

**.Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя**

Кафедра будівельної механіки

Навчальний посібник
до виконання лабораторних робіт з курсу
“Інженерна геодезія”
Для студентів спеціальності 192 “Будівництво та цивільна
інженерія”

Тернопіль

2021

Навчальний посібник для виконання лабораторних робіт з курсу “Інженерна геодезія” для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія / Н.Ю.Чорномаз, С.М. Данильченко – Тернопіль, ТНТУ, 2021. – 116 с.

Автори: Н.Ю.Чорномаз, С.М. Данильченко

Рецензент: Т.А.Наливайко

Розглянуто й схвалено на засіданні кафедри будівельної механіки, протокол № 6 від 17 лютого 2021року

Схвалено й рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 3 від 23 лютого 2021року.

Складено з урахуванням матеріалів літературних джерел, наведених у списку.

З М І С Т

	Вступ	5
1	Техніка безпеки	6
	Лабораторна робота №1	7
	Плани, карти, масштаби і їх точність, умовні знаки. Вимір на картах довжин ліній. Побудова ліній заданої довжини з точністю, що відповідає точності масштабу	
2	Лабораторна робота №2	20
	Картометричні роботи: визначення географічних координат точки, вимірювання прямокутних координат точок. Вимірювання дирекційних кутів та румб вказаних напрямів	
3	Лабораторна робота №3	29
	Вимірювання площ на картах	
4	Лабораторна робота №4	37
	Картометричні роботи: визначення висот точок, перевищень між ними, обчислення крутизни схилів. Побудова на карті лінії із заданим ухилом.	
5	Лабораторна робота №5	43
	Картометричні роботи: Побудова профілю місцевості за заданим на карті з горизонталями напрямку. Побудова проектної лінії	
6	Лабораторна робота №6	48
	Будова та перевірки нівелірів. Нівелірні рейки. Виконання пробного нівелювання. Обчислення журналу поздовжнього нівелювання траси	
7	Лабораторна робота №7	70
	Будова та перевірки технічних теодолітів. Вимірювання	

	горизонтальних і вертикальних кутів	
8	Лабораторна робота №8	92
	Складання топографічного плану будівельного майданчика за результатами нівелювання поверхні по квадратах	
9	Лабораторна робота №9	101
	Математичне опрацювання результатів геодезичних вимірів	
	Використана література	118

ВСТУП

Сучасна забудова міст, реконструкція і ремонт будівель, а також зведення промислових і цивільних об'єктів не можливо без глибоких знань з інженерної геодезії. Від змісту, повноти і точності геодезичних робіт значною мірою залежить не тільки якість будівництва, але й довговічність споруд.

Геодезія – наука, що вивчає форму, розміри й гравітаційне поле Землі, розробляє методи створення координатної та планової основи для детального вивчення фізичної земної поверхні з метою відображення отриманої геоінформації за допомогою просторових образно-знакових моделей.

Для правильного розв'язування інженерних задач студенти будівельних спеціальностей повинні отримати відповідну теоретичну підготовку, знати сучасні геодезичні методи й прилади, вміти їх застосовувати. Порівняно невелика кількість годин, відведена студентам навчальним планом на лабораторні роботи, вимагає вивчення вказаного курсу самостійно. Метою запропонованого посібника є допомога студентам у самостійній підготовці до виконання лабораторних робіт з інженерної геодезії. Вказівки складені відповідно до навчальної програми курсу з інженерної геодезії для вищих навчальних закладів будівельних спеціальностей.

Необхідність посібника зумовлена специфікою будівельної спеціальності, змістом геодезичної підготовки, тенденцією до розширення самостійної роботи студентів.

На початку посібника наведено загальні вказівки з організації виконання навчальних завдань. Перед виконанням лабораторної роботи слід ознайомитися з теоретичним матеріалом за списком літератури, а також викладеним у конспекті лекцій. У кожній роботі передбачено використання знань і навичок, отриманих при виконанні попередніх робіт. Завдання складено так, щоб при обмеженому навчальному часі можна було засвоїти основні принципи і методи розв'язання геодезичних задач.

При виконанні навчальних завдань значний обсяг займають обчислювальні роботи. Вважаємо, що методично доцільно на початковому етапі використовувати обчислювальну техніку та програмні засоби, що дозволяють поопераційно чи поблочно простежити й осмислити обчислювальні процеси.

Заліковується лабораторна робота на підставі подання звітної матеріалу, виконаного відповідно до викладених вимог, і позитивних відповідей на контрольні запитання, наведені після кожного розділу посібника.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи з курсу «Інженерна геодезія» виконуються в навчально-наукових лабораторіях кафедри будівельної механіки. Дотримання правил техніки безпеки є обов'язковою умовою при виконанні робіт. Для забезпечення цього кожен студент повинен ознайомитися з вимогами правил техніки безпеки та отримати допуск викладача до виконання лабораторних робіт.

Забороняється перебування в лабораторіях у верхньому одязі. Студенти, які тимчасово не задіяні на роботі з інструментами, повинні знаходитися на місцях, вказаних викладачем.

Всі зайві предмети, які не стосуються виконуваної роботи, необхідно прибрати з робочого місця.

Отримавши відповідний прилад, необхідно його оглянути та впевнитися, що він не має механічних пошкоджень, перевірити надійність в роботі гвинтів на штативі теодоліта або нівеліра. Теодоліти та нівеліри, закріплені на штативах, переносити тільки у вертикальному положенні. При установці віх або нівелірних рейок на точки необхідно їх підтримувати або надійно закріпити, щоб вони не падали. Вимірювання виконувати тільки при достатньому освітленні.

Не виконувати вимірювання близько від електроприладів або провідників струму.

Не включати електроприлади без лаборанта або викладача.

Не кидати, а передавати з рук в руки віхи, шпильки, рулетки, молотки, тощо.

Не наводити зорові труби на сонце.

Не виконувати роботи близько від транспортних артерій.

Не допускати пустощів в лабораторіях!

Не користуватися обладнанням, яке не стосується виконуваної лабораторної роботи.

Не переносити лабораторне обладнання з одного робочого місця на інше. Студенти, які порушують правила безпеки, не допускаються до виконання лабораторних робіт і підлягають перездачі цих правил.

Порушення правил техніки безпеки може привести до нещасних випадків. Суворо дотримуйтеся цих правил. Застерігайте від порушення правил техніки безпеки своїх товаришів.

Лабораторна робота № 1

Плани, карти, масштаби і їх точність, умовні знаки. Вимір на картах довжин ліній і побудова ліній заданої довжини з точністю, що відповідає точності масштабу.

Мета роботи: виробити навички кваліфіковано користуватися топографічними картами і планами, вивчити їхній зміст, закріпити навички виконання картометричних вимірів, необхідних для діяльності інженера-будівельника.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Діяльність інженера-будівельника пов'язана з розробленням і реалізацією проектів, основою яких служить продукція топографо-геодезичних робіт – топографічні карти, плани, профілі.

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

Для відображення фізичної поверхні Землі на площині карти виконують дві операції: проектування земної поверхні з її складним рельєфом на поверхню земного еліпсоїда та зображення поверхні еліпсоїда на площині за допомогою однієї з картографічних проекцій. Ці операції реалізують, керуючись основними положеннями математичної картографії.

Математична основа карти складається з сукупності математичних елементів, які визначають математичний зв'язок між картою і поверхнею, що відображається. Математичними елементами карти є масштаб, картографічні проекції, координатна сітка, а також елементи компонування й системи розграфлення. В зв'язку з тим, що масштаб карти змінюється не тільки від точки до точки, але й від точки по різних напрямках, розрізняють головний та частковий масштаб довжини й площі.

Головний є масштаб довжини – відношення, що показує, у скільки разів зменшені лінійні розміри моделі земного еліпсоїда при їх зображенні на карті. Він зберігається тільки в місцях карти, де немає спотворення довжини.

Координатна сітка – плоске зображення мережі ліній на земному еліпсоїді, що утворюється на карті відповідними лініями. Залежно від ліній, що її утворюють, координатна сітка є картографічною, прямокутною або кілометровою. Картографічна сітка є зображення меридіанів й паралелей на карті. Прямокутна сітка – це координатна сітка в системі плоских прямокутних координат у даній картографічній проекції. Кілометрова сітка – це координатна сітка, лінії якої проведені на карті через інтервали, що відповідають певному

числу кілометрів. Точки перетину ліній координатної сітки на карті називають вузловими точками.

Геодезична основа карти – це сукупність геодезичних даних для створення карти. Геодезичною основою карти є параметри прийнятої для картографування поверхні, система координат і визначені в цій системі координат опорних пунктів. Елементи komponування як математична основа карти зумовлюють границі картографічного зображення та взаємне розміщення його частин. Значні за розмірами території відображають на багатьох листах карт. Позначення кожного листа карти визначається його номенклатурою. Номенклатура в системі розграфлювання визначає чітко однозначну відповідність між листами карти та відповідної їм ділянки місцевості. Місцеположення й рамки листів карти та їх позначення вказують у збірних таблицях.

Картографічні проекції. В зв'язку з тим, що еліпсоїд неможливо проектувати на площину без спотворення, то для кожної карти характерно спотворення довжини, площ, кутів і форми. Картографічні проекції, які використовують для зображення земного еліпсоїда на площині карти, класифікують за такими ознаками: характер спотворення; вид допоміжної поверхні; орієнтування допоміжної поверхні; вид нормальної картографічної сітки; спосіб отримання та особливості користування.

За характером спотворення картографічні проекції розрізняють: рівновеликі, рівнокутні, рівнопроміжні та довільні. При рівновеликих проекціях відношення площ передається правильно, а спотворюються кути й форми. Для рівнокутних проекцій характерна відсутність спотворення кутів, масштаб довжини в будь-якій точці залишається однаковим по всіх напрямках, а значно спотворюються площі. В рівнопроміжних проекціях масштаб довжини по одному з головних напрямів є постійним, а спотворення кутів й площ – врівноважене. В довільних проекціях на картах у будь-яких відношеннях спотворюються кути й площі.

Топографічна карта — це зменшене узагальнене відображення земної поверхні, побудоване за зумовленими математичними закономірностями. Топографічні карти складають у рівнокутній поперечно-циліндричній проекції Гауса, яку обчислюють за елементами еліпсоїда Красовського, і в Балтійській системі висот. Положення будь-якої точки фізичної поверхні Землі визначають проекцією цієї точки на поверхні земного еліпсоїда (геодезичні або прямокутні координати). Ділянки місцевості на карті відображають у зменшеному вигляді. Для зображення на поверхні проекцій ділянок місцевості їх зменшують у відповідне число разів.

Масштаб – відношення довжини відрізка на плані або карті до відповідної йому горизонтальної проекції на місцевості.

Чисельний масштаб – це дріб, чисельник якого одиниця, а знаменник - число, яке вказує на показник зменшення при зображенні на карті або плані. Наприклад, масштаб плану 1:10 000 вказує, що горизонтальна проекція відрізка лінії місцевості зменшена на плані в 10 000 разів, тобто 1 см на плані відповідає

10 000 см на горизонтальній проекції місцевості. Чим менше знаменник чисельного масштабу, тим крупнішим вважається масштаб, і навпаки.

Топографічні плани масштабу 1:5 000 призначені для розроблення генеральних планів і проектів розміщення будівництва першої черги великих і середніх міст, а також для складання схем розміщення в них житлових і промислових районів, що проектуються; складання планів проектів інженерних споруд і проектів найскладніших вузлів при розробленні планування приміської зони; складання технічних проектів промислових і гірничодобувних підприємств; складання технічних проектів зрошування та осушування земель; камерального трасування автомобільних доріг в умовах складного рельєфу місцевості, на під'їздах до значних пунктів та в інших місцях зі складною ситуацією; проектування трас повітряних ліній електропередач у місцях перетину та зближення їх зі спорудами.

Топографічні плани масштабу 1:2 000 призначені для розроблення генеральних планів малих міст, селищ міського типу та сільських населених пунктів; складання проектів детального планування та ескізів забудови, проектів планування міських промислових районів, проектів найскладніших транспортних розв'язок у містах на стадії розроблення генеральних планів.

Топографічні плани масштабу 1:1 000 призначені для складання проекту та робочої документації забудови на незабудованій території або території з одноповерховою забудовою.

Топографічні плани масштабу 1:500 призначені для складання виконавчого генерального плану ділянки будівництва і робочої документації багатоповерхової капітальної забудови з густою мережею підземних комунікацій та промислових підприємств.

Лінійний масштаб – графік, на якому відкладено відрізки, що відповідають певним відстаням на місцевості, які називають основою масштабу. Основу лінійного масштабу вибирають таких розмірів, щоб вона в даному чисельному масштабі виражала ціле й кратне число метрів на проекції місцевості. Ліву крайню основу лінійного масштабу ділять на кілька рівних частин, щоб відповідала зручним для користування кратним числам метрів або їх частин. Для більшої точності побудови й вимірювання відрізків на плані або карті користуються поперечним масштабом.

Поперечний масштаб – це графічне зображення чисельного масштабу у вигляді номограми, що вигравіювана на металевій пластині або транспортірі. Для побудови поперечного масштабу на прямій лінії відкладають рівні відрізки, що їх приймають за основу масштабу. Ліву крайню основу, як правило, ділять на 10 рівних частин. Цю частину приймають за десятку основи (**n**). Із точок основ масштабу вгору відкладають перпендикуляри довжиною, що дорівнює довжині основи, які, як правило, ділять на десять рівних між собою відрізків. Верхній лівий крайній відрізок, що дорівнює довжині основи, також ділять на 10 частин. Кінець похилої лівої крайньої основи з'єднують лінією; з першим вліво від кінця верхнім лівим крайнім відрізком, що дорівнює 1/10 частини

основи. Паралельно до цієї лінії з'єднують другі відрізки за допомогою трансверсалей.

Найменше значення поділки поперечного масштабу дорівнює:

$$X = \delta / m \times n, \quad (1.1)$$

де δ – основа масштабу; n – число поділок на основі; m – число поділок висоти масштабу.

Довжину ліній між двома точками на карті можна визначити з різною точністю, використовуючи числовий, лінійний та поперечний масштаби, а також за допомогою курвіметра.

Наприклад

1. Потрібно визначити довжину лінії між точками 212,8 (6812) і 171,3 (6713) на карті У-34-37-Б-в-4 масштабу 1:10 000. Числовий масштаб карти 1:10 000. Отже, 1 см на карті відповідає 10 000 см або 100 м на місцевості. Горизонтальна проекція довжини лінії на місцевості

$$d = l \times m, \quad (1.2)$$

де l – довжина відрізка на карті, см; m – значення знаменника числового масштабу карти.

Довжина відрізка на карті між заданими точками дорівнює 10,4 см. Тоді довжина лінії на місцевості, що її знайшли за формулою 1.2, дорівнює

$$d = 10,4 \times 10\,000 = 104\,000 \text{ см} = 1040 \text{ м} = 1,04 \text{ км}.$$

Для прискорення переходу від вимірних довжин ліній на карті до відповідних відстаней на місцевості користуються лінійним і поперечним масштабами. Лінійний масштаб наведено на кожній топографічній карті. Потрібно визначити горизонтальну проекцію довжини ліній між точками 156,9 (6511) і 140,5 (6612). Для визначення горизонтальної проекції довжини лінії між заданими точками розмахом циркуля-вимірника охоплюють відстані на карті між точками 156,9 (6511) і 140,5 (6612). Потім за допомогою лінійного масштабу (рис. 1.1) обчислюють шукану величину, яка дорівнює 655 м. Якщо відстань на карті перебільшує розмір лінійного масштабу, тоді цю відстань слід поділити на складові, одна частина яких дорівнює відстані $d_1 = 1000$ метрів (розмір лінійного масштабу, який наведено внизу карти), а друга відповідає

розмаху циркуля-вимірника, який охоплює домір **d2**. У цьому випадку остаточно вимірювана відстань

$$d = d1 + d2 + 5 \text{ м.}$$

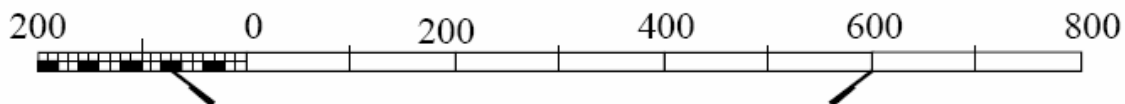


Рисунок 1.1- Визначення горизонтальної проекції довжини лінії за допомогою лінійного масштабу 1:10 000.

Для підвищення точності роботи на карті використовують поперечний масштаб (рис. 1.2), який дозволяє визначити відстань на карті або плані з точністю $\pm 0,1$ мм у масштабі карти.

Розмахом циркуля-вимірника, що дорівнює відрізка між двома точками на карті, встановлюють його на поперечному масштабі (рис.1.2) так, щоб права голка була розміщена на одній із вертикалей, а ліва – на одній із похилих ліній (трансверсалей) крайньої лівої основи. Обидві голки циркуля-вимірника повинні розміщуватись на одній горизонтальній лінії масштабу.

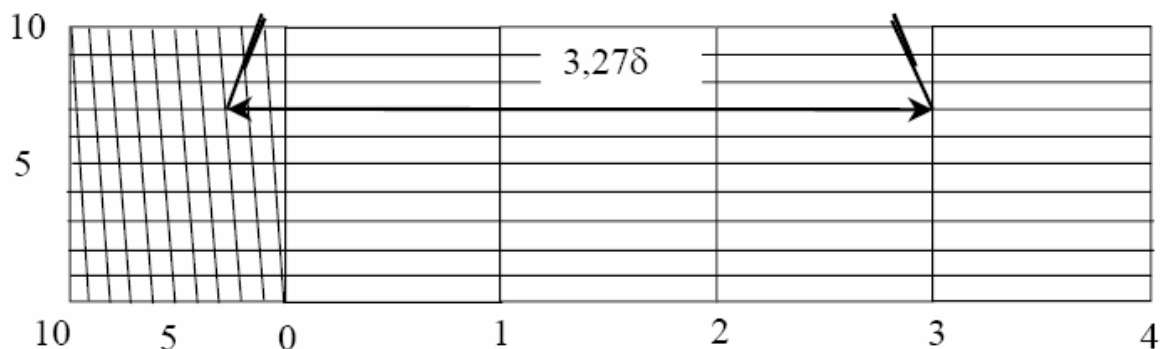


Рисунок 1.2 – Визначення горизонтальної проекції лінії за допомогою поперечного масштабу

Горизонтальна проекція лінії, яка обчислена за допомогою поперечного масштабу,

$$d = l \times \delta, \quad (1.3)$$

де l – довжина лінії на плані, см; δ – поділка основи поперечного масштабу. Для даного прикладу горизонтальна проекція довжини лінії на місцевості

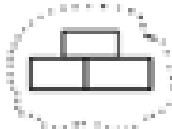
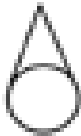
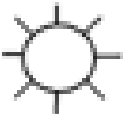
$$d = 3,27 \times 200 = 654 \text{ м.}$$

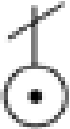
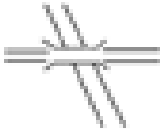
Довжину звивистих ліній (доріг, рік та ін.) визначають за допомогою курвіметра, який прокочують по звивистій лінії. Відліки знімають з точністю до 0,1 поділки шкали курвіметра. Вимірювання виконують двічі й обчислюють

значення кількості поділок курвіметра. Середнє значення множать на ціну поділки в масштабі й отримують довжину лінії.

Умовні позначення на топографічних планах і картах

Споруди і штучні споруди

Умовний знак	Значення	Умовний знак	Значення
	Житлові будови, масштабні		Житлові будови, немасштабні
	Зруйновані будови, масштабні		Зруйновані будови, немасштабні
	Постійні стоянки юрт, чумів		Будинок лісника
	Пасіка		Торфорозробки масштабні
	Торфорозробки немасштабні		Радіо- і телевізійні вежі
	Вежа легкого типу		Водяний млин, лісопилка
	Вітряний млин		Метеостанція
	Геодезичний пункт		Церква

	Каплиця		Кладовища масштабні
	Кладовища немасштабні		Пам'ятники на братських могилах
	Пам'ятник		Мазари, субкургани, (мусульманські могили)
	Колодязь		Колодязь із вітряним двигуном
	Колодязь з журавлем		Джерело (ключ, джерело)
	Межі державних заповідників		Кам'яні цегляні стіни і металеві загорожі
	Лінії електропередач на дерев'яних опорах		Лінії електропередач на металевих або залізобетонних опорах
	Залізниці двохшляхові		Броди (у чисельнику – глибина броду в м, в знаменнику – якість дна)
	Шосе з мостом		Шосе з трубою
	Перевал на шосе		Дорога ґрунтова



Лісова дорога



Стежка



Квартальна просіка



Візирка



Зимова дорога

Рослинність



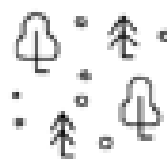
Вузька смуга лісу (2-ср висота в м)



Чагарник



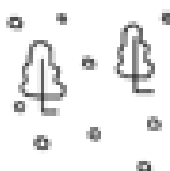
Фруктовий сад



Змішаний ліс



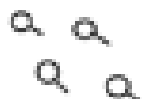
Хвойний ліс



Листяний ліс



Хвойне дерево, що окремо стоїть



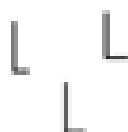
Рідкісний ліс



Бурелом



Ліс горілий, сухостійний



Ліс вирубаний



Луки з рослинністю нижче 1 м



Висока трава



Очеретяні зарослі

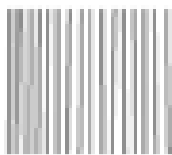
Рельєф



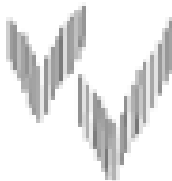
Болота непрохідні



Болота прохідні



Солончаки непрохідні



Солончаки прохідні



Струмок, річка ширше 5 м



Кулуар



Струмок, річка вужче 5 м



Горизонталі основні



Вхід у печеру, грот



Напівгоризонталі



Камені окремі



Скупчення каменів



Курган або горб
масштабні



Кургани немасштабні



Обриви масштабні



Обриви, баранячі лоби



Ями масштабні



Ями немасштабні



Карниз скельний



Карниз сніговий

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: копія топографічного плану, бланк завдань, масштабна лінійка, вимірник, курвіметр, індивідуальний варіант вихідних даних, які розраховує студент за наведеними у завданні залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для виконання цього завдання необхідно мати чітке уявлення про масштаби і їх графічну точність. Як технічні засоби виміру ліній на картах і планах застосовують масштабну лінійку і вимірник. Масштабна лінійка – це тверда основа (металева пластина) з нанесеною поперечною шкалою (рис. 1.3). Ця шкала утворена поділками, довжини яких дорівнюють a , $a/10$, $a/100$. Поділки довжиною $a/100$ є основами десяти подібних трикутників. Найбільше застосовують шкали з $a = 20$ мм.

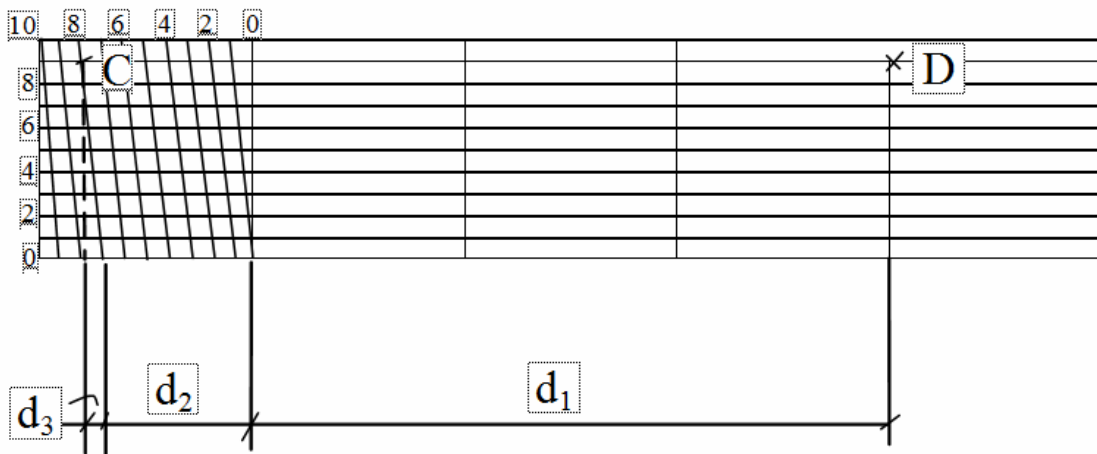


Рисунок 1.3- Шкала масштабної лінійки

Завдання 1. Виміряти довжини ліній.

Для виміру довжини лінії треба вимірником перенести цю лінію на поперечну шкалу так, щоб права голка вимірника знаходилася на перпендикулярі, а ліва – на похилій лінії. Потім слід підрахувати n_1 – число поділок a , n_2 – число поділок $a/10$, n_3 – число поділок $a/100$.

Довжину лінії плану визначаємо за формулою

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + = n_1 \cdot a + n_2 \cdot \frac{a}{10} + n_3 \cdot \frac{a}{100}.$$

Довжину відповідної горизонтальної лінії місцевості, отриманої за планом масштабу 1:М, визначаємо за формулою

$$d = n_1 \cdot Ma + n_2 \cdot M \frac{a}{10} + n_3 \cdot M \frac{a}{100}.$$

Наприклад, довжина лінії CD (рис.1.3) у масштабі 1:2 000 дорівнює

$$d = 3 \cdot 40 + 7 \cdot 4 + 9 \cdot 0.4 = 151.6 \text{ м.}$$

Підрахунки варто виконувати усно. Для цього необхідно використовувати таблицю значень розподілів шкали в конкретному масштабі (табл.1.1).

Таблиця 1.1. Значення розподілів шкали масштабної лінійки

1: М	Ma, м	$M \frac{a}{10}$, м	$M \frac{a}{100}$, м
1:500	10	1	0,10
1:1000	20	2	0,20
1:2000	40	4	0,40
1:5000	100	10	1,00
1:10000	200	20	2,00

Завдання 2. Побудувати лінії заданої довжини.

При побудові лінії заданої довжини в масштабі 1:М необхідно по масштабній лінійці отримати розхил вимірника у вигляді відповідного набору поділок шкали, ціле число яких обчислити послідовно:

$$n_1 = d : Ma;$$

$$n_2 = (d - n_1 \cdot Ma) : M \cdot \frac{a}{10};$$

$$n_3 = (d - n_1 \cdot Ma - n_2 \cdot M \cdot \frac{a}{10}) : M \cdot \frac{a}{100}.$$

Відрізок лінії відкласти вимірником; кінцеві точки лінії треба позначити наколом голки вимірника у кружку діаметром 1,5 мм.

