

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

до лабораторних робіт з дисципліни
“ГЕОДЕЗІЯ ТА КАРТОГРАФІЯ”

Одеса-2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до лабораторних робіт з дисципліни
з д и с ц и п л і н и
“ГЕОДЕЗІЯ ТА КАРТОГРАФІЯ”

Затвержено
методичною комісією природоохоронного факультету
протокол № 9 від “27” травня 2017 р.

Одеса-2017

Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни “Геодезія та картографія” для практичної підготовки студентів, які навчаються на освітньо-кваліфікаційному рівні бакалавр за напрямом підготовки 6.050101 «Комп’ютерні науки». / Гриб О.М. – Одеса, ОДЕКУ, 2017. – 62 с.

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ПЕРЕДМОВА.....	7
1 ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ КООРДИНАТ ТОЧОК ПО ТОПОГРАФІЧНІЙ КАРТІ	8
1.1 Географічні координати	8
1.2 Зональна система прямокутних координат	10
2 ВИВЧЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НА КАРТАХ. ПОБУДОВА ПРОФІЛЮ РЕЛЬЄФУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОРИЗОНТАЛЕЙ ПО ВІДМІТКАМ ТОЧОК.....	15
3 СПОСОБИ ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НА ПЛАНАХ. ЗМІСТ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ НА КАРТАХ РІЗНИХ МАСШТАБІВ	19
3.1 Основні елементи і форми рельєфу	19
3.2 Задачі, розв'язувані по карті в горизонталях	20
3.3 Вимірювання площ контурів і лінійних розмірів об'єктів (довжини, ширини) на картах різних масштабів.....	23
4 ТЕОДОЛІТНА ЗЙОМКА. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕОДОЛІТНОЇ ЗЙОМКИ.....	32
4.1 Устрій і перевірки теодоліта	32
4.2 Робота з приладом, орієнтування теодолітних ходів, зйомка ситуації.....	34
4.3 Обробка матеріалів теодолітної зйомки. Обчислення азимутів, румбів, дирекційних кутів, прирощень і координат за даними теодолітної зйомки. Побудова плану теодолітної зйомки.....	41
5 НІВЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ НІВЕЛЮВАННЯ	48
5.1 Суть і види нівелювання.....	48
5.2 Устрій і перевірки нівеліра.....	49
5.3 Обробка матеріалів нівелювання та визначення перевищень точок і їх відміток.....	53
5.4 Нівелювання поверхні та побудова плану місцевості в горизонталях.....	56
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	58
ДОДАТКИ	59
Додаток А. Вихідні дані для теодолітної зйомки.....	59
Додаток Б. Вихідні дані для плану місцевості в горизонталях	60

ПЕРЕДМОВА

Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни «Геодезія та картографія» складено відповідно з робочою навчальною програмою дисципліни для студентів III курсу освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за напрямом підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» [1]. Перша робота (розділ 1) відноситься до тем *«Картографічне зображення земної поверхні на площині, геометрична сутність і математична основа карт. Класифікація і використання топографічних карт. Поняття про топографічну зйомку»* та *«Визначення положення точок на земній поверхні. Визначення прямокутних та географічних координат по карті»*, друга робота (розділ 2) – до теми *«Метод проєкцій. План, карта, профіль. Умовні знаки топографічних карт і планів»*, третя робота (розділ 3) – до тем *«Зображення рельєфу на картах і планах. Вивчення рельєфу місцевості по топографічній карті, профілю місцевості по заданому напрямку»* та *«Визначення площі топографічної поверхні. Визначення площі контурів»*, четверта робота (розділ 4) – до тем *«Лінійні вимірювання на місцевості. Орієнтування на місцевості. Азимути ліній, дирекціоні кути і магнітні азимути ліній, їхній взаємозв'язок»* та *«Планові зйомки. Теодолітна зйомка. Орієнтування теодолітних ходів, зйомка ситуації. Обробка матеріалів теодолітної зйомки, складання плану»*, п'ята робота (розділ 5) – до тем *«Державна висотна геодезична мережа. Сутність і види нівелювання. Геометричне нівелювання. Нівеліри і нівелірні рейки, їх устрій та перевірка. Обробка результатів нівелювання та побудова профілю»* та *«Тахеометрична і мензульна зйомка, застосовувані прилади та засоби обробки результатів вимірювань. Барометричне нівелювання. Побудова плану в горизонталях»*.

Метою даного збірника методичних вказівок до лабораторних робіт є ознайомлення студентів з основними методами і прийомами роботи з топографічними картами і планами, з методами зйомки земної поверхні, будовою і роботою геодезичних інструментів, з основними методами обробки матеріалів вимірів, способами побудови планів і картографічних зображень, у тому числі з застосуванням персональних комп'ютерів.

Перед початком виконання завдань лабораторних робіт ознайомтесь з теоретичними положеннями та складіть рукописну пояснювальну записку. Далі, перевірте, як Ви засвоїли зміст роботи. Для цього спробуйте відповісти на контрольні запитання, що наведені для кожної з тем в робочій програмі дисципліни [1] та конспекті лекцій [2]. Після того, як Ви переконалися, що засвоїли зміст завдань лабораторних робіт, приступайте до розрахунків. Виконання практичної роботи завершується написанням висновків за результатами розрахунків.

Оформлення роботи виконується на аркушах паперу формату А-4 за такими розділами: 1) назва роботи; 2) теоретичні положення; 3) завдання; 4) вихідні данні; 5) розрахункова частина; 6) висновки; 7) література.

Оцінка виконання роботи здійснюється відповідно до вимог робочої програми [1].

1 ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ КООРДИНАТ ТОЧОК ПО ТОПОГРАФІЧНІЙ КАРТІ

1.1 Географічні координати

Задачею картометрії є розробка методики і технічних прийомів добування інформації, що міститься в документах, на яких різними способами зображена земна поверхня (карти, плани, профілі, аерофотознімки, космічні знімки) з метою одержання кількісних характеристик зображених на них об'єктів.

Найважливіша задача картометрії полягає у визначенні координат точок місцевості. Положення будь-якої точки на поверхні Землі визначається географічними, плоскими прямокутними і полярними координатами. У системі географічних координат місце розташування точки визначається широтою і довготою. (Рис.1.1).

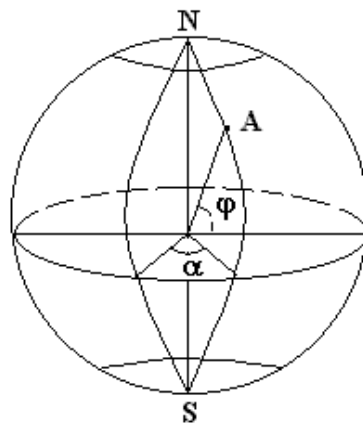


Рис. 1.1 – Географічні координати

φ - географічна широта

α - географічна довгота

Кут φ між площиною екватора і прямовисною лінією, що проходить через дану крапку називається **географічною широтою** точки *A*. Широта, вимірювана від площини екватора на північ, називається північною, а на південь – південною. Широта змінюється від 0^0 до 90^0 .

Двогранний кут, α укладений між площиною нульового (Грінвіцького) меридіана і площиною меридіана, що проходить через дану крапку *A*, називається **географічною довготою**. Довготу вимірюють від початкового меридіана на схід і на захід і називають відповідно східною і західною. Довгота змінюється від 0 до 180^0 .

Топографічні карти видаються окремими аркушами обмеженого формату, вони об'єднанні в загальну карту єдиною системою розграфки. Трапецієподібна розграфка карт здійснюється паралелями і меридіанами.

Аркуші топографічних карт із трапецієподібною розграфкою укладені в три рамки: зовнішню, внутрішню і хвилинну (рис.1.2)

Зовнішня рамка має декоративне призначення. Внутрішня рамка утворена відрізками паралелей і меридіанів. У кутах рамки підписуються широти паралелей і довготи меридіанів.

Хвилинна рамка складається з чорних і білих інтервалів які чергуються, що відповідають одній хвилині широти і довготи. Ця рамка служить для визначення географічних координат точок на карті, або для нанесення точок на карту по відомим координатам.

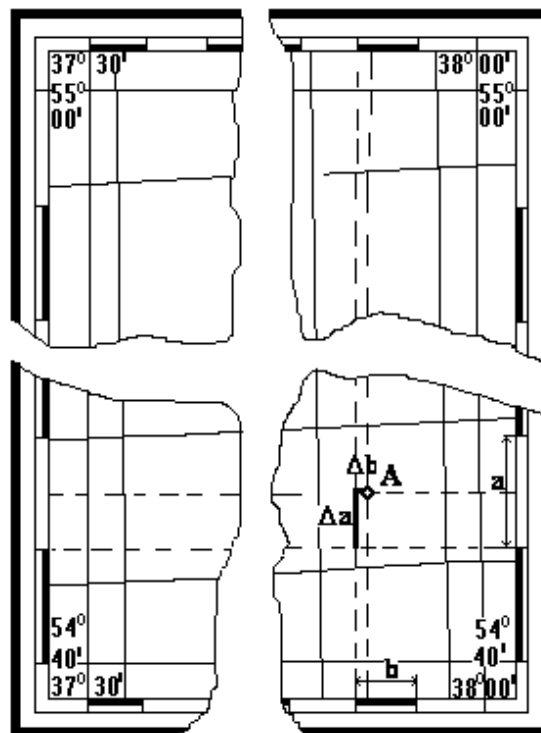


Рис. 1.2 – Визначення географічних координат точки по карті масштабу 1: 100000

Для визначення на карті географічних координат деякої точки потрібно провести через неї меридіан і паралель і по відповідним рамкам трапеції відрахувати число хвилин, що потім додаються або віднімаються від значень географічних координат прийнятого початку їх відліку по карті.

Якщо позначити початок відліку широти і довготи через φ_n і α_n відповідно (зняті в кутах хвилинної рамки, найближчих до даної точки), а через $\Delta\varphi$ і $\Delta\alpha$ збільшення географічних координат до точки A , то її широта і довгота визначаються за формулою:

$$\varphi_A = \varphi_n \pm \Delta\varphi' \pm \Delta\varphi''; \quad \alpha_A = \alpha_n \pm \Delta\alpha' \pm \Delta\alpha'' \quad (1.1)$$

Для обчислення $\Delta\varphi'$ і $\Delta\alpha'$, досить підрахувати кількість цілих заштрихованих і не заштрихованих інтервалів від кута рамки до точки A .

Для обчислення $\Delta\varphi''$ і $\Delta\alpha''$, за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки, по карті визначають відрізки Δa і Δb (в мм), а по хвилинній рамці вимірюють відстані a і b (в мм), що відповідають одній хвилині або 60 секундам по широті і довготі.

Збільшення географічних координат у секундах підраховуються за формулами:

$$\Delta\varphi'' = \frac{\Delta a \cdot 60}{a}; \quad \Delta\alpha'' = \frac{\Delta b \cdot 60}{b} \quad (1.2)$$

Для нанесення точки по заданим географічним координатам необхідно провести на карті відповідні паралель і меридіан, від яких потім циркулем відкласти лінійні величини, що відповідають часткам хвилини або секунди.

1.2 Зональна система прямокутних координат

Географічні координати, що виражаються в кутових величинах, незручні для практичного використання в інженерних розрахунках, в яких широко застосовують довжини.

Крім того, лінійні значення кутових одиниць на різних широтах земного еліпсоїда різні. Тому для проведення геодезичних і маркшейдерських зйомок і для зображення їхніх результатів на планах і картах більш зручною є система плоских прямокутних координат, що значно спрощує проведення топографічних і маркшейдерських зйомок на розвідувальних територіях і територіях гірських підприємств, вирівнювання опорних мереж, обчислення координат опорних пунктів. Плоска система координат дає можливість сполучення планів суміжних ділянок.

