складаються з ампули, оправы і регулювального пристосування.

Нуль-пункт рівня – точка в середині шкали ампули.

Система осей теодоліта – забезпечує обертання алідадної частки навколо вертикальної осі.

Вертикальний круг – служить для виміру вертикальних кутів.

Трегер – підставка з трьома підймальними гвинтами.

Гвинти – закріпні і мікрометрені (навідні). Служать для фіксації окремих частин теодоліта: труби, алідади, лімба.

Сітка ниток – взаємно перпендикулярні штрихи, нанесені на скляну пластинку.

Бісектор – дві вертикальні близько розташовані паралельні лінії сітки ниток.

Штатив – тринога для кріплення теодоліта в процесі роботи. Укомплектована нитяним підвісом і становим гвинтом.

Дослідження теодоліта – це комплекс дій з метою встановлення якості виготовлення і збірки як окремих частин, так і всього інструменту в цілому і правильності їх взаємодії.

Перевірки теодоліта – це комплекс дій з перевірки відповідних геометричних і оптико-механічних умов. Виконуються в певній послідовності.

Юстирування теодоліта – це виправлення інструменту за допомогою юстирувальних (виправних) гвинтів.

Площина колімації – площина, що утворюється візирною віссю зорової труби при обертанні її навколо горизонтальної осі.

Основна умова вертикального круга теодоліта полягає в тому, щоб візирна вісь зорової труби була паралельна осі циліндрового рівня при алідаді вертикального круга, коли відлік на цьому крузі дорівнює нулю.

Конструктивні елементи технічних теодолітів

- 1 – навідний (мікрометричний) гвинт горизонтального круга;
- 2 – окуляр мікроскопа;
- 3 – дзеркало підсвічування;
- 4 – посадочний паз для бусолі;
- 5 – закріпний гвинт зорової труби;
- 6 – навідний (мікрометричний) гвинт зорової труби;
- 7 – навідний (мікрометричний) гвинт алідади;
- 8 – трегер (підставка);
- 9 – підймальний гвинт;
- 10 – кришка

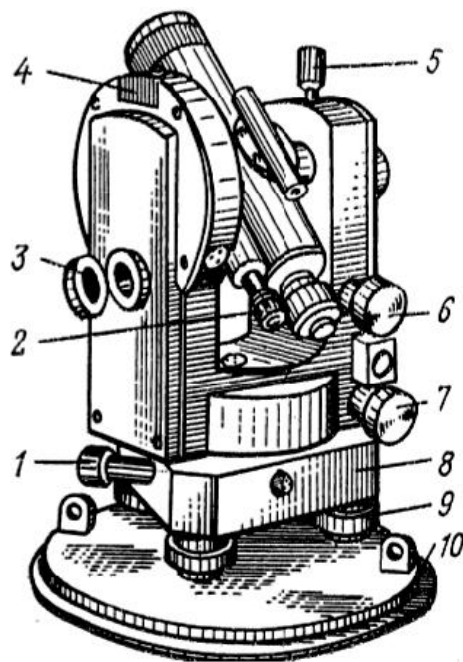


Рис. 2.2 – Теодоліт Т30

Основні осі теодоліта

1. Візирна вісь (VV') – уявна лінія, що сполучає перехрестя сітки ниток і оптичний центр об'єктива.

2. Вісь циліндрового рівня при алідаді горизонтального круга (UU') – це дотична до дуги поздовжнього перетину внутрішньої поверхні ампули в нуль-пункті.

3. Вісь обертання алідади горизонтального круга (ZZ') – основна вісь, біля якої здійснюється поворот приладу в горизонтальній площині.

4. Вісь обертання зорової труби теодоліта (HH') – уявна лінія, навколо якої відбувається обертання зорової труби.

Розташування основних осей теодоліта наведено на рис. 2.3.

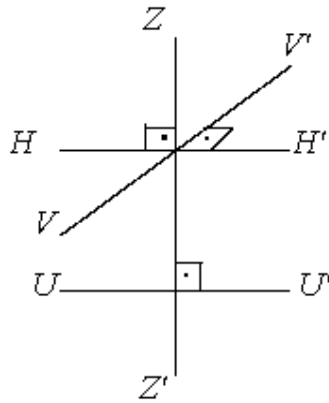


Рис. 2.3 – Схематичне розташування основних осей теодоліта

Геометричні умови основних осей теодоліта

$$\begin{aligned}
 (UU') &\perp (ZZ') \\
 (VV') &\perp (HH') \\
 (HH') &\perp (ZZ').
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

У теодоліта 2Т30 відліковий мікроскоп шкаловий. У верхній частині поля зору мікроскопа, позначеного буквою В (рис. 2.4), видно штрихи лімба вертикального круга і штрихи відлікової шкали, а в нижній частині поля зору, позначеною буквою Г, видно штрихи лімба горизонтального круга і штрихи відлікової шкали.

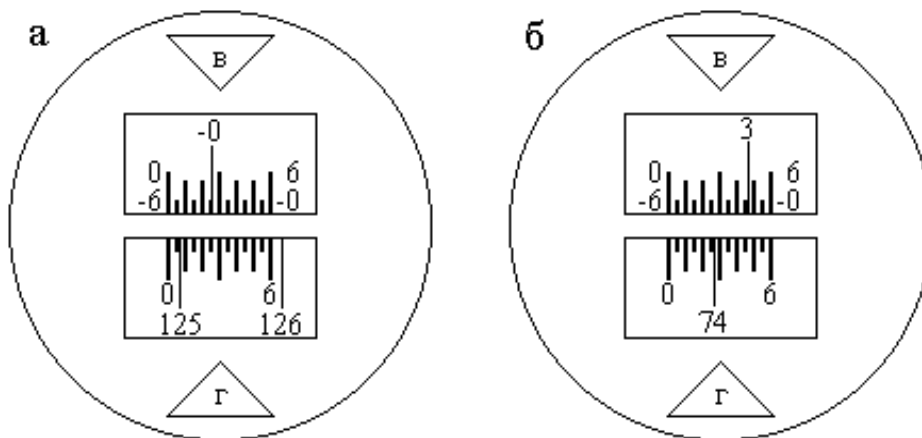


Рис. 2.4 – Поле зору мікроскопа теодоліта 2Т30:

- а) відлік по вертикальному кругу – $0^{\circ} 35,0'$; по горизонтальному $125^{\circ} 06,0'$.
- б) відлік по вертикальному кругу $+3^{\circ} 45,5'$; по горизонтальному $74^{\circ} 27,5'$

На обох кругах нанесені тільки градусні штрихи. Кожний градусний штрих підписаний. Це означає, що ціна поділки лімбів складає 1° .

На алідаді кругів нанесені відлікові шкали з ціною ділення 5'. Ці шкали виведені у полі зору мікроскопа. Початкова поділка шкали горизонтального круга позначена цифрою 0, а кінцева – цифрою 6, що означає 60'. Шкала вертикального круга має два рядка цифр. У верхньому рядку початковий штрих, позначений цифрою 0, розташований зліва, а кінцевий, позначений цифрою 6, розташований справа. У нижньому рядку оцифрування виконане навпаки і цифри мають знак мінус.

Відлік по горизонтальному кругу проводиться в такому порядку. Спочатку зчитується з лімба число градусів (по штриху лімба, що потрапляє на відлікову шкалу), потім за відліковою шкалою береться відлік з точністю 0,1 поділки, що відповідає 0,5'.

Індексом для відліку хвилин служить штрих градусної поділки лімба, що знаходиться на відліковій шкалі.

На рис. 2.4 відлік по горизонтальному кругу рівний $125^{\circ}06,0'$.

При відліку по вертикальному кругу число градусів прочитується так само, як і по горизонтальному кругу. При цьому градусні поділки вертикального круга мають знаки або плюс, або мінус.

Якщо в межах шкали знаходиться штрих лімба без знака, то на шкалі відлік береться по верхньому ряду цифр (зліва направо), і повний відлік записується із знаком «плюс».

По нижньому ряду цифр шкали відлік береться у тому випадку, коли в межах шкали знаходиться штрих лімба із знаком «мінус». Відлік записується із знаком мінус.

Перевірки і юстирування теодоліта.

Для виміру горизонтальних кутів і кутів нахилу в теодоліті мають дотримуватись наступні геометричні умови:

- а) площина лімба горизонтального круга має бути горизонтальна;
- б) вертикальна вісь приладу має бути прямовисна;
- в) площина колімації має бути вертикальна.

Для контролю виконання цих умов проводяться наступні перевірки і юстирування теодоліта.

1. *Вісь циліндрового рівня має бути перпендикулярна до вертикальної осі обертання приладу.* Встановлюють рівень паралельно двом підймальним гвинтам. Одночасно обертаючи їх в різні боки, приводять бульбашку рівня на середину ампули. Потім повертають алідаду на 180° .

Якщо бульбашка рівня відхилиться від середини більш, ніж на одну поділку, то виправними гвинтами рівня бульбашку переміщують до середини ампули на половину дуги відхилення; на другу половину бульбашку рівня переміщують за допомогою тих же підймальних гвинтів. Для контролю перевірку повторюють.

Перш ніж зробити інші перевірки, приводять площину лімба в горизонтальне положення. Для цього встановлюють рівень паралельно

двом підймальним гвинтам та з їх допомогою приводять бульбашку рівня на середину. Повертають алідаду на 90° і третьому підймальному гвинті приводять бульбашку рівня в нуль пункт.

Після приведення площини лімба в горизонтальне положення, при обертанні алідади навколо осі, бульбашка рівня не повинна відхилятися від середини більш ніж на одну поділку.

2. Одна з рисок сітки ниток має бути горизонтальна, а інша – вертикальна. Вертикальну риску сітки ниток наводять на лінію схилу. Якщо вертикальна риска збігатиметься з лінією схилу, умова виконана. Інакше викруткою ослабляють 4 кріпильних гвинта окуляра, розташованих під ковпачком 3 (рис. 2.2), і повертають окулярну частку труби до поєднання вертикальної риски сітки ниток з лінією схилу, після чого гвинти знов закріплюють.

3. Візирна вісь зорової труби має бути перпендикулярна до осі обертання труби. Кут C відхилення візирної осі від перпендикуляра до осі обертання труби (рис.2.5) називається помилкою колімації.

Для виявлення помилки колімації вибирають віддалену, добре видиму точку, розташовану так, щоб лінія візування була приблизно горизонтальна. Наводять перетин сітки ниток на цю точку і проводять відлік по горизонтальному кругу.

Наприклад, при крузі ліво відлік рівний $18^\circ 30'$ ($KL=18^\circ 30'$).

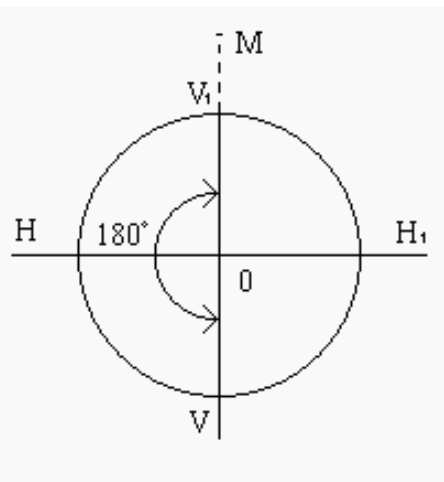
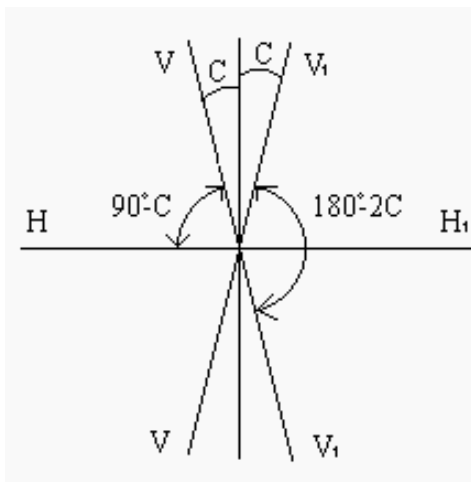


Рис. 2.5 – Помилка колімації Рис. 2.6 – Перевід труби через зеніт

Переводять трубу через зеніт, відкріплюють алідаду, наводять перетин сітки ниток на ту ж точку при крузі право і проводять відлік. Наприклад, $KП=198^\circ 36'$. Величина помилки колімації C дорівнює:

$$c = \frac{KP - KL \pm 180}{2} \quad C = \frac{(18^\circ 30' - 198^\circ 36' + 180^\circ)}{2} = -0^\circ 03'$$

. У прикладі:

Якщо C перевищує подвійну точність відліку по шкалі приладу, то потрібно виправити положення візирної осі. Для цього обчислюють

виправлений відлік по горизонтальному колу, в якому число градусів береться з останнього відліку, а кількість хвилин обчислюється як середнє арифметичне з числа хвилин обох відліків. У наведеному прикладі

виправлений відлік буде рівний
$$198^{\circ} + \frac{30' + 36'}{2} = 198^{\circ} 33'$$

Цей відлік навідним гвинтом алідади встановлюють по горизонтальному колу. Перетин сітки ниток зійде з точки. Слід перемістити сітку ниток так, щоб перехрестя знов встановилося на точці. Для цього використовують 4 виправних гвинта сітки ниток з отворами для шпильки, розташованих під ковпачком 3 (рис. 2.2).

Шпилькою ослаблюють вертикальні гвинти і бічними гвинтами переміщують сітку ниток до тих пір, поки перехрестя не буде на точці. Вертикальні гвинти знов затягують і перевірку повторюють.

4. *Вісь обертання зорової труби має бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта.* Вибирають на стіні точку, розташовану під кутом 40° - 50° до горизонту, наводять на неї зорову трубу і закріплюють алідаду. Опускають трубу до горизонтального положення і відзначають на стіні проекцію точки. Повертають теодоліт на 180° , переводять трубу через зеніт, знову наводять перехрестя ниток на верхню точку і опускають трубу до горизонтального положення. Знову відзначають на стіні проекцію точки. Якщо проекції збіглися, то умова виконана. Інакше виправлення проводиться в майстерні.

Орієнтування теодолітних ходів, зйомка ситуації. Вимір горизонтальних та вертикальних кутів.

Перед виміром горизонтального кута теодоліт встановлюється в робоче положення. Установка теодоліта в робоче положення складається з наступних дій:

- а) центрування теодоліта, який полягає в установці центру лімба над вершиною вимірюваного кута за допомогою виска;
- б) приведення площини лімба в горизонтальне положення за допомогою рівня горизонтального кола і підймальних гвинтів;
- в) установки труби по оку і по предмету.

Установка труби по оку проводиться обертанням діоптрійного кільця до якнайкращої видимості ниток сітки, при цьому труба має бути наведена на світлий фон. Установка труби по предмету проводиться за допомогою кремальєри, обертаючи яку добиваються чіткого зображення предмету.

2.1.2 Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів

Вимір кута виконується способом прийомів. При закріпленому лімбі, повертаючи алідаду, наводять зорову трубу на праву точку 1 (рис. 2.7). Затискають закріпні гвинти алідади і труби і остаточне наведення на точку виконують за допомогою навідних гвинтів алідади і зорової труби.

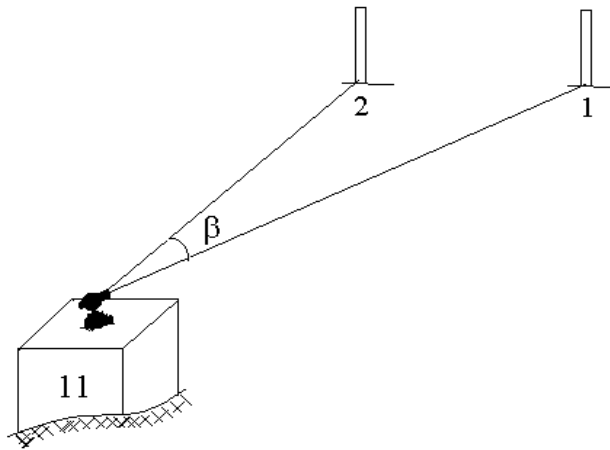


Рис. 2.7 – Схема виміру горизонтального кута

Після цього проводять відлік по горизонтальному кругу. Відлік записується в журнал (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Сторінка журналу виміру горизонтальних кутів

Номери точок стояння	Номери візованих предметів	Відліки по горизонтальному кругу		Кут		Середнє з кутів	
		о	'	о	'	о	'
	1	192	43	18	09,0		
11	2	174	34			18	09,5
	1	14	11,5	18	10,0		
	2	356	01,5				

Відкріпивши алідаду, наводять зорову трубу на ліву точку 2 і також проводять відлік, записуючи його в журнал. Значення кута дорівнює різниці відліків на праву і ліву точки. Якщо відлік на праву точку виявиться менше відліку на ліву точку, то до нього додають 360° . Таким чином набувають значення кута з першого напівприйому.