Приклад. При побудові лінії довжиною 73,33 м у масштабі 1:М поділки шкали масштабної лінійки мають довжину на місцевості

$$Ma = 20 \text{ м}, M \cdot \frac{a}{10} = 2 \text{ м}, M \cdot \frac{a}{100} = 0.2 \text{ м},$$

$$n_1 = 73.33 : 20 = 3;$$

$$n_2 = (73.33 - 3 \cdot 20) : 2 = 6;$$

$$n_3 = (73.33 - 3 \cdot 20 - 6 \cdot 2) = 6.5.$$

Потрібно побудувати лінії в різних масштабах, вихідні довжини яких обчислити за формулою, зазначеною в бланку. Лінії варто будувати на рядку, де вказаний масштаб, сполучаючи ліву голку вимірника з нульовою позачкою.

Звітний матеріал. Після виконання завдання студент повинен подати заповнений бланк. Отримані цифрові й графічні дані записати в бланк завдання стандартним шрифтом, лініями товщиною 0,2 - 0,3 мм. Слід пам'ятати, що виміри по карті, плану слід виконувати старанно, щоб точність отриманих результатів відповідала точності масштабу. З цією метою точку на плані позначити наколом, діаметр якого не перевищує 0,2 мм, облямованим кружком діаметром 1,5 мм, лінії провести товщиною 0,3-0,2 мм. Не рекомендується бланк завдання згортати і т.п.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають топографічною картою і топографічним планом?
2. Що називають масштабом карти, точністю масштабу карти?
3. Як використовувати шкалу масштабної лінійки при вимірюванні довжин ліній плану і побудови ліній заданої довжини?
4. Що розуміють під номенклатурою карт і планів?
5. Визначте масштаб і номенклатуру аркушів карти, суміжних із листом, що має номенклатуру М-37-143-В-в.
6. Яку величину (в мм) приймати за граничну графічну точність побудови на планах і картах?
7. Які математичні моделі планети Земля розглядають в геодезії?
8. Визначте чисельний масштаб плану у вигляді дробу 1:М, якщо довжина горизонтального прокладення лінії на місцевості дорівнює $d_m=134,5\text{м}$, а на плані – відповідно $d_{пл}=2,70\text{см}$.
9. Лінії на місцевості довжиною 70,00 і 100,00 м виміряні з відносними похибками відповідно 1:2000, 1:5000. Яка з ліній виміряна найточніше?
10. Які поправки уводять у довжину лінії, виміряну на місцевості стрічкою або рулеткою? Наведіть формули і поясніть їх.
11. З якою точністю можна виміряти довжину лінії мірною стрічкою в міських умовах?
12. Чому дорівнює похибка виміру лінії довжиною 120,00 м, якщо її відносна похибка становить 1:2000?
13. Визначте графічну точність (м) карти масштабу 1:25000.

Лабораторна робота № 2

Картометричні роботи: Визначення географічних координат точки, вимірювання прямокутних координат точки. Вимірювання дирекційних кутів і румб вказаних напрямків.

Мета роботи: виробити навички кваліфіковано вимірювати прямокутні координати точки та її побудову за координатами; вимірювати дирекційний кут напрямку лінії та будувати напрям лінії за дирекційним кутом за допомогою геодезичного транспортира.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

В географічній системі координат за початок відліку прийнято площину екватора земного еліпсоїда і Грінвіцького меридіана. Географічні координати точки 153,8 (6512), а саме, її широту L знаходять, використовуючи мінутну рамку, на якій крім поділок кутових хвилин нанесено точками 10-секундні поділки (рис. 2.1).

Через точку 153,8 (6512) проводять лінію B , паралельну нижній стороні рамки карти, і дійсний меридіан L , паралельний вертикальній стороні рамки карти (рис. 2.1). Від заданої точки 153,8 (6512) на південь і захід проводять кратні 10 секундам паралель B_1 та меридіан L_1 . З точки 153,8 (6512) опускають перпендикуляри і вимірюють відрізки ΔB та ΔL .

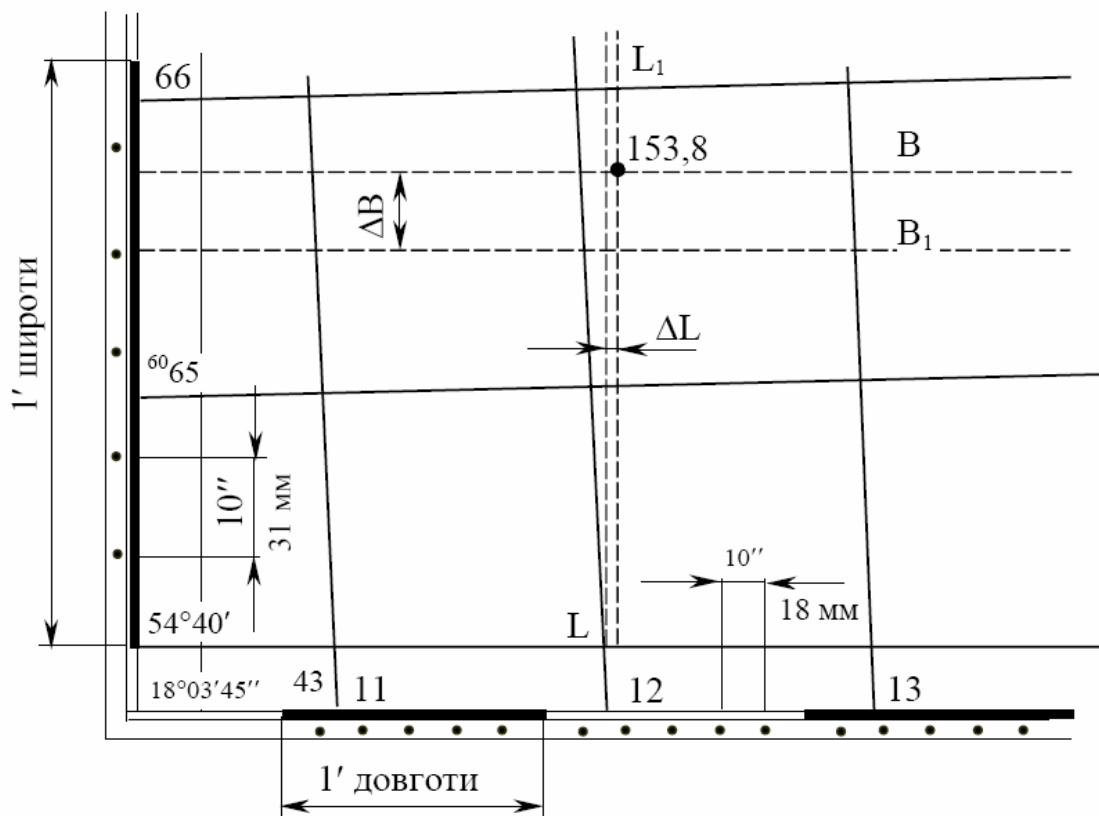


Рисунок 2.1- Визначення географічних координат точки

Широта точки 153,8 (6512)

$$B = B1 + \Delta B * 10'' / a, \quad (2.1)$$

де **B1** – широта південної паралелі, проведеної через 10-секундний інтервал, градуси, кутові мінути і десятки секунд; ΔB – довжина перпендикуляра – приріст широти від проведеної на південь від точки паралелі, мм; **a** – довжина 10-секундної поділки широти, мм.

Довгота точки 153,8 (6512)

$$L = L1 + \Delta L * 10'' / b, \quad (2.2)$$

де **L1** – довгота західного меридіана, проведеного через 10-секундний інтервал, градуси, кутові мінути і десятки секунд; ΔL – довжина перпендикуляра – приріст від проведеного на захід від точки меридіана, мм; **b** – 10-секундна поділка довготи, мм.

Довжину перпендикулярів ΔB , ΔL та 10-секундних поділок широти і довготи вимірюють за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки з точністю до +1 мм у масштабі плану.

Шукані географічні координати точки 153,8 (6512): широта **B** = 54°40'40" + 30 * 10" / 31 = 54°40'50"; довгота **L** = 18°05'10" + 6 * 10" / 8 = 18°05'18".

Обчислення прямокутних координат точки

Для обчислення прямокутних координат точки 153,8 (6512) знаходять квадрат, окреслений лініями координатної кілометрової сітки, в якому розташована точка (рис. 2.2).

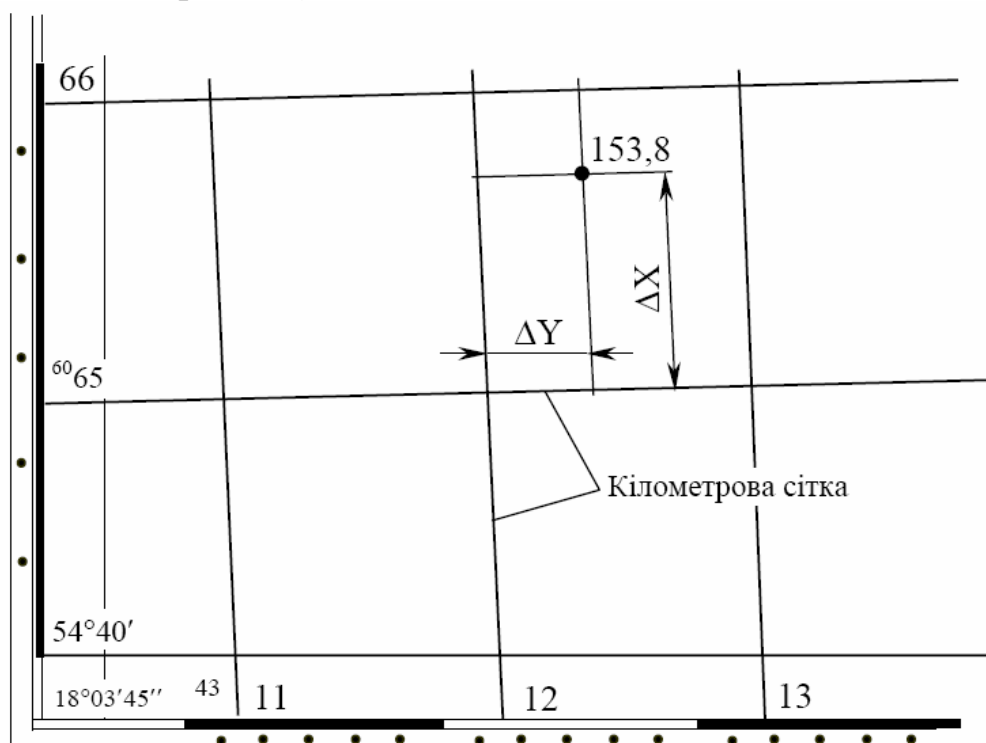


Рисунок 2.2- Визначення прямокутних координат точки

З точки 153,8 (6512) опускають перпендикуляри ΔX та ΔY на лінії координатної кілометрової сітки і за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки обчислюють їх довжину на місцевості.

Прямокутні координати точки

$$X = X_k + \Delta X; \quad (2.3)$$

$$Y = Y_k + \Delta Y, \quad (2.4)$$

де X_k, Y_k – координати південно-західного кута квадрата кілометрової сітки, в якому розміщена точка, м; $\Delta X, \Delta Y$ – довжина перпендикулярів, м.

Шукані прямокутні координати точки 153,8 (6512):

абсциса $X = 6\,065\,000 + 665 = 6\,065\,665$ м;

ордината $Y = 4\,312\,000 + 142 = 4\,312\,142$ м.

Це означає, що точка 153,8 (6512) знаходиться в четвертій зоні на північ від екватора на 6 065 565 м, віддалена на захід від осового меридіана на 312 142 – 500 000 = 187 858 м.

Нанесення на карту пункту за відомими координатами

Задачі розв'язують, використовуючи географічну і прямокутну системи координат, які існують на топографічних картах. Вихідні дані для нанесення пункту на карту – географічні (B, L) і прямокутні (X, Y) координати.

1. Наприклад, потрібно нанести на карту пункт з географічними координатами $B = 54^\circ 41' 27''$ та $L = 18^\circ 06' 04''$.

Спочатку знаходять приблизне місце розташування пункту на карті. Для цього значення географічних координат закруглюють до цілих десятків секунд ($B = 54^\circ 41' 20''$ та $L = 18^\circ 06' 00''$). Користуючись мінутною сіткою і 10-секундними інтервалами на рамці топографічної карти, на карту наносять приблизне місце розташування пункту з точністю до $10''$. З'єднують прямими лініями однойменні значення закруглених 10-секундних інтервалів.

Відстань по меридіану від пункту з відомими географічними координатами до ближньої південної паралелі, прокресленої через 10-секундний інтервал,

$$\Delta B = a \times (B - B_1) / 10'', \quad (2.5)$$

де B – широта заданого пункту, градуси, мінути, секунди; B_1 – широта південної паралелі, проведеної через інтервал $10''$, градуси, мінути, десятки секунд; a – довжина відрізка на карті, що відповідає інтервалу $10''$ по широті, мм; $a = 31$ мм;

$$\Delta B = 31 (54^\circ 41' 27'' - 54^\circ 41' 20'') / 10'' = 21,7 \text{ мм.}$$

Відстань по паралелі від пункту з відомими координатами до найближчого західного меридіана, мм,

$$\Delta L = b (L - L_1) / 10'', \quad (2.6)$$

де L – довгота заданого пункту, градуси, мінути, секунди; L_1 – довгота західного меридіана, який проведено через інтервал $10''$, градуси, мінути,

десятки секунд; **b** – довжина відрізка на карті, що відповідає інтервалу 10" по довготі, мм; **b** = 18 мм;

$$\Delta L = 18(18^{\circ}06'04'' - 18^{\circ}06'00'') / 10'' = 7,2 \text{ мм.}$$

За допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки від широти південної паралелі, проведеної через інтервал 10", відкладають у масштабі карти відрізок ΔB , а від довготи західного меридіана, проведеного через інтервал 10", – відрізок ΔL . В точці перетину цих відрізків на карті отримують місце розташування шуканого пункту з відомими географічними координатами.

2. Наприклад, потрібно нанести на карту пункт з прямокутними координатами $X = 6\,065\,585$ м, та $Y = 4\,311\,890$ м. За цілими значеннями (км) прямокутних координат ($X = 6065$ та $Y = 4311$) установлюють квадрат кілометрової сітки, в якому розміщено шуканий пункт (6511). Обчислюють різницю між відомими прямокутними координатами (X , Y) і найближчими значеннями координат південно-західного кута квадрата (6511) координатної кілометрової сітки (X_0 , Y_0), в якому розміщено шуканий пункт,

$$\Delta X = X - X_0, \quad (2.7)$$

$$\Delta Y = Y - Y_0, \quad (2.8)$$

де ΔX , ΔY – різниці між координатами відповідно по осі абсцис і осі ординат, м:

$$\Delta X = 6\,065\,585 - 6\,065\,000 = 585 \text{ м;}$$

$$\Delta Y = 4\,311\,890 - 4\,311\,000 = 890 \text{ м.}$$

За допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки в квадраті (6511) на його південній і північній сторонах від західної абсциси відкладають відрізок ΔY , а на західній і східній сторонах від південної і північної ординат – відрізок ΔX . Через отримані точки проводять прямі лінії. В перетині ліній отримують місце розташування шуканого пункту з відомими прямокутними координатами.

Обчислення дирекційного кута і румба заданого напрямку

Напрямок на місцевості або карті обчислюють відносно початкового напрямку, за який приймають справжній (географічний) і магнітний меридіани, осьовий меридіан зони або лінію, паралельну йому. Залежно від прийнятого початкового напрямку положення лінії на карті встановлюють за допомогою справжнього або магнітного азимутів, румба і дирекційного кута. Залежність між дирекційними кутами і румбами зображена на рисунку 2.3.

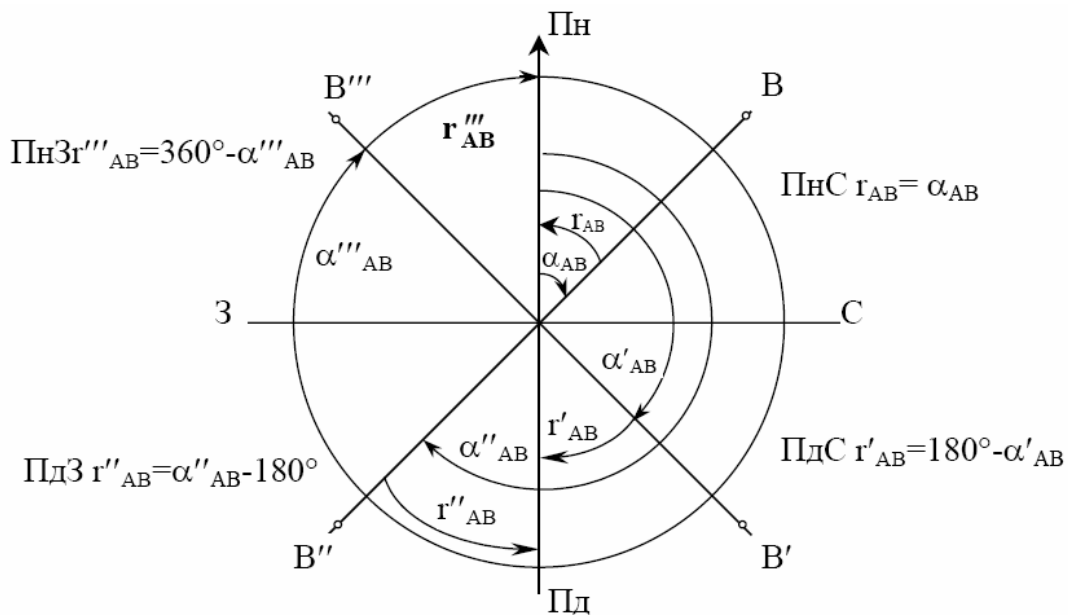


Рисунок 2.3- Залежність між дирекційними кутами та румбами

Справжні магнітні азимути, дирекційні кути і румби напрямів обчислюють аналітично і графічно за допомогою геодезичного транспортира, використовуючи інформацію, наведену на карті. Потрібно обчислити дирекційний кут і румб з точки 153,8 (6512) на джерело з позначкою 144,3 (6513). Суть аналітичного способу обчислення дирекційного кута така. За відомими координатами точок (X1, Y1) та (X2, Y2) обчислюють тангенс румба

$$\text{tg } r_{12} = (Y2 - Y1) / (X2 - X1) = \Delta Y / \Delta X, \quad (2.9)$$

$$\text{tg } r_{12} = \frac{4313400 - 4312142}{6065080 - 6065665} = \frac{+1258}{-585} = 2,15.$$

За знаками приростів координат ΔY та ΔX та за значенням $\arctg(\Delta Y/\Delta X)$ визначають напрямок та значення r_{12} . Для наведеного прикладу – це ПдС* r_{12} :65004/. Дирекційний кут заданого напрямку: $\alpha_{12} = 180^\circ - r_{12} = 180^\circ - 65^\circ 04' = 114^\circ 56'$.

При графічному способі дирекційний кут вимірюють безпосередньо на карті за допомогою транспортира. Для цього через точку 153,8 (6512) проводять лінію **AB**, паралельну кілометровій сітці (рис. 2.4). Прикладають до точки 153,8 (6512) нуль транспортира і суміщають його нульовий діаметр з проведеною лінією **AB**. За ходом стрілки годинника від північного напрямку лінії **AB** відлічують дирекційний кут α_{AB} . Якщо напрям лежить у третій і четвертій чвертях, то до відліку за транспортиром додають 180° . Дирекційний кут шуканого напрямку дорівнює $\alpha_{AB} = 115^\circ$, а румб ПдС:65°.

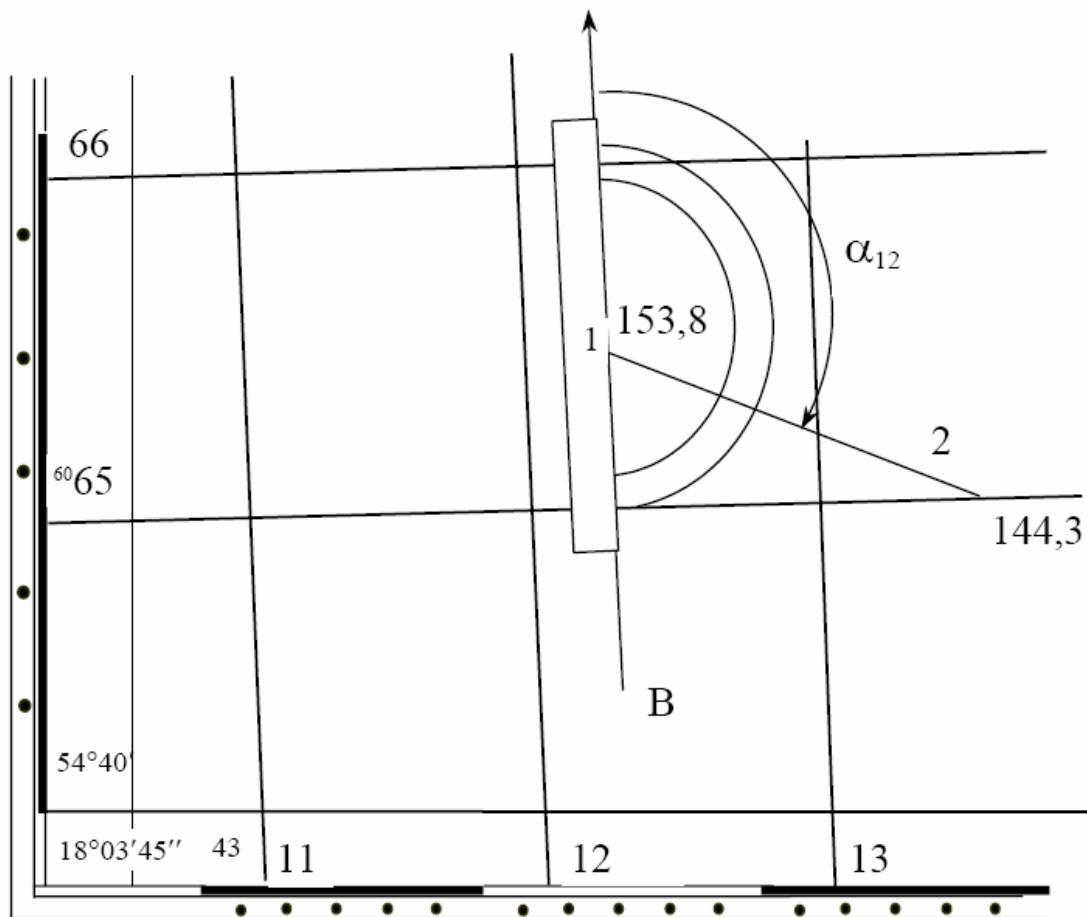


Рисунок 2.4- Визначення дирекційного кута графічним способом

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: копія топографічного плану, бланк завдань, індивідуальний варіант вихідних даних, які розраховує студент за наведеними у завданні залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача, транспортер, масштабна лінійка і вимірник.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для виміру координат точок і побудови точок за відомими координатами наносять на план через рівні проміжки (10 см) лінії, рівнобіжні координатним осям, використовуючи однойменні протилежні позначки координатних ліній за рамкою плану. Ці лінії утворюють координатну сітку квадратів. Абсциси ліній, рівнобіжні осі ординат, зазначені за східною і західною рамками плану; ординати ліній, рівнобіжні осі абсцис, зазначені за північною і південною рамками плану. За цими даними можна прочитати координати точок перетину координатних ліній (рис. 2.5).

Завдання 1. Виміряти на плані прямокутні координати точок.

Для отримання координат точки досить виміряти за допомогою вимірника і масштабної лінійки найкоротші відстані від точки до південної і західної сторін квадрата, в якому розташована точка, тобто відрізки $\Delta X_{kp}, \Delta Y_{kp}$ в масштабі плану (рис.1.2), тоді

$$X_P = X_K + \Delta X_{kp};$$

$$Y_P = Y_K + \Delta Y_{kp}.$$

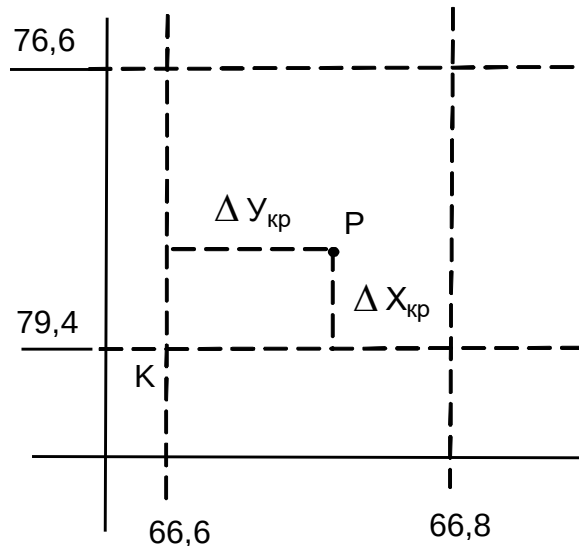


Рисунок 2.5- Схема виміру прямокутних координат точки Р

Приклад. Результати виміру:

$$X_K = 79.4\text{км} = 79400\text{м}, Y_K = 66.6\text{км} = 66600\text{м},$$

$$\Delta X_{KP} = 86.4\text{м}, \Delta Y_{KP} = 134.8\text{м}.$$

Тоді

$$X_P = 79400 + 86.4 = 79486\text{м};$$

$$Y_P = 66600 + 134.8 = 66734.8\text{м}.$$

Завдання 2. Побудувати на плані точку за прямокутними координатами.

Для побудови на плані точки P , координати якої відомі, необхідно за цими координатами спочатку знайти квадрат, в якому розташовується дана точка. Від південної сторони квадрата на західній і східній його сторонах за допомогою вимірника і масштабної лінійки відкласти відрізок

$$\Delta X_{KP} = X_P - X_K,$$

де X_K – абсциса південно-західного кута квадрата (рис.2.6).

Потім від отриманої допоміжної точки L на західній лінії слід відкласти відрізок

$$\Delta Y_{KP} = Y_P - Y_K,$$

де Y_K – ордината південно-західного кута.