При побудові карт зображення земної поверхні, отримане на референц-еліпсоїді, або окремій його частині, повинне бути розгорнуте в площину (на лист паперу). Виконати таку операцію без розривів і складок

сферичної поверхні, що розвертається, неможливо. Для вирішення цієї задачі використовують додаткові поверхні, на які з еліпсоїда проектується відображена на ньому інформація, і які можуть бути легко розгорнуті в площину, наприклад, циліндрична чи конічна поверхня, якщо їх розрізати вздовж утворюючих.

При виконанні цієї операції допоміжне тіло передбачається дотичним до референц - еліпсоїда. На допоміжну фігуру переноситься мережа паралелей і меридіанів, що на листі карти виконує роль картографічної сітки.

Спосіб переходу від зображення земної поверхні зі сфери на площину визначає вид картографічної проекції, кожна з яких припускає деяке спотворення географічних об'єктів, розташованих на референц - еліпсоїді і плоскому листі карти.

Вивченням картографічних проекцій займаються в математичній картографії, де вони розглядаються у виді аналітичних залежностей між координатами точок на поверхні референц - еліпсоїда і координатами їхніх проекцій на площину.

Циліндри, на які переносяться ділянки земного еліпсоїда, розрізаються по утворюючим і розрізані частини розвертаються в площині. При використанні проекції Гауса одержують на листі паперу подібне зображення поверхні земного еліпсоїда в межах окремих фігур, **названих зонами** [1]

Зручностями системи плоских прямокутних координат можна користатися в межах порівняно невеликих розрізнених ділянок, на яких можна не врахувати кривизну Землі.

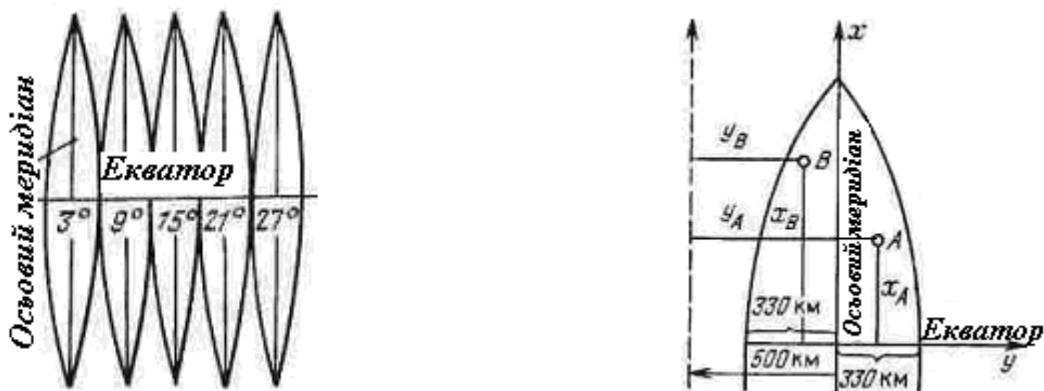


Рис. 1.3 – Зони державної системи координат

Суть зональної системи прямокутних координат полягає в наступному: на поверхні Землі проведемо меридіани через 6° , починаючи з нульового меридіана (Гринвіча), що приймемо за західну межу першої зони. Потім пронумеруємо зони в напрямку з заходу на схід, одержавши таким способом 60 шестиградусних зон.

Якщо позначити довготи західного і східного меридіанів, обмежувачих зону, відповідно L_z і L_v , а довготу середнього, осьового, меридіана L_o , то, знаючи номер зони n , можна визначити значення вказаних довгот за простою формулою:

$$L_z = 6(n - 1); \quad L_o = 6n - 3 \quad \text{та} \quad L_v = 6n \quad (1.3)$$

Загальні уявлення про те, як виходять плоскі зображення сферичних поверхонь зон, можна одержати, уявивши собі, що земний еліпсоїд укладений в циліндр (Рис. 2.4), вісь якого лежить у площині екватора, а внутрішня поверхня дотикається осьового меридіана проектованої зони. Останній, буде зображений на проекції без спотворень [3].

На території СНД на північ від паралелі 35° найбільше віддалення від осьового меридіана складає 270 км, при якому відносне спотворення довжин виражається 1: 1100, тобто не виходить за межі точності звичайних лінійних вимірів. Цим і обумовлений розмір зони в 6° по довготі.

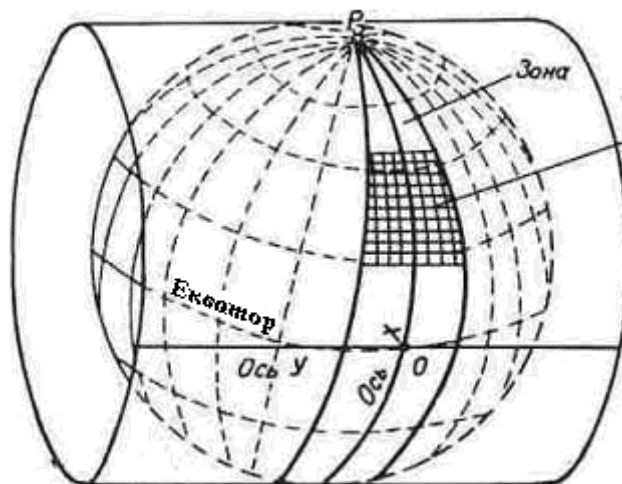


Рис.1.4 - Проекція зони на внутрішню поверхню циліндра.

У кожній зоні зображення осьового меридіана приймається за вісь абсцис X , а зображення екватора за вісь ординат Y .

Початком координат є точка перетину осьового меридіана з екватором. Правило знаків звичайне.

Для забезпечення однозначності визначення планового положення точок на земній поверхні і зручності в роботі прийнято:

- 1) початок координат у кожній зоні перенесений на 500 км на захід від осьового меридіана, чим виключені від'ємні значення ординат;
- 2) перед кожною ординатою ставиться (вводиться в її значення) номер зони.

Удосконалені таким способом ординати називаються *приведеними*.

Приклад:

Так, якщо дані приведені координати

$$\text{точки } A : \quad Y_A = 4\,374,284 \text{ км}$$

$$\text{і точки } B : \quad Y_B = 4\,884,326 \text{ км,}$$

то це означає, що обидві точки знаходяться в 4-й зоні і звичайні їхні ординати будуть:

$$Y_A = -125,716 \text{ км}$$

$$\text{і } Y_B = +384,326 \text{ км.}$$

У кожній зоні вибирається прямокутна система координат, причому її центр збігається з точкою перетину проекції осьового меридіана з проекцією екватора. Осьовий меридіан приймається за вісь X , а зображення екватора, перпендикулярне до осьового меридіана - за вісь Y (Рис.1.3а.3).

Координати X точок, розташованих на півні від екватора, вважаються додатні, до півдня - від'ємними.

Географічна довгота осьового меридіана кожної зони визначається формулою:

$$\alpha = 6n - 3; \quad \text{де } n \text{ – номер зони}$$

Територія України знаходиться в північній півкулі, тому координати X мають додатне значення. Значення ж координат Y , можуть бути як додатні, так і від'ємними, що незручно при розв'язанні різних задач геодезії.

Для того щоб не мати справи з від'ємними значеннями ординат, у кожній зоні початок координат переноситься на 500 км на захід від осьового меридіана зони (Рис.1.3). Отриману таким способом ординату прийнято називати *приведеною*.

Завдання

1. По запропонованому викладачем листу топографічної карти визначити географічні координати чотирьох точок.
2. По двох значеннях широти і довготи, запропонованим викладачем, нанести точки на лист топографічної карти.

Питання для перевірки знань з лабораторної роботи № 1 наведені в робочій програмі дисципліни [1] та конспекті лекцій [2].

2 ВИВЧЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НА КАРТАХ. ПОБУДОВА ПРОФІЛЮ РЕЛЬЄФУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОРИЗОНТАЛЕЙ ПО ВІДМІТКАМ ТОЧОК

Рельєфом місцевості називається сукупність нерівностей її поверхні. Розрізняють нерівності природного походження: гори, височини, пагорби, низовини, сідловини і т.д. І нерівності утворені в результаті діяльності людини: насипи, виїмки, кар'єри, ями й ін.

Горизонталі, або *ізогінси* (лінії рівних висот) являють собою замкнуті криві лінії, що з'єднують на карті точки місцевості з однаковими висотами над рівнем моря. Тобто вони являють собою горизонтальні проекції ліній перетину рельєфу рівневими поверхнями.

Суть зображення рельєфу показана на рис.2.1 на прикладі пагорба, що уявно розсікається площинами перетину, при постійній відстані між ними - *висоті* перетину h (або просто перетину), що залежить від масштабу карти, характеру рельєфу і т.д.

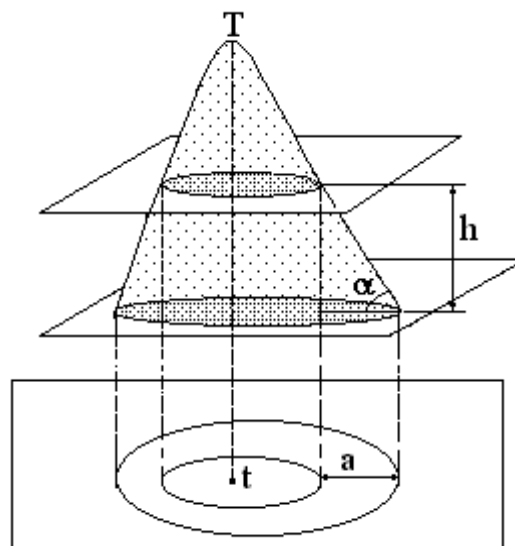


Рис. 2.1 – Побудова горизонталей на плані (карті)

Всі точки однієї горизонталі мають однакову висоту над основною рівневою поверхнею. Абсолютні висоти деяких горизонталей підписані на карті; крім того, там зазначені висоти (відмітки) ряду точок – вершин, сідловин, урізів води в річках і озерах і т.д.

Горизонталі мають слідувачі *властивості*:

а) горизонталі з'єднують точки з однаковими висотами – ця властивість впливає із самого визначення горизонталей;

б) горизонталі на карті можуть як завгодно зближатися і навіть зливатися в особливо крутих місцях-обривах (у цих випадках застосовується спеціальний умовний знак), але ні при яких умовах вони не можуть перетинатися і розгалужуватися, тому що площини перетину знаходяться на різних висотах;

в) чим густіше горизонталі, тим крутіше схил; ця властивість впливає з перших двох.

Зображення рельєфу місцевості за допомогою горизонталей дає можливість визначати:

- а) плановий обрис елементарних форм рельєфу;
- б) абсолютні висоти точок і їх відносні перевищення;
- в) ступінь розчленованості земної поверхні;
- г) глибину врізання річкових долин, балок, ярів;
- д) крутість схилів і ухили місцевості;
- е) природні і штучні форми рельєфу.

На карті горизонталі супроводжуються *бергштрихами* – короткими рисками, що відходять від горизонталі по лінії падіння (лінія найбільшої крутості перпендикулярна горизонталям). Підписи висот горизонталей ставлять так, щоб основа цифр була направлена в сторону зниження схилу.

Горизонтальна проекція схилу називається *закладенням* (**a**). На карті або плані це буде відстань між суміжними горизонталями.

Крутість схилу визначається кутом нахилу (α) або уклоном (i).