Далі переводять трубу через зеніт і зміщують лімба приблизно на $1^\circ - 2^\circ$, для чого роблять 2 – 3 обороти навідним гвинтом лімба, і аналогічно виконують вимір кута іншим напівприйомом, записуючи відліки в журнал.

За остаточне значення кута беруть середнє арифметичне, отримане з двох напівприймів. Остаточне значення округляється до $0,1'$.

Якщо розбіжність значень кута в напівприйомах більш подвійної точності відліку, тобто більше $1'$, запис в журналі zakresлюється, відлік на лімбі збивається і виміри повторюються.

Вимір кута нахилу

Кутом нахилу називається кут, складений лінією візування з горизонтальною площиною, що проходить через вісь обертання труби (рис. 2.8).

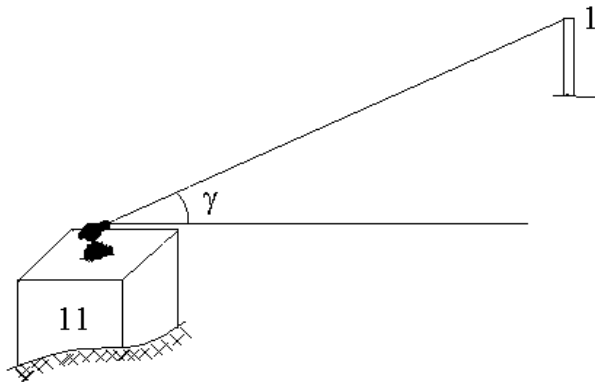


Рис. 2.8 – Схема виміру кута нахилу

Перед виміром кута нахилу встановлюють прилад в робоче положення і наводять середню горизонтальну нитку сітки на точку, наприклад, при *КП*.

Якщо бульбашка рівня відійде від середини, то його необхідно встановити на середину підймальним гвинтом, розташованим у напрямі лінії візування, і перевірити наведення горизонтальної нитки на точку. Проводять відлік по вертикальному кругу і записують його в журнал за формою табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Журнал виміру кутів нахилу

Номери точок спостереження	Відліки по вертикальному кругу				МО		Кут нахилу	
	КП		КЛ		°	'	°	'
	°	'	°	'				
Станція № 11								
1	-6	26	+6	28	+0	01	+6	27
2	+1	15	-1	15	0	00	-1	15

Переводять трубу через zenit і аналогічні дії виконують при іншому положенні вертикального круга (при *КЛ*). Відлік записують в журнал.

Потім обчислюють місце нуля (MO) вертикального круга.

Місце нуля (MO) – кут, утворений непаралельністю візирної осі і осі рівня при алідаді вертикального круга. Обчислюють за формулою для теодоліта 2Т30

$$MO = \frac{KL + KP}{2}, \quad (2.7)$$

де KL, KP – відліки по вертикальному кругу на добре видиму, чітко обкреслену ціль при двох положеннях вертикального круга.

Кут нахилу (ν) – кут між горизонтальною площиною і напрямом візирної лінії труби.

Кут нахилу (ν) для теодоліта 2Т30 обчислюють за формулами:

$$\begin{aligned} \nu &= KL - MO, \\ \nu &= MO - KP, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де MO – значення місця нуля.

Якщо $MO \leq 2t$, де t – точність інструменту, то $\nu = KL$; KL, KP – відліки по вертикальному кругу.

Контролем правильності виміру кутів нахилу служить постійність MO , коливання якого не повинне перевищувати подвійної точності відліку за шкалою приладу, тобто $1'$.

Обробка матеріалів теодолітної зйомки та складання плану.

Камеральна обробка результатів теодолітної зйомки починається з перевірки всіх польових обчислень в журналі. Перевіряють правильність обчислень кутів з напівприймів і середніх значень кутів. Обчислюють середні значення зміряних ліній і їх горизонтальні прокладання шляхом введення поправок за нахил для ліній, що мають кут нахилу більший ніж $1^\circ 30'$ (поправки за компарування і температуру в цій роботі не вводяться).

Поправки ΔD_ν за нахил ліній вибирають з табл. 2.3 або обчислюють

$$\Delta D_\nu = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}, \quad (2.9)$$

де D – вимірне значення лінії; ν – кут нахилу лінії.

Поправка за нахил вводиться завжди із знаком "мінус".

Горизонтальне прокладання лінії знаходять з виразу:

$$d = D - \Delta D_\nu. \quad (2.10)$$

Таблиця 2.3 – Поправки за нахил ліній

Віддаль, м Кут нахилу	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Поправки в міліметрах									
1° 00'	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15
1° 30'	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
2° 00'	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2° 30'	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3° 00'	14	27	41	56	69	82	96	110	124	137
3° 30'	19	37	56	75	94	112	131	149	168	187
4° 00'	24	49	73	98	122	146	171	195	220	244
4° 30'	31	62	92	123	154	185	216	246	277	308
5° 00'	38	76	114	152	190	229	267	305	343	381
4° 30'	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460
6° 00'	55	110	164	219	273	329	384	438	493	548

Приклад: Лінія довжиною 153,67 м має кут нахилу $\nu = 2^\circ 30'$. З табл. 2.3 знаходимо поправки: для 100 м – 95 мм; для 50 м – 48 мм; для 3 м – 3 мм; для 0,7 м – 1 мм. Спільна величина поправки складає 147 мм або 0,15 м. Тоді горизонтальне прокладення $d = 153,67 - 0,15 = 153,52$ м.

Подальшу обробку виконують у відомості обчислення координат (табл. 2.4). З журналу теодолітної зйомки в графу 2 відомості вписують виміряні кути ходу, в графу 6 записують горизонтальні прокладення ліній, заокруглені до сотих часток метра.

Обчислення кутової нев'язки, виправлених кутів, кутів дирекцій і румбів сторін ходу проводяться в такій послідовності:

У графу «кути дирекцій» записують заданий кут дирекції сторони 1 – 2, в графі «координати» – координати першої точки ходу.

1. Обчислюють суму виміряних кутів.
2. Обчислюють кутову неув'язку за формулою:

$$f\beta = \sum \beta_{\text{вимір.}} - 180^\circ(n-2) \quad (2.11)$$

3. Визначають допустимість кутової неув'язки за формулою:

$$f_{\beta \text{ доп.}} = I' \sqrt{n}, \quad (2.12)$$

де n – число кутів ходу.

Таблиця 2.4 – Відомості обчислення координат геодезичного ходу

№№ точок ходу	Виміряні кути		Виправлені кути		Дирекц. кути		Румби		Гориз. пролож.	Прирошення координат, м				Координати, м					
	о	'	о	'	о	'	назв.	о		'	Δx	Δy	Δx	Δy	x	y			
	2		3		4		5		d, м	Виміряні		Виправлені							
І									6										
пш 7					29	34.2													
пш 8	339	-0.3 59.2	330	58.9	238	35.3	ЮЗ	58	35	263.02	+6 137.10	- 224.46	-	137.04	-	224.51	14.02	627.98	
I	50	-0.3 58.5	50	58.2	7	37.1	СВ	7	37	239.21	+5 237.10	-4 31.71	+	237.15	+	31.67	151.06	403.47	
II	161	-0.3 20.0	161	19.7	26	17.4	СВ	26	17	269.80	+6 241.91	-5 119.47	+	241.97	+	119.42	86.09	435.14	
III	79	-0.3 02.8	79	02.5	127	14.9	ЮВ	52	45	192.98	+4 116.81	-4 153.61	-	116.77	+	153.57	328.06	554.56	
пш 19	267	-0.3 08.2	267	07.9	40	07.0	-	-	-	P = 968.01							211.29	708.13	
пш 20																			
Σβ _{np}	889	28.7	889	27.2	Σβ _r = α _о - α _n + 180°·n = = 29°34,2' - 40°07,0' + 180°·5 = = 889°27,2'					ΣΔ _{np}	+	225.10	+	80.33	+	225.31	+	80.15	
Σβ _r	889	27.2	889	27.2						ΣΔ _r	+	225.31	+	80.15					
f _β	+0	01.5	0	00.0						f	-	0.21	+	0.18					
доп. f _β	±0	02.2					доп. f _β = ±1'·√n = = ±1'·√5 = ±0°02,2'				f _{ακ} = √(f _x ² + f _y ²) = √(0.21 ² + 0.18 ²) = 0.28 f _{εiδ} = f _{ακ} /P = 1/(P/f _{ακ}) = 1/3400 < 1/2000								

Якщо $f_{\beta} \leq f_{\beta \text{ доп.}}$, тобто неув'язка допустима, то обчислюють поправки ϑ_{β} у виміряні кути шляхом поділу неув'язки на число кутів з округленням поправок до 0,1'.

Поправки мають знак, протилежний знаку неув'язки, їх записують над значеннями виміряних кутів.

Контролюють правильність обчислення поправок. Їх сума повинна дорівнювати неув'язці з протилежним знаком, тобто

$$\sum \vartheta_{\beta} = -f_{\beta} . \quad (2.13)$$

4. Обчислюють виправлені кути за формулою

$$\beta_{\text{випр.}} = \beta_{\text{вим.}} + \vartheta_{\beta} . \quad (2.14)$$

5. Контролюють правильність обчислення виправлених кутів: сума виправлених кутів повинна дорівнювати теоретичній сумі кутів.

6. Обчислюють дирекційні кути сторін ходу за правилом: дирекційний кут подальшої сторони ходу дорівнює дирекційному куту попередньої сторони плюс 180° і мінус виправлений кут, який знаходиться між цими сторонами, що лежить справа по ходу. Початковим дирекційним кутом є дирекційний кут сторони 1 – 2.

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^{\circ} - \beta_{\text{випр.}} \quad (2.15)$$

При обчисленнях може виявитися, що сума дирекційного кута попередньої сторони плюс 180° буде меншою, ніж кут, що лежить справа по ходу, тоді до вказаної суми додається 360° . Може також виявитися, що дирекційний кут вийшов більшим за 360° , тоді від нього віднімають 360° .

7. Контролюють правильність обчислення дирекційних кутів шляхом обчислення дирекційного кута сторони 1 – 2:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{6-1} + 180^{\circ} - \beta_1 . \quad (2.16)$$

Обчислений дирекційний кут повинен дорівнювати початковому дирекційному куту .

8. Обчислюють румби по величині дирекційних кутів і залежностей:

1 чверть ПнС	$r = \alpha;$	$\alpha = r;$	
2 чверть ПдС	$r = 180^{\circ} - \alpha;$	$\alpha = 180^{\circ} - r;$	
3 чверть ПдЗ	$r = \alpha - 180^{\circ};$	$\alpha = 180^{\circ} + r;$	(2.17)
4 чверть ПнЗ	$r = 360^{\circ} - \alpha;$	$\alpha = 360^{\circ} - r.$	

9. Прирости координат обчислюються за формулами:

$$\Delta x = d \cdot \cos r ; \Delta y = d \cdot \sin r. \quad (2.18)$$

10. Знаки приростів координат визначаються залежно від назви румба:

	Δx	Δy
ПнС	+	+
ПдС	-	+
ПдЗ	-	-
ПнЗ	+	-

11. Нев'язку в приростах координат для замкнутого ходу знайдемо за формулами:

$$f_x = \sum \Delta x ; \quad f_y = \sum \Delta y. \quad (2.19)$$

Для визначення допустимості невязки підраховують *абсолютну лінійну невязку* f_p у периметрі

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (2.20)$$

і відносну невязку f_p/p , яка має бути менша ніж $1/2000$.

Якщо отримана невязка допустима, то вона розподіляється на прирости пропорційно довжинам сторін з протилежним знаком з округленням до $0,01$ м. Поправки в прирости обчислюються за формулами:

$$\delta_x = -\frac{f_x}{p} d_i \quad \text{и} \quad \delta_y = -\frac{f_y}{p} d_i \quad (2.21)$$

Сума поправок має дорівнювати невязці з протилежним знаком, а сума виправлених приростів повинна дорівнювати нулю.

12. За координатами вихідної точки, отриманими в результаті прив'язки ходу до геодезичної мережі, і виправленими приростами координат визначають координати всіх точок за формулами:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_{\text{випр}} ; \quad Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_{\text{випр}}. \quad (2.22)$$

Контролем правильності обчислення координат є отримання в кінці обчислень координат вихідної точки.

Обчислення *координат точок розімкненого (діагонального) ходу* проводять в тій же послідовності, що і для замкнутого ходу.

Кутова нев'язка знаходиться в цьому випадку за формулою:

$$f\beta = \sum \beta_{\text{вимір}} - [(\alpha_H - \alpha_K) + 180^\circ \cdot n,] \quad (2.23)$$

де α_H и α_K – кути дирекцій сторін, до яких примикає розімкнений теодолітний хід.

13. Після розподілу нев'язки і обчислення виправлених величин кутів знаходять кути дирекцій і румби сторін ходу і обчислюють прирости координат.

Нев'язку в приростах координат для *розімкненого ходу* знаходять за формулою:

$$fx = \sum \Delta X - (X_k - X_n); \quad fy = \sum \Delta Y - (Y_k - Y_n), \quad (2.24)$$

де X_n, Y_n, X_k, Y_k – відомі координати початкової і кінцевої точок ходу.

Подальші обчислення координат виконуються так само, як і для замкнутого ходу.

За результатами оброблених даних табл. 2.4 будують план теодолітної зйомки і наносять на нього ситуацію.

Контрольні запитання

1. Для чого призначений теодоліт?
2. Основні складові теодоліта.
3. Призначення лімба і аліади.
4. Що називається ціною поділки лімба і як її визначити?
5. Що називається точністю приладу і як вона визначається?
6. Для чого служить рівень теодоліта?
7. Що називається віссю циліндричного рівня?
8. Сітка ниток зорової труби, її виправні гвинти.
9. Що називається візирною віссю зорової труби?
10. Установка зорової труби для спостережень.
11. Призначення закріпних і навідних гвинтів теодоліта.
12. Перевірки теодоліта, послідовність їх виконання.
13. Як виконується перевірка перпендикулярності осі циліндрового рівня до основної осі теодоліта?
14. Перевірка правильності установки сітки ниток.
15. Як виконується перевірка перпендикулярності візирної осі труби до осі обертання труби?
16. Як виконується перевірка перпендикулярності осі обертання труби до осі обертання теодоліта?
17. У чому полягає установка теодоліта в робоче положення?

18. Визначення місця нуля вертикального круга.
19. Вимір кута нахилу, формули для його обчислення.
20. Способи орієнтування теодоліта?
21. Як обчислюється кутова нев'язка замкнутого теодолітного ходу? Її допустимість і розподіл.
22. Сума виправлених кутів в замкнутому теодолітному ході.
23. Як обчислюється кутова нев'язка розімкненого теодолітного ходу? Її допустимість і розподіл.
24. Сума виправлених кутів в розімкненому теодолітному ході.
25. Як обчислюються кути дирекцій сторін замкнутого теодолітного ходу? Контроль правильності їх обчислення.
26. Як обчислюються кути дирекцій сторін розімкненого теодолітного ходу? Контроль правильності їх обчислення.
27. Перехід від дирекційних кутів до румбів.
28. За якими формулами обчислюються прирости координат?
29. Як обчислюється нев'язка в приростах координат замкнутого теодолітного ходу? Її допустимість і розподіл.
30. Чому дорівнює сума виправлених приростів координат в замкнутому теодолітному ході?
31. Як обчислюється нев'язка в приростах координат розімкненого теодолітного ходу? Її допустимість і розподіл.
32. Чому дорівнює сума виправлених приростів координат в розімкненому теодолітному ході?
33. Як обчислюються координати точок замкнутого і розімкненого теодолітних ходів? Контроль обчислень.

2.2 Висотні зйомки

2.2.1 Сутність і види нівелювання

Суть вертикальної зйомки полягає у визначенні висот точок місцевості шляхом нівелювання.

Нівелюванням називають визначення перевищень між окремими точками земної поверхні з наступним обчисленням їх висот. Якщо висоти точок обчислено відносно основної рівневої поверхні, їх називають *абсолютними висотами*, позначками, альтитудами. Якщо їх обчислено відносно будь-якої іншої, умовно взятої поверхні, їх називають *умовними*.

Рельєф місцевості – це сукупність нерівностей поверхні Землі; він є однією з найважливіших характеристик місцевості.

Знати рельєф – означає знати *відмітки* всіх точок місцевості.