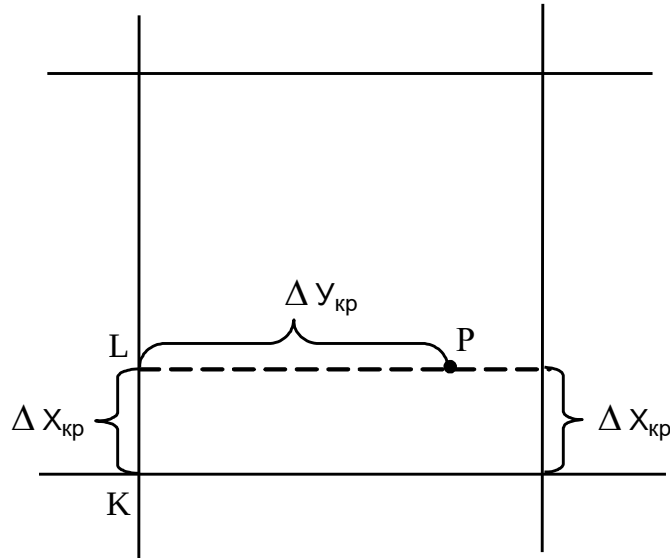


Рисунок 2.6- Схема побудови точки P за координатами

Вимір дирекційного кута напрямку лінії і побудова напрямку лінії за дирекційним кутом

Дирекційні кути вимірюють і будують на плані за допомогою геодезичного транспортера з точністю $\pm 5' \div 10'$.

Завдання 3. Виміряти на плані дирекційний кут напрямку лінії AB

Через точку A треба провести лінію, рівнобіжну осі абсцис, тобто рівнобіжну лініям координатної сітки. У точці A (рис.2.7) необхідно виміряти кут від північного напрямку проведеної лінії абсцис до напрямку на точку B за годинниковою стрілкою.

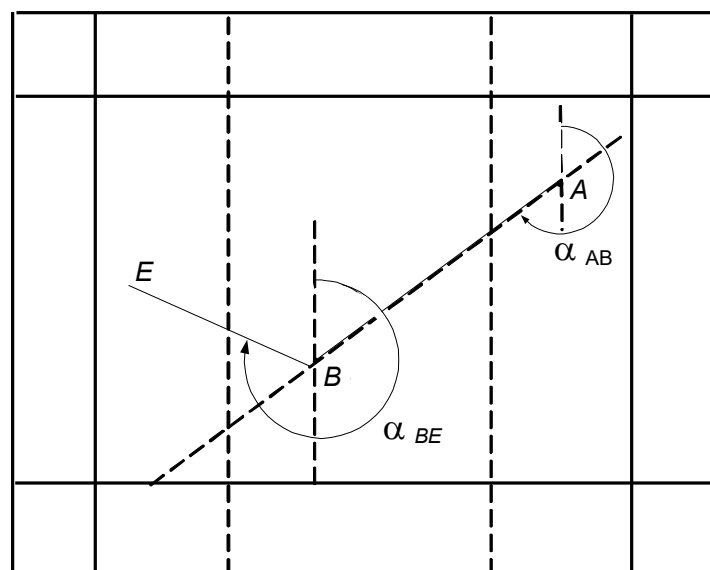


Рисунок 2.7- Схема виміру і побудови дирекційного кута

Завдання 4. Побудувати на плані дирекційний кут напрямку BE лінії.

Для побудови дирекційного кута в точці B потрібно через неї провести лінію, рівнобіжну осі абсцис. Від північного напрямку цієї лінії відкласти за допомогою транспортира значення дирекційного кута α_{BE} . З'єднуючи точку B з позначкою E , отримують напрямок лінії із заданим дирекційним кутом.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають дирекційним кутом заданого напрямку лінії на плані?
2. Чому дорівнює дирекційний кут наступної лінії, якщо відомий дирекційний кут попередньої лінії і кут між цими лініями?
3. Що називають горизонталлю, висотою перерізу рельєфу, закладенням між горизонталями? Назвіть властивості горизонталей.
4. Що називають висотою точки і перевищенням однієї точки над іншою?
5. Як визначити висоту точки плану по горизонталях?
6. Чим характеризується крутість лінії місцевості?
7. Як знайти в точці плану напрямок лінії за заданим ухилом по горизонталях?
8. Як визначити напрямок схилу в заданій точці плану?
9. Як побудувати вододільну лінію для заданої точки плану?
10. Опишіть профіль земної поверхні за заданою лінією плану.
11. Які частини має полярний планіметр?
12. Який принцип роботи полярного планіметра?
13. Як визначити полярним планіметром площу контуру плану?
14. Як провести на плані з горизонталями лінію заданого ухилу?
15. Як провести через задану точку лінію найбільшої і найменшої крутості?

Лабораторна робота № 3

Вимірювання площ на картах.

Мета роботи: навчитися обраховувати площі різними способами, які необхідні у діяльності інженера-будівельника.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Вимірювання площ за планом або картою

Для вирішення багатьох інженерних завдань потрібно знати площі ділянок місцевості. Ці площі можуть бути зміряні за планом або картою графічним, аналітичним і механічним способами або їх комбінаціями. Слід мати на увазі, що за планами (картами) площа визначається з меншою точністю, ніж за наслідками безпосередніх вимірювань на місцевості. При цьому на точність визначення площ, окрім похибок вимірювань на місцевості, роблять вплив похибки побудови плану (карти) і вимірювань на них, а також деформація паперу.

Графічний спосіб визначення площ. Для визначення площ невеликих ділянок за планом або картою застосовують графічний спосіб з розбиттям ділянки на геометричні фігури (рис. 3.1) або за допомогою палеток.

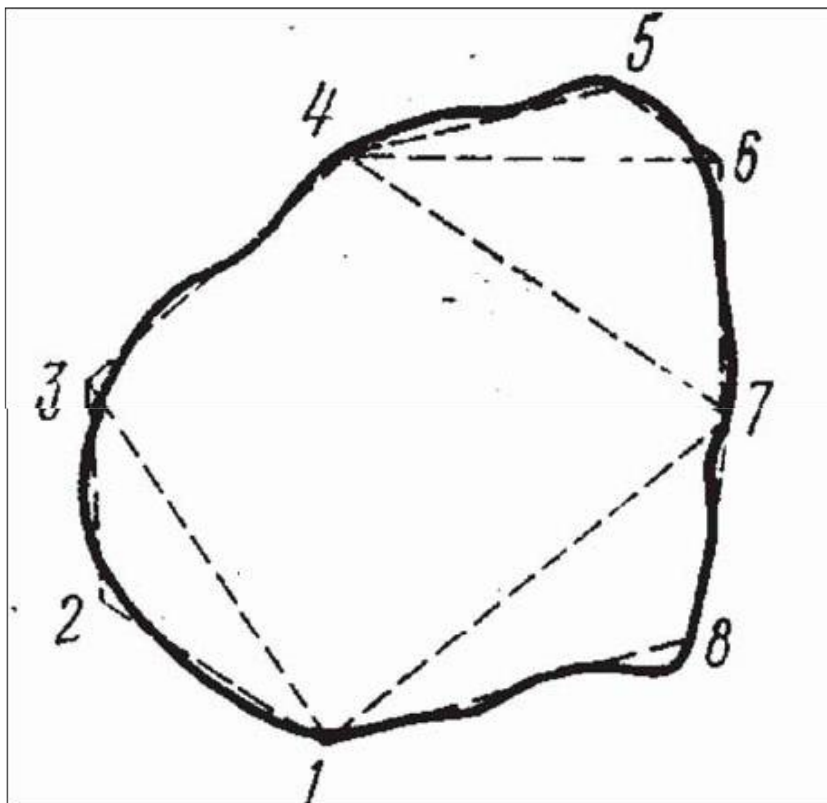


Рисунок 3.1- Спосіб визначення площі з розбиттям ділянки на геометричні фігури

У першому випадку шукану площу невеликої (до 10—15 см² в плані) ділянки розбивають на прості геометричні фігури: трикутники, прямокутники,

трапеції. При криволінійному контурі ділянки його розбиття на геометричні фігури виконують з таким розрахунком, щоб сторони фігур в міру можливості ближче співпадали з цим контуром. Потім на плані (карті) вимірюють відповідні елементи фігур і за геометричними формулами обчислюють площі цих фігур. Площу всієї ділянки визначають як суму площ окремих фігур.

Точність визначення площі в даному випадку багато в чому залежить від масштабу плану (карти): чим менший масштаб, тим з меншою точністю вимірюється площа. Оскільки графічна похибка лінійних вимірювань на плані ($t_{гр}=0,2$ мм) не залежить від довжини відрізків, то відносна похибка короткої лінії буде більша, ніж довгої. Тому задану ділянку слід розбивати на фігури великих розмірів з приблизно однаковими довжинами. Для контролю й підвищення точності площу ділянки визначають двічі, для чого будують нові геометричні фігури або в трикутниках вимірюють інші основи і висоти. Відносна розбіжність у результатах двократних визначень загальної площі ділянки не повинна перевищувати 1 :200.

Визначення площ (до $2-3 \text{ см}^2$) ділянок із різко вираженими криволінійними межами рекомендується проводити за допомогою *квадратної палетки*. Палетка є (рис. 3.2а) листом прозорої основи, на яку нанесено сітку квадратів із сторонами 1- 5 мм. Знаючи довжину сторін і масштаб плану, легко обчислити площу квадрата палетки s .

Для визначення площі ділянки палетку довільно накладають на план і підраховують число N_1 повних квадратів, розташованих усередині контуру ділянки. Потім оцінюють на око число квадратів N_2 , що складається з неповних квадратів біля кордонів ділянки. Тоді загальна площа вимірюваної ділянки

$$S = s (N_1 + N_2). \quad (3.1)$$

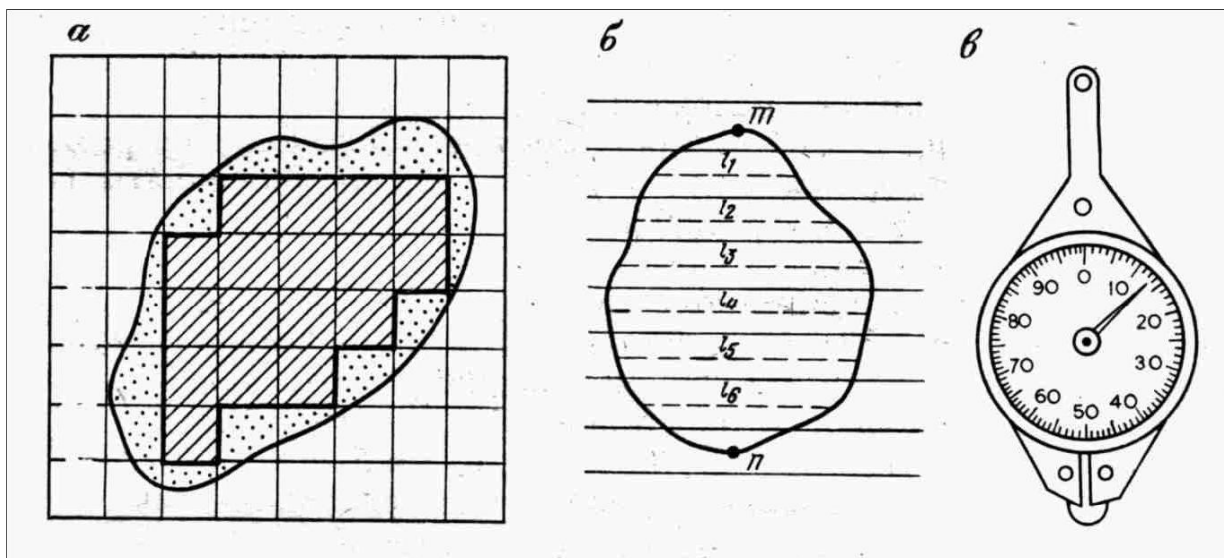


Рисунок 3.2- Способи визначення площ за допомогою палеток: а – квадратною, б – лінійною, в – курвіметр

Для контролю площу заданої ділянки вимірюють повторно, розгорнувши палетку приблизно на 45° . Відносна похибка визначення площі палеткою складає 1:50–1:100. При визначенні площ до 10 см^2 можна використовувати *паралельну* (лінійну) *палетку* (рис. 3.2б), що є листом прозорої основи, на якій через рівні проміжки $a = 2\text{--}5 \text{ мм}$ нанесено ряд паралельних ліній.

Палетку накладати на задану ділянку так, щоб крайні точки m і n контуру розмістилися посередині між паралельними лініями палетки. В результаті вимірювана площа виявиться розчленованою на фігури, близькі до трапецій з рівними висотами. При цьому відрізки паралельних ліній усередині контуру є середніми лініями трапеції. Отже, для визначення площі ділянки за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки потрібно зміряти довжини середніх ліній трапецій $l_1, l_2, \dots, l_n$ і їх суму помножити на відстань між лініями з урахуванням масштабу плану, тобто

$$S = a(l_1 + l_2 + \dots + l_n) = a \sum_{i=1}^n l_i.$$

Сумарну довжину відрізків можна заміряти за допомогою *курвіметра* (рис. 3.2в) – приладу для вимірювання довжин ліній на плані (карті). Для цього колесо курвіметра послідовно прокатують по вимірюваних лініях і за різницею початкового і кінцевого відліків на циферблаті визначають сумарну довжину відрізків у сантиметрах плану. Для контролю вимірюють площу при другому положенні палетки, розгорнувши її на $60\text{--}90^\circ$ щодо початкового положення.

Механічний спосіб виміру площ контурів на картах і планах – це *полярний планіметр*.

В інженерній практиці для визначення площ досить великих ділянок за планами або картами найчастіше застосовують механічний спосіб, заснований на використанні спеціального приладу – *планіметра*. Конструкція планіметра вперше була запропонована в 1856 р. одночасно швейцарцем Амслером і механіком А. Н. Зарубіним. З численних конструкцій планіметрів у даний час найбільшого поширення набули полярні планіметри типів ПП-2К (конструкції МПЗ) і ПП-М.

Основні частини полярного планіметра (рис.3.3): полюс 1, виконаний у вигляді голки з вантажем; полюсний важіль 2; обвідна точка 3, виконана у вигляді голки або точки на скляному колі; обвідний важіль 4; шарнір 5; рахунковий механізм 6. Рахунковий механізм (рис.3.4) містить робоче колесо (РК), лічильник оборотів (З) робочого колеса, верньєр (У) – відлікову шкалу.

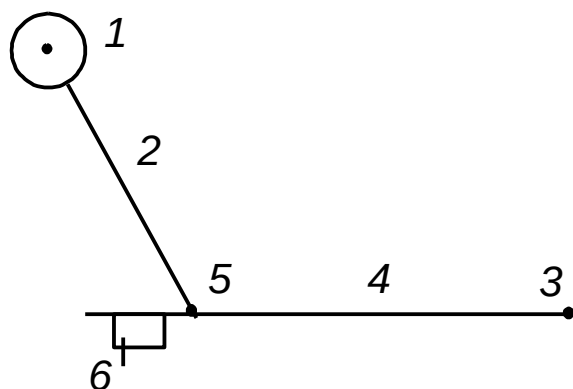


Рисунок 3.3- Принципова схема полярного планіметра

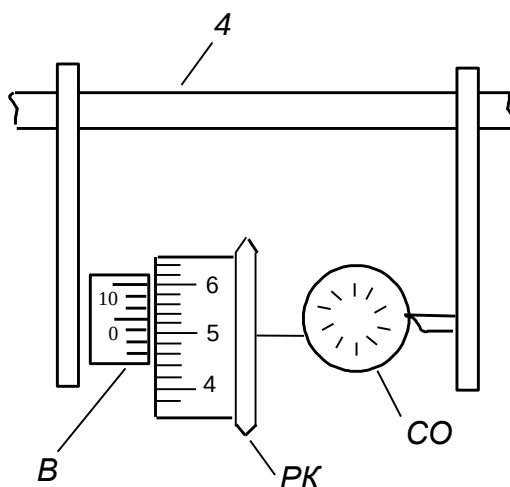


Рисунок 3.4- Рахунковий механізм полярного планіметра

Принцип роботи полярного планіметра такий. Під час роботи полюс фіксується в обраній точці плану чи карти, навколо полюса обертаються всі інші частини приладу. Обвідну точку переміщують по контуру від обраної початкової точки до цієї ж точки, що служить кінцевою. У початковій точці обведення беруть відлік U_1 за рахунковим механізмом, а після обведення – відлік U_2 у кінцевій точці. Різниця двох відліків $\Delta U_{1,2}$ використовується для обчислення площі контура.

Робота полярного планіметра заснована на фрикційному принципі. За рахунок сил тертя об папір (план чи карту) основний чуттєвий елемент планіметра – робоче колесо, що спирається на папір, залежно від напрямку руху обвідного важеля може обертатися і не обертатися (ковзати по паперу) чи обертатися і ковзати одночасно.

Відлік за рахунковим механізмом – чотиризначне число – беруть у тисячних частках обводу робочого колеса: перша цифра – значення штриха З; попереднього індексу З; наступних двох цифр – значення штриха РК, що передує нульовому індексу верньєра; четверта цифра – значення штриха

верньєра, що збігається з яким-небудь штрихом робочого колеса, наприклад, $U = 5437$.

Пристрій полярного планіметра. Полярний планіметр ПП-м (рис. 3.5а) складається з двох важелів — полюсного 1 і обвідного 4. У нижній частині вантажу 2, закріпленого на одному з кінців полюсного важеля, є голка — полюс планіметра. На другому кінці полюсного важеля знаходиться штифт з кулястою головкою, що вставляється в гніздо 5 кареток 6 обвідного важеля. На кінці обвідного важеля є лінза 3, на якій нанесено коло з обвідною крапкою в центрі. Каретка 6 має рахунковий механізм (рис. 3.5б), який складається з рахункового колеса 8 і лічильника 7 цілих оборотів рахункового колеса. Для звітів по рахунковому колесу є спеціальний пристрій — верньєр 9. При обводі контуру ділянки обвідною точкою лінзи 3 обідок рахункового колеса і ролик 11 котяться або ковзають по паперу; разом з обвідною крапкою вони утворюють три опорні точки планіметра.

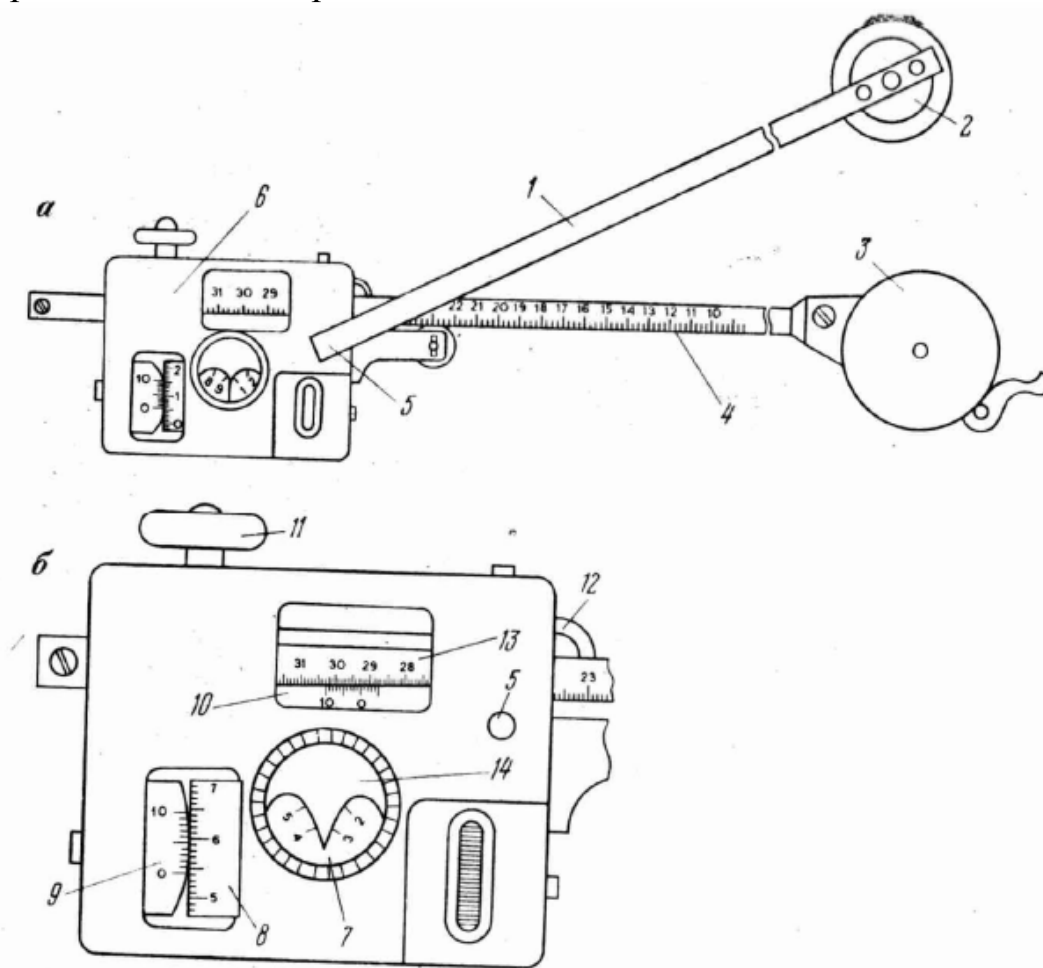


Рисунок 3.5- Полярний планіметр ПП-М: а — загальний вигляд; б — каретка з рахунковим механізмом. (Тисячну частину кола рахункового колеса називають поділкою планіметра. Коло рахункового колеса розділене на 100 частин, тобто кожна частина містить 10 поділок планіметра. Кожен десятий штрих рахункового колеса оцифрований)

Відлік по планіметру складається з чотирьох цифр: перша — найближча до показника 14 — менша цифра лічильника оборотів (тисячні ділень планіметра);

друга і третя – сотні й десятки ділень, що передують нульовому штриху верньєра; четверта – номер штриха верньєра, що співпадає з найближчим штрихом рахункового колеса (одиниці ділень). Каретка з рахунковим механізмом (рис. 3.5) після ослаблення гвинта 13 може пересуватися уздовж обвідного важеля 4, змінюючи тим самим його довжину. Необхідна довжина обвідного важеля встановлюється на шкалі поділок 12, що розташована на його верхній грані, за допомогою верньєра 10.

Необхідно розрізняти два положення полюса у відповідних їм формулах площі:

положення полюса в середині контуру (рис.3.6а)

$$S = q(U_2 - U_1) + Q;$$

положення полюса поза контуром (рис.3.6б)

$$S = q(U_2 - U_1),$$

де Q – коефіцієнт; q – ціна поділки планіметра.

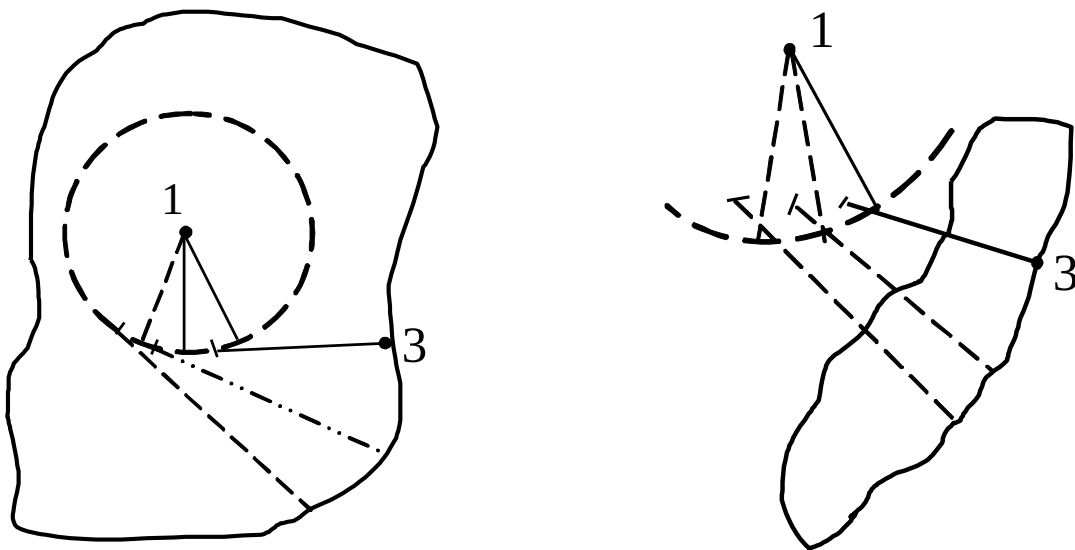


Рисунок 3.6- Положення полюса

Більшість задач інженерної геодезії розглядають при положенні полюса поза контуром.

Ціна розподілу планіметра визначається за допомогою обведення контура, площа якого заздалегідь відома – квадрат координатної сітки топографічного плану чи карти. У цьому випадку

$$q = \frac{S}{U_2 - U_1}.$$

Вимоги до роботи з полярним планіметром такі:

- папір, на якому визначалася ціна розподілу планіметра, і папір, на якому зображено контур, повинні бути однієї якості; неприпустимо також рух РК по поверхні з різних матеріалів;
- положення полюса повинно бути обране так, щоб при роботі кути між важелями змінювалися в діапазоні від 30° до 150° , для чого можна використовувати грубі обведення без відліків;
- початкову точку обведення слід обирати в тому місці контуру, де при русі обвідного важеля РК ковзає і не повертається або повертається на невеликий кут; не рекомендується обирати за початкову точку обведення вершини повороту лінії контуру;
- при багаторазових обведеннях одного контуру розбіжність між найбільшим і найменшим значеннями ΔU не повинна бути більше 10 одиниць; при перевищенні цього допуску виміри треба виконати заново.

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: копія топографічного плану, бланк завдань, індивідуальний варіант вихідних даних, які розраховує студент за наведеними у завданні залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача, палетка, курвіметр, полярний планіметр, масштабна лінійка і вимірник.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Завдання 1. Виміряти площу контуру (номери точок або назва) і його частин на топографічному плані.

Послідовність виконання завдання:

- визначити ціну поділки планіметра на підставі трьох обведень квадрата координатної сітки і середнього значення ΔU ; при послідовних обведеннях відлік у кінцевій точці попереднього обведення слід використовувати як початковий відлік наступного обведення; ціну поділки планіметра обчислювати до чотирьох значущих цифр;
- виміряти площу контуру на підставі двох обведень і відповідного значення ΔU ;
- виміряти площі складових частин контуру на підставі одного обведення ΔU ;
- виміряти ширину і довжину прямокутних об'єктів контуру (будинків, ділянок штучних покриттів);
- виконати обчислення (до чотирьох значущих цифр) площі контуру, а його частин – у відповідній відомості (табл.3.1).