Відношення висоти перетину до закладення дасть $tg\alpha$, що може бути виражений у тисячних частках і в цьому випадку називається уклоном:

$$tg\alpha = h/a = i \quad (2.1)$$

По карті з горизонталями можна розв'язати ряд задач:

- а) читання рельєфу;
- б) визначення висоти перетину рельєфу;
- в) визначення висоти горизонталі по висоті точки;
- г) визначення висоти точки по горизонталі;
- д) побудова профілю по карті;
- е) визначення уклонів і кутів нахилу ліній;
- ж) визначення лінії під заданим уклоном або кутом нахилу.

Уміння швидко орієнтуватися по карті і правильно читати рельєф – необхідна умова роботи з топокартою фахівців природничих наук.

Висота перетину рельєфу, як правило, підписується на карті під лінійним масштабом.

Абсолютні висоти точок по карті визначають за допомогою горизонталей і оцінок висот характерних точок, підписаних на карті.

Якщо точка знаходиться на горизонталі, то визначення її абсолютної висоти зводиться до визначення висоти цієї горизонталі за допомогою інших, висоти яких підписані.

У тому випадку, якщо точка розташована між горизонталями, її висота визначається шляхом інтерполяції.

При побудові горизонталей по відмітках точок, вибирають висоту перетину і з допомогою інтерполяції між точками з абсолютними висотами визначають положення кожної горизонталі.

Побудова профілю по заданій лінії на карті.

Зображення розрізу місцевості вертикальною площиною називається **профілем**.

Побудова профілю проводиться в такій послідовності:

На карті накреслюють напрямок профілю і визначають максимальну і мінімальну відмітки точок на цій лінії, а по них – амплітуду висот усього профілю. (Рис.2.2)

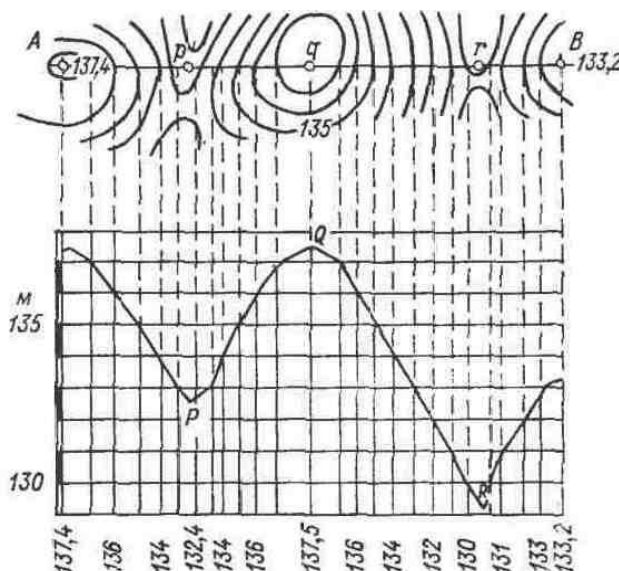


Рис. 2.2 – Побудова профілю по топографічній карті

Знати заздалегідь розмах висот і довжину профілю потрібно для розрахунку довжини осей профілю і правильного вибору початку відліку висот.

Потім підбирають масштаб для відкладення висот, тобто вертикальний масштаб, з таким розрахунком, щоб характерні перегини рельєфу добре виразилися на профілі і в той же час правдоподібно була передана будова рельєфу.

Далі, будують взаємно перпендикулярні прямі – горизонтальну і вертикальну осі профілю. Відповідно до обраного масштабу на вертикальній осі відзначають висоти всіх горизонталей, пересічних лінією профілю, і через ці відмітки проводять горизонтальні прямі.

Потім, беручи з карти, циркулем або на смужці паперу, закладення по лінії профілю, відкладають їх на горизонтальній осі. З кожного кінця відрізка встановлюють перпендикуляри до перетинання з горизонтальною лінією, що має відмітку даної горизонталі.

Безпосередньо з карти закладення беруть тільки у випадку рівності горизонтального масштабу профілю і карти. При різних масштабах обмірювані на карті закладення необхідно зменшувати або збільшувати відповідно до співвідношення масштабів карти і горизонтального масштабу профілю. У цьому випадку рекомендується застосовувати пропорційний циркуль або пропорційний трикутник для відкладення горизонтальних відстаней.

Отримані точки з'єднують плавною кривою лінією. На профілі показують об'єкти, розташовані по лінії розрізу.

Завдання

1. По напрямку на листі топографічної карти, від точки *A* до точки *B*, запропонованому викладачем, побудувати профіль ділянки місцевості.
2. Прокласти по карті лінію між двома точками, щоб крутість по лінії не перевищувала величини, заданої викладачем.
3. Визначити та вимітити на профілі абсолютні висоти, кут нахилу (α) та уклон (i).

Питання для перевірки знань з лабораторної роботи № 2 наведені в робочій програмі дисципліни [1] та конспекті лекцій [2].

3 СПОСОБИ ЗОБРАЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НА ПЛАНАХ. ЗМІСТ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ НА КАРТАХ РІЗНИХ МАСШТАБІВ

3.1 Основні елементи і форми рельєфу

Рельєфом називають сукупність нерівностей земної поверхні. Земна поверхня, чи як її ще називають, *топографічна поверхня*, що 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 – нависаюча 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 зі стрімчастими схилами).

Усе розмаїття земної поверхні являє собою складну комбінацію таких *основних форм* рельєфу (рис. 3.1).

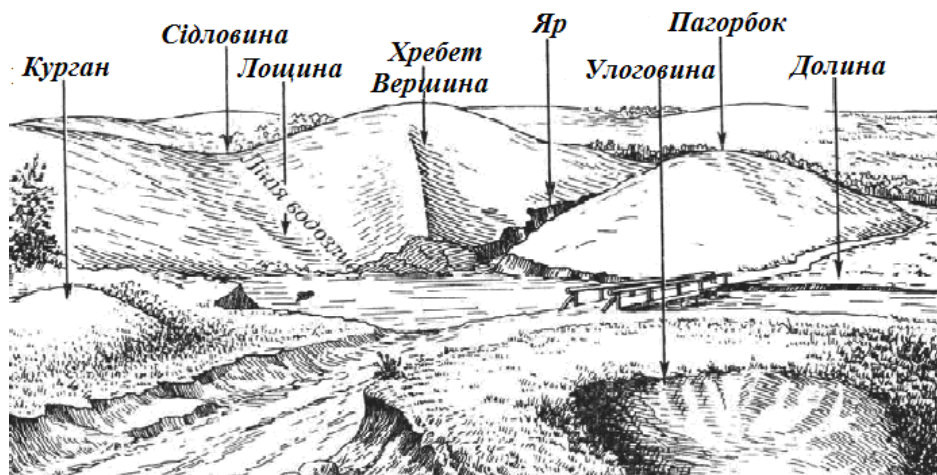


Рис. 3.1 – Основні форми рельєфу

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

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

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

4. *Лощина* – заглиблення подовженої форми, що поступово знижується. Лінія уздовж лощини, що 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, що 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*.

3.2 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), та *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 ділять на рівнинну, горбкувату та гірську. В залежності від цього висоти перерізу для різних масштабів карт приймаються різні.

Горизонталі, якими зображують форми рельєфу у відповідності з прийнятою 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 приймають 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 відмітити, що горизонталі не дають наочного просторового уявлення про рельєф місцевості. Гора й котловина 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 випуклої сторони, а у лощини – з увігнутої. Відмітки висоти горизонталей підписуються в їх розривах так, щоб основа цифри була направлена до підшви 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, що 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: рідке виключення з цього правила – нависаюча 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 крутизну схилів місцевості (рис. 3.1). Розрізняють чотири форми схилів: рівний, випуклий, увігнутий і хвилястий. При рівних відстанях між горизонталями місцевість має рівний схил. Якщо схил випуклий відстань між горизонталями зменшується від вершини до подошви: при увігнутому схилі, навпаки, зменшення відстані між горизонталями йде від подошви до вершини. 5. Лінії вододілів та водотоку пересікаються горизонталями під прямим кутом. Для швидкого визначення кута нахилу користуються спеціальним графіком закладення, який поміщається внизу листа карти справа (рис. 3.2). Крутизну ската ВС можна характеризувати кутом ν , який лінія місцевості ВС утворює з горизонтальною площиною Q (рис. 3.1). З прямокутного трикутника BCC_1 виходить $tg\nu = h/a$, де h – висота перерізу рельєфу, a – закладення.

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

$$i = tg\nu. \quad (3.1)$$

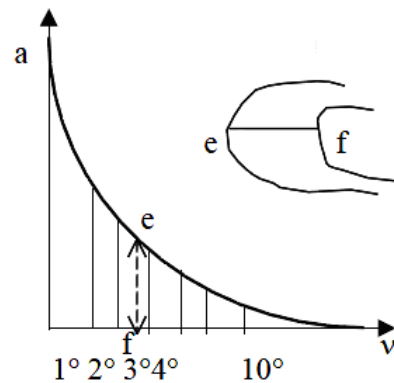
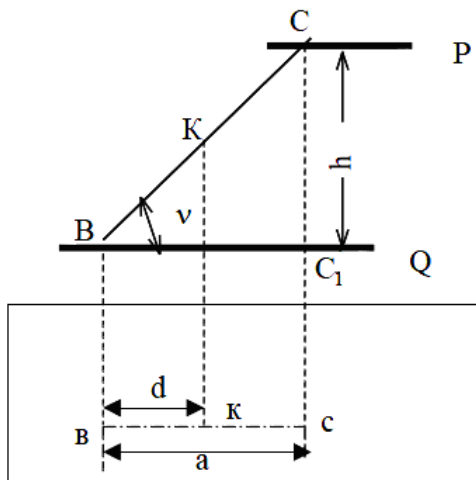


Рис. 3.1 – Визначення крутизни ската Рис. 3.2 – Графік закладення для кутів нахилу

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. Інтерполяція може бути виконана трьома способами: аналітичним, графічним і «на око».

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

3.3 Вимірювання площ контурів і лінійних розмірів об'єктів (довжини, ширини) на картах різних масштабів

Площі контурів на планах і картах можуть бути визначені аналітичним, графоаналітичним, графічним і механічним способами, а також способами зважування і фотоелектронним.

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, границі 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:

$$2S = \sum X_n(Y_{n+1} - Y_{n-1}) \quad (3.2)$$

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:

$$2S = \sum Y_n(X_{n-1} - X_{n+1}) \quad (3.3)$$

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 полігона) і за лічені хвилини дістають площу полігона, 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 приймають 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*.

Виміри площ здійснюються планіметрами різних систем. Широке поширення одержав планіметр ПП-2к, що складається з двох важелів: полюсного *1* і обвідного *2*, що з'єднуються в робочому положенні рознімним шарніром (рис. 3.3).

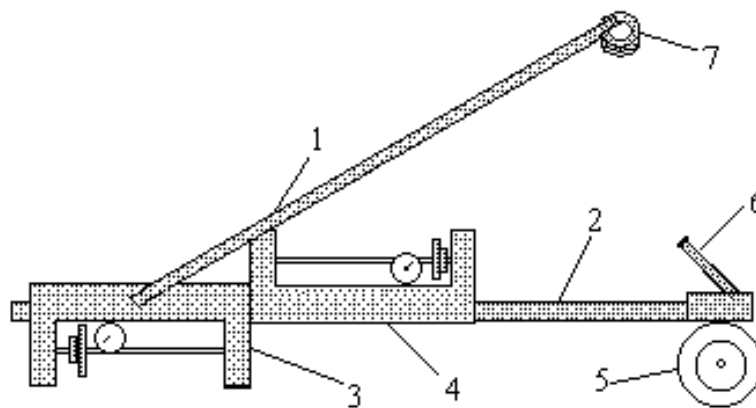


Рис.3.3 – Полярний планіметр ПП-2к

До одного кінця полюсного важеля прикріплений вантаж з голкою *7*, що є полюсом планіметра. На іншому кінці важеля знаходиться конічний стержень з кулястою голівкою, що вставляється в гніздо на каретці *3* першого рахункового механізму. На одному кінці обвідного важеля поміщені каретки з двома однаковими рахунковими механізмами *3* і *4*, а на іншому - обвідний візир з точкою в кружку *5* і рукоятка для обведення точки по контуру *6*.