Репер – постійний знак закріплення нівелірного ходу.

Відмітка точки – це чисельне значення її висоти над рівневою поверхнею, яка є початком відліку висот.

Відмітку будь-якої точки місцевості можна визначити по топографічній карті, проте, точність такого визначення буде невисокою.

Відмітку точки на місцевості визначають за перевищенням цієї точки відносно іншої точки, відмітка якої відома.

Процес виміру перевищення однієї точки відносно іншої називається нівелюванням.

Початковою точкою відліку висот в нашій країні є нуль Кронштадтського футштока (горизонтальна межа на мідній пластині, прикріпленій до стояка одного з мостів Кронштадта).

Від цього нуля йдуть ходи нівеляції, пункти яких мають відмітки в Балтійській системі висот. Потім від цих пунктів з відомими відмітками прокладають нові нівелірні ходи і так далі, поки не вийде досить густа мережа, кожна точка якої має відому відмітку.

Ця мережа називається державною мережею нівелювання; вона покриває всю територію країни.

Відмітки всіх пунктів нівелірних мереж зібрані в списки – «Каталоги висот». Ці списки безперервно поповнюються, видаються нові каталоги за новими нівелірними ходами.

Для знаходження відмітки будь-якої точки місцевості в Балтійській системі висот потрібно зміряти її перевищення щодо якого-небудь пункту, відмітка якого відома і є в каталозі.

Інколи відмітки точок визначають в умовній системі висот, якщо поблизу немає пунктів державної нівелірної мережі. Унаслідок того, що вимір перевищень виконують різними приладами і різними способами, розрізняють:

геометричне нівелювання (нівелювання горизонтальним променем)

тригонометричне нівелювання (нівелювання похилим променем)

барометричне нівелювання

гідростатичне нівелювання і деякі інші.

Геометричне нівелювання

Геометричне нівелювання – визначення перевищень горизонтальним променем візування за допомогою нівеліра і нівелірних рейок.

Нерівність плечей на станції – розбіжність у відстанях від нівеліра до задньої і передньої рейок.

Перевищення однієї точки відносно іншої – різниця відміток цих точок.

Станція нівелювання – точка стояння нівеліра, на якій виконується вимір перевищення.

Геометричне нівелювання або нівелювання горизонтальним променем виконують спеціальним геодезичним приладом – нівеліром;

відмінна особливість нівеліра полягає в тому, що візирна лінія труби під час роботи приводиться в горизонтальне положення.

Нівеліри, їх будова та перевірки

В даний час нівеліри всіх типів випускаються або з рівнем при трубі, або з компенсатором нахилу лінії візування труби.

Нівелір – геодезичний прилад, призначений для виміру перевищення між двома точками за допомогою горизонтального променя візування і двосторонніх шашкових рейок з сантиметровими поділками на обох сторонах.

Основними частинами нівеліра є:

- зорова труба;
- циліндричний рівень при трубі;
- елеваційний гвинт;
- встановлювальний круглий рівень;
- закріпний і мікрометрений гвинти азимутного обертання;
- трегер.

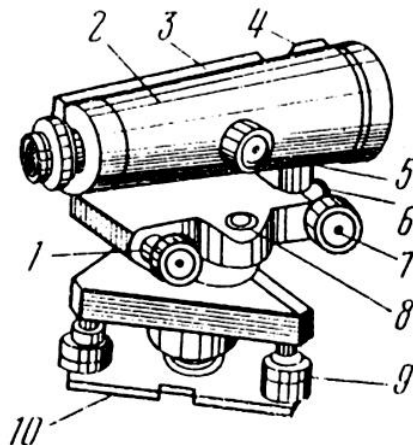


Рис. 2.9 – Нівелір Н-3:

- 1 – елеваційний гвинт рівня; 2 – зорова труба; 3 – корпус контактного циліндричного рівня; 4 – об'єктив; 5 – гвинт фокусування труби; 6 – затискний гвинт зорової труби; 7 – навідний (мікрометрений) гвинт труби; 8 – круглий встановлювальний рівень; 9 – піднімальний гвинт; 10 – пружна пластинка

Найважливішою часткою нівеліра з рівнем є рівень і зорова труба.

Для приведення осі візування труби в горизонтальне положення служить елеваційний гвинт: з його допомогою піднімають або опускають окулярний кінець труби. При цьому бульбашка рівня переміщується і при його розташуванні в нуль-пункті вісь візування повинна займати горизонтальне положення.

У сучасних нівелірах зображення кінців циліндричного рівня через систему призм передаються у полі зору труби (такі рівні називаються контактними) і спостерігач бачить відразу і рейку, і рівень.

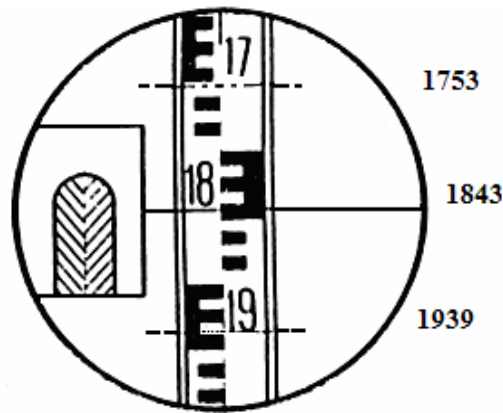


Рис. 2.10 – Поле зору труби нівеліра Н-3

Для нівеліра з рівнем виконуються *три перевірки*.

1. *Вісь циліндричного рівня і вісь візування труби мають бути паралельними ($UU_i \parallel WW_i$) і лежати в паралельній вертикальній площині – ця умова називається головною умовою нівеліра з рівнем при трубі.*

Перша частина головної умови перевіряється подвійним нівелюванням вперед.

На місцевості забивають два кілочки на відстані близько 50 м один від одного. Нівелір встановлюють над точкою *A* так, щоб окуляр труби знаходився на одній вертикальній лінії з точкою.

Від кілочка до центру окуляра вимірюють висоту інструменту i_1 .

Потім рейку ставлять в точку *B*, наводять на неї трубу нівеліра, приводять бульбашку рівня в нуль-пункт і беруть відлік по рейці b_1 .

Потім нівелір і рейку міняють місцями, вимірюють висоту інструменту i_2 , приводять бульбашку рівня в нуль-пункт і беруть відлік по рейці b_2 .

Якщо головна умова не виконується, то замість правильного відліку b_1 виходить помилковий відлік b_2 .

Помилку у відліках за рейкою x , спричинену непаралельністю осі візування і осі циліндричного рівня, обчислюють за формулою:

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (2.25)$$

Якщо x виходить більше 4 мм, необхідно виконати юстирування рівня. Для цього елеваційним гвинтом нахиляють трубу нівеліра до тих пір, поки відлік по рейці не дорівнюватиме правильному відліку:

$$b_2 = b_2 + x, \quad (2.26)$$

при цьому бульбашка рівня піде з нуля-пункта. Виправними гвинтами рівня приводять бульбашку в нуля-пункт і для контролю правильності юстирування повторюють перевірку наново.

2. Вісь круглого рівня має бути паралельна осі обертання нівеліра.

Приводять бульбашку круглого рівня в нуля-пункт, потім повертають нівелір на 180° . Якщо бульбашка відхилилася від нуля-пункта, то на половину відхилення його переміщують за допомогою підймальних гвинтів і на половину – виправними гвинтами круглого рівня.

3. Горизонтальна лінія сітки ниток має бути перпендикулярна до осі обертання нівеліра.

Рейку ставлять в 30-40 м від нівеліра і закріплюють її, щоб не гойдалася.

Потім беруть відліки по рейці при трьох положеннях її зображення: в центрі поля зору (поєднавши вертикальну лінію з віссю рейки), зліва від центру і справа (лівим і правим краями горизонтальної лінії).

Якщо відліки відрізняються один від одного більш, ніж на 1 мм, то сітку ниток потрібно розвернути, розслабивши заздалегідь її закріпні гвинти.

Головна умова нівеліра – вісь рівня при трубі має бути паралельна візирній осі труби.

Нівеліри і нівелірні рейки, їх будова та перевірка

Виготовлення рейок регламентує Держстандарт 11158-76.

Типи рейок за Держстандартом відповідають типам нівелірів.

Рейка нівелірна РН-05 однобічна, штрихова з інварною смугою застосовується для виміру перевищень з точністю 0,5 мм на 1 км ходу.

Рейка нівелірна РН-3 дерев'яна, двостороння, шашкова застосовується для виміру перевищень з точністю 3 мм на 1 км ходу.

Рейка нівелірна РН-10 дерев'яна, двостороння, шашкова застосовується для виміру перевищень з точністю 10 мм на 1 км ходу (рис. 2.11). Довжина рейок буває різною: 1200, 1500, 3000 і 4000 мм. В складних рейках в шифр додається буква С, наприклад, РН-10С.

Шашкові рейки виготовляються з висушеної першосортної ялини; допускається виготовлення рейок з пластмас, металів і сплавів, якщо при цьому виконуються вимоги Держстандарту на масу рейки, на температуру її використання і тому подібне.

Перед фарбуванням рейку просочують водовідштовхувальним розчином і ґрунтують; поділки у вигляді шашок наносять чорною фарбою на одну сторону рейки і червоною фарбою на іншу. Дециметрові поділки підписують.

На нижню частину рейки кріпиться металева пластина, звана п'ятою рейки.

На чорній стороні п'яти рейки відповідне нульова поділка рейки; на червоній – відлік, більший 4000 мм; тому *відліки по червоній і чорній сторонах рейки не можуть бути однаковими.*

Різниця п'ят для даної рейки є постійною величиною, що дозволяє контролювати правильність відліків. У літературі різницю п'ят називають також *різницею нулів рейки.*

Для установки рейки в прямовисне положення на ній є круглий рівень або схил.

На штрихових однобічних рейках поділки наносять на інварну стрічкову смугу, яка натягається уздовж дерев'яного бруска за допомогою спеціального пристрою. Поділки у вигляді штрихів наносять через 5 мм.



Рис. 2.11 – Рейка нівелірна РН-10 дерев'яна, двостороння

Для визначення придатності нівелірних рейок до роботи їх досліджують.

Поверхня рейки має бути плоскою. Ухилення по Держстандарту допускається 3 мм для РН-05, 6 мм для РН-3 і 10 мм для РН-10.

Уздовж рейки натягують нитку і просвіт між ниткою і рейкою вимірюють в найширшому місці.

Випадкова помилка в положенні дециметрових і метрових поділок не повинна перевищувати 0,15 мм для штрихових інварних рейок і 0,5 мм для дерев'яних шашкових рейок. Це дослідження виконують за допомогою контрольної лінійки.

1. Визначення різниці п'ят або різниці нулів рейки. Це дослідження виконують шляхом взяття відліків по чорній і червоній сторонах рейки, що стоїть на одній і тій же точці.

2. Перевірка круглого рівня рейки виконується або по схилу, або по вертикальній нитці сітки ниток нівеліра. Схил укріплюють прямо на рейку і встановлюють її прямовисно, при цьому бульбашка рівня повинна знаходитися в нуль-пункті. Інакше виправними гвинтами рівня бульбашку приводять в нуль-пункт.

3. Нахил рейки. Для зменшення впливу нахилу рейки її рекомендується злегка похитувати вперед-назад біля вертикального положення; при відліках менше 1000 мм рейку гойдати не можна. При похитуванні рейки відліки по ній змінюються; найменший відлік є правильним.

4. Помилка нанесення поділок на рейці.

Спільна помилка відліку по шашковій рейці нівеліром Н-3 оцінюється в 4 мм на 100 м відстані.

Обробка результатів нівелювання та побудова профілю місцевості

Розрізняють два види геометричної нівелювання: нівелювання з середини і нівелювання вперед.

При нівелюванні з *середини* нівелір встановлюють посередині між точками A і B , а на точках A і B ставлять рейки з поділками (рис.2.11).

При русі від точки A до точки B рейка в точці A називається задньою, рейка в точці B – передньою. Спочатку наводять трубу на задню рейку і беруть відлік a , потім наводять трубу на передню рейку і беруть відлік b .

Перевищення точки B щодо точки A отримують за формулою:

$$h = a - b. \quad (2.26)$$

Якщо $a > b$, перевищення позитивне, якщо $a < b$ – негативне. Відмітка точки B обчислюється за формулою:

$$H_b = H_a + h. \quad (2.27)$$

Висота візирного променя над рівнем моря називається горизонтом приладу і позначається H_g :

$$H_g = H_a + a = H_b + b. \quad (2.28)$$

При нівелюванні *вперед* нівелір встановлюють над точкою A так, щоб окуляр труби був на одній прямовисній лінії з точкою. На точку B ставлять рейку. Вимірюють висоту нівеліра i над точкою A і беруть відлік b по рейці (рис. 2.12).

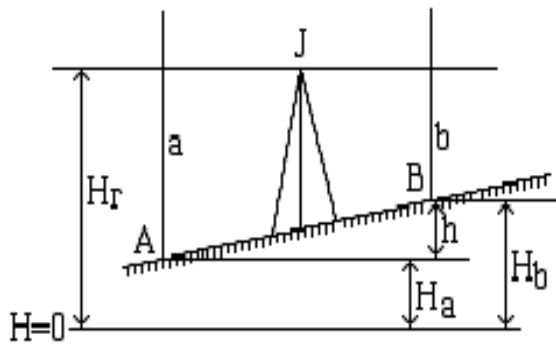


Рис.2.11 – Нівелювання з середини

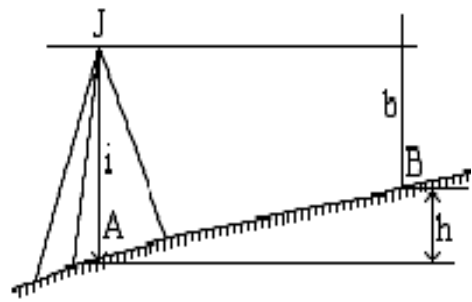


Рис.2.12 – Нівелювання вперед

Перевищення h підраховують за формулою:

$$h = i - b. \quad (2.29)$$

Відмітку точки B можна обчислити через перевищення за формулою (2.28) або через горизонт приладу:

$$H_B = H_I - b. \quad (2.30)$$

Якщо точки A і B знаходяться на великій відстані одна від одної і перевищення між ними не можна зміряти з однієї установки нівеліра, то на лінії AB намічають проміжні точки 1, 2, 3 і так далі і вимірюють перевищення по частинах (рис. 2.13).

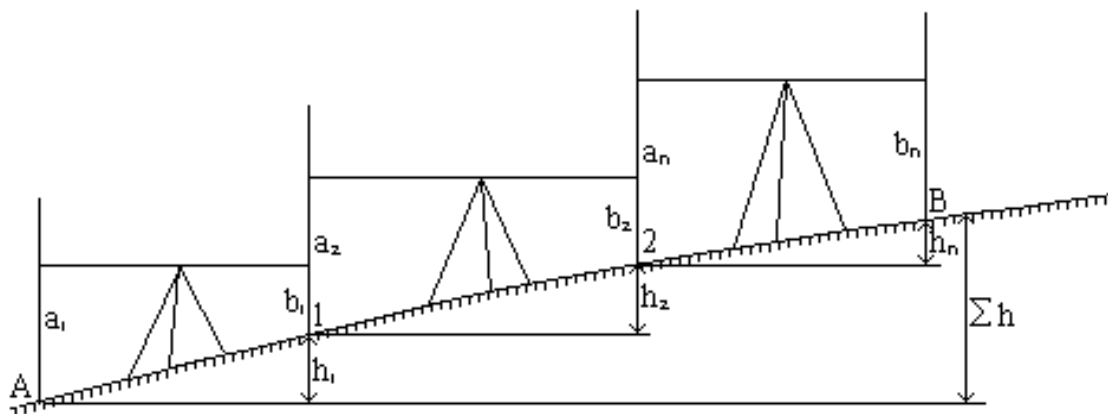


Рис. 2.13 – Вимір перевищення по частинах

На першій ділянці $A-1$ беруть відліки по задній рейці – a_1 і по передній – b_1 . Потім переносять нівелір в середину другої ділянки, а рейку з точки A переносять в точку 2; беруть відліки по рейках: по задній – a_2 і по передній – b_2 .

Ці дії повторюють до кінця лінії AB . Точки, що дозволяють зв'язати горизонти приладу на сусідніх установках нівеліра, називаються *зв'язувальними*; на цих точках відліки беруть двічі – спочатку по передній рейці, а потім по задній.