Таблиця 3.1- Відомість обчислення площ
Планіметр №3565, R=248,2, q=4,000/1157=0,003457 га. Масштаб плану 1:2000

Номер	Назва контуру	Відліки	Різниця відліків	Середнє з різниці	Площі обчислені	Поправки	Площі виправлені	Площі будинків	Площі доріг
		U_i	$\Delta U_{i,i+1}$	ΔU^{cp}	S'	ϑ			
	Квадрат координатної сітки	7245 8398 9556 0718	1153 1158 1162	1157					
1	Контур ABCDEF	1317 3528 5733	2211	2208	7,633		7,633		
2	Контур ABF	6415 7346	0931	0931	3,218	0,015	3,233	0,009 0,009	0,007
3	Контур BCDE	7721 8989	1268	1268	4,383	0,018	4,401	0,003 0,003 0,003	0,005
							7,633		

$$\sum S^{изм} = 7,601; \sum S^{теор} = 7,633; \omega = -0,032.$$

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які частини має полярний планіметр?
2. Який принцип роботи полярного планіметра?
3. Як полярним планіметром визначити площу контуру плану?
4. Будова і призначення полярного планіметра.
5. Будова лічильного механізму планіметра.
6. Що таке ціна поділки планіметра? Від чого залежить і як її визначають?
7. Правила роботи з планіметром при визначенні площ фігур.
8. Які способи визначення площ застосовують при геодезичних роботах?

Лабораторна робота № 4

Картометричні роботи: визначення висот точок, перевищень між ними, обчислення крутизни схилів. Побудова на карті лінії із заданим ухилом.

Мета роботи: навчитися кваліфіковано будувати проектні горизонталі та обчислювати проектні і робочі позначки.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Рельєф місцевості на планово-картографічних матеріалах зображують за допомогою відповідних умовних знаків, які повинні відповідати таким умовам: детально й точно показувати розміщення всіх форм його нерівностей, що характеризують розчленованість та уступоподібність місцевості; забезпечувати визначення висот окремих точок місцевості й перевищення даних точок над іншими; напрямом схилів та їх крутизну; наочно зображувати рельєф, щоб найкраще уявляти дійсний ландшафт місцевості.

На сучасних топографічних картах і планах рельєф зображують горизонталями, що доповнюються абсолютними позначками та бергштрихами. Спосіб горизонталей для зображення рельєфу земної поверхні запропонував у 1791 році Жан Дюпен-Тріель для побудови карти Франції. Цей спосіб найбільш об'єктивний, простий для використання, дозволяє геометрично найточніше передати форму рельєфу та відобразити його особливості.

Горизонталь – це слід від перетину фізичної поверхні Землі рівневою поверхнею, тобто це замкнена крива лінія, що зображує геометричне місце точок земної поверхні з однаковими висотами. На рисунку 4.1 зображено побудову горизонталей на невеликій ділянці, для якої рівневу поверхню можна прийняти за площину. Січні площини **RS**, **KL**, **MN**, **EF** та **CD** паралельні до початкової площини **AB**, а відстань між ними однакова. Криві лінії **rs**, **mn**, **kl**, **cd**, **ef**, **ab** є слід від перетину січними площинами земної поверхні, тобто горизонталі.

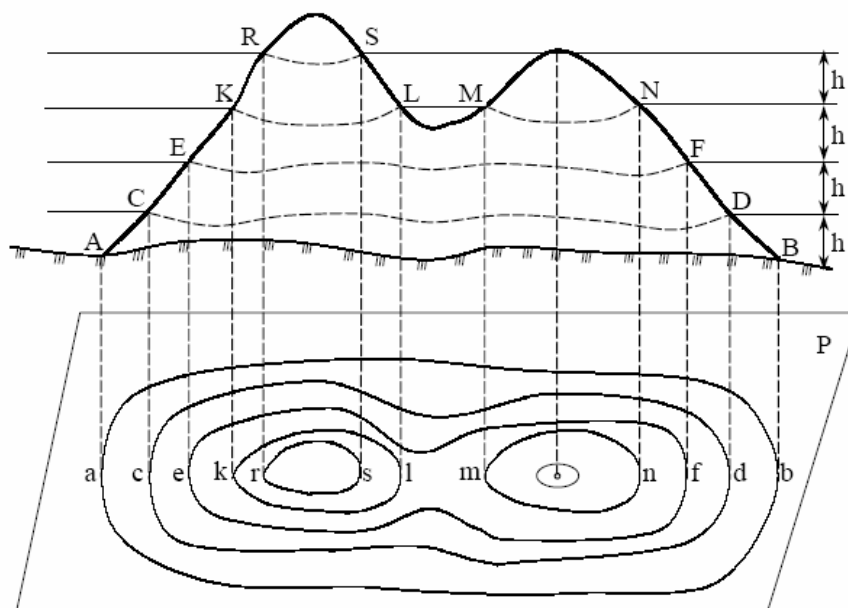


Рисунок 4.1- Суть зображення рельєфу горизонталями

Висота перерізу рельєфу – це відстань між сусідніми горизонталями по прямовисній лінії (**h**).

Закладання – це відстань між сусідніми горизонталями в плані (**d'**). Властивості горизонталей: горизонталі замкнені криві лінії; горизонталі не можуть перетинатися; чим менше відстань між горизонталями на карті даного масштабу, тим крутіше схил на місцевості, та навпаки. Залежно від масштабу карти й характеру рельєфу висоти перерізу бувають 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 та 10 м. Положення горизонталей на топографічному плані або карті визначають графічним чи аналітичним інтерполюванням.

Інтерполювання – це визначення горизонталей в інтервалі між точками з відповідними позначками. На плані виконують інтерполювання між відомими парами точок з відомими позначками, а потім з'єднують плавними кривими лініями точки, що мають однакові висоти. Мірою крутизни схилів є ухил лінії, який виражається через тангенс кута нахилу:

$$i = \operatorname{tg} \vartheta = h / d', \quad (4.1)$$

де ϑ – кут нахилу; **h** – висота перерізу; **d'** – закладання.

Крутизну схилу визначають за допомогою спеціального графіка, який називають масштабом закладання.

Обчислення позначки точки.

Потрібно обчислити позначку точки на карті з відомими координатами. Точка може розміщуватись на горизонталі, між горизонталями з різними або однаковими позначками, в середині замкненої горизонталі (рис. 4.2).

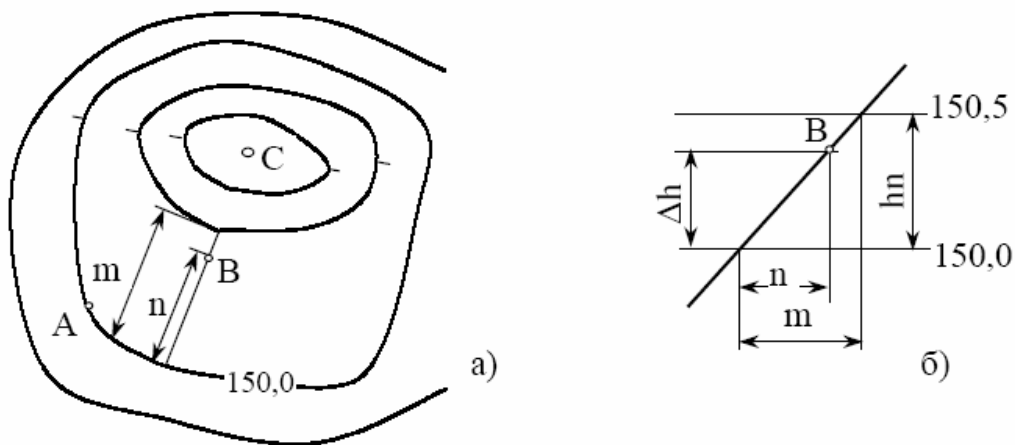


Рисунок 4.2- Визначення позначок точок:

а) розташування точок А, В та С; б) – визначення перевищення точки В над горизонталлю

Якщо точка А розміщена на горизонталі, позначка точки НА дорівнює позначці горизонталі, тобто НА = 150,00 м. Якщо точка В (рис. 4.2б) розміщена між горизонталями, то її позначка, м:

$$НВ = Н1 + \Delta h, \quad (4.2)$$

де Δh – перевищення точки над горизонталлю, м:

$$\Delta h = (Н2 - Н1) * n / m, \quad (4.3)$$

Н1, Н2 – позначки суміжних горизонталей, обчислені на карті за підписаними горизонталями залежно від висоти перерізу рельєфу місцевості і напрямків бергштрихів, м; **n** – відстань від точки до горизонталі з меншою позначкою, мм; **m** – відстань між суміжними горизонталями, мм.

Перевищення точки В:

$\Delta h = (152,5 - 150,0) \cdot 15 : 20 = 1,88$ м; а її позначка **НВ** = 150,00 + 1,88 = 151,88 м. Позначка точки С (рис. 4.2а), що розміщена в середині замкненої горизонталі НС або між горизонталями з однаковими позначками, м:

$$НС = Н1 + 0,5 * h_n, \quad (4.4)$$

де h_n – висота перерізу між горизонталями, **m**, яка додається, якщо точка розміщена на вершині горба, і віднімається, якщо точка розміщена на дні котловану.

Позначка шуканої точки **НС** = 155,00 + 0.5 * 2,5 = 156,25 м.

Обчислення крутизни схилу.

Крутизна схилу характеризується двома показниками – ухилом **i** та кутом нахилу **v**, які обчислюють за формулою

$$i = \operatorname{tg} v = h_n / d, \quad (4.5)$$

де **d** – закладання, тобто відстань між суміжними горизонталями в плані, м.

Найбільша крутизна схилу

$$i_{\max} = h_n / d_{\min}. \quad (4.6)$$

Найменша крутизна схилу

$$i_{\min} = h_n / d_{\max}, \quad (4.7)$$

де **d_{min}**, **d_{max}** – відповідно найменше і найбільше закладання між суміжними горизонталями при однаковій висоті перерізу **h_n**.

Крутизну схилу можна обчислити також графічно за допомогою графіка закладання, який розміщений за рамкою топографічної карти (рис. 4.3а).

Потрібно обчислити крутизну схилу, найбільший і найменший ухили (рис. 4.3б).

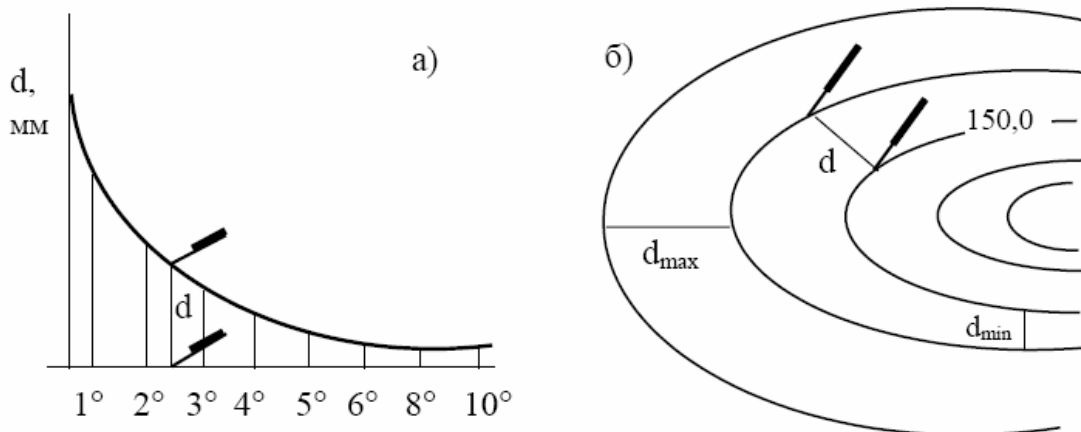


Рисунок 4.3- Обчислення крутизни схилу:

а) графік закладання;

б) визначення відстаней між горизонталями

Циркулем-вимірником вимірюють відстань між суміжними горизонталями на карті (рис. 4.3,б). Відповідну відстань за допомогою циркуля вимірника переміщують уздовж основи графіка закладання (рис. 4.3а) доти, доки верхня точка не досягне кривої. По шкалі закладання відлічують крутизну схилу, яка в прикладі дорівнює $\nu = 2^{\circ}4'$.

При графоаналітичному способі визначення крутизни схилу за допомогою циркуля-вимірника і масштабної лінійки вимірюють найбільше **d_{max}** і найменше **d_{min}** закладання в метрах і визначають крутизну схилу:

найбільшу – $i_{\max} = h_{\text{п}} / d_{\min} = 2,5 / 50 = 0,05$;

найменшу – $i_{\min} = h_{\text{п}} / d_{\max} = 2,5 / 250 = 0,01$.

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: копія топографічного плану, бланк завдань, індивідуальний варіант вихідних даних, які розраховує студент за наведеними у завданні залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача, транспортер, масштабна лінійка і вимірник.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Завдання 1. Між точками А і В на плані побудувати найкоротшу ламану лінію, ухил якої за абсолютною величиною не перевищує заданого значення $i_{\text{зр}}$, тобто $|i| \leq |i_{\text{зр}}|$. Спочатку слід обчислити закладання горизонталей, що відповідає заданому ухилу

$$d = \frac{h}{|i_{\text{зр}}|},$$

де h – висота перерізу рельєфу на плані, м.

Отриману довжину в масштабі беруть у розхил вимірника.

Якщо точка A (чи B) знаходиться на горизонталі, то цим розхилом вимірника з точки A (чи B) засікають наступну горизонталь і отримують точку 1; далі тим же розхилом вимірника з точки 1 засікають наступну горизонталь і отримують точку 2 і т.д. У випадку, коли між горизонталями відстань більше обчисленого закладання, з точки на попередній горизонталі проводять лінію, спрямовану до кінцевої точки B (чи A) до перетину з наступною горизонталлю. З'єднавши ці точки, отримують ламану лінію, ухил якої не більше заданого (рис. 4.4).

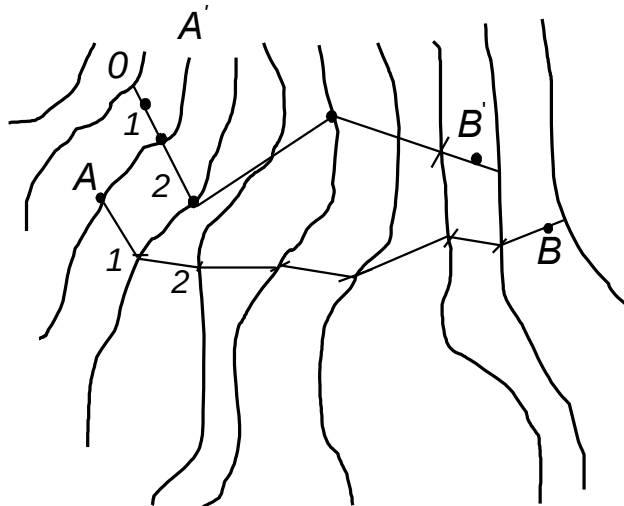


Рисунок 4.4- Ламана лінія із заданим ухилом

Якщо точка A' (чи B') знаходиться між горизонталями, то насамперед необхідно провести через точку A' (чи B') лінію із заданим ухилом. Для цього треба дві точки закладання 0,1 і точку A' розташувати на одній прямій.

Розв'язання задачі має кілька варіантів лінії. Перевагу слід віддати тому варіанту, за яким довжина ламаної лінії і число великих кутів повороту менше (під кутом повороту ламаної йдеться про кут між продовженням попередньої лінії і наступною лінією).

Завдання 2. Виділити на плані границі водозбірної площі для заданої точки водотоку.

Від заданої точки P водотоку необхідно послідовно побудувати закладання схилу як відрізки лінії, нормальні горизонталям; при цьому кожна верхня точка попереднього відрізка повинна бути нижньою точкою наступного відрізка. Побудовані в такий спосіб вліво і вправо вододільні лінії повинні доходити до відповідних вершин, між якими границя пройде по сідловині (рис. 4.5).

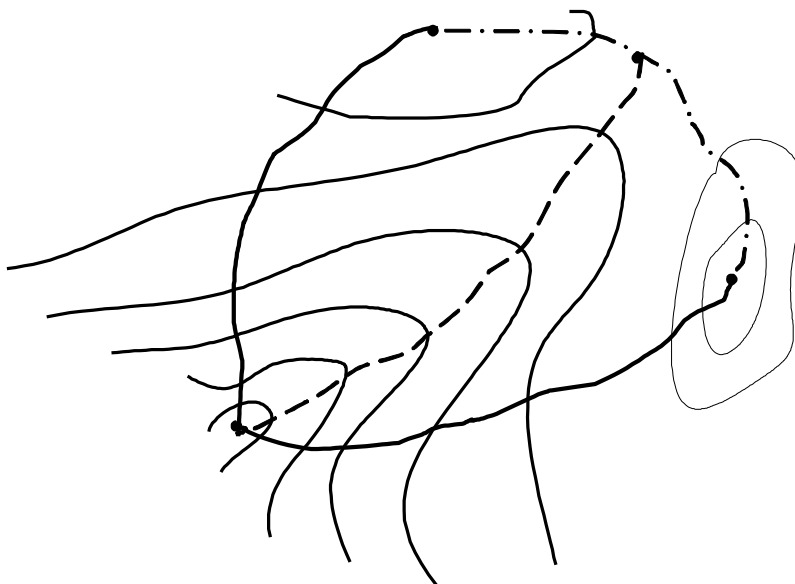


Рисунок 4.5-Границя водозбірної площі

У навчальному завданні вододільну лінію дозволяється доводити до рамки топографічного плану, якщо відповідна вершина знаходиться за рамкою плану.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення топографічних карт і планів.
2. Охарактеризуйте призначення топографічних карт і планів різних масштабів.
3. Наведіть геоінформацію, що зображується на топографічних планах.
4. Наведіть характеристику масштабів.
5. Що таке точність масштабу?
6. Наведіть характеристику форм рельєфу.
7. Поясніть суть зображення рельєфу горизонталями.
8. Охарактеризуйте, як зображуються місцеві предмети на топографічних картах і планах.

Лабораторна робота № 5

Картометричні роботи: побудова профілю місцевості за заданим на карті з горизонталями напрямком. Побудова проектної лінії

Мета роботи: навчитися виконувати проектні лінії на основі топографічної карти для побудови профілю за вказаним напрямком.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При будівництві лінійних споруд виконують технічну документацію, яка містить поздовжні та поперечні профілі траси з проектними рішеннями. Роботи при трасуванні лінійних споруд включають: розроблення проекту, рекогносцирування трас, розбиття пікетажу, нівелювання траси та побудова її профілю. За планами або картами позначають найімовірніші напрями трас, що відповідають усім технічним умовам. Для уточнення на місцевості обраного напрямку виконують рекогносцирування кута повороту траси, який вимірюють теодолітом. Трасу прив'язують до пунктів державної висотної опори, місцеположення марок і реперів якої виявляють заздалегідь.

Перед нівелюванням траси закріплюють її початок, кінець та кути повороту і розбивають пікетаж. Розбиття пікетажу полягає в тому, що по осі траси відкладають відрізки, горизонтальна проекція яких дорівнює 100м. Кінець кожного відрізка називають пікетом і позначають дерев'яним кілком, який забивають врівень із землею. Поряд з пікетним кілком забивають сторожок, на якому записують номер пікету (наприклад, ПК4). Початок траси позначають “пікет-нуль” – ПК0. Характерні точки злому рельєфу місцевості між пікетами також позначають кілками. Ці точки називають плюсовими (ПК1+80). Їх місцеположення визначають відстанню від пройденого пікету (80м від ПК1).

У місцях, де траса повертає, передбачають горизонтальні кругові криві або перехідні криві, елементи яких визначають за допомогою спеціальних таблиць або за формулами. Вершини кутів повороту траси позначають ВК1, ВК2.

При розбитті пікетажу результати вимірювань записують у пікетажний журнал, в якому вказують величини кутів повороту траси, номери всіх пікетів і плюсових точок. Трасу зображають умовно у випрямленому вигляді, а кути повороту позначають стрілками.

У пікетажному журналі позначають номери всіх реперів і їх місцеположення, а також дані, що характеризують криві. Одночасно з розбиттям пікетажу виконують зйомку смуги місцевості, що прилягає до траси. Для характеристики рельєфу смуги, де буде виконуватися будівництво, розбивають поперечні профілі перпендикулярно до осі траси по обидва боки. Поперечні профілі визначають на такій відстані один від одного, щоб місцевість між ними мала однаковий уклон.

Нівелювання траси виконують способом із середини з обов'язковим виконанням умови, що відстані від пікетів до нівеліра однакові. Нівелір можна

установити у створі лінії або виносити в бік. При нівелюванні визначають перевищення кожної наступної пікетної точки над попередніми, тобто між всіма зв'язувальними точками. На кожній станції спочатку нівелюють зв'язувальні точки, для чого беруть відліки спочатку на задній, а потім на передній рейці.

Перед тим, як брати відліки, контролюють положення рівнів, тобто промінь візування зорової труби нівеліра повинен бути горизонтальним. Для контролю і збільшення точності нівелювання перевищення між зв'язувальними точками визначають за другим боком рейок, якщо вони двосторонні. При роботі з односторонніми рейками міняють висоту приладу не менше, ніж на 10 см.

При нівелюванні проміжних точок беруть відліки тільки на основному боці рейки. При нівелюванні крутих схилів, коли промінь візування в одному напрямку упирається в землю, а в іншому – проходить вище рейки, роблять додаткові зв'язувальні точки ("іксові" – X_1, X_2). Відстань до "іксових" точок не вимірюють, але їх чітко позначають на місцевості. Як зв'язувальні точки на крутому схилі можуть бути використані плюсові. Початок і кінець траси прив'язують до найближчих реперів. Результати відліків записують у журнал нівелювання траси.

Побудова профілю заданого напрямку.

Профіль – це зменшене зображення вертикального розрізу місцевості за заданим напрямом. Для найвиразнішого зображення рельєфу і забезпечення компактності рисунка його будують у двох масштабах – горизонтальному, який дорівнює масштабу карти, і вертикальному – 1:100 або 1:200. Потрібно побудувати профіль за напрямком точками 153,8 (6512) та 144,3 (6513). Побудову виконують в такій послідовності. З'єднують на топографічній карті пункти 153,8 (6512) та 144,3 (6513) прямою лінією і нумерують точки перетину її з горизонталями (рис. 5.1).

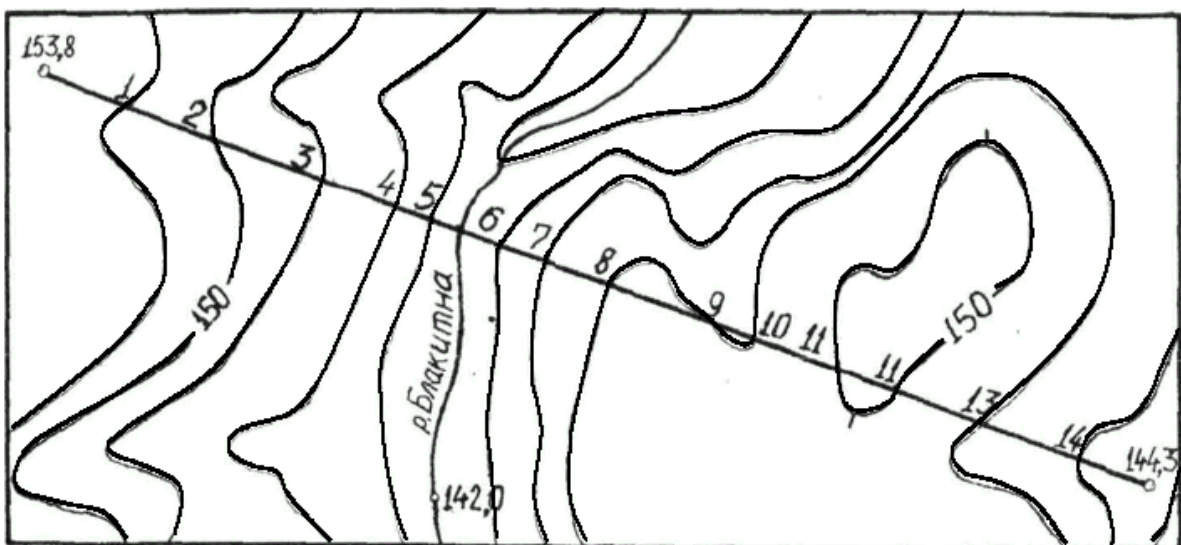


Рисунок 5.1- Заданий напрям на топографічній карті

На міліметрівці будують профіль з графами “Позначки”, “Відстані” та “Точки” (рис. 5.2).

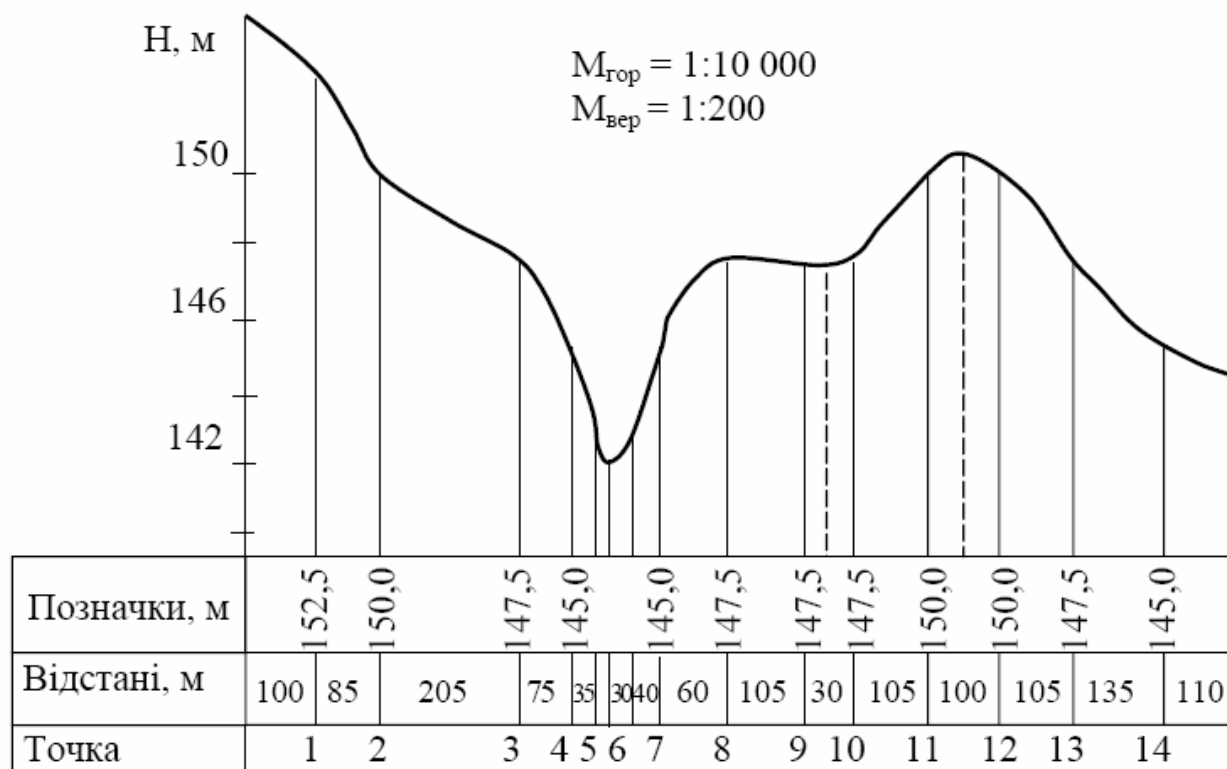


Рисунок 5.2- Поздовжній профіль заданого напрям

За допомогою циркуля-вимірника вимірюють відстань між точками перетину горизонталей з лінією, яка з'єднує два пункти. Виміряні відстані переносять у графу "Відстані" в горизонтальному масштабі карти 1:10 000. У графі "Позначки" проти відповідних точок записують їх позначки. Креслять лінію умовного горизонту, яку в прикладі приймають на 4 м нижче мінімальної у заданому напрямі позначки.