При вимірах використовуються обидва рахункових механізми, причому положення на важелі другого, контрольного механізму не впливає на точність вимірів.

Рахунковий механізм планіметра складається з рахункового ролика - *а*, циферблата - *в* і верньєра – *с*.

Головною частиною рахункового механізму є рахунковий ролик, ободок якого при русі обвідного візира по контуру котиться по листу паперу. Поверхня рахункового ролика розділена на 100 частин. З краєм

ролика майже стикається верньєр - **с**, точність якого дорівнює 0,1 поділка ролика; повні обороти ролика відзначаються на циферблаті - **в**.

Відлік на планіметрі виражається чотиризначним числом, перша цифра якого береться на циферблаті, друга і третя – на рахунковому ролику проти нуля верньєра і четверта – на верньєрі. На рис. 3.2 показаний відлік, рівний 6513 (рис. 3.4).

Якщо покажчик знаходиться над цифрою циферблата, то варто спочатку звернути увагу на відлік по рахунковому ролику; якщо він знаходиться в межах 90 – 0, то першою у відліку буде цифра, що передує тієї, на який вказує покажчик; при відліку в інтервалі 0 – 10, береться та цифра, на якій вказує покажчик.

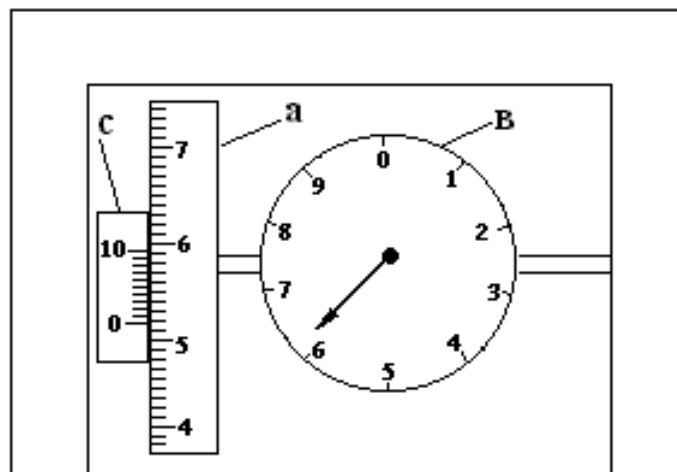


Рис.3.4 – Рахунковий механізм планіметра

Пристаюючи до роботи з планіметром, необхідно записати довжину обвідного важеля і не допускати її зміни в процесі роботи.

Обведення контуру робиться рівномірним плавним рухом, без різких поштовхів і по можливості без зупинок. Тому, приступаючи до роботи з планіметром, варто розташуватися зручно, щоб працювати з найменшою напругою. Обведення контуру візиром рекомендується робити рухом від себе, однак це не обов'язково. Щоб уникнути систематичних помилок при обведенні прямолінійних контурів не слід застосовувати лінійку, а також установлювати рахункові механізми на нуль і прирівнювати початкові відліки по механізмах. Якщо обведення контуру робиться по ходу годинної стрілки, то другий відлік n_2 , буде більше першого n_1 і різниця їх $(n_2 - n_1)$ виразить площу контуру в діленнях планіметра.

Якщо значення поділки планіметра (p) відома, то шукана площа

контуру в прийнятих одиницях виміру ($см^2$, $га$, $км^2$), при положенні полюса планіметра поза контуром, визначиться по формулі, яка складає середню з різниць відліків, отриманих на обох механізмах:

$$S = p (n_2 - n_1)_{cp} \quad (3.4)$$

Якщо полюс розташовується усередині вимірюваного контуру, то площа його обчислюється по формулі:

$$S = p (n_2 + Q - n_1) \quad (3.5)$$

де Q – постійне число планіметра при даній довжині обвідного важеля.

Перед початком роботи визначається значення поділки планіметра шляхом обведення фігури з заздалегідь відомою площею, зображеною на тому самому документі, на якому знаходиться об'єкт наступних вимірів.

На плані для цих цілей використовується квадрат координатної сітки, а на картах – квадрати кілометрової сітки чи трапеції картографічної сітки, площі яких вибираються з відповідних таблиць.

Обраний для визначення ціни поділки контур з відомою площею обводиться кілька разів, обов'язково при двох положеннях рахункових механізмів. Якщо розбіжності між отриманими значеннями різниць ($n_1 - n_2$) не виходять за межі 3 , то з них беруть середнє значення й обчислюють ціну поділки планіметра p , зберігаючи чотири значущих цифри:

$$p = \frac{S}{(n_1 - n_2)_{cp}} \quad (3.6)$$

Точність виміру площ планіметром залежить від багатьох факторів. Головні з них наступні: 1) стан планіметра – зношені планіметри дають результати зниженої точності; 2) якість і стан паперу, на якому зображений контур. На бувшій в тривалому користуванні, зім'ятої карті, що неодноразово складалася робити виміри планіметром не рекомендується; 3) довжина периметра – із двох рівновеликих площ точніше визначається площа контуру з меншим периметром; 4) розмір площі і її форма.

При великій площі, а також при вимірі витягнутих контурів, коли кути між важелями стають неприпустимо гострими чи тупими, точність

нижче, ніж при вимірах оптимальних по розміру й округлих за формою контурів. Тому великі контури варто розділяти на декілька, відтинаючи їх плавними лініями. Для визначення площ вузьких витягнутих фігур (доріг, каналів, річок і т.п.) планіметром користатися не можна.

Перед початком вимірів вибирається місце для полюса планіметра. Він установлюється з таким розрахунком, щоб обведення всього контуру могло бути здійснене при одній установці планіметра з дотриманням оптимального значення кута між важелями. Для цього необхідно установити обвідний візир у центр ваги вимірюваної фігури і поставити полярний важіль перпендикулярно обвідному. Рахункові ролики при вимірах не повинні зіскакувати з листа карти, на якому проводяться виміри, і затримуватися на його складках.

Виміри починаються з вибору початкової точки, що намічається в тій частині контуру, у якій рахункові ролики рахункових механізмів обертаються найбільше повільно. Після установки обвідного візира в початкову точку контуру, робляться відліки по обох рахункових механізмах, вони записуються у відповідну відомість, у якій роблять всі обчислення. Для виміру площі досить одного обведення з відліками по двох механізмах. Різниці між двома відліками, що перевищують припустимі допуски, з обчислень виключаються.

Середня квадратична похибка (табл. 3.1) вимірів площ (см²) полярним планіметром ПП–2К виражається формулою:

$$m_s = 0.053 + 0.005\sqrt{S} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.1 – Точність вимірів площ контурів планіметром

Площа, мм ²	Середня квадратична похибка вимірів, %
0-100	4049
100-200	3032
200-500	2.15
500-1000	0.94
1000-5000	0.49
5000-10000	0.31
>10000	0.13

При визначенні площ контурів побудованих у різних масштабах значення поділки планіметра визначається таким засобом: 1) враховуючи масштаби креслення, визначаємо площу Q_s деякої правильної фігури (квадрата, прямокутника) у квадратних одиницях натури; 2) обведенням планіметра визначаємо площу цієї ж фігури в поділках планіметра $(n_2 - n_1)_{cp}$; 3) обчислюємо ціну поділки планіметра за формулою:

$$p = \frac{Q_s}{(n_2 - n_1)_{cp}} \quad (3.8)$$

Площа будь-якої неправильної фігури на кресленні, побудованому в різних масштабах, обчислюється за формулою:

$$S = p(n_2 - n_1)_{cp} \quad (3.9)$$

Для визначення площ контурів, побудованих у різних масштабах, можуть бути використані і такі формули:

$$S = \sqrt{S_1 S_2} \quad (3.10)$$

де S_1 і S_2 – значення площі в кожному з масштабів:

$$S = (n_2 - n_1)_{cp} \sqrt{p_1 p_2} \quad (3.11)$$

де p_1 і p_2 - значення ціни поділки планіметра при цих масштабах.

Усі записи по визначенню площі рекомендується заносити в таблицю (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Визначення площ по карті за допомогою планіметра

Найменування ділянки	Початковий відлік, n_1	Кінцевий відлік, n_2	Різниця відліків, $(n_2 - n_1)$	Середнє $(n_2 - n_1)_{cp}$	Значення поділки планіметра p	Площа, $км^2$ S
1	2	3	4	5	6	7

Завдання

1. Визначити ціну поділки планіметра.
2. По топографічній карті визначити площі трьох об'єктів, запропонованих викладачем.
3. Визначити середньоквадратичні похибки обмірюваних площ, оцінити їх порівнюючи їх з даними табл.3.1.

Питання для перевірки знань з лабораторної роботи № 3 наведені в робочій програмі дисципліни [1] та конспекті лекцій [2].

4 ТЕОДОЛІТНА ЗЙОМКА. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕОДОЛІТНОЇ ЗЙОМКИ

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.

4.1 Устрій і 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 лімбі.

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.

Тригер – підставка з трьома підіймальними 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 (рис. 4.1):

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

Основні осі теодоліта (рис. 4.2):

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

2. Вісь циліндрового рівня при алідаді горизонтального круга (UU') – це дотична до дуги подовжнього 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.

Геометричні умови основних осей теодоліта: $(UU') \perp (ZZ')$, $(VV') \perp (HH')$, $(HH') \perp (ZZ')$.

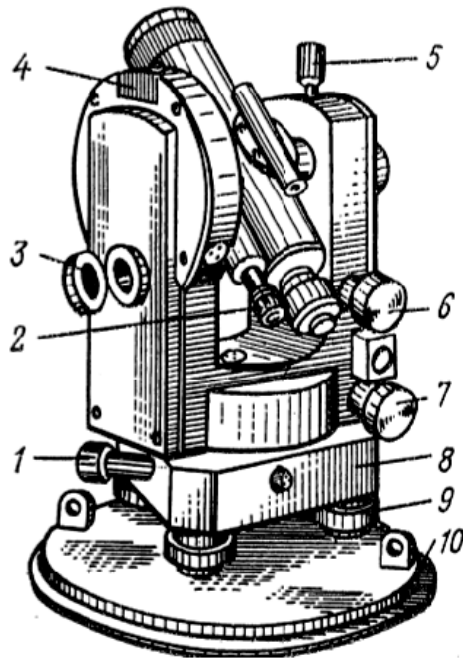


Рис. 4.1 – Теодоліт Т30

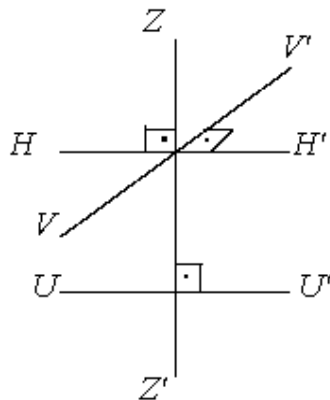


Рис. 4.2 – Схематичне розташування основних осей теодоліта

4.2 Робота з приладом, орієнтування теодолітних ходів, зйомка ситуації

У теодоліта 2Т30 відліковий мікроскоп шкаловий. У верхній частині поля зору мікроскопа, позначеного буквою *B* (рис. 4.3), 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.