Перевищення на кожній установці нівеліра, званій станцією, обчислюють за формулою (2.26), а перевищення між точками A і B буде рівне:

$$h_{AB} = \Sigma h = \Sigma a - \Sigma b . \quad (2.31)$$

Відмітка точки B вийде за формулою:

$$H_B = H_A + \Sigma h . \quad (2.32)$$

При послідовному нівелюванні виходить нівелірний хід.

Послідовне нівелювання всіх станцій лінії AB складає нівелірний хід.

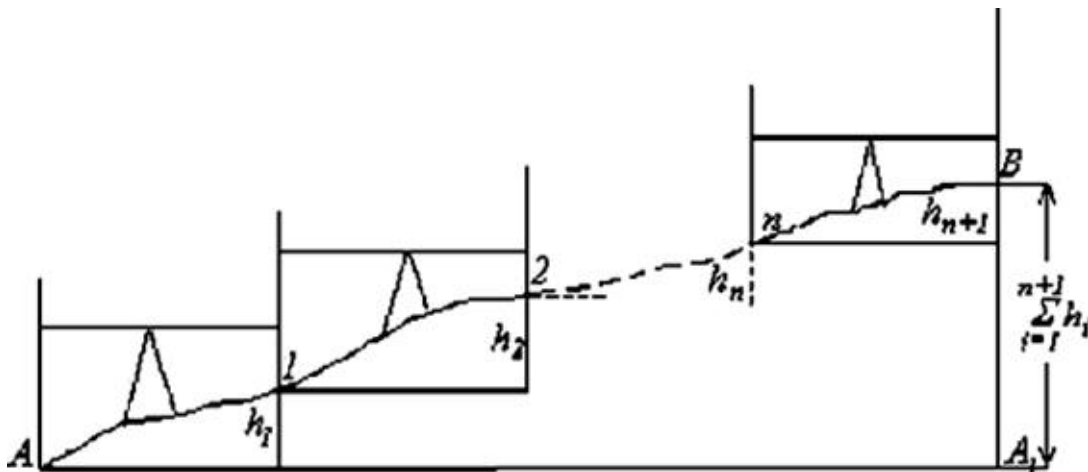


Рис.2. 14 – Нівелірний хід

Порядок виміру перевищення на станції:

1. встановити нівелір приблизно посередині між пунктами A і B , привести нівелір в робоче положення; відстань від нівеліра до рейок не може бути дуже великою (не більше 100 м) або дуже маленькою (менше 5 м); якщо ця відстань за умовами місцевості виходить менше 5 м, то рекомендується поставити нівелір в стороні від рейок (рис. 2.15);

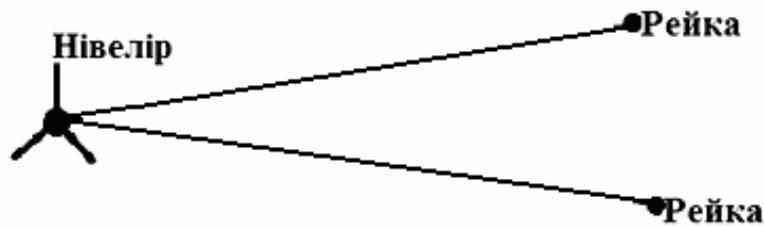


Рис. 2.15 – Одна з можливих схем розташування нівеліра і рейок

2. встановити вертикально рейки на пункті *A* (задня рейка) і на пункті *B* (передня рейка); рейка встановлюється на центр пункту (верхня частка марки початкового пункту або шляпка цвяха на визначуваному пункті);

3. навести зорову трубу на задню рейку, відфокусувати зображення рейки і встановити його в центр поля зору; елеваційним гвинтом привести бульбашку рівня точно в нуль-пункт і взяти відлік по чорній стороні рейки по центральній горизонтальній нитці ЗЧ; записати відлік в журнал;

4. дати команду реєчнику розвернути рейку червоною стороною; перевірити положення бульбашки точно в нуль-пункті і взяти відлік по червоній стороні рейки по центральній горизонтальній нитці ЗК; записати відлік в журнал;

5. обернути нівелір на передню рейку і повторити операції 3 і 4 для передньої рейки – в результаті вийдуть відліки $P_Ч$ і $P_К$; записати відліки в журнал;

6. виконати обробку вимірів на станції, тобто:

- обчислити різниці нулів для задньої P_{03} і передньою $P_{0П}$
 $P_{03} = Z_К - Z_Ч$; $P_{0П} = П_К - П_Ч$; записати їх в журнал;

- обчислити перевищення по чорних $Ч_П$ і червоних $К_П$ сторонам рейок
 $Ч_П = Z_Ч - П_Ч$; $К_П = Z_К - П_К$; записати їх в журнал;

- обчислити різницю перевищень $Ч_П - К_П$ і записати її в журнал;

- перевірити умову $Ч_П - К_П = P_{0П} - P_{03}$;

- при виконанні попередньої умови обчислити середнє перевищення

$$СП = 1/2 * [Ч_П + (К_П \pm 100)], \quad (2.32)$$

округлити його до міліметрів і вписати в журнал.

Знак "плюс" або "мінус" вибирається з таким розрахунком, щоб величина в круглих дужках майже дорівнювала $Ч_П$.

Допуски на станції: на розбіжність обчисленої і теоретичної різниці нулів рейок 5 мм; на розбіжність чорного і червоного перевищень 5 мм.

Зразок журналу для технічної нівеляції наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Зразок запису в журналі технічного нівелювання (числа в дужках указують номери операцій)

N станції NN рейок	Відстані до рейок, м	Відліки по рейках		Перевищення, мм	Сер. перев., мм
		задня	передня		
1				- 692 (7)	- 693 (10)
		1471 (1)	2163 (3)		
1-2		6172 (2)	6966 (4)	- 794 (8)	
		4701 (5)	4803 (6)	+ 102 (9)	

Якщо хоча б один допуск буде порушено, потрібно акуратно закреслювати записи станції і повторити на ній всі виміри.

Якщо відстань між пунктами *A* і *B* велика або перевищення між ними більше 2 м, то перевищення вимірюють по частинах; як проміжні пункти використовують нівелірні башмаки.

Робота на кожній станції виконується за описаною вище методикою, а перевищення між пунктами обчислюється як сума середніх перевищень на станціях.

Хід технічного нівелювання за пунктами теодолітного ходу може бути як розімкненим, так і замкнутим; він виконується в одному напрямі.

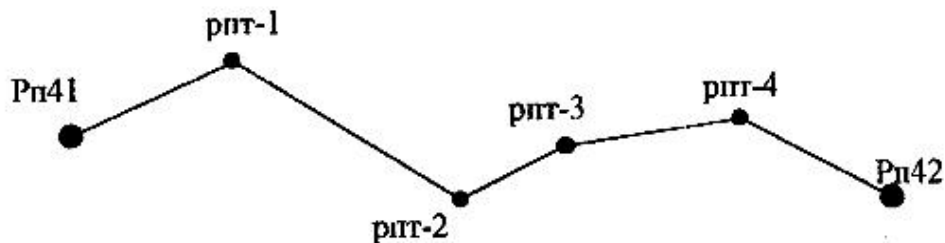


Рис 2.16 – Схема розімкненого нівелірного ходу

Для обчислення відміток пунктів ходу технічної нівелювання слід виконати такі операції:

1. Обчислення висотної нев'язки ходу за формулою

$$f_h = \sum h_i - \sum h_{теор}, \quad (2.33)$$

де $\sum h_{теор}$ – теоретична сума перевищень, знайдена за формулою

$$\sum h_{теор} = H_{Рп42} - H_{Рп41}, \quad (2.34)$$

порівняння її з допустимим значенням $f_{h(дон)}$;

для технічної нівеляції $f_{h(\text{дон})} = 50 \text{ мм} * \sqrt{\sum l_i}$,

де $\sum l_i$ - довжина ходу в км.

2. Обчислення поправок у вимірних перевищеннях за формулою

$$V_{hi} = \frac{f_h}{\sum l_i} * l_i \quad (2.35)$$

поправки потрібно округлювати до міліметрів (або в метрах – до третього знака після коми);

3. Перевірка контролю $\sum V_{hi} = f_h$,

якщо контроль не виконується хоча б на 1 міліметр, то потрібно виправити одну або декілька поправок на 1 міліметр, починаючи з найдовшої секції до абсолютного виконання контролю;

4. Обчислення виправлених перевищень за формулою

$$h_{i(\text{випр})} = h_i + V_{hi} \quad (2.36)$$

5. Обчислення відміток проміжних реперів за формулою

$$H_i = H_{i+1} + h_{i(\text{випр})} \quad (2.37)$$

обчислене значення відмітки пункту в кінці ходу $Rp42$ повинно в точності збігтися з його заданим значенням.

Обробка ходу технічного нівелювання виконується в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Обробка ходу технічного нівелювання

N секції i	Назва репера, пікетів	Вимір. перевищ. h_i (м)	Довжина секції l_i (км)	Поправка в перевищ. V_{hi} (м)	виправл. перевищ. $h_{i(\text{випр})}$ (м)	Відмітки реперів H_i (м)
	Rp41					<u>100,000</u>
1		+1,427	3,8	+0,036	+1,463	
	рг-1					101,463
2		+0,540	6,1	+0,058	+0,598	
	рг-2					102,061
3		+3,123	0,9	+0,009	+3,132	
	рг-3					105,193
4		-2,268	2,2	+0,021	-2,247	
	рг-4					102,946
5		+0,041	1,4	+0,021	+0,054	
	Rp42					<u>103,000</u>
	\sum	+2,863	14,4	+0,137	+3,000	

Ходи технічного нівелювання прокладаються між реперами з відомими відмітками. При цьому як в зімкнутому так і розімкненому ходах нівелювання виконується один раз – в прямому напрямі.

Висячий хід (що опирається на один репер з відомою відміткою нівелюється двічі: прямо і назад. Допустима неув'язка f_h не повинна перевищувати 50 мм на 1 км ходу.

Довжина ходу технічного нівелювання залежить від його форми: розімкненого і замкненого ходів вона може досягати 16 км, висячого – не більше 8 км.

Частина ходу між двома закріпленими на місцевості точками ходу (реперами) називається секцією, довжина якої визначається сумою відстаней від нівеліра до рейок. Перевищення між реперами визначається сумою перевищень, виміряних на кожній станції секції.

Після завершення визначення перевищень між точками нівелірного ходу, визначається їх абсолютна висота, для чого здійснюється прив'язка нівелірного ходу до найближчого репера.

За даними геометричного нівелювання будується профіль місцевості.

Тахеометрична і мензульна зйомки

Тахеометрична зйомка

Тахеометрична зйомка або тригонометричне нівелювання називають також геодезичним або нівелюванням похилим променем.

Воно виконується теодолітом; для визначення перевищення між двома точками потрібно виміряти кут нахилу й відстань.

В точку A встановлюють теодоліт, у точку B – рейку або віху відомої висоти V (рис. 2.17). Вимірюють кут нахилу зорової труби теодоліта при наведенні її на верх віхи або рейки.

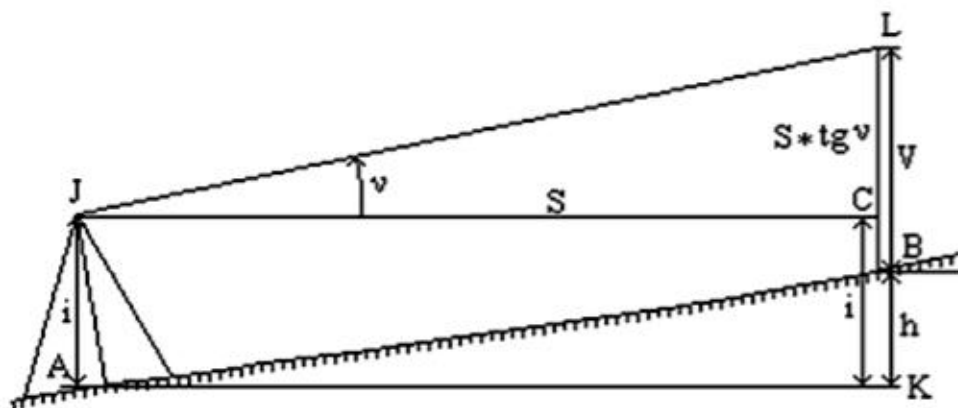


Рис. 2.17 – Схема тригонометричного нівелювання

Довжину відрізка LK можна представити як суму відрізків LC і CK з одного боку і як суму відрізків LB і BK з іншого. Відрізок LC знайдемо з ΔJLC :

$$LC = S * tg \nu, \quad (2.38)$$

інші відрізки позначені на рисунку. Тоді

$$LC + CK = LB + BK \text{ і } S * tg(\nu) + i = V + h \quad (2.39)$$

Звідси виразимо перевищення h

$$h = S * tg(\nu) + i - V, \quad (2.40)$$

де i – висота, виміряна від точки A до осі обертання труби, ν – висота наведення візирного променя (на рис. 2.17 – відрізок LB , висота рейки V). Таким чином,

$$S * tg(\nu) + p + i = r + V + h, \quad (2.41)$$

звідки

$$h = S * tg(\nu) + (i - V) + (p - r), \quad (2.42)$$

або

$$h = S * tg(\nu) + (i - V) + f. \quad (2.43)$$

При вимірі відстані за допомогою нитяного далекоміра формула перевищення дещо змінюється, тому що

$$S = (Cl + c) * \cos^2(\nu), \quad (2.44)$$

то

$$h = 0.5 * (Cl + c) * \sin(2\nu) + i - V + f = h' + i - V + f.$$

Величину

$$h' = 0.5 * (Cl + c) * \sin(2\nu) \quad (2.45)$$

називають *тахеометричним перевищенням*.

Помилка виміру перевищення з тригонометричного нівелювання оцінюється величиною від 2 см до 10 см на 100 м відстані.

При послідовному вимірі перевищень виходить висотний хід; у висотному ході кути нахилу вимірюють двічі: у прямому і зворотному напрямках.

Тахеометрія – грецьке слово і в перекладі означає швидкий вимір.

Швидкість виконання тахеометричних робіт пояснюється отриманням при одному положенні візирної осі труби 1 – напряму,

визначеного по бусолі або по лімбу горизонтального круга, 2 – відстані, вимірюваної по далекоміру, і 3 – перевищення, відлічуваного по рейці або обчисленого по виміру вертикального кута.

Тахеометричні роботи проводяться під час знімального обґрунтування (прокладкою тахеометричних ходів) і зйомки ситуації і рельєфу (зазвичай польярним способом).

План тахеометричної зйомки складається в камеральних умовах.

Роздільне виконання польових і камеральних робіт є її недоліком, оскільки можливі промахи в роботі при камеральному складанні плану (особливо в зображенні рельєфу) можуть залишитися непоміченими. Щоб уникнути цих промахів, під час польових робіт необхідно складати кроки (*план окомірної зйомки*).

Тахеометричну зйомку виконують для складання планів в крупних масштабах. Найдоцільніше застосовувати тахеометрію при зйомці місцевості з яскраво вираженим рельєфом.

При тахеометричній зйомці застосовують інструменти двох типів: тахеометри-автомати і кругові тахеометри. Найбільшу продуктивність дають тахеометри-автомати, що мають різні пристосування, за допомогою яких можна отримати без обчислень горизонтальні прокладення ліній і відмітки точок або перевищення між суміжними точками.

Мензульна зйомка

Основним методом картографування території нашої країни є аерофототопографічна зйомка. Вона застосовується при зйомці в масштабах 1 : 5 000 і дрібніше.

Проте бувають випадки, коли таку зйомку провести немає можливості; при зйомці невеликих за площею ділянок місцевості проводити аерофотознімання економічно недоцільно. В цьому випадку проводиться мензульна зйомка.

При мензульній зйомці горизонтальні кути не вимірюються (як це робиться при теодолітній і тахеометричній зйомках), а будуються на плані безпосередньо в полі.

Унаслідок вказаної особливості мензульна зйомка ще називається *кутонакреслювальною*. Результати зйомки об'єктів місцевості послідовно наносяться на план безпосередньо в полі на кожній знімальній станції.

Ця обставина вигідно відрізняє мензульну зйомку від тахеометричної: *при мензульній зйомці безперервно проводиться зіставлення відповідних ділянок місцевості і плану, що в деякій мірі гарантує від можливих промахів*.

Знімальне обґрунтування для мензульної зйомки складають на основі пунктів опорної геодезичної мережі. Для побудови знімального обґрунтування також застосовуються теодолітні і тахеометричні ходи, триангуляційні побудови, різні зарубки, мензульні ходи і геометрична мережа.

Перші чотири види утворюють аналітичне знімальне обґрунтування, тому що координати пунктів отримують при зрівнюванні конкретної геодезичної побудови. Останні два види відносяться до графічного знімального обґрунтування.