Будують рейку вертикального масштабу $M_v = 1:200$. Над усіма точками перетину лінії заданого напрямку з горизонталями, вододілами і тальвегами будують перпендикуляри. На перпендикулярах відкладають у вертикальному масштабі (1:200) позначки горизонталей і характерних точок рельєфу. З'єднують отримані точки плавно кривою й отримують профіль заданого напрямку (рис. 5.2).

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: копія топографічного плану, бланк завдань, індивідуальний варіант вихідних даних, які розраховує студент за наведеними у завданні

залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача, транспортер, масштабна лінійка і вимірник.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Завдання 1. Побудувати за планом профіль місцевості по лінії АВ в заданому горизонтальному і вертикальному масштабах.

На прямій АВ необхідно насамперед позначити точки 1, 2, 3,....., за допомогою яких найповніше можна зобразити профіль місцевості по лінії АВ. До таких точок слід віднести точки перетину лінії АВ з горизонталями, з лініями вододілу, тальвегу, вершини сідловини та інші точки зміни напрямку профілю (рис. 5.3).

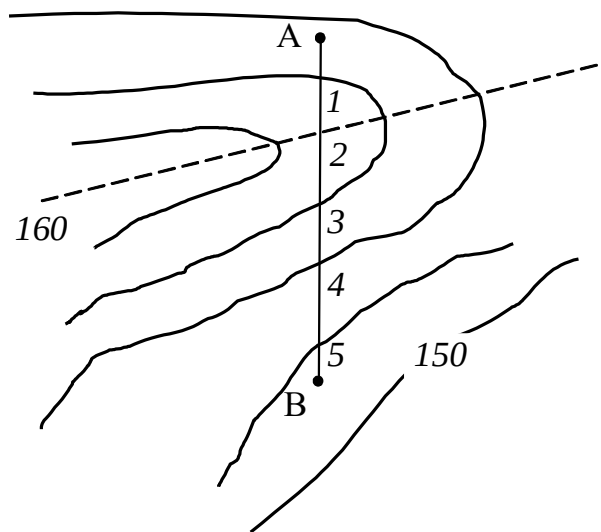


Рисунок 5.3- Точки профілю лінії

Для побудови профілю використовують різні масштаби горизонтальних і вертикальних довжин. У навчальному завданні горизонтальний масштаб 1:2 000 дорівнює масштабу плану, а вертикальний масштаб – 1:200.

Вихідні дані для побудови профілю записують у сітку профілю. У рядку «Відстані» позначкою позначають положення точки А, потім вимірником, зберігаючи масштаб, переносять відрізки А1, А2, А3,..... АВ і позначками позначають точки 1,2,3,...В. За горизонталями отримують висоти точок профілю і записують їх у відповідний рядок сітки.

Для побудови профілю треба вибрати лінію умовного горизонту (будь-яку лінію або верхню лінію сітки профілю) і привласнити їй таке умовне значення висоти, щоб найнижча точка профілю ($H_{\min}$) стояла від цієї лінії в 2–3см зображення.

На перпендикулярах до позначок від лінії умовного горизонту у вертикальному масштабі відкладають висоти. Суміжні точки необхідно з'єднати прямими, в результаті чого ламана буде являти собою профіль місцевості (рис. 5.4).

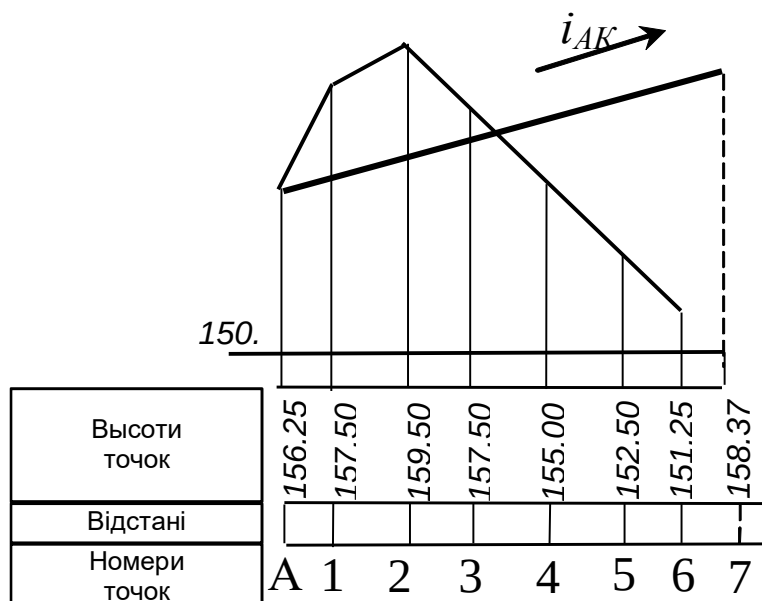


Рисунок 5.4- Профіль лінії

Завдання 2. Побудувати профіль лінії АК із заданим ухилом i_{AK} .

За заданим ухилом i_{AK} і поміряною за планом чи довільно обраною довжиною d_{AK} лінії слід отримати перевищення h_{AK} між точками А і К та висоту точки К за формулами

$$h_{AK} = i_{AK} d_{AK};$$

$$H_K = H_A + h_{AK}.$$

У сітці профілю знайти положення точки шляхом побудови відрізка АК у горизонтальному масштабі. На перпендикулярі до позначки в точці К від умовного горизонту відкласти у вертикальному масштабі висоту H_K . Отриману точку з'єднати з точкою А прямою.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як дослідити точність визначення довжини лінії різними способами?
2. Наведіть порядок обчислення географічних координат.
3. Обчисліть прямокутні координати точки.
4. Нанесіть на карту пункт за відомими координатами.
5. Поясніть, як обчислити дирекційний кут і румб.
6. Обчисліть справжній та магнітний азимут заданого.
7. Поясніть, як обчислити позначку точки.
8. Охарактеризуйте методику визначення крутизни.
9. Побудуйте профіль заданого напрямку на карті.

Лабораторна робота № 6

Будова та перевірки нівелірів. Нівелірні рейки. Виконання пробного нівелювання. Обчислення журналу поздовжнього нівелювання траси.

Мета роботи: навчити кваліфіковано користуватися нівеліром, виконувати перевірки, визначати перевищення точок земної поверхні, обчислювати їх абсолютні й відносні позначки та переносити їх у натуру.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Види нівелювання

При виконанні топографо-геодезичних робіт необхідно визначати перевищення точок земної поверхні, обчислювати їх абсолютні й відносні позначки, переносити у натуру проектні позначки й визначати осідання споруд.

Нівелювання – це визначення висот точок земної поверхні відносно деякої вибраної точки або над рівнем моря. Залежно від необхідної точності та наявних приладів використовують такі методи нівелювання: геометричне, тригонометричне, гідростатичне, барометричне, автоматичне та аеронівелювання.

Геометричне нівелювання виконують горизонтальним променем візування з допомогою нівеліра або теодоліта та рейок з поділками. На середню квадратичну похибку, яка може бути від 0,5 до 10 мм/км, впливає клас нівелювання. Залежно від взаємного розташування нівеліра та рейок геометричне нівелювання здійснюють двома способами: з середини і вперед. Геометричне нівелювання застосовують для створення державної висотної мережі, висотного обґрунтування топографічних знімків, а також при проектуванні й будівництві інженерних споруд.

Тригонометричне нівелювання застосовують для створення висотної основи і виконання топографічних знімків та розв'язання різноманітних інженерних задач. Його виконують похилим променем візування за допомогою теодоліта або кіпрегеля. За результатами вимірювання кута нахилу лінії візування з однієї точки на іншу та горизонтальної відстані між ними обчислюють перевищення за формулами тригонометричного нівелювання. Середня квадратична похибка визначення перевищень – 10 мм.

Типи нівелірів і нівелірних рейок, їх особливості

При геометричному нівелюванні перевищення однієї точки місцевості або споруди над іншою визначають із застосуванням горизонтального променя, який отримують за допомогою нівеліра та нівелірних рейок, які ставлять у цих точках.

Сучасні нівеліри класифікують за точністю, призначенням, конструктивними особливостями і мірою автоматизації окремих операцій. За точністю нівеліри бувають високоточні, точні й технічні. За способом установа лінії візування в робочий стан нівеліри ділять на такі, у яких

лінію візування встановлюють по циліндричному рівню, що наглухо скріплений із зоровою трубою, і нівеліри з компенсаторами з самоустановною лінією візування. Технічні нівеліри обладнують також лімбом для вимірювання горизонтальних кутів. Нині серійно виробляють такі типи нівелірів: Н-05, Н-3, Н-10, Н-05К, Н-3К, Н-10К, Н-3КЛ, Н-3П, 2Н-3Л, 2Н-10КЛ, 3Н-2КЛ. Цифра у шифрі нівеліра свідчить про допустиму середню квадратичну похибку (в міліметрах) при нівелюванні на 1 км подвійного ходу. Літера К свідчить про наявність компенсатора, Л – лімба горизонтального круга. Високоточні нівеліри Н-05 з оптичним мікрометром і нівеліри Н-05К з компенсатором призначені для нівелювання I та II класів.

Точні нівеліри Н-3 з циліндричним рівнем, нівеліри Н-3К з компенсатором використовують у нівелюванні III та IV класів, інженерних розвідках і інженерно-геодезичному забезпеченні будівництва. Технічні нівеліри Н-10 та Н-10К використовують у топографічних зніманнях, інженерно-геодезичних розвідках і роботах на будівництві споруд.

Цифрові нівеліри дозволяють виконувати ті ж роботи, що й оптичні нівеліри. Їх особливістю є наявність електронного датчика, що дозволяє з високою точністю знімати відліки зі спеціальної штрих-кової рейки. Оператору достатньо навести прилад на рейку, сфокусувати зображення й натиснути кнопку. Прилад виконує самостійно зняття відліку по рейці й вимірювання відстані до неї, що відображається на екрані. Використовують цифрові нівеліри марок DiNi 12, DiNi 12T, DiNi 22 та PowerLevel SDL30, що мають похибку 0,3...1,0 мм/км.

Сучасні штрихові прецизійні і шашкові дерев'яні нівелірні рейки класифікують за точністю, конструктивними особливостями й призначенням. За точністю нівелірні рейки бувають високоточні, точні й технічні. За довжиною розрізняють три- та чотириметрові рейки, які можуть бути суцільними, складаними і розсувними. Поділки нанесені з одного або двох боків. Рейки можуть мати круглий рівень для встановлення їх у прямовисне положення. Сучасні рейки мають шифри РН-05, РН-3 та РН-10 і входять до комплекту нівелірів відповідно Н-05, Н-3 і Н-10. Літери означають: Р – рейка, Н – нівелірна, а цифри 10, 3 і 05 вказують середню квадратичну похибку нівелювання (в міліметрах) на 1 км подвійного ходу.

Рейка РН-05 - одностороння, являє собою суцільну раму довжиною 3 або 1,2 м, на яку натягнуто інварну стрічку з нанесеними двома шкалами, які зміщені одна відносно одної на 2,5 мм. На основній шкалі підписані півдециметрові поділки від 0 до 60, а на допоміжній – від 60 до 120. Відлік по прецизійній рейці беруть за допомогою оптичного мікрометра.

Рейка РН-3 – двостороння шашкова, являє собою дерев'яний брусок завширшки 8...10 і завтовшки 2...3 см, на який нанесено шашкові сантиметрові поділки і підписано значення дециметрових поділок. На одному боці нанесено чорні й білі поділки (чорний бік), а на другому – червоні і білі (червоний бік). На обох боках рейки поділки виконані через 10 мм. По чорному боці поділки йдуть від нуля до 3 м. Нуль рейки суміщають з п'ятою рейки, тобто з нижнім

кінцем, що оббитий залізною скобою. По червоному боці початковий відлік починається з числа 4787 або 4687. Різниця відліків по різних боках рейки повинна бути сталою. Дециметрові підписи можуть бути прямими й оберненими.

Рейка РН-10 – двостороння шашкова, має конструкцію, аналогічну до рейки РН-3, і, як правило, її виготовляють складаною, довжиною 4 м. За результатами аналізу типів нівелірів і нівелірних рейок, їх метрологічних характеристик і областей використання вибирають нівелір і нівелірну рейку для інженерно-геодезичного забезпечення конкретного будівельно-монтажного виробництва або виконання розвідок.

Будова нівелірів

Загальні відомості про будову нівелірів

Кожний тип нівеліра має свої конструктивні особливості. Але, хоч вони й належать до одного класу геодезичних приладів, всі вони мають спільні основні частини: зорову трубу, рівні й установлювальні пристрої. Обов'язковим є однакове взаємне розміщення осей.

Нівелір із циліндричним рівнем (рис. 6.1) складається з підставки 1, зорової труби 5 з об'єктивом 4, окуляра 6 та фокусуючої призми, що переміщується з допомогою ручки, циліндричного 2 та круглого 8 рівнів, піднімального 9, затискного 3, мікрометричного та елеваційного 7 гвинтів. Зображення кінців бульбашки циліндричного рівня системою призм передається у зорову трубу.

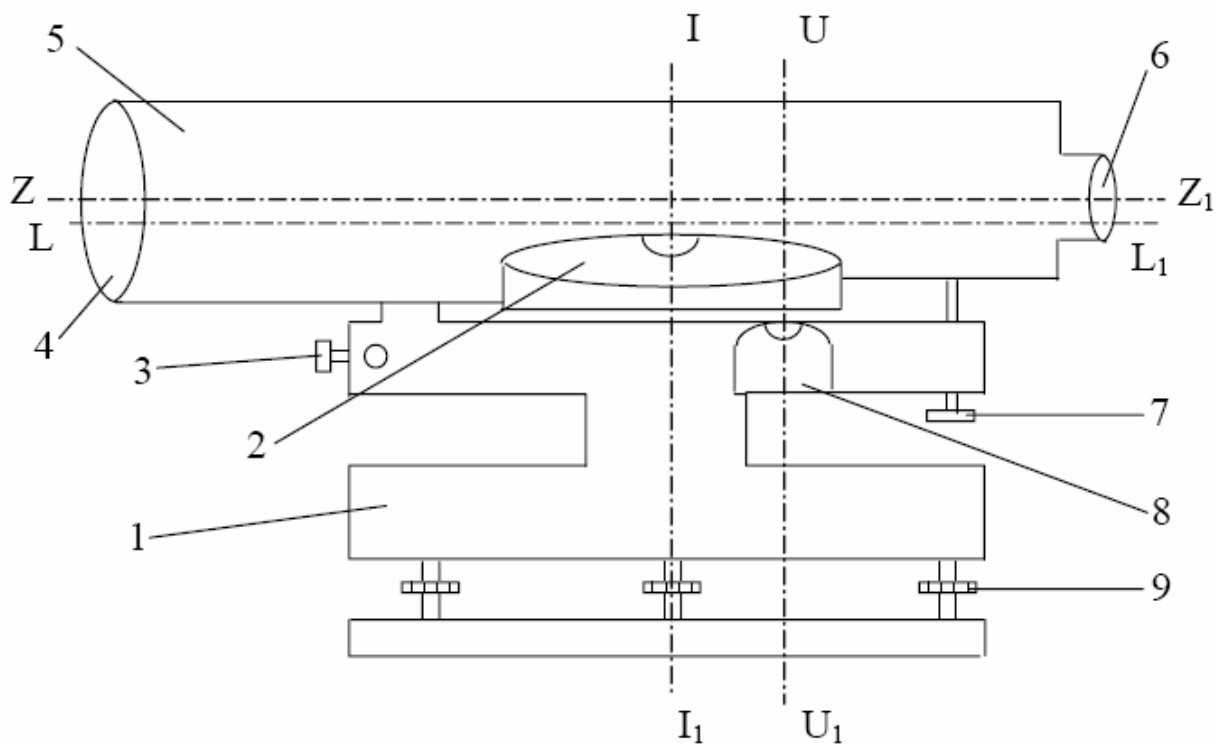


Рисунок 6.1- Принципова геометрична схема нівеліра з циліндричним рівнем: 1 – підставка; 2 – циліндричний рівень; 3 – затискний гвинт; 4 – об'єktiv; 5 – зорова труба; 6 – окуляр; 7 – елеваційний гвинт; 8 – круглий рівень; 9 – піднімальні гвинти

Коефіцієнт компенсації

$$K = f / S, \quad (6.1)$$

де f – фокусна відстань зорової труби, мм; S – відстань від точки потрапляння променя візування на дзеркало або призму компенсатора до центра ниток сітки, мм.

Необхідне значення коефіцієнта компенсації досягається механічними, оптичними або оптико-механічними засобами. Оптична схема нівеліра Н-10КЛ (рис. 6.2) включає об'єktiv 1, пентапризму 2, призму-компенсатор 3, пентапризму 4, сітку ниток 5 та окуляр 6.

Принципова схема нівеліра з циліндричним рівнем повинна забезпечувати виконання основних геометричних умов: вісь візування ZZ_1 і вісь циліндричного рівня LL_1 повинні бути паралельні, вісь круглого рівня UU_1 повинна бути паралельна осі обертання (основній осі нівеліра) Π_1 , вісь візування ZZ_1 повинна бути перпендикулярна до основної осі Π_1 нівеліра. При визначенні перевищень найбільше значення має виконання геометричних умов. Це зумовлено їх значною мінливістю в період роботи і транспортування.

У топографо-геодезичних роботах широко використовують нівеліри, у яких лінія візування автоматично встановлюється в горизонтальне положення. Це досягається використанням компенсаторів, які забезпечують горизонтальне положення променя візування. Компенсація кута нахилу осі візування здійснюється компенсатором з підвішеною сіткою ниток, який повертає промінь візування, спрямовуючи його в центр ниток сітки, або компенсатором з паралельним переносом променя візування на його початковий напрям у центр ниток сітки.

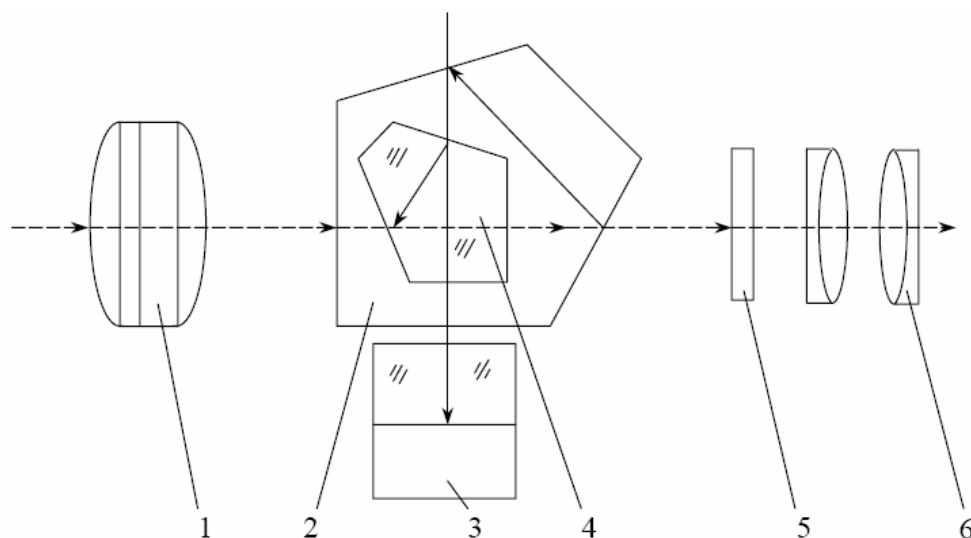


Рисунок 6.2- Оптична схема нівеліра Н-10 КЛ:

1 – об'єktiv; 2, 4 – пентапризми; 3 – призма-компенсатор; 5 – сітка ниток; 6 – окуляр

Нівелір Н-3К має призмий компенсатор оптико-механічного типу, що забезпечує автоматичне встановлення лінії візування у горизонтальне

положення при кутах нахилу осі візування до 15'. Попередньо вісь обертання нівеліра встановлюють у прямовисне положення за допомогою круглого рівня. Компенсатор складається з рухомої призми, яку підвішують на чотирьох схрещених нитках, та нерухомої. Відбивні боки обох призм розміщені під кутом 45° до променя візування, що проходить через центр об'єктива. Для нівелірів з компенсаторами повинна виконуватись основна умова: лінія візування буде горизонтальною, якщо нахил зорової труби інструмента не більший, ніж допустимий кут компенсації.

Будова нівеліра Н-3

Нівелір Н-3 – точний, з циліндричним рівнем біля зорової труби і елеваційним гвинтом. Він призначений для геометричного нівелювання III класу з середньою квадратичною похибкою 3 мм/км. Загальний вигляд нівеліра Н-3 зображено на рисунку 6.3. Нівелір складається з верхньої і нижньої частин. Верхня частина включає зорову трубу 5 з циліндричним рівнем, навідний 9, затискний 8 та елеваційний 3 гвинти і круглий рівень 2. Нижня частина виконана у вигляді підставки-триніжка з трьома піднімальними гвинтами 10 та пластиною, що пружинить.

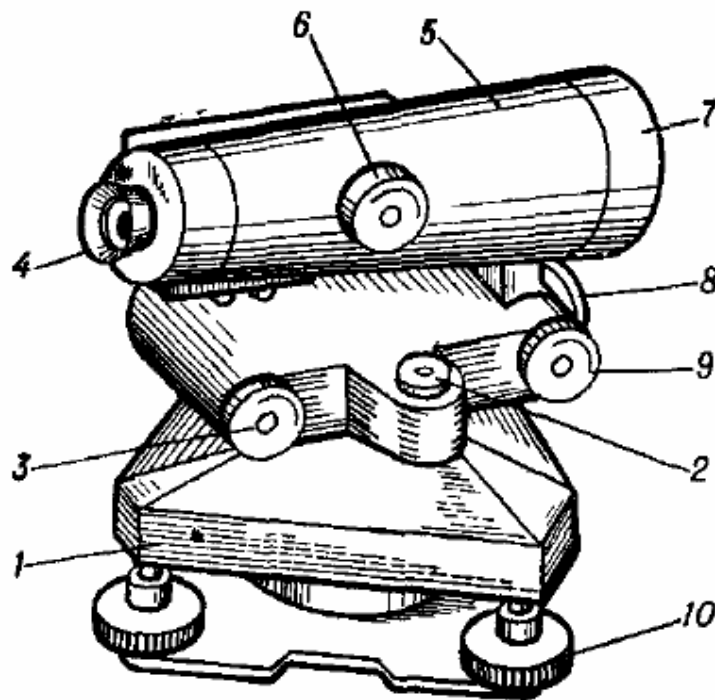


Рисунок 6.3- Загальний вигляд нівеліра Н-3:

- 1 – підставка-триніжок,
- 2 – круглий рівень,
- 3 – елеваційний гвинт;
- 4 – окуляр;
- 5 – зорова труба;
- 6 – фокусна ручка;
- 7 – об'єктив;

- 8 – затискний гвинт;
9 – навідний гвинт,
10 – піднімальні гвинти.

У корпус зорової труби встановлено об'єктив 7, окуляр 4 та сітку ниток з частиною призмового пристрою циліндричного рівня. З лівого боку труби розміщений циліндричний рівень і призмовий пристрій, що передає зображення кінців бульбашки в поле зору труби. Чітке зображення відліків по рейці отримують поворотом фокусної ручки 6. У корпусі зорової труби з боку окуляра є чотири виправних гвинти циліндричного рівня. Виправні гвинти закриті кришкою.

Вертикальну вісь приладу в прямовисне положення виводять круглим рівнем 2, що має три виправних гвинти, за допомогою трьох піднімальних гвинтів триніжка. Для надання осі візування зорової труби горизонтального положення використовують циліндричний рівень. Вісь візування займає горизонтальне положення, якщо відображення кінців бульбашки циліндричного рівня за допомогою елеваційного гвинта 3 сумістяться в полі зору труби (рис. 6.4). В полі зору труби (рис. 6.4) одночасно видно бульбашку рівня 1, нівелірну рейку 2, сітку ниток 3. Відлік по рейці дорівнює 1350. Для грубого наведення приладу на рейку на корпусі зорової труби є пристрій для візування (мушка). Точне наведення на рейку виконують гвинтом 9 при закріпленому гвинті 8.

До комплекту нівеліра Н-3 входить також штатив зі становим гвинтом, футляр, запасний інструмент і приладдя.

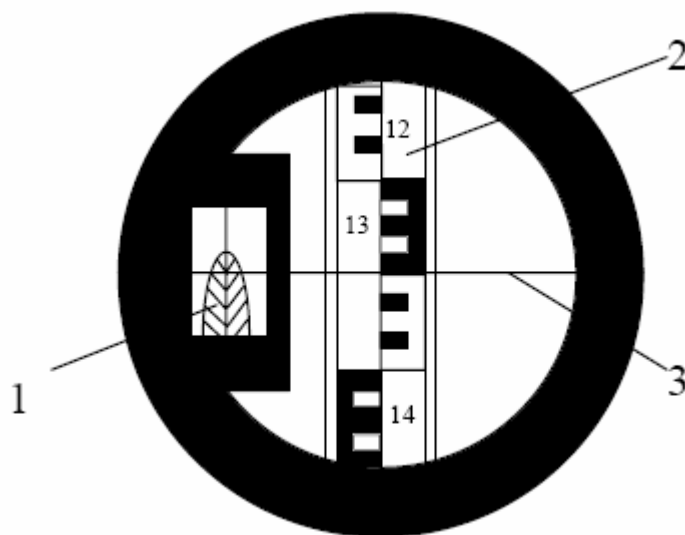


Рисунок 6.4- Поле зору труби нівеліра Н-3:

1 – бульбашка рівня; 2 – нівелірна рейка; 3 – сітка ниток

Підготовка нівелірів і нівелірних рейок до роботи

Нівеліри повинні задовольняти необхідні оптико-механічні й геометричні умови. Нівеліри характеризуються комплексом метрологічних характеристик і підлягають перевірці та метрологічній атестації. Зовнішній стан нівеліра

перевіряють візуальним оглядом. При цьому виявляють пошкодження його оптичних і механічних частин. Перевіряють встановлення рівнів і регулювальних пристроїв. Зображення у зоровій трубі повинно бути чітким і недеформованим, освітленість поля зору – рівномірною; не допускається перекошення зображення. Перевіряють правильність і зручність укладання нівеліра в ящик, замки і пристосування для перенесення. Комплектність нівеліра контролюють згідно зі списком, наведеним у паспорті нівеліра. Робочий стан рухомих частин перевіряють випробовуванням. При цьому виявляють і усувають у рухомих частинах люфти, неплавність ходу й помітні деформації. Перевіряють роботоздатність мікрометричного гвинта труби, елеваційного гвинта і пристрою для фокусування, а також регулювальні пристрої.