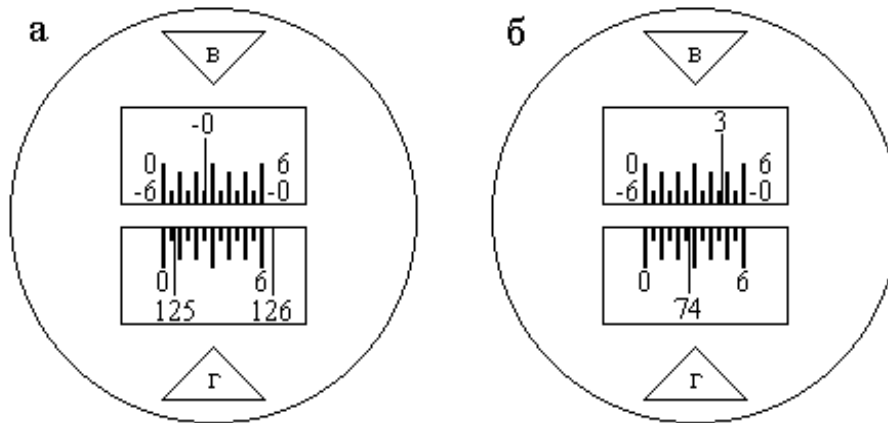


Рис. 4.3 – Поле зору мікроскопа теодоліта 2Т30:

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

На обох колах 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 кола позначена цифрою 0, а кінцева – цифрою 6, що означає $60'$. Шкала вертикального кола 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 колу 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. 4.3 відлік по горизонтальному колу рівний $125^{\circ}06,0'$. При відліку по вертикальному колу число градусів прочитується так само, як і по горизонтальному колу. При цьому градусні поділки вертикального кола мають знаки або плюс, або мінус.

Якщо в межах шкали знаходиться штрих лімба без знаку, 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 відхилитися 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, 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. 4.4) 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 $18^{\circ}30'$ ($KL=18^{\circ}30'$).

Переводять трубу через зеніт (рис. 4.5), 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:

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

. У прикладі:

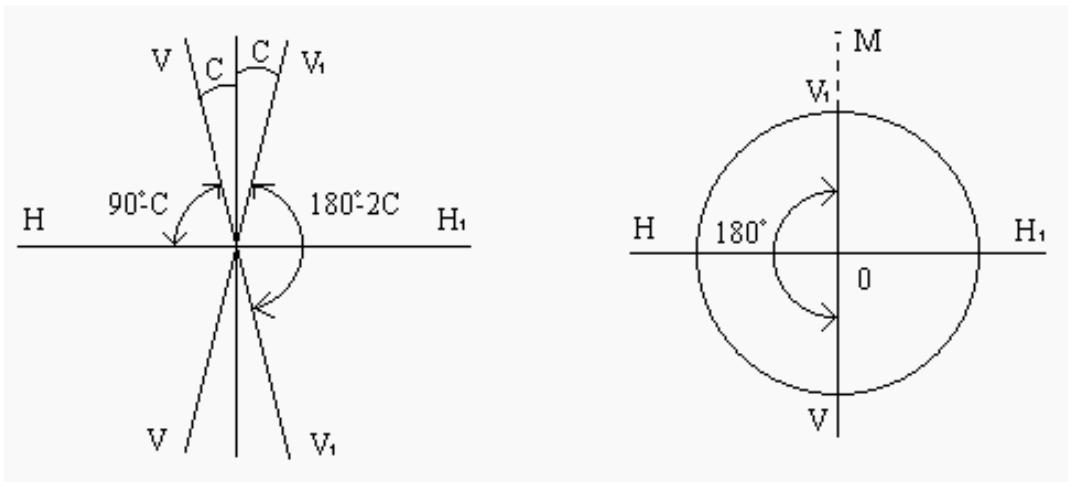


Рис. 4.4 – Помилка колімації Рис. 4.5 – Перевід труби через zenit

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

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 zenit, 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 відвісу;

б) приведення площини лімба в горизонтальне положення за допомогою рівня горизонтального круга 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.

Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

Вимір кута виконується способом прийомів. При закріпленому лімбі, повертаючи алідаду, наводять зорову трубу на праву точку 1 (рис. 4.6). Затискають закріпні гвинти алідади і труби і остаточне наведення на точку виконують за допомогою навідних гвинтів алідади і зорової труби.

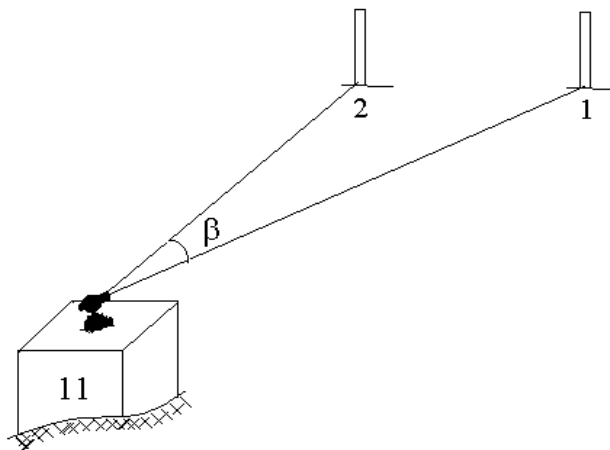


Рис. 4.6 – Схема виміру горизонтального кута

Після цього проводять відлік по горизонтальному кругу. Відлік записується в журнал (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Сторінка журналу виміру горизонтальних кутів

Номера точок стояння	Номера 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 zenit 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 закреслюється, 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. 4.7).

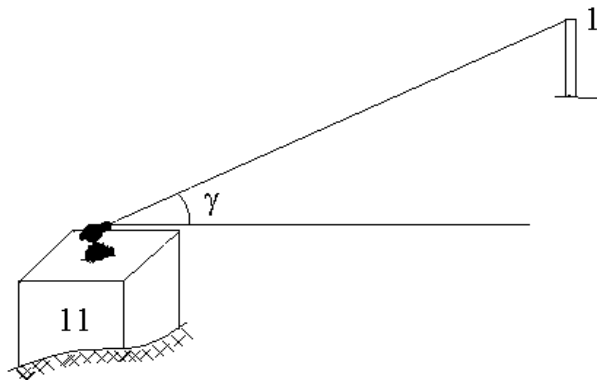


Рис. 4.7 – Схема виміру кута нахилу

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. 4.2.

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

Таблиця 4.2 – Журнал виміру кутів нахилу

Номера 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

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

$$MO = \frac{KL + KP}{2}, \quad (4.1)$$

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

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

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

$$v = KL - MO, \quad (4.2)$$

$$v = MO - KP,$$

де MO – значення місця нуля.

Якщо $MO \leq 2t$, де t – точність інструменту, то $v = KL$; 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 більш $1^\circ 30'$ (поправки за компарування і температуру в цій роботі не вводяться).

Поправки ΔDv за нахил ліній обчислюють за формулою

$$\Delta D_v = 2D \sin^2 \frac{v}{2}, \quad (4.3)$$

де D – вимірне значення лінії; v – кут нахилу лінії.
 Поправка за нахил вводиться завжди із знаком "мінус".
 Горизонтальне прокладання лінії знаходять з виразу:

$$d = D - \Delta D_v. \quad (4.4)$$

Приклад: Лінія довжиною 153,67 м має кут нахилу $v = 2^\circ 30'$.
 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 прокладання $d = 153,67 - 0,15 = 153,52$ м.

4.3 Обробка матеріалів теодолітної зйомки. Обчислення азимутів, румбів, дирекційних кутів, прирощень і координат за даними теодолітної зйомки. Побудова плану теодолітної зйомки

Результати польових вимірів (кути і довжини ліній) заносяться у відповідні графи відомості обчислення координат пунктів теодолітної зйомки, або, скорочено, «координатної відомості» (додаток), у якій виробляється вся подальша обробка результатів.

У таблиці приведена обробка невеликого зімкнутого полігона з діагональним ходом, прокладеним для контролю і для зйомки ситуації ділянки, тому він оброблений у другу чергу і як розімкнутий спирається на пункти основного полігона.

Після занесення в координатну відомість обмірюваних кутів зімкнутого полігона сума їх $\Sigma\beta_p$ зіставляється з теоретичною їхньою сумою $\Sigma\beta_t$, що обчислюється по формулі

$$\Sigma\beta_t = 180(n - 2) \quad (4.5)$$

Унаслідок різних, немінучих при вимірах погрішностей $\Sigma\beta_p$ відрізняється, від $\Sigma\beta_t$; на деяку величину f_β , названу **кутовим нев'язанням полігона**:

$$f_\beta = \Sigma\beta_p - \Sigma\beta_t \quad (4.6)$$

Припустиме нев'язання визначається по формулі

$$f_{\beta_{\text{випр.}}} = \pm 0,1' \sqrt{n} \quad (4.7)$$

де n - число вершин ходу.

Якщо $f_{\beta} \leq f_{\beta_{\text{випр.}}}$ розподіляють зі зворотним знаком між обмірюваними кутами, звільняючись від часток хвилини при вимірах кутів однохвилинним теодолітом. Кути з короткими сторонами можуть одержати трохи збільшені виправлення. Розподіл кутового нев'язання між обмірюваними кутами називається *ув'язуванням кутів*. Сума виправлень повинна дорівнювати нев'язанню полігона зі зворотним знаком. Після одержання виправлених кутів і перевірки їх шляхом підсумовування, обчислюють дирекційні кути, а по них - румби сторін полігона, виходячи з дирекційного кута лінії 1—2, отриманого в такий спосіб. Початковим пунктом розглянутої зйомки ділянки (рис. 4.8) є точка **1** знімальної мережі, і примикання полігона до цієї мережі по лінії II—1 виконано через кути II—1-2 ($138^{\circ}53'$ + $84^{\circ}16'$ = $223^{\circ}09'$) і 2-1—II ($136^{\circ}51'$), обмірювані при точки **1** способом кругових прийомів. По узятим з каталогу пунктів знімального обґрунтування координатам пунктів **I** і **II** рішенням зворотної геодезичної задачі, знайдений дирекційній кут лінії **I-II**.

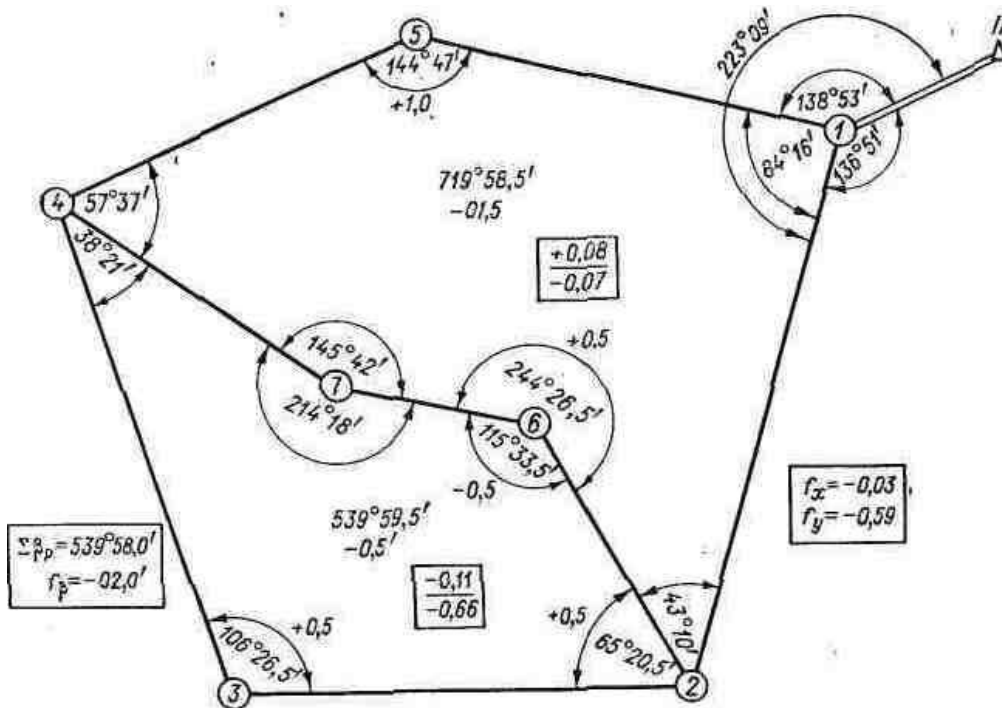


Рис. 4.8 – Схематичне креслення полігона

Контролем правильності обчислення дирекційних кутів для зімкнутого полігона є одержання вихідного дирекційного кута. Обчислення румбів не контролюється.