Допустима лінійна незв'язність мензульного ходу на планшеті рівна 0,8 мм.

Відмітки пунктів геометричної мережі отримують з технічної нівеляції або висотних ходів.

Мензульна зйомка проводиться за допомогою *мензули і кіпрегеля*.

Мензула є своєрідним столиком. На мензульну дошку наклеюють лист високоякісного креслярського паперу; у цьому вигляді вона називається планшетом.

Кіпрегель є верхньою часткою тахеометра. Його основними частинами є довга лінійка (алідада), на якій за допомогою колонки укріплені зорова труба і вертикальний кутомірний круг. На лінійці є циліндровий рівень. Труба і вертикальний круг мають спільну вісь обертання, яка при правильній установці кіпрегеля займає горизонтальне положення; візирна вісь труби при обертанні останньої утворює прямовисну площину колімації.

Приладами мензульного комплекту є центрувальна вилка і бусоль (або орієнтир-бусоль), за допомогою яких мензула центрується над опорною точкою і орієнтується з урахуванням магнітної відміни.

Барометричне нівелювання

Барометричне нівелювання засновано на залежності атмосферного тиску від висоти точки над рівнем моря. Відомо, що із збільшенням висоти на 11 м тиск падає приблизно на 1 мм ртутного стовпа.

Наближені значення перевищення між точками 1 і 2 можна обчислити за так званими скороченими формулами, в яких значення деяких параметрів стану атмосфери прийняті постійними. Найбільш простою і зручною для обчислення різниці висот є формула барометричних ступенів

$$h = H_2 - H_1 = \Delta H(P_1 - P_2) \quad (2.46)$$

де P_1 і P_2 – тиск в першій і другій точках, ΔH – барометричний ступінь, вибраний із спеціальних таблиць.

Під *барометричним ступенем* розуміється різниця висот, відповідна зміні атмосферного тиску на 1 мм рт. ст. і рівна в середньому 11 м.

Найбільш поширеними є наступні способи барометричної нівеляції:

1. спосіб замкнутих ходів, що опираються на тимчасові барометричні станції (ТБС), розташовані на пунктах з відомими відмітками;

2. спосіб замкнутих або розімкнених ходів без опори на ТБС між точками з відомими відмітками;

3. спосіб розімкнених ходів між точками з відомими відмітками з урахуванням зміни атмосферного тиску в часі за спостереженнями рейсовими приладами на точках ходу (спосіб стрибкоподібної станції);

4. спосіб баричних базисів.

Спільним для всіх способів є порядок спостереження на барометричних станціях і рейсових точках. Специфічні особливості кожного з перерахованих способів вказані у відповідних інструкціях і технічному завданні.

Точність барометричної нівеляції невисока: середня квадратична помилка виміру перевищення коливається від 0.3 м в рівнинних районах до 2 м і більше в гірських. Застосовується барометрична нівеляція в основному при виконанні геологічних і геофізичних (гравіметричних) зйомок.

2.2.2 Державна висотна геодезична мережа України

Висотна державна геодезична мережа України побудована відповідно до Основних положень про державну мережу СРСР 1961 р. і складається з нівелірних мереж I, II, III, IV класів, створених методом геометричного нівелювання.

Лінії нівелювання I та II класів є головною висотною основою України, яка забезпечує галузі народного господарства, оборону країни, розв'язання науково-технічних завдань. Їх прокладено вздовж автомобільних та залізничних шляхів. Довжина ліній нівелювання I класу становить 11 975 км, а II – 11 900 км. Висоти закріплених марок і реперів визначені в Балтійській системі висот 1977 р.

Нівелірні мережі III і IV класів згущують нівелірні полігони I та II класів і служать для виконання топографічних зніманих та розв'язання інженерних задач. За вказаною постановою Кабінету Міністрів України № 844 від 8 червня 1998 р. висотна геодезична мережа складається:

- з нівелірних мереж I та II класів;
- нівелірних мереж III та IV класів.

Мережа нівелірних ходів I класу виконується з найвищою точністю, яка досягається сучасними приладами. Нівелірна мережа II класу створюється полігонами та окремими лініями й їх системами з вузловими точками. Мережі I та II класів є головною висотною основою і забезпечують єдину систему висот на території України.

Мережі нівелювання III класу створюються всередині полігонів II класу з периметром 60-150 км. Подальше згущення виконується нівелюванням IV класу з довжиною ходів до 50 км.

2.3 Планові і планово-висотні зйомки малої точності

Зйомка бусольна – вид напівінструментальної зйомки, при якій магнітні азимути сторін ходу визначають бусоллю або гірничим компасом, довжину сторін – рулеткою, кути нахилу – півкругом (прилад для вимірювання кутів нахилу сторін ходів). Бусольну зйомку ведуть бусоллю і як самостійну застосовують лише при зйомці невеликих ділянок. а також в якості додаткової при інших видах зйомок.

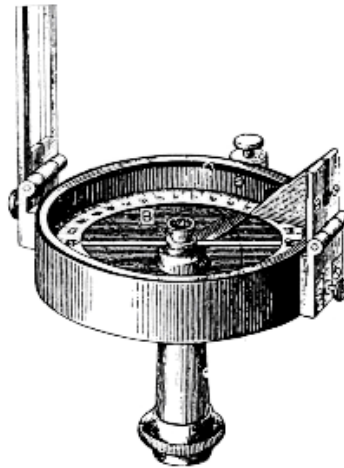


Рис. 2.18 – Бусоль

Окомірну зйомку виробляють візирної лінійкою на планшеті з компасом і отримують орієнтовний (приблизний) план місцевості.

Вибір виду зйомки залежить від стадії пошуків, характеру майбутнього об'єкта, умов проведення зйомки, наявності часу і засобів вимірювань і інших чинників.

Екер, прилад для побудови на місцевості прямих кутів і кратних 45° . Екери бувають прості (з діоптріями) – хрестоподібні, восьмигранні і відбивні-дзеркальні та призмові. Найпростіший екер – дві дерев'яні взаємно-перпендикулярні лінійки з діоптріями на кінцях, які вільно обертаються.

Екерна зйомка – зйомка невеликих за розмірами земельних ділянок за допомогою екера для складання планів або частіше застосовується при кутомірній зйомці як допоміжний прийом для побудови перпендикулярів, що використовуються при зйомці різних контурів місцевості.

При зйомках ділянок їх розбивають на трикутники (вимірюють підстави і висоти) або всередині або зовні ділянок будують прямокутні багатокутники, відповідні лінії вимірюють мірними стрічками.

Екерну зйомку застосовують в сільському господарстві для розбивання прямокутних ділянок, а в лісовому господарстві виконують відводи лісосік, пробних площ, намічають таксаційні візири.

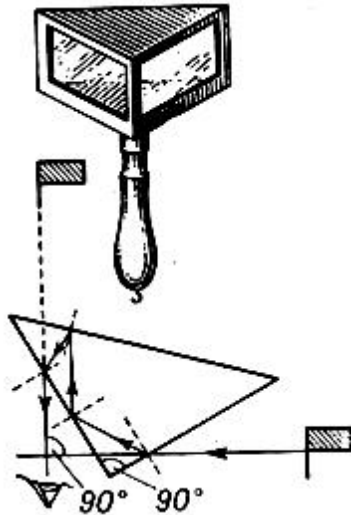


Рис. 2.19 – Екер

Ці види зйомок належать до планово-висотних і є зйомками малої точності. Вони застосовуються найчастіше на невеликих ділянках і використовуються при рекогносцирувальних обстеженнях.

Контрольні запитання

1. Розповісти про будову нівеліра НЗ.
2. Розповісти про перевірки нівеліра.
3. У чому полягає головна умова нівеліра?
4. Перелічити прилади, що входять до комплекту для технічного нівелювання.
5. Який порядок спостережень на станції за програмою технічного нівелювання?
6. Для чого виконується й у чому полягає посторінковий контроль?
7. Який порядок дій при установці нівелірів у робоче положення?
8. Які способи контролю відліків по рейках застосовують при геометричному нівелюванні?
9. Назвати типи нівелірних рейок і пояснити їх будову.
10. Як здійснюється контроль відліків на станції нівеліра?
11. Як контролюються перевищення між двома пікетами та на всьому маршруті?
12. Як узгоджуються перевищення для різних видів маршрутів?
13. Як обчислити абсолютні оцінки пікетів на трасі нівелювання?
14. Чим відрізняються тригонометричне від геометричного нівелювання?
15. У чому переваги й недоліки мензульної зйомки?
16. Планові і планово-висотні зйомки малої точності.

3 КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕОРІЮ ПОХИБОК ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

3.1 Основи теорії похибок вимірів

Основними завданнями теорії похибок є:

- вивчення видів і властивостей похибок вимірів;
- встановлення критеріїв для оцінки точності результатів вимірів;
- з ряду вимірів однієї і тієї ж величини отримати найбільш надійне значення і оцінити його;
- оцінка точності функції вимірних величин.

Виміряти величину – означає знайти відношення цієї величини до іншої однорідної їй величині, взятої за одиницю виміру. В результаті виміру отриманому числу дається назва, відповідна назві одиниці виміру.

Результати вимірів називають також вимірними величинами або коротко просто вимірами.

Значення величини можна отримати безпосередньо шляхом накладення одиниці вимірів на вимірювану величину (або навпаки). Такі виміри називають *прямими*, або безпосередніми. Приклади таких вимірів – вимір на плані ліній циркулем, кутів транспортиром.

В деяких випадках значення величини можна отримати іншим способом. Наприклад, якщо виміряти два кути трикутника і отримати їх значення – α і β , то третій кут γ можна обчислити за відомою формулою

$$\gamma = 180 - \alpha - \beta. \quad (3.1)$$

В цьому прикладі значення величини отримане не прямо, а побічно, за допомогою обчислення на основі математичної залежності між визначуваною величиною і безпосередньо вимірними величинами. Такі (обчислені) значення називають *непрямими*, або посередніми вимірами.

Для контролю і підвищення точності остаточного результату в геодезичній практиці одну і ту ж величину вимірюють не менше двох разів.

Оскільки для визначення величини достатньо одного виміру, то при n вимірах однієї і тієї ж величини всі її виміри, окрім одного (тобто $n-1$ вимірів), називають *надлишковими*, або *додатковими*.

Окрім величини, отриманої з вимірів, важливо знати точність цих вимірів.

Точність вимірів залежить від точності приладів, якими виконуються виміри, і визначається умовами, в яких вони виконуються.

Виміри, отримані в однакових умовах, мають однакову точність. Умови вважаються однаковими, якщо виміри проведені одним і тим же

приладом (або приладами однієї точності), однією і тією ж особою або особами з однаковим досвідом, одними і тими ж методами і за однакових зовнішніх умов.

Виміри, отримані з рівною точністю, називаються рівноточними, в іншому разі вони називаються нерівноточними.

3.2 Помилки вимірів і їх види

Виміряти величину абсолютно точно неможливо: як би ретельно не проводилися виміри, результати їх майже завжди відрізняються від точного (або істинного) значення величини. Тільки випадково може показатися, що вимірне значення в точності збігається з істинним значенням величини.

Відхилення результату виміру величини від її точного значення називається істинною похибкою виміру і виражається формулою

$$\Delta = l - X, \quad (3.2)$$

де Δ – істинна похибка виміру, l – результат виміру
 X – *точне* (істинне) значення величини.

Про наявність похибок вимірів можна судити хоч би з того факту, що повторні виміри однієї і тієї ж величини дають, як правило, різні значення. Причини похибок вимірів – недосконалість органів чуття людини, неточність вимірювальних інструментів, вплив зовнішніх умов і ін.

Помилка вимірів є результатом спільної дії декількох різних причин, тому її можна розглядати як алгебраїчну суму, в якій кожен доданок є наслідком впливу будь – якого одного фактора

$$\Delta = \Delta 1 + \Delta 2 + \Delta 3 + \dots + \Delta n \quad (3.3)$$

До похибок вимірів відносяться і грубі похибки, тобто промахи і прорахунки, причина виникнення яких – неуважність виконавця. Грубі похибки можуть бути виявлені контрольними вимірами. Результати вимірів, що містять грубі помилки, замінюються новими.

За відмінністю у властивостях похибки ділять на *систематичні і випадкові*.

Систематичні похибки це в основному такі похибки, які при повторних вимірах однієї і тієї ж величини або при вимірі однорідних величин з'являються з одним і тим же знаком. Наприклад, якщо при вимірі кутів великого числа трикутників вся нев'язка виявилася від'ємною, то можна бути упевненим, що виміряні кути містять одну і ту ж систематичну похибку або декілька таких похибок.

Систематичні похибки бувають *постійні і змінні*.

Прикладом постійної похибки може служити похибка в результатах виміру довжини лінії через неточне визначення довжини мірної стрічки.

До змінних систематичних похибок в результатах виміру однієї і тієї ж лінії мірною стрічкою відносяться такі похибки: через прогин стрічки внаслідок нерівностей ґрунту, через провисання стрічки, через відхилення стрічки від створу вимірюваної лінії.

Перелічені систематичні похибки виникають з різних причин. Одні з них залежать від недосконалості або неточного юстирування мірного інструменту (інструментальні похибки), інші – від стану зовнішнього середовища (похибки середовища або зовнішні похибки), від спостерігача (особисті похибки).

Випадковими називають похибки, не пов'язані функціональною залежністю з якими-небудь чинниками і математичні сподівання яких дорівнюють нулю.

Математичним сподіванням похибки називається сума добутоків можливих значень похибок на відповідні ймовірності, тобто

$$M(\Delta) = \Delta_1 P_1 + \Delta_2 P_2 + \dots + \Delta_n P_n, \quad (3.4)$$

де $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ – різні значення похибки, що виникає за даних умов вимірів, а P_1, P_2, \dots, P_n – відповідна їм ймовірність.

Ймовірністю називається величина, постійна для конкретних умов вимірів, до яких прагне частота появи похибок.

Під частотою появи похибки розуміється відношення числа похибок однакового розміру до всіх похибок в даному ряду і дорівнює

$$q = k/n, \quad (3.5)$$

де k – число похибок однакового розміру, n – спільне число похибок у ряді вимірів.

Якщо ймовірності невідомі, то, замінюючи їх у формулі (3.4) відповідними їм частотами, отримаємо наближену рівність

$$M(\Delta) \approx \Delta_1 q_1 + \Delta_2 q_2 + \dots + \Delta_n q_n. \quad (3.6)$$

Відсутність функціональної залежності похибки від будь-якого чинника виражається в тому, що поява похибки в ряду в тій послідовності, яка має місце у кожному конкретному випадку, не підлягає ніякій видимій закономірності; іншими словами, знак і розмір похибки в ряду не залежить від знаку і розміру решти похибок отриманого ряду вимірів.

Рівність нулю математичного сподівання похибки виміру якої-небудь величини практично виявляється в тому, що при необмеженому

збільшенні числа вимірів цієї величини середнє арифметичне з отриманих значень похибки має тенденцію прямувати до нуля.

Випадкові похибки вимірів мають наступні властивості:

- додатні похибки зустрічаються приблизно так само часто, як і рівні їм за абсолютною величиною від'ємні похибки;
- чим більша похибка за абсолютною величиною, тим рідше вона зустрічається;
- абсолютна величина похибки не перевищує певної межі;
- середнє арифметичне з похибок при нескінченному збільшенні кількості вимірів в ряду має тенденцію наближатися до нуля.

3.3 Оцінка точності нерівноточних вимірів

Виміри бувають рівноточні і нерівно точні.

Наприклад, один і той же кут можна виміряти точним або технічним теодолітом, і результати таких вимірів будуть нерівноточними. Або один і той же кут можна виміряти різною кількістю прийомів; результати теж будуть нерівноточними.

Зрозуміло, що середні квадратичні похибки нерівноточних вимірів будуть неоднакові. З досвіду відомо, що вимір, виконаний з більшою точністю (з меншою помилкою), заслуговує на більшу довіру.

Вага виміру – це умовне число, що характеризує надійність виміру, ступінь його довіри; вага позначається буквою p . Значення ваги виміру обчислюють за формулою:

$$p = k/m^2, \quad (3.7)$$

де k – це довільне додатне число, яке має бути одним і тим же при визначенні ваги всіх вимірів, що беруть участь в розв'язанні задачі.

Таким чином, вага виміру є величина, обернено пропорційна квадрату середньої квадратичної помилки цього виміру.