Особливу увагу при оцінюванні роботоздатності нівеліра звертають на: забезпечення плавного ходу піднімальних і мікрометричних гвинтів, легкого і плавного обертання нівеліра навколо осі, стійкого положення нівеліра на штативі. Хід піднімальних гвинтів регулюють з допомогою регулювальних гайок зі спеціальними отворами під шпильки. Якщо хід піднімальних гвинтів дуже тугий або вільний, їх викручують доти, поки не стане видно отвори регулювальних гайок. У ці отвори вставляють шпильки і крутять гайки в той чи інший бік, домагаючись плавного ходу гвинтів.

Становий гвинт під час регулювання ходу піднімальних гвинтів не повинен бути надто туго затягненим. При занадто тугому або вільному ході навідного чи елеваційного гвинтів у отвір, що знаходиться на регулювальній гайці, вставляють шпильку і обертанням цієї гайки досягають потрібного ходу гвинтів. При тугому обертанні труби на вертикальній осі її необхідно змастити наново. При огляді штатива звертають увагу на жорсткість з'єднання його окремих частин. Ніжки штатива повинні порівняно туго обертатися в шарнірному з'єднанні з основною частиною. Остаточний висновок про придатність нівеліра для виконання робіт потрібної точності роблять після виконання перевірок і відповідних регулювань.

Нівелірні рейки характеризуються комплексом метрологічних характеристик і підлягають перевірці. При випробовуваннях визначають надійність кріплення на корпусі рівня, ручок, металевої скоби п'ятки; роботоздатність фіксатора, що утримує складану рейку в робочому стані; роботоздатність замків і засувов, що скріплюють частини складаної рейки в складеному положенні; прилягання частин складаної рейки в робочому і складеному положеннях.

Встановлення нівеліра в робочий стан включає фокусування зорової труби, приведення осі обертання нівеліра в прямовисне положення і горизонтування зорової труби. Штатив нівеліра встановлюють таким чином, щоб відстань між ніжками була не менше половини довжини ніжок. Кінці ніжок втискують у ґрунт і підтягують ослаблені гвинти, що скріплюють рухомі частини штатива. Нівелір ставлять на штативі так, щоб наконечники піднімальних гвинтів

зайшли в пази головки штатива, а становий гвинт рівномірно закручують, щоб не утруднювати хід піднімальних гвинтів.

Фокусування зорової труби – це отримання в полі зору труби чіткого зображення відліків по нівелірній рейці. Чітке зображення нівелірної рейки отримують обертанням ручки фокусування. Для отримання чіткого зображення сітки ниток наводять зорову трубу на освітлений предмет. Обертанням окулярної трубочки домагаються чіткого зображення сітки ниток.

Вісь обертання нівеліра повинна займати прямовисне положення при розміщенні бульбашки круглого рівня в нуль-пункті. З цією метою обертають піднімальні гвинти в різні боки і досягають переміщення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт. Нівелір вважається відгоризонтованим, якщо відображення кінців бульбашки циліндричного рівня суміщаються в полі зору труби (рис. 10.4).

Відображення кінців бульбашки циліндричного рівня суміщають за допомогою елеваційного гвинта. Для грубого наведення нівеліра на рейку на корпусі зорової труби є мушка. Точне наведення на рейку виконують навідним гвинтом при затисненому закріплювальному гвинті.

Перевірки і юстирування нівеліра з циліндричним рівнем Н-3

Перевірка круглого рівня. Вісь круглого рівня (рис. 6.1) повинна бути паралельною основній осі нівеліра П₁. Для перевірки цієї умови встановлюють круглий рівень у напрямку двох піднімальних гвинтів (рис. 6.5). Обертанням трьох гвинтів 1 у протилежних напрямках бульбашку 2 виводять у нуль-пункт. Якщо після повертання верхньої частини нівеліра на 180° бульбашка залишається в нуль-пункті – умову виконано. Якщо ж ні, то виправними гвинтами рівня зміщують бульбашку в нуль-пункт наполовину її відхилення. На частину відхилення, що залишилася, бульбашку рівня зміщують піднімальними гвинтами. Для контролю перевірку повторюють і виконують доти, доки не буде виконана умова.

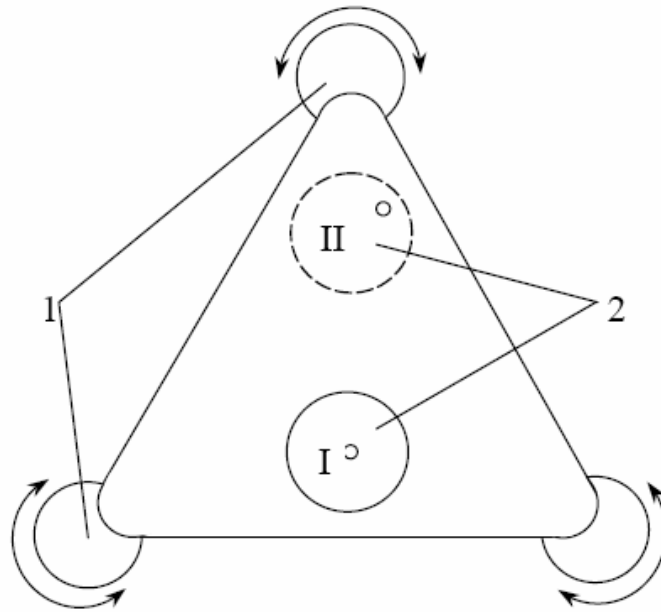


Рисунок 6.5- Перевірка круглого рівня:
1 – піднімальні гвинти; 2 – бульбашка рівня

Перевірка правильності встановлення сітки ниток

Вертикальна нитка сітки повинна бути паралельною основній осі нівеліра П₁. При робочому положенні нівеліра зорову трубу наводять на віддалену на 5...10 м рейку так, щоб її зображення було біля краю поля зору, і роблять відлік. Навідним гвинтом поволі повертають трубу, щоб зображення рейки перемістилося до другого краю поля зору. Якщо після цього відлік не зміниться, умову виконано. Перевірку можна виконати також з допомогою важкого виска, підвішеного на відстані 25...30 м від нівеліра. Якщо після наведення на шнурок виска вертикальна нитка сітки суміститься з ним, то умову виконано. В іншому випадку виконують юстирування.

Для виконання юстирування знімають кришку сітки ниток, що прикриває юстирувальні гвинти на окулярній частині зорової труби. Ослаблюють гвинти, що скріплюють окулярну частину труби з об'єктивною, і повертають сітку ниток до досягнення умов перевірки. Після закінчення перевірки закріплюють юстирувальні гвинти і ставлять кришку на місце.

Перевірка головної геометричної умови. Візирна вісь труби ZZ₁ (рис. 6.1) повинна бути паралельною осі циліндричного рівня LL₁. Основну геометричну умову перевіряють нівелюванням однієї лінії довжиною 50...70 м способами «з середини» або «вперед» (рис. 6.6). На рівній місцевості вибирають і закріплюють кілочками дві точки А та В на відстані 50...70 м одна від одної. При перевірці способом «вперед» установлюють над точкою А нівелір так, щоб окуляр зорової труби нівеліра знаходився на відстані не більше 3...5 см від рейки, розміщеної на точці А (рис. 6.6).

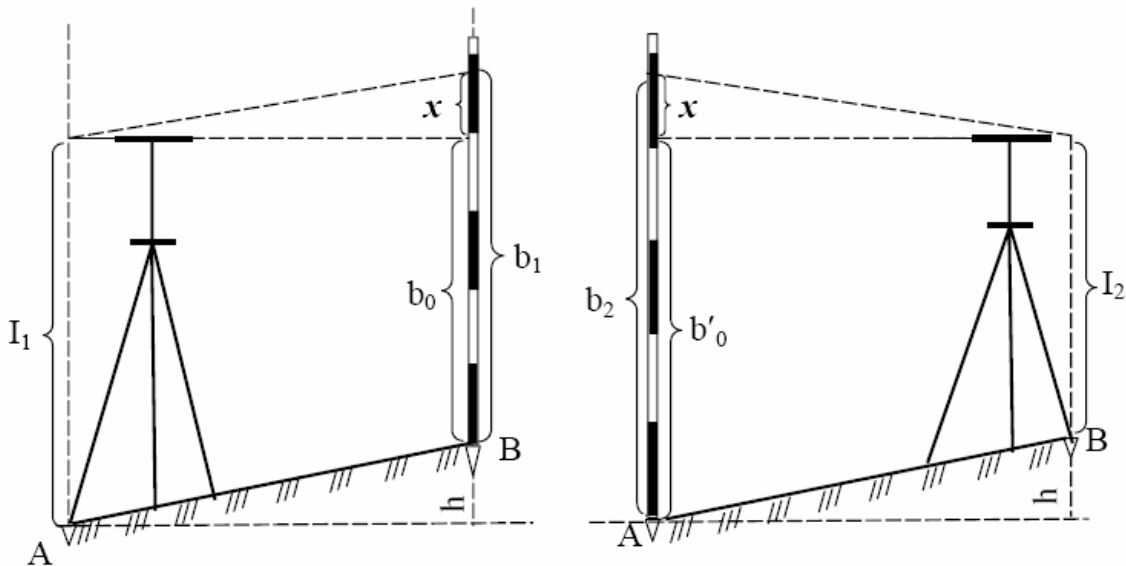


Рисунок 6.6- Перевірка головної геометричної умови нівелірів з циліндричним рівнем

За допомогою круглого рівня вісь обертання нівеліра піднімальними гвинтами виводять у прямовисне положення. За допомогою сталеві рулетки або рейки вимірюють висоту нівеліра i_1 з точністю до 2 мм. Візують зорову трубу на рейку, яку встановлюють у точці В. За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік b_1 . Перевищення між точками А та В, мм, обчислюють за формулою

$$|h| = i_1 - b_0 = i_1 - b_0 + x, \quad (6.2)$$

де x – похибка відліку b_0 , зумовлена невиконанням головної геометричної умови, мм.

Переставляють місцями нівелір і рейку (рис. 6.6). Вимірюють висоту нівеліра i_2 в точці В. Візують зорову трубу на рейку, встановлену в точці А. За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік b_2 . Повторно обчислюють перевищення між точками А та В, мм,

$$|h| = b'_0 - i_2 = b_2 - i_2 - x. \quad (6.3)$$

Якщо головна геометрична умова виконується, то значення перевищень, обчислених за формулами (6.2) та (6.3), повинні бути однакові. При розбіжності між перевищеннями обчислюють похибку, мм,

$$x = 0,5 (b_1 + b_2) - 0,5 (i_1 + i_2). \quad (6.4)$$

Якщо похибка $x \leq 4$ мм, то виконують юстирування у такій послідовності. Обчислюють правильний відлік на рейці b_0 , мм, за формулою

$$b_0 = b_2 - x. \quad (6.5)$$

Наводять середню нитку сітки елеваційним гвинтом на відлік на рейці b_0 . При цьому бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля-пункту. Відводять у бік захисну кришку виправних гвинтів циліндричного рівня. Відкручують горизонтальні юстирувальні гвинти, а вертикальними гвинтами суміщають кінці бульбашки рівня. Для контролю перевірку повторюють.

Перевірка міри компенсації кутів нахилу осі нівеліра. Компенсація кутів нахилу осі нівеліра повинна бути повною.

Для визначення похибки недокомпенсації встановлюють нівелір посередині створу між рейками, розміщеними на відстані 100 м одна від одної. Визначають перевищення, мм, п'ятьма прийомами при положеннях бульбашки круглого рівня, зображених на рисунку 6.7,

$$h_i = a_i - b_i, \quad (6.6)$$

де a_i, b_i – відліки відповідно по задній та передній рейках, мм.

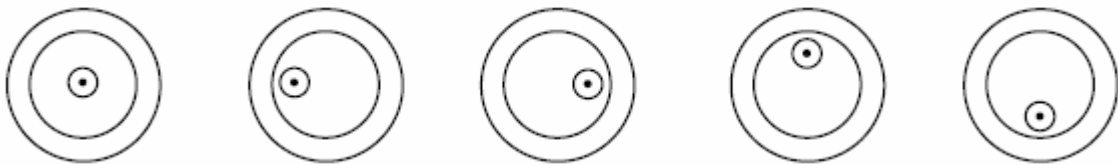


Рисунок 6.7- Положення бульбашки круглого рівня при визначенні похибки компенсації

Обчислюють середнє значення перевищення, мм, отримане при положеннях бульбашки рівня 2...5 (рис. 6.7),

$$h_c = \Sigma h_i / 4. \quad (6.7)$$

Знаходять різницю між середнім значенням перевищення і середнім перевищенням h_1 , мм, отриманим при положенні бульбашки рівня 1 (рис. 6.7),

$$h_c - h_1 = f. \quad (6.8)$$

Якщо різниця $f > 5$ мм, то юстирування нівеліра виконують в оптичній майстерні.

Перевірка головної геометричної умови. Лінія візування повинна бути горизонтальною при нахилах осі приладу до величини допустимого кута компенсації. На місцевості в точках А і В, розташованих на відстані $(100 \pm 0,2)$ м, забивають два кілки, на які встановлюють рейки (рис. 6.8).

У точці D посередині між рейками ($d_1 = 50 \pm 0,1$) м установлюють нівелір і приводять його у робочий стан. Більше трьох разів, змінюючи висоту інструмента, визначають перевищення між точками h_i . Середнє значення перевищення, мм, буде позбавлене інструментальних похибок:

$$h_c = \Sigma h_i / n. \quad (6.9)$$

Потім нівелір переносять у точку C, розміщену на відстані $d_2 = (10 \pm 0,1)$ м від точки B, і визначають перевищення, мм,

$$h_1 = a_1 - b_1. \quad (6.10)$$

Якщо перевищення h_1 , визначене з точки C, буде відрізнятися більше, ніж на 2 мм від перевищення h_c , визначеного з точки O, тобто $f = (h_c - h_1) > 2$ мм, то необхідно виконати юстирування. З цією метою обчислюють поправки за формулами

$$x = f d_1 / (d_1 - d_2); \quad (6.11)$$

$$y = f d_2 / (d_1 - d_2), \quad (6.12)$$

де x, y – поправки відповідно на дальню і ближню рейки, мм; d_1, d_2 – відстань від нівеліра відповідно до дальньої і ближньої рейок, м.

Для приведення ліній візування в горизонтальне положення знімають ковпачок, що прикриває виправні гвинти сітки ниток. Наводять нівелір на дальню рейку і виправними гвинтами сітки ниток наводять горизонтальну нитку сітки на виправлений відлік. Для контролю перевірку повторюють.

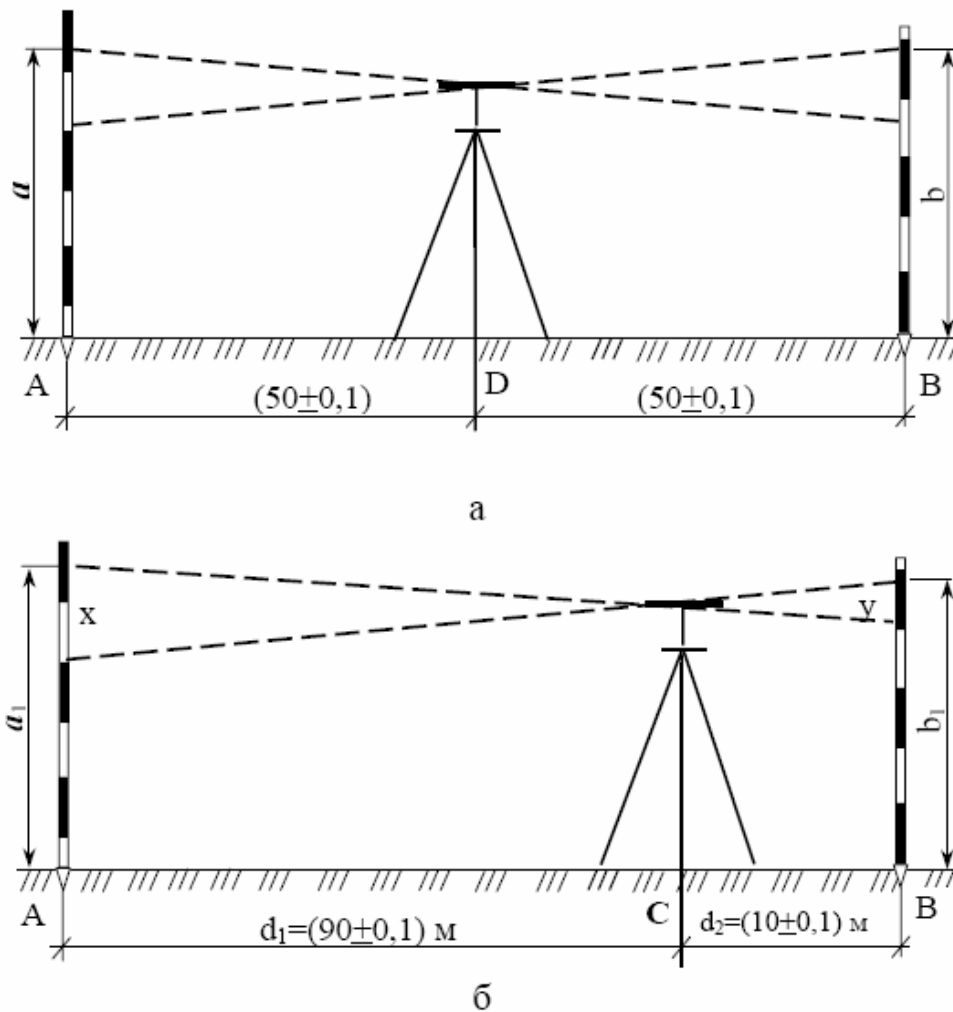


Рисунок 6.8- Перевірка головної геометричної умови нівелірів з компенсатором

Перевірки нівелірних рейок

1. Вісь круглого рівня повинна бути паралельна осі рейки. На відстані 40...50 м від нівеліра, приведеного в робочий стан, ставлять рейку на тверду основу. З допомогою нівеліра рейку встановлюють так, щоб одне ребро її було паралельне вертикальній нитці сітки зорової труби. Якщо при цьому бульбашка рівня залишиться у нуль-пункті, то умову виконано. Якщо бульбашка рівня зійде з середини вліво або вправо, то виправними гвинтами її повертають у нуль-пункт. Рейку повертають на 90° і повторюють вказані дії.

2. Помилки в дециметрових поділках не повинні перевищувати для рейок третього класу $\pm 0,5$ мм, четвертого класу – $\pm 0,7$ мм, технічних – $\pm 1,0$ мм. Умову перевіряють, компаруючи рейку нормальним штриховим метром або контрольною лінійкою з міліметровими поділками з урахуванням температури. Контрольні проміри виконують у прямому і зворотному напрямках.

Технічне нівелювання способом із середини нівеліром Н-3

Після виконання перевірок і юстирувань нівелір установлюють на однакових відстанях від рейок і приводять в робочий стан (рис 6.9). З цією метою вісь нівеліра приводять у прямовисне положення і фокусуванням зорової труби отримують чітке зображення рейок. Зорову трубу наводять на чорний бік задньої рейки. З допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці контактної циліндричної рівня. Після заспокоєння бульбашки рівня роблять відлік $a_{\text{чор}}$. Потім наводять трубу на чорний бік передньої рейки. За необхідності елеваційним гвинтом виправляють положення бульбашки циліндричного рівня і роблять відлік $b_{\text{чор}}$. Перевертають рейку червоним боком до нівеліра і роблять відлік по червоному боці передньої рейки $b_{\text{чер}}$. Перевертають зорову трубу на задню рейку і роблять відлік по червоному боці рейки $a_{\text{чер}}$.

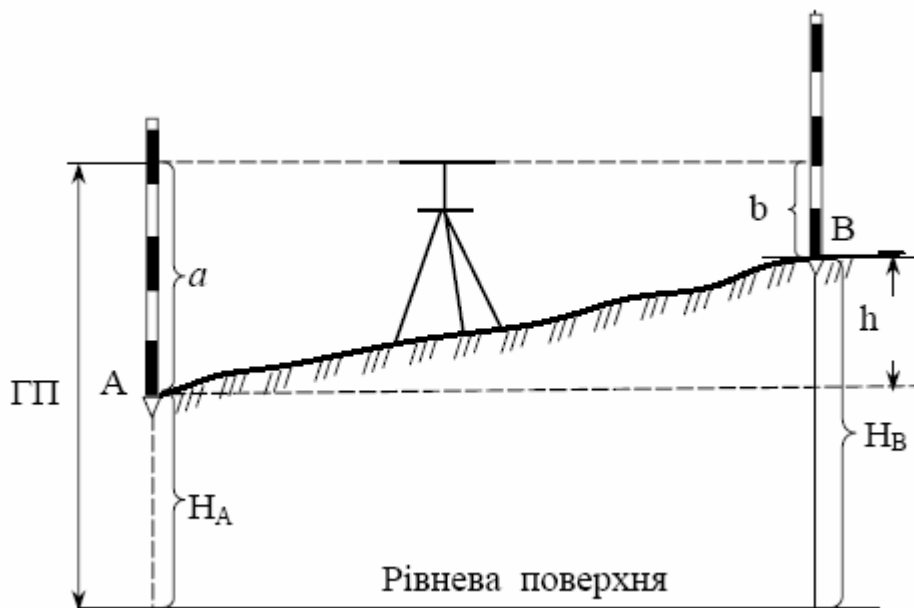


Рисунок 6.9- Геометричне нівелювання способом з середини

Виконують контроль відліків. З цією метою, не знімаючи прилад, обчислюють перевищення між точками відповідно по чорному і червоному боках рейки, мм:

$$h_{\text{чор}} = a_{\text{чор}} - b_{\text{чор}}; \quad (6.13)$$

$$h_{\text{чер}} = a_{\text{чер}} - b_{\text{чер}}. \quad (6.14)$$

При цьому повинна виконуватися умова $(h_{\text{чор}} - h_{\text{чер}}) \leq \pm 5$ мм. Якщо умову виконано, обчислюють середнє перевищення між точками, мм,

$$h_c = 0,5 (h_{\text{чор}} + h_{\text{чер}}). \quad (6.15)$$

Якщо відома висота точки H_A , обчислюють висоту точки B , м,

$$H_B = H_A + h_c. \quad (6.16)$$

Якщо різниця перевищень більше 5 мм, то знову беруть відліки по червоному і чорному боках рейок, встановлених на передній і задній точках. Результати нівелювання записують у журнал (табл. 6.1). За наявності проміжних точок на них установлюють задню рейку і беруть відлік тільки по чорному боці рейки.

Таблиця 6.1- Журнал технічного нівелювання

№ станції	№ точ-ки	Відліки по рейках, мм			Перевищення, мм		Середнє пере-вищення, мм	
		задній	передній	промі-жний	+	-	+	-
1	0	1984			975			
		6767					974	
					972			
	1		1009					
			5795					
2	1	1438						
		6226				537		
								535
	+84			2534		533		
	2		1975					
			6759					
3	1	1947						
		6736						
					1028			
							1029	
	2		0919		1030			
			5706					
Контроль: $\Sigma a_{\text{тор}} = 5369$ мм; $\Sigma b_{\text{тор}} = 3903$ мм;							+2003	-535
$\Sigma a_{\text{пер}} = 19729$ мм; $\Sigma b_{\text{пер}} = 14357$ мм;								
$\Sigma a_{\text{тор}} - \Sigma a_{\text{пер}} = -14360$ мм; $\Sigma b_{\text{тор}} - \Sigma b_{\text{пер}} = -14357$ мм;								
$\Sigma a_{\text{тор}} - \Sigma b_{\text{тор}} = +1466$ мм; $\Sigma a_{\text{пер}} - \Sigma b_{\text{пер}} = +1469$ мм							$\Sigma h_c = +1468$	

При роботі з односторонніми нівелірними рейками для контролю відліків по рейках міняють горизонт приладу. У цьому випадку перевищення на станції отримують двічі. Перед повторним визначенням перевищення міняють висоту нівеліра не менше ніж на 10 см.

Для отримання відліків по рейках, що не мають круглого рівня, їх необхідно під час відліку покачувати у площині візування симетрично відносно вертикального положення. Найменший відлік відповідає перпендикулярному положенню рейки до лінії візування. При відліку менше 1000 мм рейку не покачують.

Технічне нівелювання способом вперед нівеліром Н-3

При нівелюванні вперед нівелір установлюють над точкою А, а рейку – над точкою В (рис. 6.10).