Для висновку контрольної формули при обчисленні дирекційних кутів у розімкнутому ході користуються формулами:

$$\alpha_1 = \alpha_{вих} + 180^\circ - \beta_1, \quad (4.8)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2 = \alpha_{вих} + 2 \cdot 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2), \quad (4.9)$$

$$\alpha_{кін} = \alpha_{вих} + n \cdot 180^\circ - \Sigma \beta. \quad (4.10)$$

Відкіля, прийнявши $\Sigma \beta = \Sigma \beta_t$, одержуємо $\Sigma \beta_t = \alpha_{вих} - \alpha_{кін} + n \cdot 180^\circ$.

Визначивши в такий спосіб значення теоретичної суми кутів у розімкнутому ході, можемо підрахувати отримане нев'язання по формулі:

$$\beta_\beta = \Sigma \beta_p - \Sigma \beta_t \quad (4.11)$$

Варто мати на увазі, що при відповідному взаємному орієнтуванні початкової і кінцевої лінії розімкнутого ходу й обох щодо північного напрямку меридіана - початку рахунка дирекційних кутів, іноді виникає необхідність зменшення обчисленого значення $\Sigma \beta_t$ на 360° .

Якщо при прокладці теодолітного ходу вимірялися ліві походові кути, то для розімкнутих ходів застосовується формула

$$\alpha_{кін} = \alpha_{вих} - n \cdot 180^\circ + \Sigma \beta \quad (4.12)$$

і значить

$$\Sigma \beta_t = \alpha_{кін} - \alpha_{вих} + n \cdot 180^\circ \quad (4.13)$$

Обчислення координат пунктів теодолітних ходів.

Прямокутні координати пунктів визначаються шляхом послідовного рішення прямих геодезичних задач по всьому ході.

Обчислення збільшень виконується логарифмічним або не логарифмічним шляхом за допомогою різних обчислювальних засобів і таблиць.

Виходячи з відомого в геометрії положення, що сума проєкцій сторін замкнутого багатокутника на будь-яку вісь дорівнює нулеві, запишемо наступну умову для зімкнутого полігона:

$$\Sigma \Delta X = 0 \quad \text{і} \quad \Sigma \Delta Y = 0 \quad (4.14)$$

однак на практиці виходить, що $\Sigma \Delta X = f_x$ і $\Sigma \Delta Y = f_y$.

Величини f_x і f_y називаються *нев'язанням* в сумах збільшень відповідних координат.

Виявляється, таким чином, що під впливом погрішностей, опущених при вимірах, наш зімкнутий полігон виходить розімкнутим на деяку величину $f_p = I-I'$, що є гіпотенузою прямокутного трикутника з катетами f_x і f_y . за значеннями яких f_p визначиться по формулі

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (4.15)$$

Точність прокладеного теодолітного ходу оцінюється його відносною погрішністю, що виражається формулою:

$$F = f_F/P = 1/(P f_F), \quad (4.16)$$

де P — периметр полігона

Відносне невязання виражається дробом з чисельником, рівним одиниці. Значення припустимого відносного невязання в периметрі визначається в залежності від умов, у яких вироблялися виміри, від 1: 3000 до 1: 1000 для теодолітних ходів, виконаних однохвилинним теодолітом і мірною 20-метровою стрічкою.

Якщо отримане невязання визнане неприпустимої і повторного обчислення збільшень не знайшли в них погрішностей, то варто повторити виміру ліній, звернувши увагу на лінії, що мають румб, близький до румба невязання f_p .

При значній довжині периметра варто прокласти діагональний хід або скористатися діагональними ходами, прокладеними для контролю кутових вимірів і для зйомки ситуації, і, визначивши невязання в збільшеннях по кожному полігоні, виписати них на схему і по їхніх знаках судити про те, де допущена погрішність у вимірах ліній, так само як це робилося при відшуканні погрішностей у кутових вимірах.

Визнані припустимими нев'язкі в збільшеннях f_x і f_r розподіляються зі зворотними знаками між усіма збільшеннями пропорційно довжинам сторін ходу.

Отже, кожне збільшення координат по відповідній осі повинне одержати виправлення:

$$\delta X_i = -\frac{f_x}{P} S_i, \quad \delta Y_i = -\frac{f_y}{P} S_i \quad (4.17)$$

Сума виправлень до збільшень координат повинна дорівнювати відповідному нев'язанню зі зворотним знаком. Отже:

$$\Sigma \Delta X_{\text{випр}} = 0 \quad \text{і} \quad \Sigma \Delta Y_{\text{випр}} = 0. \quad (4.18)$$

Виправленням збільшень завершуються рішення прямих геодезичних задач і в результаті послідовних обчислень у зімкнутому полігоні виходять координати початкової точки.

У розімкнутому ході сума збільшень порівнюється з різницею координат початкової і кінцевої крапок, тобто висувається

$$\text{умова:} \quad \Sigma \Delta X = X_{\text{кін}} - X_{\text{вих}} \quad \text{і} \quad \Sigma \Delta Y = Y_{\text{кін}} - Y_{\text{вих}},$$

а практично виходить:

$$\Sigma \Delta X - (X_{\text{кін}} - X_{\text{вих}}) = f_x \quad \text{і} \quad (4.19)$$

$$\Sigma \Delta Y - (Y_{\text{кін}} - Y_{\text{вих}}) = f_y \quad (4.20)$$

Після одержання f_x і f_y подальша обробка розімкнутого ходу здійснюється так само, як і обробка зімкнутого полігона, і завершується обчисленням координат пунктів ходу.

Варто лише помітити, що відносна погрішність для діагонального ходу допускається трохи більшої. Це порозумівається тим, що при оцінці погрішності діагонального ходу повинна бути врахована погрішність вихідних даних — початкового і кінцевого пунктів діагонального ходу.

Якщо відносне нев'язання (n) для зімкнутого полігона допускається рівної 1/2000, то для діагонального ходу вона може бути допущена 1/1000.

Якщо діагональний хід погоджується разом з ходами, з яких складений зімкнутий полігон, то по точності діагональний хід не повинний відрізнятися від цих ходів.

Після обчислення, викреслюється план кутомірної зйомки по координатах (рис. 4.9). У залежності від характеру і тривалості передбачуваного використання майбутнього плану він може бути складений на листі звичайного креслярського папера, у тому числі і нестандартному форматі.

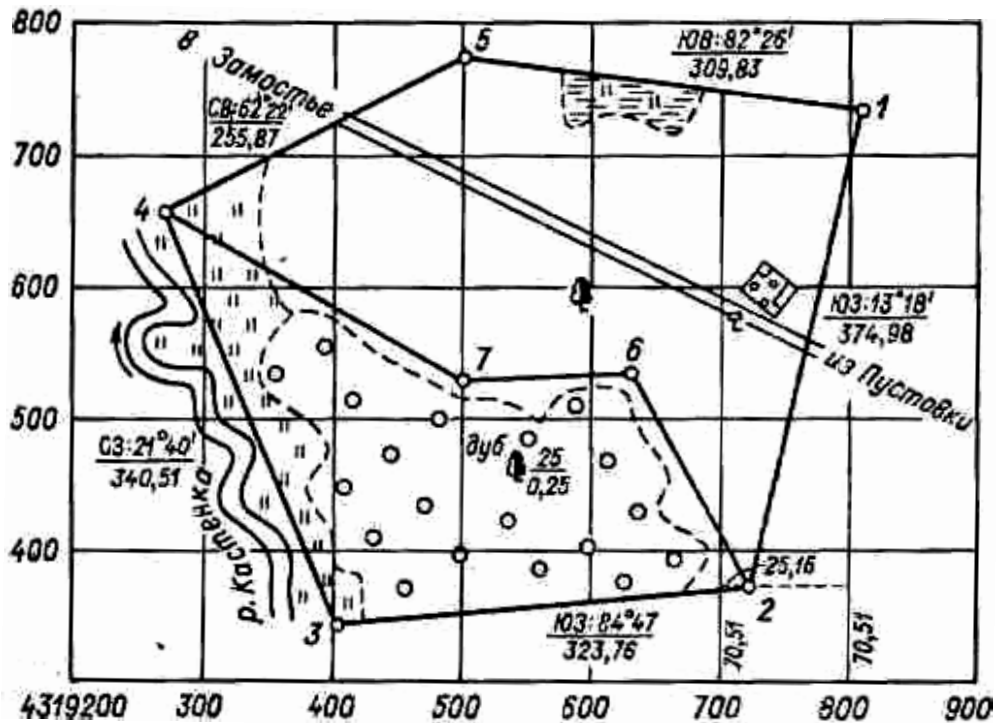


Рис. 4.9 – План ділянки, побудований за матеріалами теодолітної зйомки

Після завершення накладки вершин теодолітних ходів на план переносять дані зйомки ситуації, зафіксовані в абрисі в стандартних умовних знаках стосовно до його масштабу. Подальше оформлення плану виконується відповідно задачам, прийнятими в даній установі.

Завдання

1. Обробити відомості теодолітної зйомки згідно варіанту, виданого викладачем. Зразок обробки відомості приведений у табл. 4.3.
2. Побудувати план теодолітної зйомки з нанесеним ситуації.

Питання для перевірки знань з лабораторної роботи № 4 наведені в робочій програмі дисципліни [1] та конспекті лекцій [2].

Таблиця 4.3 – Відомості обчислення координат геодезичного ходу

№№ точок ходу	Виміряні кути		Виправлені кути		Директ. кути		Румби			Гориз. пролож.	Прирошення координат, м				Координати, м						
	0	'	0	'	0	'	назв.	0	'		d, м	Δx	Δy	Δx	Δy	x	y				
	2		3		4		5			6		+	-	+	-	+	-				
1																					
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	-	-5 224.46	-	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 _{сп}	889	28.7	889	27.2	Σβ _к = α ₀ - α _n + 180°·n = = 29°34,2' - 40°07,0' + 180°·5 = = 889°27,2'					ΣΔ _{сп}		+	225.10	+	80.33	+	225.31	+	80.15		
Σβ _т	889	27.2	889	27.2						ΣΔ _т		+	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 _{доп} = √(f _x ² + f _y ²) = √(0.21 ² + 0.18 ²) = 0.28										
											f _{від} = f _{доп} /P = 1/(P/f _{доп}) = 1/3400 < 1/2000										

5 НІВЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ НІВЕЛЮВАННЯ

5.1 Суть 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, що 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 по перевищенню 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 – 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.