3.4 Приклади практичного застосування теорії похибок

3.4.1 Точність положення контурних точок на планах (картах)

Використання різних приладів і технологічних процесів, вживаних при зйомках, приводить до нерівноточності планів різних видів зйомки. Проте при правильному проведенні зйомок ряд елементів, складових технологічного процесу того або іншого виду зйомки, має похибки графічної точності, наприклад, похибки нанесення точок і ліній на план, побудови кутів на плані і ін.

Середню квадратичну помилку визначення контуру на плані (карті) m_t можна визначити за відомою формулою

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 \dots + m_n^2} \quad (3.8)$$

де $m_1 = m_2 = \dots = m_n = 0.1$ мм (графічна точність визначення положення точки на плані); при $n = 16$ $m = 0.4$ мм, що складає похибку 4 м при зйомках масштабу 1:10 000.

3.4.2 Точність зображення ліній на плані

Для отримання залежності похибки відстані між точками від похибки їх положення, уявимо, що кожна з кінцевих точок визначається координатами X_1 і Y_1 ; X_2 і Y_2 з середніми квадратичними помилками m_{x_1} і m_{y_1} , m_{x_2} і m_{y_2} . Тоді відстань між точками визначається за формулою

$$s_2 = 2(X_2 - X_1)^2 + 2(Y_2 - Y_1)^2 \quad (3.9)$$

Після диференціювання функції (3.9) шляхом нескладних математичних перетворень і переходу до середньої квадратичної похибки, при

$$m_{x_1} = m_{x_2} = m_{y_1} = m_{y_2} = m_t \quad \text{отримуємо} \quad m_s = m_t \quad (3.10)$$

тобто, середня квадратична помилка відстані між точками на плані дорівнює середній квадратичній помилці положення точки.

Середня квадратична похибка визначення відстані між точками на плані (карті) за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки з урахуванням точності плану mt визначається за формулою

$$m_{so} = \sqrt{m_t^2 + m_{\text{вим}}^2} \quad (3.11)$$

При $m_t = 0.4$ мм і $m_{\text{вим}} = 0.08$ мм $m_{so} = 0.41$ мм, тобто точність виміру відстаней між точками за планом визначається, головним чином, точністю плану.

3.4.3 Точність напрямів і кутів, зображених на плані (карті)

Точність напрямку характеризується дирекційним кутом (азимутом) лінії на плані і залежить від похибок положення кінцевих точок цієї лінії.

Дирекційний кут лінії між точками 1 і 2 визначається за формулою

$$\text{tg } a = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \quad (3.12)$$

Після диференціювання виразу (3.12) і заміни диференціалів

середніми квадратичними похибками маємо

$$\text{при } mt_1=mt_2=mt \quad \text{буде} \quad m\alpha = mt / S \quad (3.13)$$

А це означає, що середня квадратична помилка дирекційного кута збільшується із зменшенням відстані між точками.

3.4.4 Оцінка точності кутових вимірів

На точність вимірів кутів (і горизонтальних, і вертикальних) мають вплив як зовнішні умови, так і похибки власно вимірів. Похибки, зумовлені впливом зовнішньої середовища, як відомо, можна звести до мінімуму. Тоді точність вимірів кута визначатиметься тільки похибками власно вимірювання.

У теодолітних ходах горизонтальний кут β вимірюється повним прийомом, що складається з двох напівприймів, – вимір при "круг ліво" і при "круг право" і дорівнює середньому $\beta_{сер}$ з двох вимірів:

$$\beta_L=L_2-L_1, \quad \beta_R=R_2-R_1; \quad (3.14)$$

$$\beta_{сер} = (\beta_L + \beta_R)/2 = 0.5(L_2 - L_1 + L_2 - R_1)$$

де L_1, L_2, R_1, R_2 – відліки по горизонтальному кругу при "круг ліво" (L) і "круг право" (R) на 1 і 2 напрями теодолітного ходу.

При рівноточних вимірах $mL_1 = mL_2 = mR_1 = mR_2 = m_n$, де m_n – середня квадратична похибка напрямку.

Після диференціювання функції і переходу до середніх квадратичних похибок маємо: $m\beta_{сер} = m_n$, тобто середня квадратична похибка кута, виміряного одним прийомом, дорівнює середній квадратичній похибці напрямку.

Похибка напрямку складається із похибок візування і відліків:

$$\Delta = 2m_d = 2m_0 = 2m_0\sqrt{2}$$

Отже, середня квадратична похибка виміряного кута шкаловим теодолітом дорівнює середній квадратичній похибці відліку за шкалою.

Тоді допустима розбіжність значень кутів в напівприйомах складе:

$$\Delta d = 2m_d = 2m_0 = 2m_0\sqrt{2}$$

Таким чином, для технічного теодоліта 2Т30 $\Delta d = 1 - 1.5'$.

Контрольні запитання

1. Що називається вимірюванням?
2. Які вимірювання називаються рівноточними, а які – нерівноточними?
3. Одиниці мір, застосовувані в геодезії.
4. Що таке грубі, систематичні і випадкові похибки вимірювань?
5. Які основні властивості випадкових похибок?
6. Як визначається найімовірніше значення вимірюваної величини при рівноточних вимірюваннях?
7. Що називається граничною, абсолютною і відносною похибкою?
8. Що таке середня квадратична похибка і як вона визначається ?
9. Як визначається середня квадратична похибка окремого результату подвійних вимірювань?
10. Що таке вага вимірювання?
11. Як визначається загальна арифметична середина при нерівноточних вимірюваннях ?

4 ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Дистанційні методи вивчення земної поверхні (ДМВЗП) засновані на вимірі параметрів земної поверхні на відстані з передачею результатів по індивідуальній лінії зв'язку. Такі виміри виконуються, як правило, з літаючих апаратів.

Технічна дисципліна, що має своїм завданням визначення виду й розмірів якого-небудь об'єкта шляхом вивчення й виміру не самого об'єкта, а його фотографічного зображення, називається фотограмметрією. Найбільше застосування фотограмметрія знайшла в топографії, де об'єктом вивчення й виміру є місцевість. Тут завдання фотограмметрії полягає у тім, щоб польові виміри, необхідні для створення топографічної карти, замінити вимірами аерофотознімка в камеральних умовах за допомогою спеціальних фотограмметричних приладів.

До ДМВЗП відносяться аерофотознімання й космічні зйомки різного призначення.

4.1 Аерофотозйомка

Аерофотозйомка – фотографування місцевості з літака або якого-небудь іншого літального апарата. Аерофотозйомка проводиться для створення топографічних карт за аерофотознімками, вивчення й обліку лісових і земельних фондів, проектування інженерних споруд, при виконанні геологорозвідувальних робіт, геофізичних зйомок і для інших народногосподарських робіт.

У військах аерофотознімання ведеться з метою розвідки території супротивника, його бойової техніки й інженерних споруд.

Аерофотозйомка виконується спеціальними аерофотоапаратами (АФА) і залежно від характеру польоту *підрозділяється на одинарну, маршрутну й площинну, залежно від виду аерофотознімків – на планову й перспективну.*

Одинарна аерофотозйомка застосовується при фотографуванні окремих об'єктів або групи їх, коли вони можуть бути зняті на одному або небагатьох (2-3) знімках і немає потреби в стереоскопічному (об'ємному) розгляді сфотографованих об'єктів.

Маршрутна аерофотозйомка – фотографування місцевості вздовж деякого напрямку (маршруту).

Виконується з метою розвідки доріг, річок, берегів крупних водоймищ і інших протяжних об'єктів. Ширина смуги, що знімається, і число знімків, необхідне для аерофотозйомки, розраховується за спеціальними формулами з урахуванням масштабу аерофотозйомки.

Площова аерофотозйомка – зйомка ділянки земної поверхні, яка перевищує по ширині площу, що фотографується одним маршрутом. При

аерофотознімання площі прокладається ряд паралельних між собою маршрутів з дотриманням заданого перекриття між ними. Відстань між маршрутами, кількість маршрутів, спільна кількість аерофотознімків при заданій площі розраховуються за відповідними формулами.

Планова аерофотозйомка – зйомка, при якій АФА встановлюється в літаку так, щоб його оптична вісь під час фотографування займала прямовисне положення; відхилення від такого положення на деякий кут α відбувається внаслідок неминучого коливання літака в повітрі.

Величина кута при плановому аерофотознімання зазвичай менша ніж 3° (в середньому близько $1,5^\circ$), а із застосуванням гідростабілізуючої установки вона зменшується до $30''$. Приблизно про величину цього кута можна судити по положенню бульбашки рівня, що фіксується на аерофотознімку. Поздовжнє перекриття аерофотознімків при виконанні планового аерофотознімання має бути не менше ніж 55%, поперечне (залежно від рельєфу місцевості і способу фотограмметричної обробки аерофотознімків) – 30-40%.

Перспективне аерофотознімання – зйомка, при якій АФА встановлений в літаку так, що його оптична вісь нахилена від прямовисного положення на деякий постійний кут.

Отримані при цьому знімки називаються перспективними. Перспективне аерофотознімання широко застосовується при загальному огляді місцевості, оскільки з рівних висот і однаковими АФА фотографується площа більша, ніж при площинному аерофотознімання.

При цьому, потрібні об'єкти фотографуються з деякої відстані, не пролітаючи безпосередньо над ними, для чого застосовується коливний пристрій, який дозволяє отримувати одночасно планові та перспективні знімки.

Аерофотознімок є центральною проекцією ділянки місцевості.

Відомо, що план є ортогональною проекцією місцевості. Тому, якщо ділянка, що знімається, і плівка горизонтальні, а оптична вісь АФА займає прямовисне положення, то аерофотознімок можна вважати за план місцевості. Але в більшості випадків аерофотознімок не є планом місцевості.

Масштабом аерофотознімка називається відношення довжини лінії на аерофотознімку до довжини горизонтального прокладення відповідної лінії на місцевості.

Масштаб похилого аерофотознімка не є постійною величиною: рівним між собою за довжиною лініям місцевості відповідають лінії різної довжини на аерофотознімку.

Унаслідок нерівності масштабу похилого аерофотознімка по різних напрямках елементи місцевості змальовуються на ній в спотвореному вигляді.

Орієнтування аерофотознімка проводиться по лініях, що є на знімку і

на місцевості, або по уявних лініях, що сполучають ясно виражені предмети (точки контурів).

Після того, як аерофотознімок зорієнтований по лініях місцевості, можна встановити на ньому бусоль, прокреслити лінію, паралельну магнітній стрілці. *Ця лінія є напрямом магнітного меридіана.*

Два аерофотознімки, отримані при фотографуванні місцевості з двох точок фотографування, що мають між собою перекриття не менше 55%, складають стереоскопічну пару (стереопару).

Метод, який базується на використанні стереоскопічного зору, тобто здатності ока спостерігача відчувати об'ємний простір, називається *стереоскопічною зйомкою*. Цей метод використовується для визначення висот точок земної поверхні і зарисовки горизонталей за допомогою стереоприборів в камеральних умовах.

Аерофототопографічна зйомка – вид топографічної зйомки, заснованої на використанні аерофотознімків.

Аерофотознімання проводиться двома методами: комбінованим і стереотопографічним.

Комбінованим методом є поєднання фотограмметричної обробки аерофотознімків з мензульною зйомкою.

Складається фотоплан, а потім на репродукції з нього знімають в полі рельєф методами мензульної зйомки. Комбінований метод зазвичай застосовується для зйомки рівнинних районів із слабо вираженим рельєфом.

Створення топографічної карти комбінованим методом складається з наступних етапів:

- 1 – льотнозйомочні і фотолабораторні роботи;
- 2 – побудова геодезичної основи, планова прив'язка аерофотознімків;
- 3 – розвиток фототріангуляції;
- 4 – трансформація аерофотознімків, монтаж фотосхем;
- 5 – згущення висотного знімального обґрунтування, зйомка рельєфу на фотопланах і дешифрування контурів;
- 6 – викреслювання і оформлення оригіналу карти.

Фототріангуляція метод визначення опорних точок в камеральних умовах за допомогою фотограмметричних приладів або графічних побудов.

Розрізняють просторову фототріангуляцію, при якій визначаються всі три координати точок, і планову (площинну), якщо визначається тільки їх планове положення.

Трансформація аерофотознімків – перетворення планових або перспективних аерофотознімків в горизонтальні. У процес трансформації входить також приведення аерофотознімків до заданого масштабу і зменшення спотворень, зумовлених рельєфом місцевості.

4.2 Космічна зйомка

З появою штучних супутників Землі (ШСЗ) геодезія отримала нові шляхи і методи вирішення її основної наукової проблеми, пов'язаної з визначенням фігури, розмірів і зовнішнього гравітаційного поля Землі.

Відкрилися нові методичні можливості і для вирішення її інженерно-технічних завдань. Поява ШСЗ укріпила старі і відродила нові зв'язки геодезії з геофізикою, астрономією, небесною механікою, радіоелектронікою. На основі цих наук виникла нова наукова дисципліна, що отримала назву супутникової геодезії, яка знаходиться в стані безперервного розвитку.

4.2.1 Предмет і завдання супутникової геодезії

Предмет вивчення і завдання, що вирішуються супутниковою геодезією, загалом збігаються з предметом і завданнями вищої геодезії. Як і вища геодезія, супутникова геодезія вивчає фігуру, розміри і зовнішнє гравітаційне поле Землі, а також теорію і методи вирішення цієї наукової проблеми. Супутникова геодезія вирішує цю проблему за допомогою спостережень за положенням і рухом переважно штучних небесних тіл в навколосемному космічному просторі. Супутникова геодезія вирішує ряд завдань, які мають велике наукове і практичне значення. Всі ці завдання за характером і методом їх вирішення поділяються на геометричні і геодинамічні.

Завданнями супутникової геодезії геометричного характеру є:

- побудова мережі опорних геодезичних пунктів з визначенням їх положення в єдиній системі просторових координат, віднесених до центру мас і осі обертання Землі;
- визначення взаємного положення початку і орієнтування осей різних систем координат, віднесених до різних референц-еліпсоїдів;
- визначення положення окремих стаціонарних пунктів і рухливих цілей у вибраній системі координат.

При вирішенні цих завдань супутник служить лише проміжною візирною ціллю, за яким спостерігають синхронно з двох або більше наземних станцій.

Динамічними завданнями є:

- визначення просторового положення супутника і поточних параметрів його орбіти;
- вивчення різних збурень в орбітальному русі супутника;
- визначення фігури, розмірів і зовнішнього гравітаційного поля Землі як планети в цілому.

Вирішення цих завдань вимагає спостереження супутника протягом довгого часу.

Виконані спостереження міжпланетних станцій і далеких космічних

апаратів радіотехнічними засобами можуть вирішувати дуже важливі завдання, що представляють великий інтерес для геодезії, астрономії, геофізики.

До таких завдань можна віднести:

- визначення геоцентричних координат станцій спостереження;
- вивчення рухів небесних полюсів, тобто коливань Землі на своїй осі обертання;
- визначення відношення маси планети до маси Землі або Сонця.

Спостереження ШСЗ дають змогу вирішувати проблеми вищої геодезії на основі принципово інших вимірювальних даних і методів, чим це витікає з класичних принципів геодезії.

4.2.2 Методи спостережень зі супутників

В даний час методи спостережень ШСЗ прийнято ділити на *оптичні* і *радіотехнічні* – залежно від діапазону електромагнітних коливань, в якому виконуються виміри.

Оптичні методи визначення напрямку на супутник полягають у вимірі зенітної відстані і азимута супутника кінотеодолітами або у визначенні цього напрямку в заданій зірками системі координат шляхом фотографування на фоні зірок. До оптичних методів відноситься також метод виміру дальності супутника лазерними далекомірами.

До радіотехнічних методів спостереження відносяться методи визначення напрямку на ШСЗ короткобазисними інтерферометрами, виміри дальності супутника фазовими і імпульсними радіотехнічними системами, доплеровські, що засновані на використанні доплеровського ефекту зрушення частоти і дають інформацію або про радіальну швидкість супутника відносно станції спостереження і її зміну (диференціальні доплеровські методи), або про різницю відстаней до двох положень супутника від станції (інтегральні доплеровські методи).

Важливим для всіх радіотехнічних методів є їх можливість проведення спостережень у будь-який час доби і за будь-якої погоди.

У супутникових навігаційних системах (СНС) першого покоління для визначення місця розташування використовується ефект Доплера.

Одне спостереження супутника дозволяє написати рівняння однієї лінії положення, що має форму або гіперболи (доплеровський диференціальний метод), або складнішої кривої ізодопи (доплеровський інтегральний метод). При n спостереженнях положення спостерігача виходить в одній з точок перетину з відповідних гіпербол або ізодоп.

Для підвищення точності і однорідності державної геодезичної мережі створена доплеровська геодезична мережа, яка рівномірно розташована по всій території.