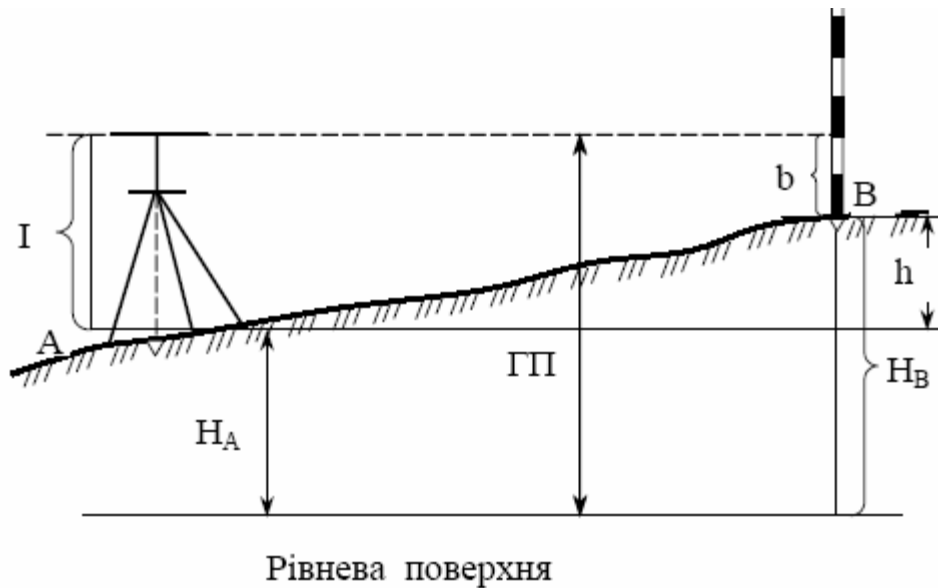


Рисунок 6.10- Геометричне нівелювання способом вперед

Окуляр нівеліра повинен проектуватися на точку А. Вимірявши висоту приладу **I** за допомогою нівелірної рейки або рулетки, візують зорову трубу на рейку. Елеваційним гвинтом суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня **I**, беруть відлік на рейці **b**. Обчислюють перевищення між точками, мм,

$$h = I - b. \quad (6.17)$$

За відомою висотою точки А обчислюють висоту точки В, м,

$$H_B = H_A + h. \quad (6.18)$$

Висоту точки В можна також обчислити через горизонт приладу, м,

$$ГП = H_A + I; \quad (6.19)$$

$$H_B = ГП - b. \quad (6.20)$$

Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання – це метод визначення різниці висот точок земної поверхні за результатами вимірювання кута нахилу (ν) лінії візування з однієї точки на іншу та горизонтальної відстані (**d**) між цими точками (рис. 6.11).

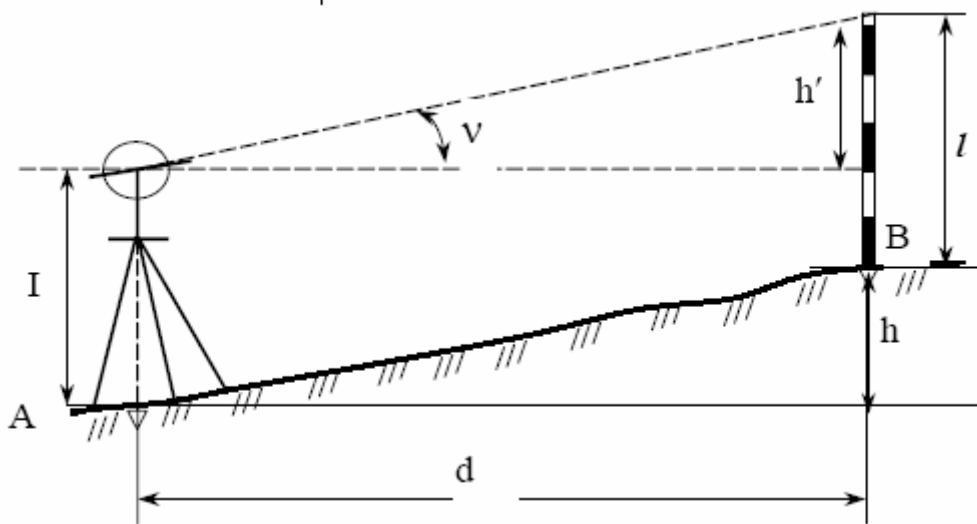


Рисунок 6.11- Суть тригонометричного нівелювання

За відомими величинами довжини рейки (I) та вимірюваної величини висоти приладу обчислюють перевищення між точками за повною формулою тригонометричного нівелювання

$$h = d \operatorname{tg} v + I - l. \quad (6.21)$$

Якщо візувати на позначку, що прикріплена до рейки на висоті приладу ($I = l$), то перевищення визначають за скороченою формулою тригонометричного нівелювання

$$h = d \operatorname{tg} v. \quad (6.22)$$

У випадку, коли відстань між точками вимірюють нитковим віддалеміром, перевищення між точками обчислюють відповідно за формулами

$$h = 0,5 (k n + c) \sin 2 v + I - l, \quad (6.23)$$

$$h = 0,25 (k n + c) \sin 2 v, \quad (6.24)$$

де k – коефіцієнт ниткового віддалеміра; n – відлік по рейці; c – стала віддалеміра.

Визначення перевищень між точками тригонометричним нівелюванням виконують теодолітами Т30, Т15, Т5; кіпрегелями КА-2, КН та електронними тахеометрами ЗТА5 серій PowerSET, ELTA, Geodimeter та ін.

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: бланк завдань, індивідуальний варіант вихідних даних, які розраховує студент за наведеними у завданні залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача, нівелір.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Опрацювання журналу нівелювання траси.

Перевищення між зв'язуючими точками, мм, (таблиця 1) обчислюють за формулами

$$h' = Z_{\text{чр}} - П_{\text{чр}}; \quad h'' = Z_{\text{чв}} - П_{\text{чв}};$$

де $Z_{\text{чр}}$, $Z_{\text{чв}}$ – задні відліки відповідно на чорному і червоному боках рейки, мм;
 $П_{\text{чр}}$, $П_{\text{чв}}$ – передні відліки відповідно на чорному і червоному боках рейки, мм.

Різниця між перевищеннями, обчисленими за чорним і червоним боками рейок, не повинна перевищувати ± 5 мм. Обчислені перевищення залежно від їх знака записують у відповідну графу журналу нівелювання траси. Визначають середнє перевищення, мм:

Значення середнього перевищення заокруглюють до 1 мм і залежно від знака записують у відповідну графу журналу нівелювання траси. Для здійснення посторінкового контролю обчислення перевищень знаходять суми всіх чисел у відповідних графах журналу нівелювання траси. Контролем правильності обчислень на кожній сторінці журналу є дотримання рівностей

$$(\sum Z - \sum П) / 2 = (\sum h) / 2 = \sum h_{\text{cp}},$$

де сума всіх задніх відліків на чорному та червоному боках рейок, мм,

$$\sum Z = \sum Z_{\text{чр}} + \sum Z_{\text{чв}},$$

сума всіх передніх відліків на чорному та червоному боках рейок, мм,

$$\sum П = \sum П_{\text{чр}} + \sum П_{\text{чв}}, \text{ де}$$

$\sum h$ – алгебраїчна сума обчислених перевищень, $\sum h_{\text{cp}}$ – алгебраїчна сума середніх перевищень. Нев'язка нівелірного ходу, мм,

$$fh = \sum h_{\text{ch}} - \sum h_{\text{T}},$$

$\sum h_{\text{T}}$ – теоретична сума перевищень, мм,

$$\sum h_{\text{T}} = H_{\text{Rp2}} - H_{\text{Rp1}},$$

де H_{Rp2} , H_{Rp1} – позначки реперів.

Нев'язка в перевищеннях зв'язуючих точок не повинна перевищувати граничну допустиму нев'язку ходу технічного нівелювання, мм,

$$f_{\text{дон}} = \pm 50 \sqrt{L},$$

де L – кількість кілометрів у ході.

Якщо кількість станцій нівелювання перевищує 25 на 1 км ходу, то допустиму нев'язку, мм, обчислюють за формулою

$$f_{\text{дон}} = 10\sqrt{n},$$

де n – кількість станцій у ході.

Якщо фактична нев'язка не більша від допустимої

$$fh \leq fh_{\text{дон}},$$

то в графу "Середні і виправлені перевищення" вносять поправки з оберненим знаком нев'язки, які знаходять за виразом

$$\delta h = -fh/n.$$

Поправки розподіляють порівну на всі перевищення. Сума всіх поправок повинна дорівнювати неув'язці з оберненим знаком. Поправки записують зверху над середніми значеннями перевищень.

Позначки зв'язуючих точок обчислюють послідовно, починаючи з першої, за правилом: позначка наступної точки дорівнює позначці даної плюс виправлене перевищення між ними, м:

$$H_1 = H_{\text{Rp1}} + h_1;$$

$$H_n = H_{n-1} + h_1,$$

де H_1 , H_{n-1} , H_n – позначка першої, наступної та попередньої точок, м; h_n , h_1 – виправлені перевищення, м.

Обчислені за формулами позначки зв'язуючих точок записують у графу 9 та у рядках відповідних пікетів. Контролем правильності обчислення позначок є отримання відомої позначки кінцевої точки, яка в прикладі дорівнює позначці другого репера H_{Rp2} .

Позначки проміжних точок і точок поперечників обчислюють, використовуючи горизонт приладу, м:

$$ГП = H_A + a;$$

$$H_C = ГП - c,$$

де H_A , H_C – позначки відповідно зв'язуючої та проміжної точок, м; a , c – відліки на рейках, встановлених відповідно на зв'язуючій і проміжній точках, м.

Значення горизонту приладу записують у графу 8 у рядок, що відповідає зв'язуючій точці. Позначки проміжних точок та точок поперечників записують у відповідні рядки графи 9.

Вихідні дані для кожного окремого варіанта наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2- Відомість опрацювання журналу нівелювання траси

№ станції	№ точок візування	Позначки на рейках, мм			Перевищення, мм	Середнє і виправлене перевищення, мм	Горизонт інструмента, м	Позначки, м	
		Задні	Передні	Проміжні				H _{0,001}	H _{0,01}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Rp1	2840							
		7523							
1									
	ПК 0		1375						
			6057						
	ПК 0	2758							
		7441							
2									
	ПК 1		0748						
			5429						
	ПК 1	0620							
		5300							
3									
	X		2750						
			7430						
	X	0809							
		5494							
4									
	ПК 1+80		2565						
			7251						
	ПК 1+80	2875							
		7560							
5									
	ПК 2		0525						
			5208						
	ПК 2	0125							
		4810							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	П 20			0937					
	П 10			1374					
6	ПК 2+70			2015					

	Л 10			2233					
	Л 20			2564					
	ПК 3		2950						
			7632						
	ПК 3	2888							
		7573							
7									
	ПК 4		0666						
			5353						
	ПК 4	2987							
		7574							
	П 20			0512					
	П 10			0978					
8	ПК 4+40			1273					
	Л 10			1654					
	Л 20			2345					
	ПК 5		0198						
			4783						
	ПК 5	2468							
		7149							
9									
	ПК 6		1234						
			5919						
	ПК 6	0662							
		5347							
10									
	Rp 2		1415						
			6102						

Таблиця 6.3- Вихідні дані для побудови профілю лінійної споруди

Номер варіанта	Rp 1	Rp 2
1	231,367	235,992
2	257,632	262,251
3	349,565	354,190
4	325,489	330,097
5	333,333	337,932
6	358,023	362,623
7	425,321	429,908
8	437,623	442,252
9	225,225	229,833

10	299,325	303,953
11	598,123	602,712
12	346,756	351,346
13	401,242	405,839
14	198,988	203,603
15	292,590	296,638
16	460,247	464,869
17	341,521	346,137
18	366,129	370,740
19	222,555	227,150
20	386,127	390,720
21	305,420	310,110
22	198,987	203,611
23	231,516	236,212
24	236,212	240,910
25	364,549	369,171
26	240,910	245,521

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Види нівелювання.
2. Види нівелірів, їх метрологічні характеристики.
3. З яких основних частин складається нівелір Н-3?
4. Особливості конструкції нівелірів з компенсаторами.
5. Типи, основні частини і метрологічні характеристики нівелірних рейок.
6. Склад і послідовність операцій під час підготовки нівеліра до роботи.
7. Основні умови роботи, які слід виконувати для нівелірів з циліндричним рівнем і нівелірів з компенсаторами.
8. Правила роботи з нівелірами Н-3 і Н-3К.
9. Порядок роботи на станції при визначенні перевищень способами з середини і вперед.
10. Назвіть конструкції нівелірів Н-3 та Н-3К.
11. Виконайте перевірки і юстирування нівелірів Н-3 та Н-3К.
12. Визначте перевищення способами з середини і вперед.
13. Суть тригонометричного нівелювання.
14. Наведіть повну й скорочену формули тригонометричного нівелювання.

Лабораторна робота № 7

Будова та перевірки теодолітів. Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів

Мета роботи: навчитися кваліфіковано користуватися теодолітом, виконувати перевірки, вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Типи теодолітів, їх особливості

Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів при топографо-геодезичних роботах виконують геодезичним приладом – теодолітом. Теодоліти класифікують за точністю, призначенням, конструктивними особливостями й мірою автоматизації окремих операцій.

За точністю теодоліти бувають високоточні (середня квадратична похибка вимірювання кутів $m_p = 0,5...1,0''$), точні ($m_p = 2...5''$) й технічні ($m_p = 15...30''$); за конструктивними особливостями – прості, повторювальні, з компенсатором біля вертикального круга й автоколімаційні; за призначенням – спеціальні, кодові, маркшейдерські й технічні.

Серійно випускають такі типи теодолітів: Т05, Т1, Т2, Т15 і Т30. Цифра означає середню квадратичну похибку вимірювання кута за один прийом (у секундах). Якщо зорова труба теодоліта має пряме зображення, до його позначення додають літеру П (Т30П). За наявності компенсатора біля вертикального круга додають літеру К (2Т15К). Якщо на основі єдиної базової моделі розроблена нова модифікація, спереду додають цифру 2, а на маркшейдерське виконання вказує літера М (2Т30М).

Основні метрологічні характеристики теодолітів наведено у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1- Основні параметри теодолітів

Основні параметри	Тип теодоліта				
	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
Середня квадратична похибка вимірювання кута за один прийом, с	1	2	3	15	30
Збільшення зорової труби, разів	30;40	25	25	25	18
Мінімальна відстань візування, м	5	2	2	1,5	1,2
Ціна поділки лімба, мінути	10	20	60	60	10
Коефіцієнт ниткового	-	100	100	100	100

віддалеміра					
Маса теодоліта, кг	11	5	4,5	3,5	2,5

У теодолітах Т05, Т1, Т2 відліки роблять за двостороннім мікрометром. У теодолітах Т5, Т15 система відліків одностороння за шкальними мікроскопами. У теодоліті Т30 використовується мікроскоп з індексом.

Високоточні теодоліти Т05 і Т1 використовують для вимірювання кутів у планових державних геодезичних мережах 1-го й 2-го класів, а також як контрольно-вимірювальне обладнання для різних дослідницьких і високоточних вимірювань, у будівництві й експлуатації особливо відповідальних споруд. Найменша поділка круга лімба 10', ціна поділки відлікової системи 1".

Точний теодоліт Т2 призначений для вимірювання кутів у триангуляції 3-го й 4-го класів, у геодезичних роботах з розмітки споруд у будівництві. Круги лімбів теодоліта поділені на 20', оцифровування градусне. У відліковій системі приладу використано оптичний клиновий мікрометр зі шкалою, ціна поділки якого 1". Відлікова система передбачає цифрову індексацію десятків мінут у додатковому віконці діафрагми поля зору мікроскопа.

Точний теодоліт Т5 та його модифікації 2Т5 і 2Т5К призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів у триангуляції та полігонометрії 1-го й 2-го розрядів, вимірювання відстаней за допомогою ниткового віддалеміра, а також для виконання планувальних робіт. У відліковій системі використано шкальний мікроскоп з ціною поділки 1". Система відліків одностороння двоканальна з кольоровим фоном відображення вертикального й горизонтального кругів. Теодоліт 2Т5К відрізняється від теодоліта 2Т5 тим, що він має самовстановлювальний оптичний компенсатор, який замінює рівень біля алідади вертикального круга й дозволяє використовувати прилад як нівелір з горизонтальним променем візування.

Теодоліт Т15 призначений для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних геодезичних мережах, при перенесенні у натуру споруд та інженерно-технічних вишукуваннях трас. Теодоліт має оптичний центрир, розміщений у середині алідадної частини приладу. Кутомірні круги теодоліта розділені через 1°, кожен штрих яких оцифрований. Відлікова система – це шкальний мікроскоп з ціною поділки 1'. Частини поділок відлічують на око з точністю 0,1'. У полі зору шкального мікроскопа одночасно видно відображення штрихів горизонтального й вертикального кругів. Теодоліт 2Т15КП відрізняється від базової моделі наявністю компенсатора й тим, що труба має пряме відображення.

В топографо-геодезичних вимірюваннях використовують удосконалені оптичні теодоліти серії 3Т, а саме: теодоліти 3Т2КП(2"), 3Т2КА(2") й 3Т5КП(5") та серії 4Т – 4Т30П(30").

За кордоном виготовляють астрономо-геодезичний теодоліт-універсал ТНЕ0 002, секундний теодоліт ТНЕ0 010А, теодоліт-тахеометр ТНЕ0 020А і малий теодоліт ТНЕ0 080А. Теодоліт ТНЕ0 020А призначений для вимірювання

кутів у тріангуляції і полігонометрії середньої точності, розбивних робіт у будівництві, топографічних знімачів і спостережень за деформаціями споруд. Зорова труба дає збільшення зображення у 25 разів, середня похибка вимірювання 3", самовстановлювальний індекс вертикального круга з похибкою встановлення 1", маса 4,2 кг.

Широко використовують для вимірювання й побудови горизонтальних та вертикальних кутів теодоліти фірми Topcon: оптичні TL-6G(6"), TL-10G(10") й TL-20G(20"); цифрові DT-101(2"), DT-102(5"), DT-103(7"), DT-104(10"), DT-106(20") та цифрові з лазерним показником DT-110L(5"), DT-102L(5"), DT-103L(7") й DT-104L(10"), а також фірми SOKKIL: електронні DT4(5"), DT500(5") й DT600(7") та з лазерним показником LDT50(5").

Геометрична схема й основні частини теодоліта

Кожний тип теодоліта має свої конструктивні особливості. Однак, належачи до одного типу приладів для вимірювання кутів, усі вони мають загальні основні частини (рис. 7.1): зорову трубу 1, рівні, робочі міри, горизонтальний (з лімбом 3 і алідадою 4) і вертикальний 5 круги, відлікові системи і встановлювальні пристрої, підставки 2 і піднімальні гвинти 7.

Обов'язковим є однакове взаємне розміщення таких осей теодоліта: візирної осі труби ZZ_1 , осі рівня на алідаді горизонтального круга UU_1 , горизонтальної осі обертання труби HH_1 й осі обертання приладу (основна) Π_1 .

Принципова схема теодоліта забезпечує виконання основних геометричних умов: вісь обертання приладу повинна бути вертикальною; площина лімба LL_1 – горизонтальною; площа візування – вертикальною. При вимірюванні кутів найбільше значення має дотримання взаємного розміщення частин теодоліта відповідно до таких умов: $LL_1 \perp \Pi_1$, $UU_1 \perp \Pi_1$ або $UU_1 \parallel LL_1$, $ZZ_1 \perp HH_1$, $HH_1 \perp \Pi_1$ або $HH_1 \parallel LL_1$. Це зумовлено їхньою значною мінливістю у процесі роботи й транспортування.

Зорова труба дозволяє при виконанні вимірювальних робіт точно візувати на значно віддалені від приладу предмети. До її складу (рис. 7.2) входять об'єктив 1, лінза 2, кремальєра 3, сітка ниток 4 й окуляр 5. Сітка ниток призначена для точного й одноманітного наведення на ціль візування.

Зорова труба має оптичну, геометричну осі й вісь візування. Оптична вісь – це пряма, яка з'єднує центри об'єктива й окуляра зорової труби. Геометрична вісь – це пряма, що проходить через центри поперечних перерізів об'єктивної й окулярної частин труби. Вісь візування – пряма, яка проходить через оптичний центр об'єктива й центр сітки ниток.

Збільшення зорової труби

$$V = f_{об} / f_{ок}, \quad (7.1)$$

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

Поле зору, тобто простір, який видно в трубу при її нерухомому стані, обчислюють залежно від збільшення V :

$$\alpha = 38,2^\circ / V. \quad (7.2)$$

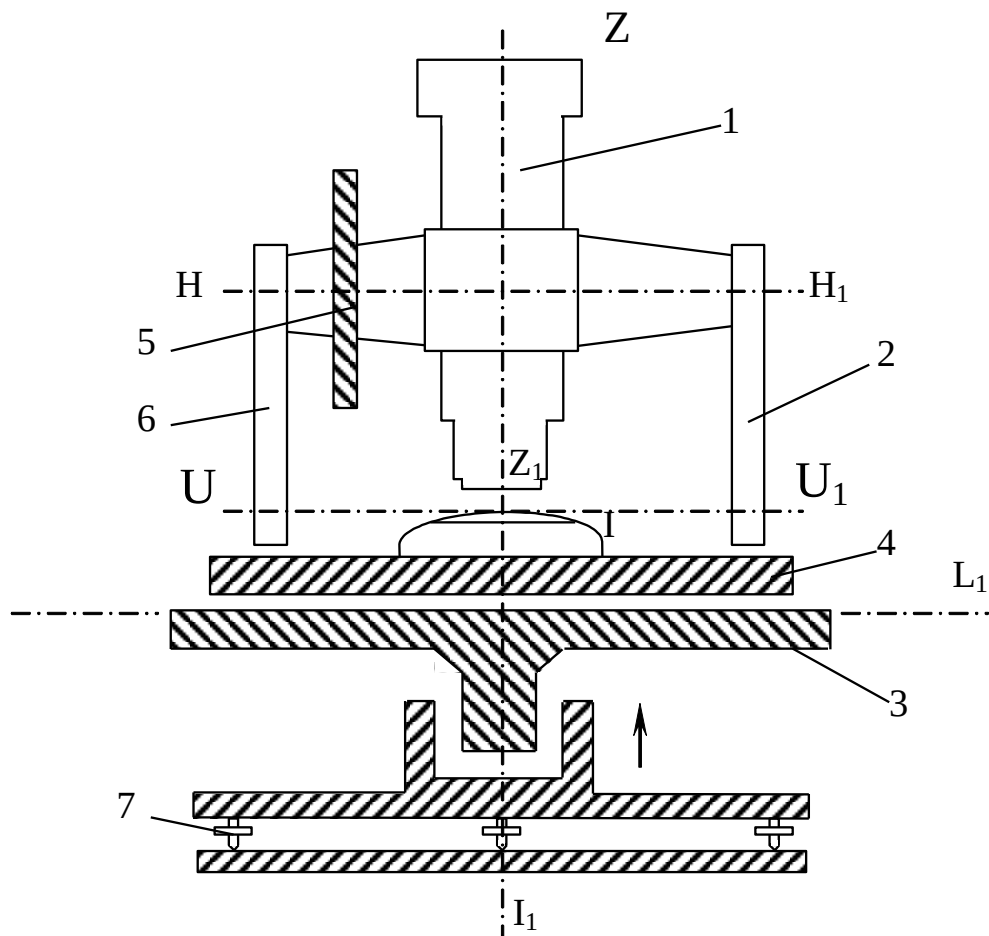


Рисунок 7.1- Геометрична схема й основні частини теодоліта

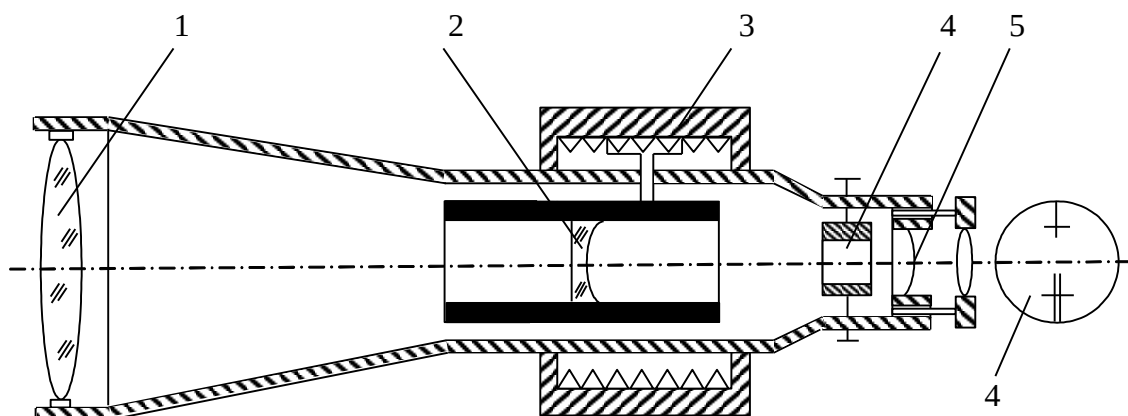


Рисунок 7.2- Будова зорової труби

Циліндричні рівні призначені для приведення вертикальної осі Π_1 теодоліта у прямовисне положення (рис. 7.3). Конструктивно рівень

виготовлений з циліндричної трубки, внутрішня поверхня якої відшліфована по радіусу в кілька метрів (3...200 м). Склона трубка 1 розміщена у металевій оправі 2 з виправним гвинтом 5. У середині трубки 1 безповітряний простір утворює бульбашку рівня 3, а на її зовнішній поверхні зроблено поділки 4 через 2 мм. Найвищу точку трубки (точку 0) називають нуль-пунктом. Відносно цієї точки бульбашка рівня розміщується симетрично, якщо вісь UU_1 рівня, тобто дотична до внутрішньої поверхні трубки в нуль-пункті, набирає горизонтального положення.

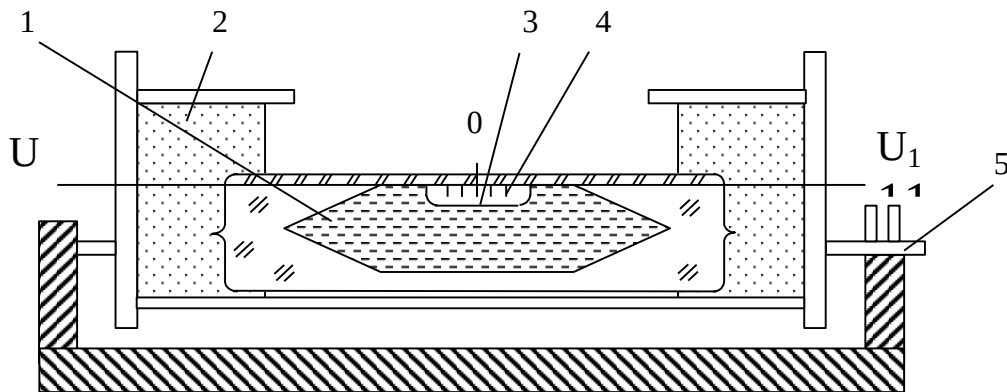


Рисунок 7.3- Будова циліндричного рівня

Ціна поділки рівня (рис. 7.4)

$$\tau = l \rho / R, \quad (7.3)$$

де l – лінійне значення однієї поділки рівня (2 мм);

ρ – кількість секунд у радіані (206265);

R – внутрішній радіус поверхні рівня (3...200 м), мм.

Як робочі міри у теодолітах – лімби горизонтального й вертикального кругів, на яких зроблено поділки з високою точністю.