5.2 Устрій і перевірки нівеліра

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 мікрометричний гвинти азимутного обертання; трегер.

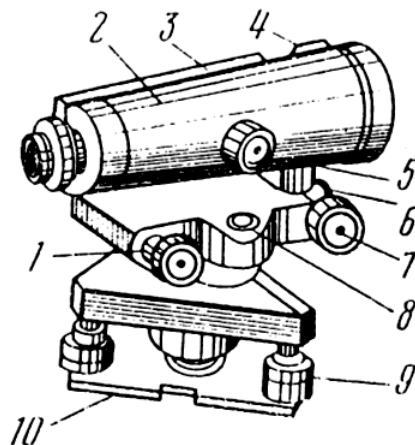


Рис. 5.1 – Нівелір Н-3:

- 1 – елеваційний гвинт рівня; 2 – зорова труба; 3 – корпус контактного циліндричного рівня; 4 – цілік; 5 – гвинт фокусування труби;
- 6 – затискний гвинт зорової труби; 7 – навідний (мікрометричний) 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 займатися 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. 5.2).

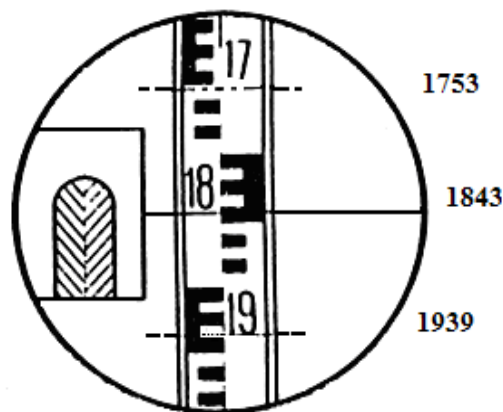


Рис. 5.2 – Поле зору труби нівеліра Н-3

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:

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (5.1)$$

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:

$$b_2 = b_2 + x, \quad (5.2)$$

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

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

Приводять бульбашку круглого рівня в нуль-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 ДСТУ 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. Довжина рейок буває різною: 1200, 1500, 3000 і 4000 мм. В складних рейках в шифр додається буква С, наприклад, РН-10С (рис. 5.3).



Рис. 5.3 – Рейка нівелірна РН-10 дерев'яна, двостороння

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 одnobічних 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.

Для визначення придатності нівелірних рейок до роботи їх досліджують. Поверхня рейки має бути плоскою. Ухилення допускається не більше 3 мм для РН-05, 6 мм – для РН-3, 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.

5.3 Обробка матеріалів нівелювання та визначення перевищень точок і їх відміток

Відмітки точок є висотною основою для топографічних зйомок усіх масштабів і для рішення інженерних задач, необхідних для задоволення потреб народного господарства і для рішення наукових задач.

На місцевості визначають перевищення, а потім по відомій висоті однієї з крапок, обчислюють висоти всіх занівельованих крапок.

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

При нівелюванні із **середини** (рис. 5.4) у точках *A* і *B* вертикально встановлюють нівелірні рейки, а між ними, по можливості на однакових відстанях від рейок, у точки *З* - нівелір.

Візирну вісь труби зводять у горизонтальне положення і послідовно снимають показання *З* і *П*, що представляють собою відрізки від точок *A* і *B* до візирного променя.

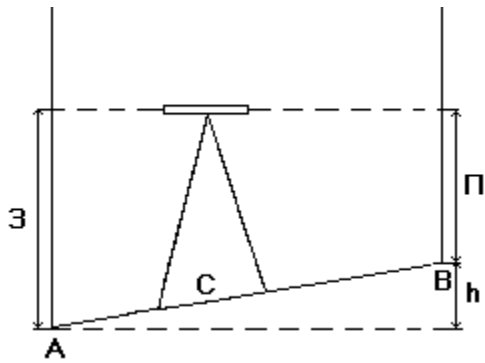


Рис. 5.4 – Схема нівелювання із середини

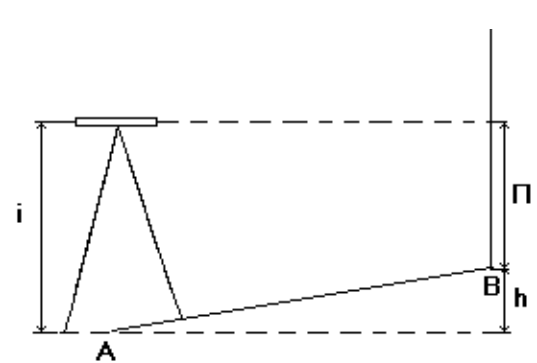


Рис. 5.5 – Схема нівелювання вперед

Перевищення h між точками A и B буде обчислюватися по формулі:

$$h = Z - П \quad (5.3)$$

Відмітка наступної точки H_B буде дорівнює відмітці попередньої точки H_A плюс перевищення між ними:

$$H_B = H_A + h. \quad (5.4)$$

При нівелюванні вперед (рис. 5.5) нівелір встановлюють у початковій точки A , а в передній точки B встановлюють рейку. Потім роблять відлік $П$ по рейці і вимірюють висоту приладу i . Перевищення між точками A и B буде: $h = i - П$. Нівелювання із середини має багато переваг, тому їм користаються частіше, а нівелюванням уперед користаються тільки при перевірці нівелірів.

Обчислювальна обробка журналу нівелювання траси.

Після виконання всіх контрольних обчислень у журналах, приступають до обчислення попередніх висот нівелірних знаків. Обчислення виконують у відомості перевищень і висот пунктів нівелювання.

Обчислювальна обробка нівелірного ходу, прокладеного між початковими реперами, складається в обчисленні висот усіх сполучних і проміжних точок по початкових висотах початкової і кінцевої точок ходу і по цифрам по рейках, узятим при нівелюванні траси.

Обчислення виконують у наступному порядку:

1) перевіряють обчислення значень середніх перевищень між сполучними точками з посторінковим контролем (на кожній сторінці журналу нівелювання) по формулі

$$1/2(\Sigma Z - \Sigma \Pi) = \Sigma h \quad (5.5)$$

т. е. напівсума всіх задніх відліків мінус напівсума всіх передніх відліків повинна, бути дорівнює сумі усіх перевищень;

2) роблять ув'язування перевищень; для цього обчислюють нев'язання в перевищеннях усього ходу по формулі:

$$f_h = \sum_1^n h_{\Pi} - \sum_1^n h_{\Gamma} \quad (5.6)$$

де n – число станцій.

Підсумовують перевищення і обчислюють теоретичну суму перевищень по формулі:

$$\Sigma h_{\Gamma} = H_{pen.2} - H_{pen.1} \quad (5.7)$$

Обчислюють допустимість нев'язання по формулі $f_h \leq 50 \sqrt{L}$, нев'язання розподіляють нарівно на всі перевищення з округленням до 1 мм; виправлення записують над перевищеннями; сума виправлень повинна дорівнювати нев'язанню зі зворотним знаком;

3) обчислюють абсолютні висоти сполучних точок.

Контроль отриманих перевищень для різних видів маршрутів:

а) замкнутий маршрут - $\Sigma h = 0$;

б) висячий хід - 1. $H_{pen.2} - H_{pen.1} = \Sigma h$; 2. $\Sigma h_{np} = \Sigma h_{об}$

За результатами нівелювання та обчисленими висотними відмітками, будується подовжній (іноді і поперечний) профіль зйомки.

Завдання

1. Обробити відомості нівелірної зйомки для свого варіанту згідно зразку (табл. 5.1).

2. Побудувати профіль місцевості.

Таблиця 5.1 – 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)	

5.4 Нівелювання поверхні та побудова плану місцевості в горизонталях

Нівелювання поверхні є основним методом одержання точного зображення рельєфу поверхні на планах ділянок цієї поверхні. При нівелюванні поверхні застосовуються способи рівнобіжних ліній, квадратів і ін.

Вибір того чи іншого способу нівелювання залежить від характеру поверхні що нівелюється, і мети, з якою воно проводиться.

Спосіб квадратів являє собою упорядкований спосіб паралельних ліній. Розміри квадратів, що розбиваються на місцевості, (від 10x10 до 100x100м) залежать від характеру рельєфу місцевості, заданої висоти його перетину, площі ділянки і призначення плану, що складається.

Журнал нівелювання ділянки являє собою заздалегідь підготовлену сітку квадратів на листі паперу, на яку записуються відмітки по нівелірних рейках.

На цій же сітці ведеться й обробка отриманих результатів - обчислення абсолютних висотних відміток і представлення ділянки місцевості в горизонталях.

Перетин горизонталей задається в залежності від амплітуди зміни висотних відміток.

На рис. 5.6 приведений приклад проведення горизонталей за даними нівелювання по квадратах.

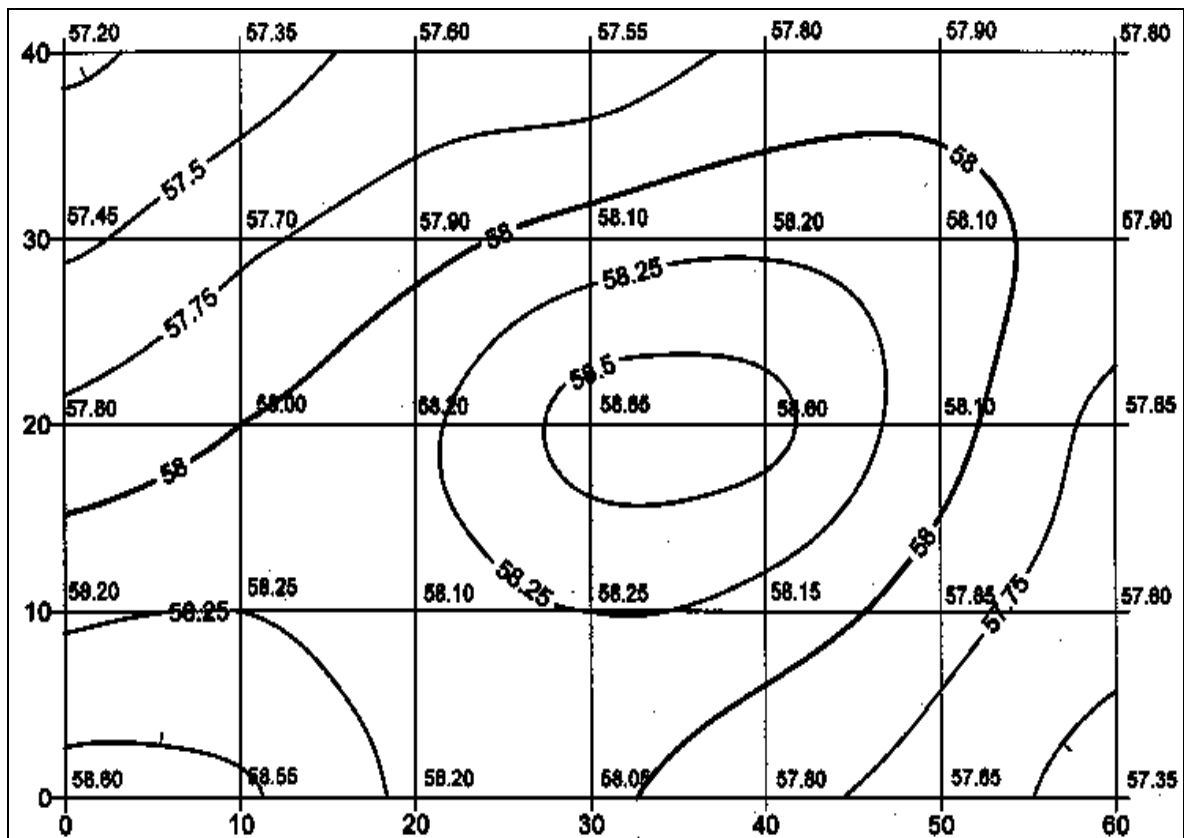


Рис. 5.6 – Побудова плану місцевості в горизонталях

Завдання

1. За даними нівелювання поверхні по квадратах побудувати план місцевості в горизонталях. (дивись Додаток).