У СНС другого покоління вимірюються дальності, тобто відстані від

визначуваної точки до супутників, координати яких відомі на будь-який момент часу.

Геометрична ідея такого визначення полягає в знаходженні положення точки з лінійної просторової зарубки; положення точки фіксується або трьома прямокутними координатами X , Y , Z , або геодезичними координатами на еліпсоїді (широтою B і довготою L) і заввишки H над поверхнею еліпсоїда.

При обробці спостережень супутників доводиться враховувати параметр "час", тому для однозначного вирішення зарубки необхідно спостерігати чотири супутника, розташовані рівномірно по азимуту (через 90°) і під кутом нахилу $\alpha = 40^\circ - 60^\circ$.

Існують абсолютний і відносний способи визначення координат за допомогою СНС.

При абсолютному способі отримують координати пункту установки антени в прийнятій системі координат; при відносному способі комплект апаратури розподіляється на два пункти, один з яких має відомі координати та із спостережень визначають прирости координат між цими пунктами.

Точність отримання величин залежить від способу визначення координат, від типу апаратури і від характеру коду сигналів супутника. Так, навігаційною апаратурою виміру абсолютним способом виконуються з похибкою 30 – 100 м (зниженій точності) і 1 – 30 м (підвищеній точності).

Відносні виміри при виконанні топографічних робіт характеризуються похибкою 0.1 – 5.0 м та геодезичних – (5 – 10) мм + $S \cdot 10^{-6}$, де S = відстань між геодезичними пунктами.

4.2.3 Побудова нової геодезичної основи

До 1968 р. дослідження в області космічної геодезії проводилися Центральним науково-дослідним інститутом геодезії, аерофотозйомки і картографії в основному по дуже важливому напрямку: визначення параметрів гравітаційного поля Землі (ГПЗ) по наземних і супутникових вимірах.

Із створення в 1968 р. лабораторії супутникової геодезії під керівництвом професора Ізотова А.А. почалися дослідження та практичні роботи, пов'язані з побудовою геодезичних мереж за спостереженнями супутників і інших космічних об'єктів. Точність визначення положення пунктів спостережень фотографічним методом досягала 3-5 м.

З кінця 1970-х рр. почалися роботи з геодезичного використання доплеровських спостережень супутників навігаційною системою TRANSIT. Як і при використанні фотографічних спостережень, проводилися спільні роботи по створенню об'єднаної доплеровської

геодезичної мережі (ДГС), що охоплює території Болгарії, Угорщини, Польщі, Словачії.

В результаті була створена мережа, яка включає 160 пунктів при відстанях між ними 300-1000 км. Ці пункти були включені в спільне порівняння основних мереж єдиної Державної геодезичної мережі. Точність визначення положення пунктів ДГС в єдиній системі по кожній з просторових координат відповідала в середньому 0.5 м.

Починаючи з середини 1980-х рр., одним з пріоритетних напрямів досліджень стало геодезичне використання супутникових систем GPS і їх аналогів, геодезичних технологій широкого спектру застосувань, що стали основою, в більшості виробничих і науково-технічних галузей, які потребують геодезичного забезпечення.

За останні роки досягнуті значні успіхи в розвитку і застосуванні супутникових глобальних систем позиціювання (GPS).

Висока точність визначення координат дозволяє використовувати їх при вирішенні широкого спектра геодезичних завдань від визначення положення пунктів нової геодезичної основи до геодезичного обґрунтування проектно-дослідницьких робіт і будівництва різних народногосподарських об'єктів. Порівняння GPS-методів з традиційними показали високу економічну ефективність перших: на виконання польових GPS-вимірів було витрачено людино-годин в 8 разів менше, а на організаційні і камеральні роботи – в 6 разів.

Переваги GPS-методу перед традиційними:

- відсутність необхідності прямої видимості між пунктами;
- вища точність визначення відносних координат;
- отримання результатів в єдиній системі координат; можливість отримання тривимірного рішення (планово – висотного);
- високий ступінь автоматизації як польових, так і камеральних робіт;
- підвищення безпеки виконання робіт;
- економічна доцільність.

Все вищевикладене дозволяє зробити висновок про доцільність застосування GPS-апаратури не лише для побудови опорних геодезичних мереж, але і при інженерно-геодезичних роботах, де ефект може бути ще вищий.

Традиційні технології можуть бути ефективніше, ніж GPS – методи при проведенні робіт в умовах щільної міської багатоповерхової забудови і на інших об'єктах, де прийом супутникових сигналів ускладнений або неможливий.

Контрольні запитання

1. Аерофотозйомки: види аерофотозйомок та їх призначення.
2. Для чого використовуються аерофотознімки?
3. Масштаб аерофотознімка.
4. Відмінність комбінованого методу аерофотознімання від стереотопографічного.
5. Предмет і завдання супутникової геодезії.
6. Ідея вирішення геометричних завдань супутникової геодезії.
7. У чому полягає перевага GPS-технологій перед традиційними методами геодезії?

5 КАРТОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЯ З ГІС. ПРОСТОРОВА ІНФОРМАЦІЯ В ГІС

Геоінформатика – наука, що поєднує теорію, методи і традиції класичної картографії і географії з можливостями й апаратом прикладної математики, інформатики і комп'ютерної техніки. Вона поєднала в собі вирішення необхідних прикладних завдань з можливостями людини, обчислювальної машини і програмних засобів, що обробляють просторову інформацію і передають її споживачам на екран монітора, друкувальний пристрій чи на канали зв'язку. Так спочатку зародилися цифрова картографія й автоматизоване картографування, доповнені згодом іншими численними функціями і можливостями, що в комплексі стало основою ГІС. Сьогодні ГІС поширені в усьому світі і швидко розростаються і вдосконалюються. Обсяги продажів ГІС-продуктів, ГІС-технологій та ГІС-послуг щорічно збільшуються на 20-30% і досягають декількох мільярдів доларів США на рік.

Географічна інформаційна система (ГІС) – сучасна комп'ютерна технологія для картографування і аналізу об'єктів реального світу, явищ та подій, які відбуваються або прогнозуються. Геоінформаційні системи найприродніше відображують просторові дані.

Дані в геоінформаційних системах зберігаються у вигляді набору тематичних шарів, які об'єднані на основі їх географічного положення. Цей гнучкий підхід та можливість геоінформаційних систем працювати як з векторними, так і з растровими моделями даних, є ефективним при розв'язуванні задач, які стосуються просторової інформації.

Геоінформаційні системи тісно зв'язані з іншими інформаційними системами і використовують їх дані для аналізу об'єктів.

ГІС характеризують:

- розвинуті аналітичні функції;
- можливість керувати великими обсягами даних;
- інструменти для введення, обробки та відображення просторових даних.

Ключові переваги геоінформаційних систем:

Зручне для користувача відображення просторових даних

Картографування просторових даних, в тому числі в тривимірному вимірі, є найзручнішим для сприйняття, що спрощує побудову запитів та їх наступний аналіз.

Інтеграція даних всередині організації

Геоінформаційні системи об'єднують дані, накопичені в різних підрозділах компанії чи навіть в різних галузях діяльності організацій цілого регіону. Колективне використання накопичених даних та їх інтеграція в єдиний інформаційний масив надає істотні конкурентні переваги і збільшує ефективність експлуатації геоінформаційних систем.

Прийняття обґрунтованих рішень

Автоматизація процесу аналізу і побудови звітів про любі явища, зв'язані з просторовими даними, допомагає прискорити і підвищити ефективність процедури прийняття рішень.

Зручний засіб для створення карт

Геоінформаційні системи оптимізують процес розшифровки даних космічних та аерозйомок і використовують вже створені плани місцевості, схеми, креслення. ГІС істотно економлять часові ресурси, автоматизуючи процес роботи з картами, і створюють тривимірні моделі місцевості.

5.1 Технологія введення інформації в комп'ютер. Растровий і векторний методи формалізації просторової інформації

Складовими геоінформаційних систем існують:

1) *апаратні засоби*;

2) *програмне забезпечення* (програмно забезпечення ГІС містить функції і інструменти, необхідні для збереження, аналізу і візуалізації географічної (просторової) інформації);

3) *дані* (дані можуть бути представлені у вигляді готових карт з необхідними тематичними шарами, або у вигляді знімків космічної і аерофотозйомки тощо).

В геоінформаційних системах автоматизовано процес створення цифрових карт, що кардинально скорочує терміни технологічного циклу.

Геоінформаційні системи зберігають просторові і атрибутивні дані для їх подальшого аналізу та обробки.

Геоінформаційні системи виконують запити про властивості об'єктів, розташованих на карті, і автоматизують процес складного аналізу, порівнюючи значну кількість параметрів для отримання відомостей чи прогнозування явищ.

Зручне представлення даних безпосередньо впливає на якість і швидкість їх аналізу. Просторові дані в геоінформаційних системах представляються у вигляді інтерактивних карт. Звіти про стан об'єктів можуть бути побудовані у вигляді графіків, діаграм, тривимірних зображень.

На сьогоднішній день у світі розроблені і використовуються сотні різноманітних ГІС-пакетів, а на їхній базі створені десятки тисяч ГІС-систем.

ГІС була створена в першу чергу для географії і під географію, однак зараз на Заході ГІС використовується у величезному числі управлінських структур, у різних фірмах, на підприємствах, у військових відомствах, у наукових і освітніх закладах.

ГІС-системи і ГІС-технології набули дуже широкого застосування в різноманітних сферах і напрямках територіальної діяльності.

Можливості геоінформаційних систем можна задіяти в різноманітних галузях діяльності. Деякі приклади використання ГІС:

1) адміністративно-територіальне управління

- міське планування і проектування об'єктів;
- ведення кадастрів інженерних комунікацій, земельного, містобудівного, зелених насаджень;
- прогноз надзвичайних ситуацій техногенно-екологічного характеру;
- управління транспортними потоками і маршрутами міського транспорту;
- побудова мереж екологічного моніторингу;
- інженерно-геологічне районування міста.

2) телекомунікації

- транковий і стільниковий зв'язок, традиційні мережі;
- стратегічне планування телекомунікаційних мереж;
- вибір оптимального розташування антен, ретрансляторів тощо;
- визначення маршрутів прокладки кабелю;
- моніторинг стану мереж;
- оперативне диспетчерське управління.

3) інженерні комунікації

- оцінка потреб в мережах водопостачання і каналізації;
- моделювання наслідків стихійних лих для систем інженерних комунікацій;
- проектування інженерних мереж;
- моніторинг стану інженерних мереж і запобігання аварійним ситуаціям.

4) транспорт

- автомобільний, залізничний, водний, трубопровідний, авіатransпорт;
- управління транспортною інфраструктурою і її розвитком;
- управління парком рухомих засобів і логістика;
- управління рухом, оптимізація маршрутів і аналіз вантажопотоків.

5) нафтогазовий комплекс

- геологорозвідка і польові пошукові роботи;
- моніторинг технологічних режимів роботи нафто- і газопроводів;
- проектування магістральних трубопроводів;
- моделювання і аналіз наслідків аварійних ситуацій.

б) силові відомства

- служби швидкого реагування, збройні сили, пожежні служби;

- планування рятувальних операцій і охоронних заходів;
- моделювання надзвичайних ситуацій;
- стратегічне і тактичне планування військових операцій;
- навігація служб швидкого реагування і інших силових відомств.

7) *екологія*

- оцінка і моніторинг стану природного середовища;
- моделювання екологічних катастроф і аналіз їх наслідків;
- планування природоохоронних заходів.

8) *лісове господарство*

- стратегічне управління лісовим господарством;
- управління лісозаготівлями, планування підходів до лісу і проектування доріг;
- ведення лісних кадастрів.

9) *сільське господарство*

- планування обробки сільськогосподарських угідь;
- облік землевласників і орних земель;
- оптимізація транспортування сільськогосподарських продуктів і мінеральних добрив.

Цим переліком не вичерпується все коло напрямків діяльності, що відчують стійкий інтерес до ГІС і геоінформаційних технологій. ГІС потрібна практично скрізь, де використовується територіально розподілена інформація і є необхідність територіального аналізу, територіальної оцінки і територіального прогнозу. Джерела даних та їх типи. Серед джерел даних, які широко використовують в геоінформатиці, найчастіше це картографічні, статистичні та аерокосмічні матеріали. Рідше використовують дані спеціальних польових досліджень та зйомок, а також текстові джерела. Використання географічних карт як джерел вхідних даних для формування тематичних структур баз даних є зручним і ефективним з ряду причин. Дані, отримані з карт, мають такі переваги: мають чітку територіальну прив'язку, в них немає пропусків, “білих плям” в межах зображуваної території, вони в будь-якій своїй формі придатні для запису на машинні носії інформації.

5.2 Картометричні операції. Застосування ГІС

Карта – одне із найважливіших джерел масових даних для формування позиційної і змістової частини баз даних ГІС у вигляді цифрових карт-основ, які створюють єдину основу для позиціонування об'єктів, і набору тематичних шарів даних, сукупність яких створює загальну інформаційну основу ГІС. Пошарове представлення просторових об'єктів має прямі аналогії з поелементним розподілом тематичного та загальногеографічного змісту карт.

Шар – покриття, яке розглядається в контексті його змістовної визначеності (рослинність, рельєф, адміністративний поділ тощо) чи його статусу в середовищі редактора (активний шар, пасивний шар).

Шар, як правило, є однорідним не тільки за тематикою, але і за типами об'єктів (точкові, лінійні, полігональні, растрові).

Багато процедур обробки і аналізу даних в ГІС базуються на методичному апараті, раніше розробленому в надрах окремих галузей картографії. До них належать операції трансформації картографічних проєкцій та інші операції на еліпсоїді, які спираються на теорію і практику математичної картографії і теорії картографічних проєкцій, операції обчислювальної математики, які дають можливість здійснювати розрахунок площ, периметрів, показників форм геометричних об'єктів, що не мають аналогів в карто- і морфометрії.

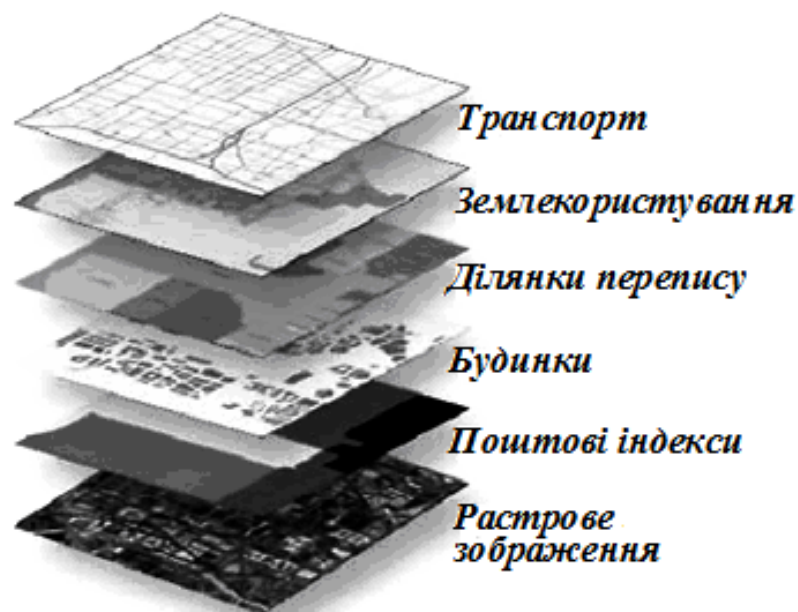


Рис. 5.1 – Набір тематичних шарів даних

Обов'язковими елементами більш-менш повного визначення ГІС слід вважати вказівку на “просторовість”, операційно-функціональні можливості та прикладну орієнтацію систем.

Вважається, маючи на увазі ГІС професійно-географічної направленості, що просторовість є необхідною умовою для кваліфікації певної інформаційної системи як географічної (наприклад, автоматизовані радіонавігаційні системи, хоч і оперують просторово визначеними даними, до географічних інформаційних систем не належать). Основою для відокремлення “географічних” від “негеографічних” інформаційних систем не може служити і зміст даних, які збирають: ідентичні за своїм змістом бази даних можуть обслуговувати зовсім відмінні (в тому числі чисто

географічні і явно негеографічні) додатки. Навпаки, системи різного цільового призначення вимушені акумулювати однакові дані. Наприклад, база даних з цифровим представленням рельєфу використовується для автоматизованого викреслювання ізогіпсів на топографічній карті (топографічна картографія), розрахунку та картографування морфометричних показників (геоморфологія і тематична картографія), пошуку оптимальних трас шосейних доріг чи інших комунікацій (інженерні пошуки та проектування).

ГІС зберігає інформацію про реальний світ у вигляді набору тематичних шарів, об'єднаних на основі географічного положення. Цей простий, але дуже гнучкий підхід довів свою цінність при розв'язуванні різноманітних реальних задач: для стеження за пересуванням транспортних засобів і матеріалів, детального відображення реальної обстановки та запланованих заходів, моделювання глобальної циркуляції атмосфери. Будь яка географічна інформація містить дані про просторове положення, чи то прив'язка до географічних чи інших координат, чи посилання на адресу, поштовий індекс, виборчий округ чи округ перепису населення, ідентифікатор земельної чи лісової ділянки, назва дороги і т.п. При використанні подібних посилань для автоматичного визначення місцезнаходження об'єкта (об'єктів) застосовується процедура, яка називається геокодуванням. За її допомогою можна швидко визначити і подивитись на карті, де знаходиться об'єкт чи явище, яке нас цікавить, таке як будинок, в котрому проживає ваш знайомий чи знаходиться потрібна вам організація, де відбувся землетрус чи повінь, за яким маршрутом простіше і швидше можна дістатися до потрібного вам пункту чи будинку. Проте, завдання ГІС виходять далеко за межі картографії, роблячи їх основою для інтеграції приватних географічних та інших (геологічних, ґрунтових, економічних тощо) наук при комплексних системних геонаукових дослідженнях.

Набір функціональних компонентів інформаційних систем кадастрового призначення повинен містити ефективний та швидкодіючий інтерфейс, засоби автоматизованого введення даних, адаптовану для розв'язування відповідних задач систему управління базами даних, широкий набір засобів аналізу, а також засобів генерації зображень, візуалізації та виведення картографічних документів.

Описова інформація організовується в базу даних, окремі таблиці зв'язуються між собою через ключові поля, для них можуть бути визначені індекси, відношення тощо. Крім того, в ГІС описова інформація зв'язується з просторовими даними.

Відмінність ГІС від стандартних систем управління базами даних (dBASE, Access і т.п.) полягає як раз в тому, що ГІС дає можливість працювати з просторовими даними.

Просторові дані в ГІС представляються у двох основних формах –

векторній і растровій.

Векторна модель даних базується на представленні карти у вигляді точок, ліній і плоских замкнутих фігур. Растрова модель даних базується на представленні карти з допомогою регулярної сітки однакових за формою і площею елементів. Відмінності між цими моделями даних пояснюються рис. 5.2.

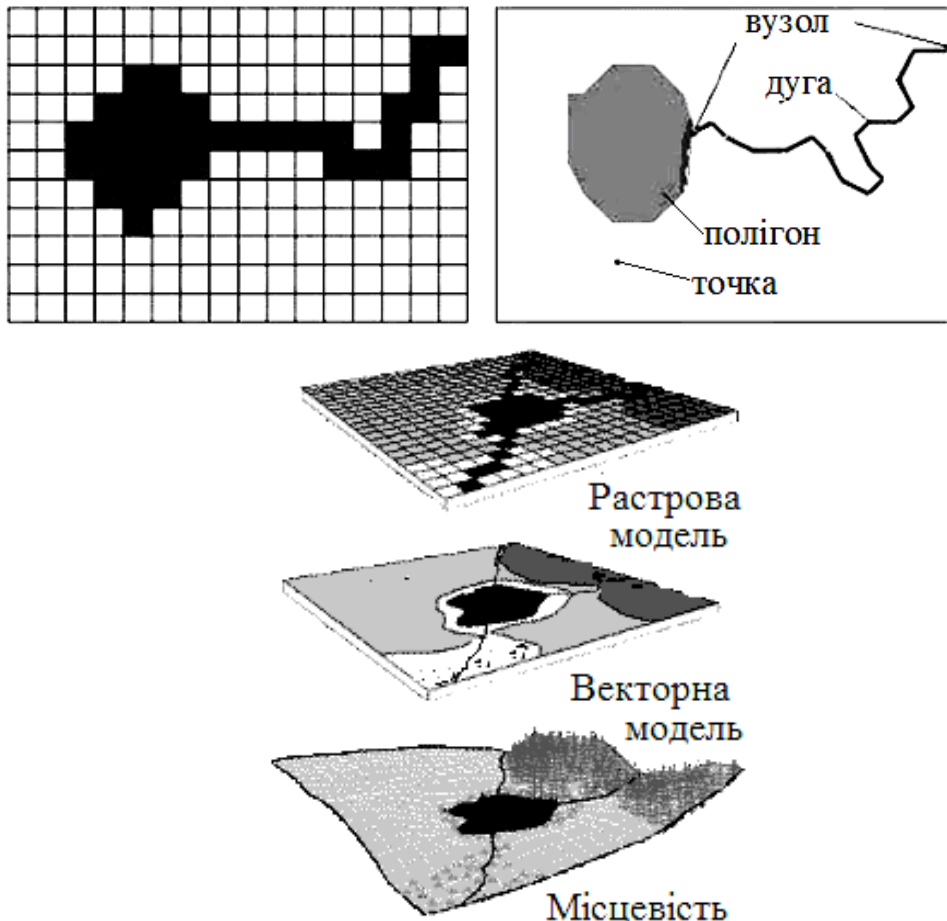


Рис. 5.2 – Растрова и векторна моделі просторових даних

В нижній частині рисунка показано відображення озера і річки в іншій проекції. Тут видно, що растрова модель даних це набір однакових за величиною, але по різному розфарбованих, квадратиків. В векторній моделі даних озеро зображено пофарбованим багатокутником, який в ARC/INFO називається полігоном (polygon), а річка – ламаною лінією, яка називається дугою (arc). Початок і кінець цієї ламаної лінії називаються вузлами (node).

На верхньому рівні класифікації всі інформаційні системи розподіляються на просторові і непросторові. ГІС, відповідно, відносяться до просторових, діляться на тематичні (наприклад, соціально-економічні) і земельні (кадастрові, лісові, інвентаризаційні та інші).

Існує розподіл за територіальним охопленням (загальнонаціональні і регіональні ГІС); за метою (багатоцільові, спеціалізовані, в тому числі інформаційно-довідкові, інвентаризаційні, для нужд планування, управління); за тематичною орієнтацією (загальногеографічні, галузеві, в тому числі водних ресурсів, використання земель, лісокористування, туризму, рекреацій тощо).

Одним із основних джерел даних для ГІС є матеріали дистанційного зондування. Вони об'єднують всі типи даних, які отримують з носіїв космічного (пілотовані орбітальні станції, кораблі багаторазового використання типу "ШАТТЛ", автономні супутникові знімальні системи і т.п.) та авіаційного базування (літаки, гелікоптери та мікроавіаційні радіокеровані апарати) і складають значну частину дистанційних даних як антонім контактних (перш за все наземних) видів зйомок, способів отримання даних вимірювальними системами в умовах фізичного контакту з об'єктами зйомки. До неконтактних (дистанційних) методів зйомки окрім аерокосмічних відносяться різноманітні вимірювальні системи морського (надводного) и наземного базування, включаючи, наприклад, фототеодолітну зйомку, сейсмо – , електро-, магніторозвідку та інші методи геофізичного зондування надр, гідроакустичні зйомки рельєфу морського дна з допомогою гідролокаторів бокового огляду, інші способи, засновані на реєстрації власного чи відбитого сигналу хвильової природи.

Геоінформаційні системи є важливим інструментом збору та планування географічних об'єктів. Світові ГІС можна досить чітко розбити на три основні категорії: 1) потужні повнофункціональні ГІС на основі робочих станцій на UNIX- системах та RISC-процесорах; 2) ГІС середньої потужності (чи ГІС з редукованими можливостями) класу MAPINFO на PC-платформі; 3) програми, які побудовані за принципом ГІС та мають малі потреби в ресурсах ЕОМ.

Останнім часом в середовищі ГІС широко використовуються портативні приймачі даних про координати об'єктів з глобальної системи навігації (позиціонування) GPS, які дають можливість отримувати планові і висотні координати з точністю від кількох метрів до кількох міліметрів, що у поєднанні з портативними персональними ЕОМ та спеціалізованим програмним забезпеченням обробки даних з системи GPS дозволяє використовувати їх для польових зйомок в умовах необхідності їх надоперативного виконання (наприклад, при ліквідації наслідків стихійних лих та техногенних катастроф).

Мінімальний набір критеріїв, які дозволяють ідентифікувати кожен конкретну геоінформаційну систему, створює "систему координат" тривимірного простору, осями якого є: територіальне охоплення і пов'язаний з ним функціонально масштаб (чи просторовий розв'язок), предметна галузь інформаційного моделювання та проблемна орієнтація.

5.3 Цифрові моделі місцевості

Поряд з образно-знаковими моделями в топографії все більшого поширення набувають цифрові моделі місцевості, в яких вся інформація про місцевість подана дискретно і зберігається в запам'ятовуючих пристроях ЕОМ. Цифрові моделі місцевості (ЦММ) – *множина, елементами якої є топографо-геодезична інформація про місцевість і правила поводження з нею.*

Інформація про місцевість повинна містити такі елементи:

1. *Тип об'єкта*, тобто його предметна і геометрична класифікаційна категорія – будинки, споруди, шляхи сполучення, ліси, чагарники і т.д.; точковий, лінійний, площовий; самостійний об'єкт чи частина іншого, більш складного об'єкта. Для класифікації й однозначного кодування об'єктів складають *класифікатори*.

2. *Ім'я об'єкта* – ідентифікатор, у тому числі ім'я власне, що дозволяє однозначно визначити даний конкретний об'єкт.

3. *Метричний опис положення і форми об'єкта* – список координат і висот характерних й інших точок, що визначають положення в просторі.

4. *Атрибути об'єкта* – якісні й кількісні характеристики об'єкта (матеріал будинку, моста, покриття доріг, кількість поверхів, ширина дороги; глибина колодязя; характеристика деревостану в лісі і т.д.)

5. *Топографічні зв'язки і відносини між об'єктами* трьох видів:

структурні (частина – ціле), наприклад, окремі дерева – ліс чи парк; будинок – житловий квартал і т.д.;

топологічні (ціле – ціле), наприклад, перехрестя вулиць чи доріг, міст на перетинанні дороги і ріки, острів на річці чи озері;

функціональні (ціле – частина), наприклад, будинок і його ганок, міст і його опора, лінія електропередачі і її опори і т.д.

Якщо говорити про рельєф, то залежно від того, як розміщені точки і подана інформація, можна виділити три види цифрових моделей рельєфу (ЦМР):

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

2) *напіврегулярні* – у виді системи рівновіддалених паралельних профілів. Інформація про рельєф представлена висотами характерних точок профілю і відстанями між цими точками. Така модель повністю враховує характер рельєфу тільки по лініях профілів;

3) *структурні* – інформація про рельєф подана множиною координат і висот характерних та інших точок, а також зв'язками і відносинами між цими точками. Така модель повністю відображає всю сукупність нерівностей земної поверхні.

Наявні програмні продукти дають змогу використовувати ЦММ для розв'язання широкого кола задач, багато з яких не вирішуються за допомогою образно-знакових моделей.

5.4 Перспективи розвитку ГІС

Перший напрямок розвитку ГІС. Гіс-технології об'єднані з даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу, з літаків і будь-яких інших літальних апаратів. Десятки орбітальних систем передають високоточні космічні знімки будь-якої території нашої планети. Сформовані архіви і банки даних цифрових знімків на величезну територію земної кулі. Вони відносно доступні для споживача (оперативний пошук, замовлення й одержання по системі Інтернет), що дає можливість проведення зйомок будь-якої території за бажанням споживача, з наступною обробкою й аналізом фотографій із космосу за допомогою різних програм, інтегрованих з ГІС- пакетами і системами.

Другий напрямок розвитку ГІС – спільне і широке використання даних високоточного глобального розташування того чи іншого об'єкта отриманих за допомогою систем GPS (США) чи ГЛОССНАС (Росія). Ці системи, особливо GPS, уже зараз широко використовуються в морській навігації, повітроплаванні, геодезії, військовій справі й інших галузях людської діяльності.

Третій напрямок розвитку ГІС пов'язаний із розвитком системи телекомунікацій, у першу чергу міжнародної мережі Інтернет і масовим використанням глобальних міжнародних інформаційних ресурсів.

Створення карт і географічний аналіз не є чимось абсолютно новим. Проте технологія ГІС автоматизує процедуру аналізу і прогнозу.

Сьогодні ГІС вивчають в школах, коледжах та університетах. Цю технологію застосовують практично у всіх сферах людської діяльності – чи то аналізу таких глобальних проблем як перенаселення, забруднення території, скорочення лісових угідь, природні катастрофи, чи то розв'язування окремих задач, таких як пошук найкращого маршруту між пунктами, підбір оптимального розташування нового офісу, пошук будинку за адресою, прокладка трубопроводу на місцевості, різноманітні муніципальні задачі.

Створення та ведення всіх видів кадастрів залишається однією з найважливіших проблем управління територіями на сучасному етапі. Дані кадастрів необхідні для інформаційного забезпечення господарської діяльності в регіонах і містах, екологічного моніторингу та раціонального використання природних ресурсів.

Контрольні запитання

1. Суть, призначення і характеристика ГІС.
2. Функціональні можливості ГІС.
3. Сфери застосування ГІС- технологій.
4. Основні принципи функціонування ГІС.
5. Основні компоненти і складові частини ГІС.
6. Завдання, що вирішуються за допомогою ГІС.
7. Джерела даних для наповнення ГІС.
8. Що є просторовим об'єктом, основними типами графічних об'єктів?
9. Типи даних, що використовуються для опису просторових даних засобами ГІС.
10. Суть векторних моделей представлення даних.
11. Суть растрових моделей представлення даних.
12. Технічне забезпечення ГІС (перелічити компоненти і їх призначення).
13. Програмне забезпечення ГІС.
14. Особливості растрових ГІС, основні функціональні можливості.
15. Що є просторовим об'єктом, основними типами графічних об'єктів?
16. Що розуміють під "цифровою моделлю рельєфу"?
17. Структура та джерела даних для побудови ЦМР.
18. Методи візуалізації засобами ГІС.
19. Основні етапи проектування ГІС.
20. Складання тематичних карт в ГІС.
21. Застосування ГІС картографії.
22. Роль і місце ГІС в природоохоронних заходах.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Селезньова Л.В., Балан Г.К. Основи геодезії і картографії: конспект лекцій / Одеса: ТЕС, 2012. 115 с.
2. Селезньова Л.В., Балан Г.К. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Основи геодезії та картографії» / Одеса, ОДЕКУ, 2004. 57 с.
3. Грюнберг Г.Ю., Лапкина Н.А., Малахов Н.В. Картография с основами топографии / М.: Просвещение, 1994.
4. Условные знаки для топопланов масштабов 1:5000 – 1:500 / М.: Недра, 1973.
5. Ратушняк Г.С. Топографія з основами картографії / Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2002. 179 с.
6. Колодеев Є.І. Основи геодезії: конспект лекцій / Дніпропетровськ: Економіка, 2005. 107 с.
7. Колодеев Є.І., Гриб О.М. Лабораторний практикум з геодезії: навчальний посібник / Одеса: Екологія, 2007. 68 с.
8. Федоров Ю.А. Геодезия с основами инженерной графики / С.-П.: Гидрометеиздат, 1995. 448 с.

Додаткова

1. Селезньова Л.В., Балан Г.К. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни «Топографія з основами картографії» / Одеса: ОДЕКУ, 2004. 55 с.
2. Кудрицкий Д.М. Геодезия / Л.: Гидрометеиздат, 1982. 416 с.
3. Модринский Н.И. Геодезия / Л.: Гидрометеиздат, 1972. 464 с.
4. Дубов С.Д., Поляков А.Н. Практикум по геодезии / М.: Агропромиздат, 1990. 223 с.
5. Григоренко А.Г., Киселёв М.И. Инженерная геодезия / М.: Высшая школа, 1983. 256 с.
6. Колодеев Є.І. Розв'язання задач за топографічною картою: методичні вказівки до практичних занять з курсу «Геодезія» / Одеса, ОГМІ, 1993. 12 с.
7. Колодеев Е.И. Определение прямоугольных и географических координат: методические указания к лабораторным работам по курсу геодезии / Одесса, ОГМИ, 1990. 12 с.
8. Колодеев Е.И., Скрыпник Л.А. Продольное и поперечное нивелирование. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу геодезии / Одесса, ОГМИ, 1988. 16 с.

Навчальне електронне видання

ГРИБ ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ

ГЕОДЕЗІЯ ТА КАРТОГРАФІЯ

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016