Питання для перевірки знань з лабораторної роботи № 5 наведені в робочій програмі дисципліни [1] та конспекті лекцій [2].

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Гриб О.М. Робоча програма навчальної дисципліни «Геодезія та картографія» для підготовки студентів за напрямом 6.050101 «комп'ютерні науки» / Одеса: Од. держ. еколог. ун-т, 2016. – 25 с.
2. Гриб О.М. Геодезія та картографія: конспект лекцій / Одеса: Од. держ. еколог. ун-т, 2017. 102 с.
3. Селезньова Л.В., Балан Г.К. Основи геодезії і картографії: конспект лекцій. – Одеса: ТЕС, 2012. – 115 с.
4. Селезньова Л.В., Балан Г.К. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Основи геодезії та картографії». – Одеса, ОДЕКУ, 2004. – 57 с.
5. Грюнберг Г.Ю., Лапкина Н.А., Малахов Н.В. Картография с основами топографии. – М.: Просвещение, 1994.
6. Условные знаки для топопланов масштабов 1:5000 – 1:500. – М.: Недра, 1973.
7. Ратушняк Г.С. Топографія з основами картографії. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2002. – 179 с.
8. Колодеев Є.І. Основи геодезії: конспект лекцій. – Дніпропетровськ: Економіка, 2005. – 107 с.
9. Колодеев Є.І., Гриб О.М. Лабораторний практикум з геодезії: навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2007. – 68 с.
10. 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.

ДОДАТКИ

Додаток А. Вихідні дані для теодолітної зйомки

Номер варіанту	Азимут
1	355° 40'
2	341° 22'
3	278° 30'
4	281° 31'
5	270° 15'
6	315° 20'
7	320° 10'
8	305° 02'
9	291° 39'
10	349° 09'
11	241° 30'
12	309° 13'
13	285° 45'
14	300° 59'
15	310° 30'
16	302° 15'
17	267° 19'
18	260° 17'
19	281° 31'
20	101° 50'

Додаток Б. Вихідні дані для плану місцевості в горизонталях
(*b* - ширина квадрата, *h* - перетин горизонталей)

Варіант 1

	М 1:2000		<i>b</i> = 100м	<i>h</i> =1,0 м		
13,3	13,9	14,5	14,8	14,6	14,2	13,3
13,7	14,6	15,8	16,3	16,4	16,1	14,8
13,2	14,1	15,9	17,6	18,2	17,6	16,4
12,1	13,4	14,8	16,5	17,6	18,3	17,6
11,3	13,1	14,8	16,2	17,1	17,1	17,3

Варіант 2

	М 1:1000		<i>b</i> = 50м	<i>h</i> =1,0 м		
18,1	18,9	19,8	20,9	21,8	23,0	24,2
17,6	18,1	19,0	19,9	20,7	21,8	23,3
18,7	19,1	19,7	20,8	21,5	22,8	24,3
20,1	20,8	21,3	22,2	23,6	24,6	26,2
21,5	22,1	23,3	24,6	25,6	26,8	27,1

Варіант 3

	М 1:500		<i>b</i> = 25м	<i>h</i> =1,0 м		
22,8	24,5	26,0	27,0	26,8	26,0	24,8
23,3	24,8	26,4	27,6	27,3	26,8	25,5
24,2	26,1	27,6	28,3	27,1	26,9	26,6
24,6	26,4	28,2	27,6	27,1	26,9	25,9
24,8	26,5	27,6	26,5	26,2	25,6	25,4

Варіант 4

	М 1:2000		<i>b</i> = 100м	<i>h</i> =1,0 м		
34,3	32,1	33,2	33,7	33,3	32,4	31,8
33,1	33,4	34,1	34,6	33,9	33,0	32,2
34,8	34,8	35,9	34,8	34,5	33,2	32,4
36,2	36,5	37,6	36,5	34,8	33,3	32,7
37,1	37,6	38,2	36,4	34,6	33,7	32,8

Варіант 5

	M 1:1000		$\epsilon = 50\text{M}$	$h = 1,0\text{ M}$		
24,7	24,8	24,8	25,9	25,8	24,5	23,8
25,6	26,2	26,5	27,6	26,5	24,8	23,9
26,9	27,1	27,6	28,2	26,4	24,6	23,6
26,9	27,1	28,3	27,6	26,1	24,2	22,7
26,8	27,3	27,6	26,4	24,8	23,3	22,4

Варіант 6

	M 1:2000		$\epsilon = 100\text{M}$	$h = 1,0\text{M}$		
11,5	12,3	12,5	10,8	9,60	10,4	11,1
11,7	12,5	12,8	11,9	12,0	12,1	10,7
10,4	12,1	14,7	14,1	12,1	10,6	9,20
9,70	11,0	12,2	11,9	10,4	8,10	7,40
8,80	9,20	9,70	10,2	9,80	8,20	6,90

Варіант 7

	M 1:1000		$\epsilon = 50\text{M}$	$h = 1,0\text{M}$		
20,9	21,1	21,5	20,8	19,6	20,4	21,1
20,7	22,0	22,8	21,9	22,0	20,1	20,7
20,4	21,8	24,7	24,1	22,1	20,6	19,1
19,7	21,0	22,2	21,9	20,4	18,8	17,7
18,7	19,2	19,7	20,2	19,8	18,2	16,8

Варіант 8

	M 1:500		$\epsilon = 25\text{M}$	$h = 1,0\text{M}$		
18,8	20,2	21,8	22,2	21,7	21,2	20,7
19,7	20,8	22,4	23,9	24,2	23,0	21,7
21,1	22,6	24,1	26,1	26,7	23,8	22,4
22,7	24,1	24,0	23,9	24,8	24,0	22,7
23,1	22,4	21,6	22,8	23,5	23,1	22,9

Варіант 9

	M 1:200		$\epsilon = 10\text{м}$	$h = 0,25\text{м}$		
27,35	27,65	27,90	28,10	28,35	28,75	28,90
27,60	27,85	28,15	28,20	28,10	28,35	28,40
27,65	28,10	28,50	28,65	28,20	28,15	27,80
27,90	28,10	28,20	27,95	28,05	28,10	27,70
27,80	27,90	27,80	27,40	27,45	27,60	27,55

Варіант 10

	M 1:2000		$\epsilon = 100\text{м}$	$h = 1,0\text{м}$		
13,3	13,9	14,5	14,8	14,6	14,2	13,3
13,7	14,6	15,8	16,3	16,4	16,1	14,8
13,2	14,1	15,9	17,6	18,2	17,6	16,4
12,1	13,4	14,8	16,5	17,6	18,3	17,6
11,3	13,1	14,8	16,2	17,1	17,1	17,3

Варіант 11

	M 1:1000		$\epsilon = 50\text{м}$	$h = 1,0\text{м}$		
18,1	18,9	19,8	20,9	21,8	23,0	24,2
17,6	18,1	19,0	19,9	20,7	21,8	23,3
18,7	19,1	19,7	20,8	21,5	22,8	24,3
20,1	20,8	21,3	22,2	23,6	24,6	26,2
21,5	22,1	23,3	24,6	25,6	26,8	27,1

Варіант 12

	M 1:500		$\epsilon = 25\text{м}$	$h = 1,0\text{м}$		
22,8	24,5	26,0	27,0	26,8	26,0	24,8
23,3	24,8	26,4	27,6	27,3	26,8	25,5
24,2	26,1	27,6	28,3	27,1	26,9	26,6
24,6	26,4	28,2	27,6	27,1	26,9	25,9
24,8	26,5	27,6	26,5	26,2	25,6	25,4

Варіант 13

	M 1:2000		$\epsilon = 100\text{м}$		$h = 1,0\text{м}$	
34,3	32,1	33,2	33,7	33,3	32,4	31,8
33,1	33,4	34,1	34,6	33,9	33,0	32,2
34,8	34,8	35,9	34,8	34,5	33,2	32,4
36,2	36,5	37,6	36,5	34,8	33,3	32,7
37,1	37,6	38,2	36,4	34,6	33,7	32,8

Варіант 14

	M 1:1000		$\epsilon = 50\text{м}$		$h = 1,0\text{м}$	
24,7	24,8	24,8	25,9	25,8	24,5	23,8
25,6	26,2	26,5	27,6	26,5	24,8	23,9
26,9	27,1	27,6	28,2	26,4	24,6	23,6
26,9	27,1	28,3	27,6	26,1	24,2	22,7
26,8	27,3	27,6	26,4	24,8	23,3	22,4

Варіант 15

	M 1:2000		$\epsilon = 100\text{м}$		$h = 1,0\text{м}$	
11,5	12,3	12,5	10,8	9,60	10,4	11,1
11,7	12,5	12,8	11,9	12,0	12,1	10,7
10,4	12,1	14,7	14,1	12,1	10,6	9,20
9,70	11,0	12,2	11,9	10,4	8,10	7,40
8,80	9,20	9,70	10,2	9,80	8,20	6,90

Варіант 16

	M 1:1000		$\epsilon = 50\text{м}$		$h = 1,0\text{м}$	
20,9	21,1	21,5	20,8	19,6	20,4	21,1
20,7	22,0	22,8	21,9	22,0	20,1	20,7
20,4	21,8	24,7	24,1	22,1	20,6	19,1
19,7	21,0	22,2	21,9	20,4	18,8	17,7
18,7	19,2	19,7	20,2	19,8	18,2	16,8

Варіант 17

	M 1:500		$\epsilon = 25\text{M}$	$h = 1,0\text{M}$		
18,8	20,2	21,8	22,2	21,7	21,2	20,7
19,7	20,8	22,4	23,9	24,2	23,0	21,7
21,1	22,6	24,1	26,1	26,7	23,8	22,4
22,7	24,1	24,0	23,9	24,8	24,0	22,7
23,1	22,4	21,6	22,8	23,5	23,1	22,9

Варіант 18

	M 1:200		$\epsilon = 10\text{M}$	$h = 0,25\text{M}$		
27,35	27,65	27,90	28,10	28,35	28,75	28,90
27,60	27,85	28,15	28,20	28,10	28,35	28,40
27,65	28,10	28,50	28,65	28,20	28,15	27,80
27,90	28,10	28,20	27,95	28,05	28,10	27,70
27,80	27,90	27,80	27,40	27,45	27,60	27,55

Варіант 19

	M 1:1000		$\epsilon = 50\text{M}$	$h = 1,0\text{M}$		
16,1	16,9	19,8	20,9	21,8	23,0	24,2
15,6	16,1	19,0	19,9	20,7	21,8	23,3
16,7	17,1	19,7	20,8	21,5	22,8	24,3
18,1	20,8	21,3	22,2	23,6	24,6	26,2
19,5	22,1	23,3	24,6	25,6	26,8	27,1

Варіант 20

	M 1:2000		$\epsilon = 100\text{M}$	$h = 1,0\text{M}$		
13,5	14,3	12,5	10,8	9,60	10,4	11,1
13,7	14,5	12,8	11,9	12,0	12,1	10,7
12,4	14,1	14,7	14,1	12,1	10,6	9,20
11,70	13,0	12,2	11,9	10,4	8,10	7,40
10,80	11,20	9,70	10,2	9,80	8,20	6,90