У сучасних оптичних теодолітах для відлічування поділок лімба використовують штрихові (рис. 7.5а) або шкальні (рис. 7.5,б) мікроскопи. Ціна поділки лімба штрихового мікроскопа 10 (рис. 7.5а). Відлік за штриховим мікроскопом беруть на око з точністю 1'. Ціна поділки лімба шкального мікроскопа 1°. Ціна поділки шкали 1'. Відлік за шкалою беруть на око з точністю 0, 1'. В оптичних теодолітах зі штриховими й шкаловими мікроскопами в полі зору одночасно видно зображення вертикального й горизонтального кругів.

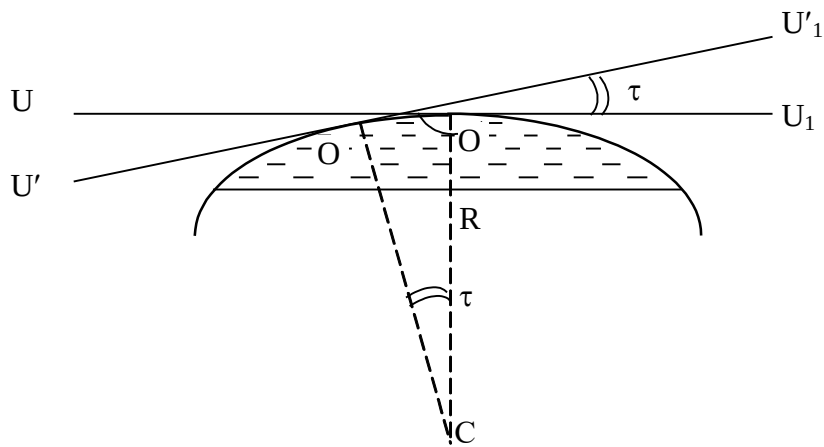


Рисунок 7.4- Визначення ціни поділки рівня

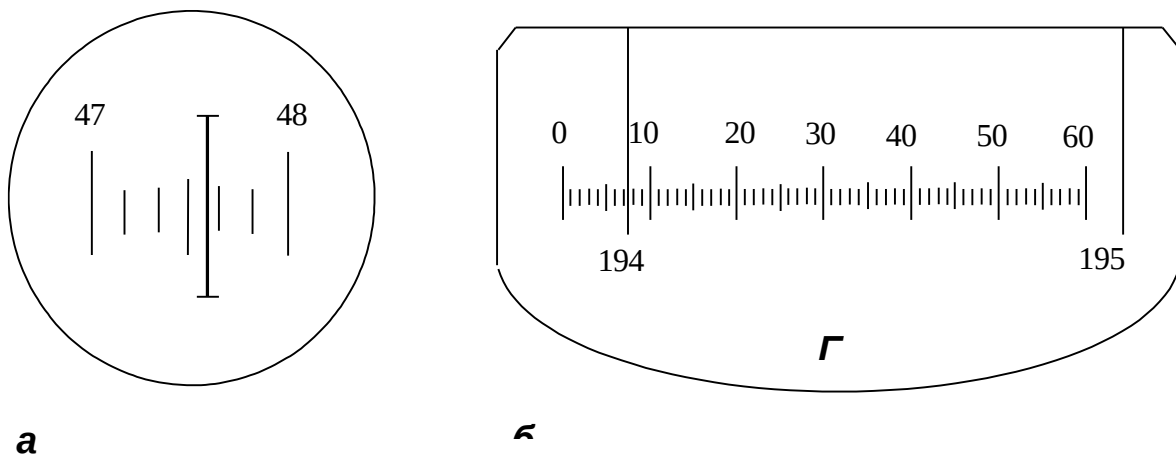


Рисунок 7.5- Будова мікроскопів: а – штрихового (відлік $47^{\circ}36'$); б – шкального (відлік $194^{\circ}07,2'$)

Будова теодоліта Т30

Теодоліт Т30 призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, а також для виконання топографо-геодезичних робіт на місцевості.

Особливості теодоліта Т30 такі: система вертикальної осі повторювальна; відліки по кругах виконують за індексом на око з точністю до $0,1'$ поділки ($1'$); можливе центрування теодоліта над точкою за допомогою зорової труби.

Теодоліт Т30 (рис. 7.6) складається з вертикального й горизонтального кругів зі скляними лімбами, зорової труби 1, відлікового мікроскопа 2, ручки фокусування 5, дзеркала для підсвічування 3, затискних 4 й навідних мікрометричних 6 гвинтів труби 1, підставки 7, затискних і навідних гвинтів лімба 8 і алідади 9.

Теодоліт Т30 має оптичну систему, яка дає змогу виконувати водночас відліки по горизонтальному й вертикальному кругам за допомогою мікроскопа. Схема оптики системи відліку теодоліта Т30 зображена на рисунку 7.7.

Мікроскоп розміщений біля окуляра зорової труби. Поле зору теодолітів Т30 і 2Т30П зображено на рисунках 7.8 та 7.9.

До комплекту теодоліта Т30 входять також штатив, орієнтир-бусоль, висок, футляр з чохлам та запасні інструменти й приладдя.

Підготовка теодоліта до роботи

Підготовка теодоліта до роботи включає аналіз і оцінювання зовнішнього стану й комплектності, оцінювання дієздатності рухомих частин і режимів окремих функціональних елементів, приведення їх у дієздатний стан, перевірку і юстирування. Теодоліти мають відповідати необхідним оптико-механічним і геометричним умовам. Теодоліти як геодезичні прилади для вимірювання кутів характеризуються комплексом метрологічних характеристик і тому мають регулярно піддаватися перевірці й метрологічній атестації. Зміст перевірних робіт для теодолітів при метрологічному контролі наведено у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2- Зміст перевірних робіт для теодолітів

Зміст перевірних робіт	Методи, засоби і пристрої для перевірок
Перевірка зовнішнього вигляду й комплектності	Візуальний огляд
Оцінювання дієздатності рухомих частин	Випробування
Визначення середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтального й вертикального кутів	Автоколіматори або коліматори
Визначення коефіцієнта ниткового віддалеміра	Еталонний базис
Визначення ексцентриситету вертикального круга	Автоколіматори
Визначення колімаційної похибки	Вимірювання напрямів на візирну ціль
Визначення місця нуля вертикального круга	Те саме

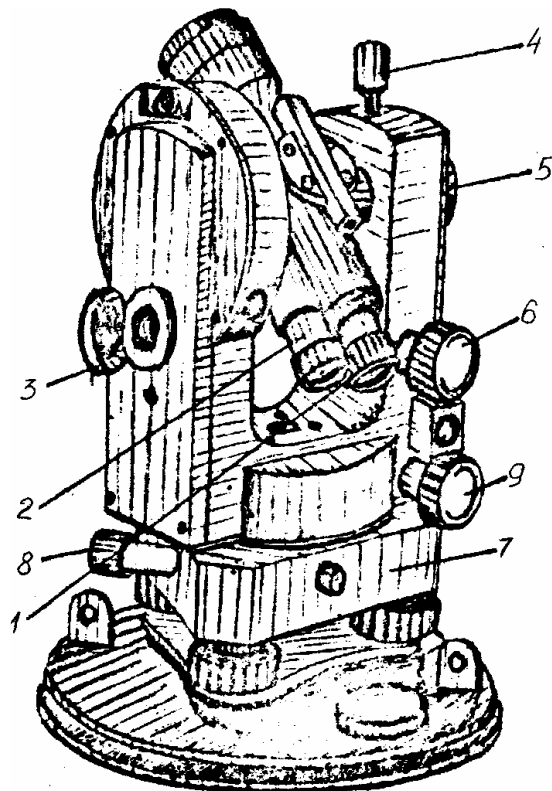


Рисунок 7.6- Будова теодоліта Т30

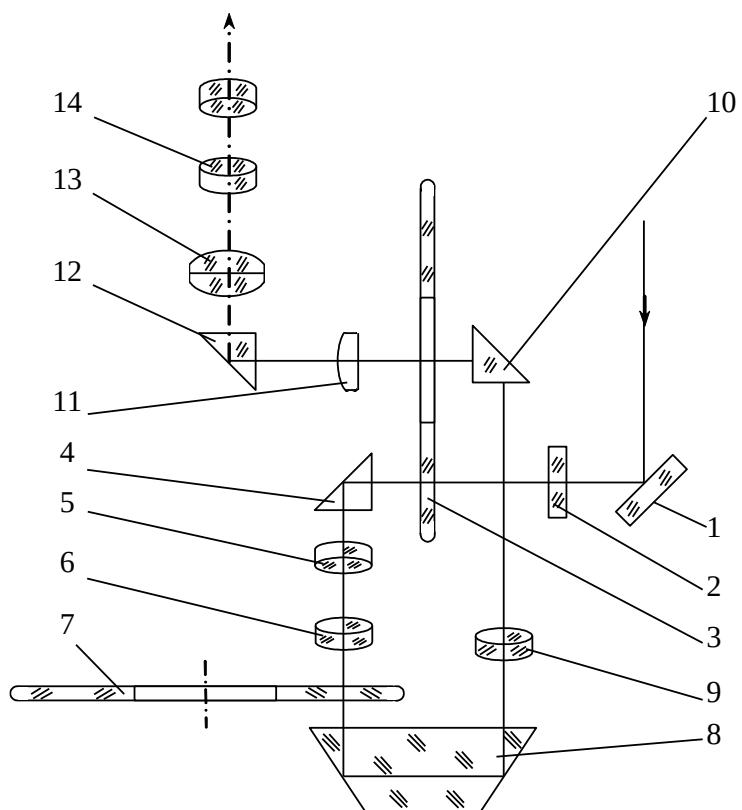


Рисунок 7.7- Схема оптики системи відліку теодоліта Т30: 1 – дзеркало; 2 – ілюмінатор; 3 – вертикальний круг; 4, 8, 10, 12 – призми; 5, 6 – лінзи об’єктива; 7 – горизонтальний круг; 9 – об’єктив горизонтального круга; 11 – конденсатор; 13 – об’єктив мікроскопа; 14 – окуляр мікроскопа

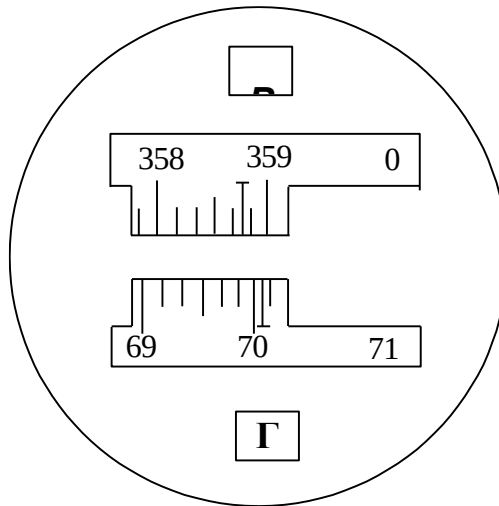


Рисунок 7.8- Поле зору теодоліта Т30. Відліки: по горизонтальному колу $70^{\circ}04'$; по вертикальному – $358^{\circ}46'$

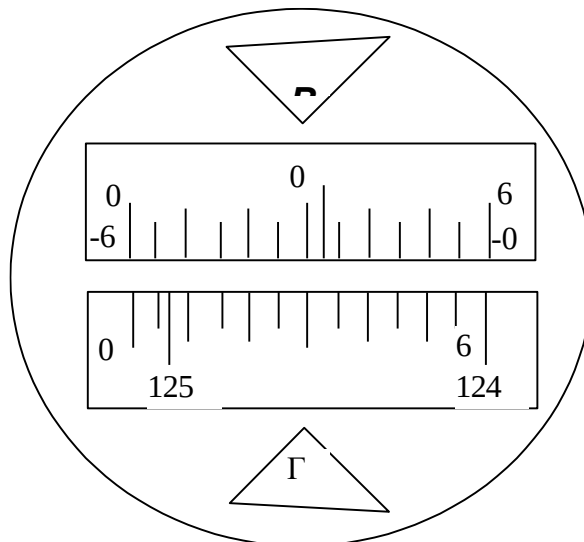


Рисунок 7.9- Поле зору теодоліта 2Т30П. Відліки: по горизонтальному колу $125^{\circ}06'$; по вертикальному – $0^{\circ}33'$

Зовнішній вигляд теодоліта перевіряють візуально. При цьому виявляють пошкодження його оптичних і механічних частин. Перевіряють установку рівнів і виправних пристроїв, чіткість зображення й рівномірність освітлення системи відліку. Труба й оптичні пристрої мають давати чіткі, не викривлені й незабарвлені зображення. Бульбашки рівнів при обертанні піднімального гвинта мають плавно пересуватися в трубці. Особливу увагу звертають на виконання таких умов:

а) нерухомий індекс відлікового мікроскопа при встановленні на його шкалі нуля має збігатися зі зміщеним відображенням діаметрально протилежних штрихів лімба;

б) освітлення поля зору труби повинно бути рівномірним, таким, що не допускає викривлення зображення;

в) зображення штрихів лімба повинно бути видно без перефокусування окуляра мікроскопа.

При перенесенні теодоліта перевіряють правильність і можливість зручного вкладання теодоліта у футляр, замки й пристрої. Комплектність теодоліта контролюють відповідно до комплекту, який вказаний у паспорті.

Дієздатність рухомих частин перевіряють випробуванням. При цьому виявляють і усувають у рухомих частинах лімба неплавність переміщення й помітні деформації. Перевіряють дієздатність мікрометрів зорової труби й системи відліку, придатність пристрою для фокусування. Встановлюють наявність обмежувальних і стопорних пристроїв, де це необхідно. Перевіряють розбіжність окуляра й пристроїв регулювання.

Особливу увагу звертають на:

а) піднімальні й навідні гвинти, вони повинні мати плавний хід, без стрибків, зривів і заїдань. Для перевірки роботи гвинтів зорову трубу візують на віддалену точку. Обертають піднімальний і навідний гвинти й спостерігають за плавністю переміщення зображення точки відносно ниток сітки. За необхідності хід піднімальних гвинтів регулюють їхніми гвинтами, а навідних – їхніми пружинами й гайками;

б) навідні пристрої лімба, механізму оптичного мікрометра повинні працювати плавно і стало;

в) обертання теодоліта навколо вертикальної осі й обертання зорової труби мають бути легкими і плавними;

г) положення теодоліта на штативі має бути тривким.

При огляді штатива звертають увагу на кріплення його частин. Ніжки штатива повинні порівняно туго обертатися в шарнірному з'єднанні з головною частиною.

Остаточний висновок про придатність теодоліта для виконання робіт з належною точністю роблять після виконання перевірок і відповідного їм регулювання.

Приведення теодоліта у робочий стан включає центрування, нівелювання приладу й фокусування зорової труби.

Центрування – встановлення центра лімба або осі алідади на одній прямовисній лінії з вершиною кута.

Для центрування теодоліт пересувають разом зі штативом над точкою доти, поки висок не розміститься над нею. За наявності центрира у його полі зору має бути видна точка. Потім послаблюють становий гвинт і пересувають теодоліт по горизонтальній головці штатива доти, поки висок або хрестик сітки ниток центрира не суміститься з точкою. Після закінчення операції закручують становий гвинт.

Нівелювання теодоліта – приведення площини лімба в горизонтальне положення або осі алідади в прямовисне положення трьома піднімальними гвинтами.

Для нівелювання теодоліта розміщують рівень, обертаючи алідаду при відкритому затискному гвинті паралельно двом піднімальним гвинтам. Обертаючи ці гвинти в різні боки, виводять бульбашку рівня на середину. Потім повертають алідаду разом з рівнем у напрямі третього гвинта, тобто на кут, близький до 90° . Обертаючи тільки третій піднімальний гвинт, знову приводять бульбашку рівня на середину алідади. Дії повторюють доти, поки бульбашка рівня не залишатиметься на середині при будь-якому положенні алідади на лімбі.

Фокусування зорової труби – отримання в полі зору труби чіткого зображення сітки ниток і предмета, який спостерігають.

Чітке зображення предмета отримують обертанням кільця кремальєри. Для отримання чіткого зображення сітки ниток наводять трубу на освітлений предмет. Обертаючи окуляр, домагаються чіткого зображення сітки ниток.

Перевірка і юстирування теодолітів

Перевірку і юстирування теодолітів виконують при температурі $(+20 \pm 5^\circ\text{C})$. При проведенні перевірки виконують операції й використовують засоби перевірки згідно з таблицею 7.2. Для контролю дотримання основних геометричних умов, які зумовлюють принципову схему теодоліта, виконують такі основні дії.

1. Перевірка і юстирування рівня біля алідади горизонтального круга

Вісь циліндричного рівня UU_1 , розміщеного на алідаді, має бути паралельною площині лімба або перпендикулярною до вертикальної (основної) осі Π_1 теодоліта (рис. 7.10).

Для перевірки цієї умови необхідно алідаду повернути так (рис. 7.10), щоб вісь рівня UU_1 розмістилась паралельно лінії, що з'єднує піднімальні гвинти. Обертаючи ці гвинти в протилежних напрямках, бульбашку рівня переміщують на середину. Потім алідаду повертають на 90° і третім піднімальним гвинтом бульбашку рівня виводять на середину. Після чого алідаду повертають на 180° і оцінюють зміщення бульбашки від середини.

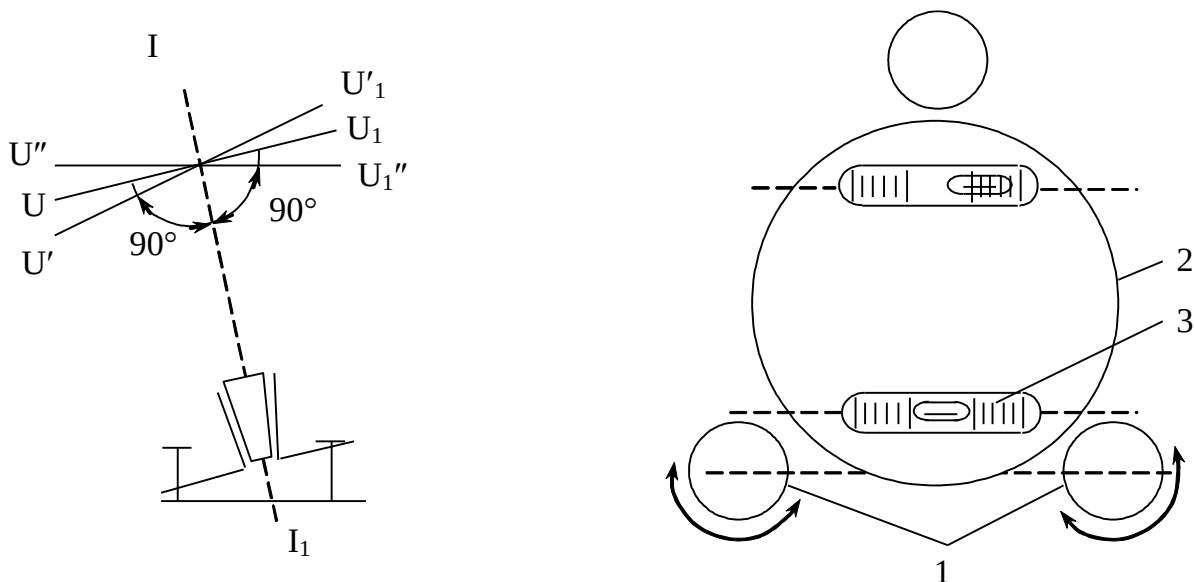


Рисунок 7.10- Перевірка рівня біля алідади горизонтального круга:
1 – піднімальні гвинти; 2 – алідада; 3 – циліндричний рівень

Якщо бульбашка рівня змістилася від середини більше ніж на одну поділку через нерівність підставок рівня, то при повороті лімба або алідади вісь приладу Π_1 і площина лімба збережуть своє похиле положення. Щоб виправити помилку, виправними гвинтами рівня виводять бульбашку на половину відхилення від середини. Вісь рівня UU_1 розміститься паралельно площині лімба (рис. 7.10). Проте лімб не буде в горизонтальному положенні. На другу половину відхилення бульбашку встановлюють двома піднімальними гвинтами, обертаючи їх у різні боки. Лімб при цьому набуде горизонтального положення.

Для контролю перевірку повторюють доти, поки бульбашка рівня, повернутого на 180° , не сходиться з середини більше як на одну поділку. Результати перевірки рівня біля алідади горизонтального круга наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3- Результати перевірки рівня біля алідади

Номер прийому	Відхилення бульбашки при повороті алідади (поділок)		Примітка
	На 90°	На 180°	
1	5	4	Умову не виконано, виконайте юстирування
2	1	3	Те саме
3	0	1	Умова виконана

2. Визначення колімаційної похибки

Візирна вісь труби ZZ_1 має бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби HH_1 (рис. 11), тобто колімаційна похибка має дорівнювати нулю або не перевищувати подвійну точність приладу

$$C = 0,5 (L_r - R_r \pm 180^\circ) \leq 2 t, \quad (7.4)$$

де L_r , R_r – відлік за лімбом горизонтального круга при крузі “ліворуч” і “праворуч”; t – точність теодоліта.

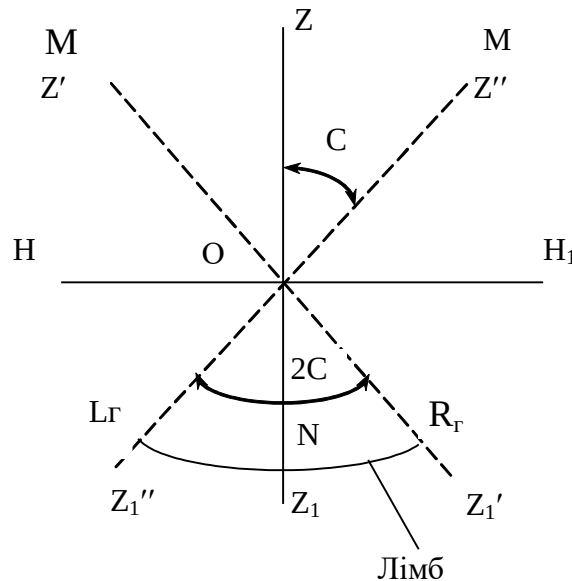


Рисунок 7.11- Схема визначення колімаційної похибки

Неперпендикулярність візирної осі зорової труби до горизонтальної осі обертання визначають у такій послідовності: теодоліт приводять у робоче положення, закріплюють алідаду, вибирають віддалену й добре видиму точку M , що знаходиться на рівні осі обертання (рис. 7.11). Візують на неї трубу при крузі “праворуч”. Закріпивши затискні гвинти й орудуючи навідними гвинтами алідади й труби, суміщають центр сітки з точкою, яку спостерігають. Беруть відлік по горизонтальному кругу. Відкріпивши алідаду і перевіривши трубу через зеніт, візують на ту саму точку M при крузі “ліворуч”. Знову роблять відлік за лімбом горизонтального круга.

За формулою (7.4) обчислюють колімаційну похибку. Якщо вона не перевищує подвійну точність теодоліта – умову виконано. В протилежному випадку виконують юстирування. Щоб позбутися похибки, з обох відліків обчислюють середнє значення:

$$N = (R_r + L_r \pm 180^\circ) / 2. \quad (7.5)$$

Навідними гвинтами алідади встановлюють на лімбі відлік N. Центр сітки ниток зорової труби зійде зі спостережуваної точки М. Послабивши виправні гвинти сітки ниток, переміщують її до суміщення із зображенням точки М. Після цього сітку ниток закріплюють.

Для контролю перевірку повторюють доти, поки колімаційна похибка не перевищуватиме подвійну точність теодоліта. Результати визначення колімаційної похибки наведено у таблиці 4.

Таблиця 7.4- Результати визначення колімаційної похибки

Номер прийому	Точка візування	Відлік по горизонтальному колу		Колімаційна похибка С	Примітка
		"Праворуч"	"Ліворуч"		
1	4	13°21'	193°48'	13'	Умову не виконано Установити на горизонтальному крузі відлік 13°35'
2	4	13°35'	193°36'	30"	Умову виконано

Після закінчення перевірки захисний ковпачок юстирувальних гвинтів сітки ниток ставлять на місце.

3. Визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби

Горизонтальна вісь обертання зорової труби HH_1 має бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта Π_1 (рис. 7.10).

Теодоліт встановлюють за 20...30 м від стіни високої будівлі й приводять його у робочий стан. Вибирають і позначають на стіні точку А (рис.7.12).

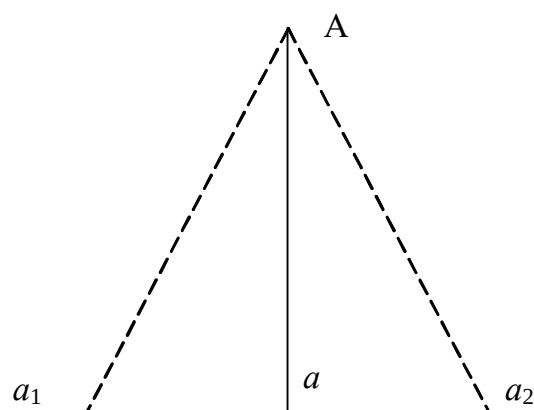


Рисунок 7.12- Визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби

Кут нахилу на точку А не повинен перевищувати 25...35°. Зорову трубу візують на точку А й закріплюють алідаду. Опускають трубу до горизонтального положення і проєкціюють на стіну центр сітки ниток.

Позначають на стіні точку a_1 . Переводять трубу через zenit і при іншому положенні вертикального круга знову візують трубу на точку А. Закріпивши алідаду, опускають трубу до горизонтального положення і позначають на стіні точку a_2 . Якщо точки a_1 і a_2 не сумістяться – умову не виконано. Відстань між a_1 і a_2 для технічних теодолітів не повинна перевищувати 1:5000 висоти точки А над горизонтом приладу (відрізок aA). Результати визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби наведено у таблиці 7.5.

Таблиця 7.5- Результати визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби

Висота точки А, м	Відстань між точками a_1 і a_2 , мм	Відношення відстані до висоти	Примітка
22,8	4,5	1:5066	Умову виконано

У сучасних теодолітах це виправлення потребує розбирання теодоліта, а тому виконують його в оптико-механічних майстернях.

4. Одна з ниток сітки має бути горизонтальною, а інша – вертикальною

Приводять теодоліт у робочий стан. Горизонтальність нитки сітки перевіряють у такій послідовності. Наводять центр сітки ниток на точку, віддалену від теодоліта на 5...10 м, що перебуває на висоті приладу. Навідним гвинтом лімба переміщують сітку ниток уздовж точки (рис. 7.13) і стежать за положенням горизонтальної сітки ниток відносно точки. Якщо зображення центра сітки ниток зміщується відносно точки більше ніж на три штрихи – умову не виконано.

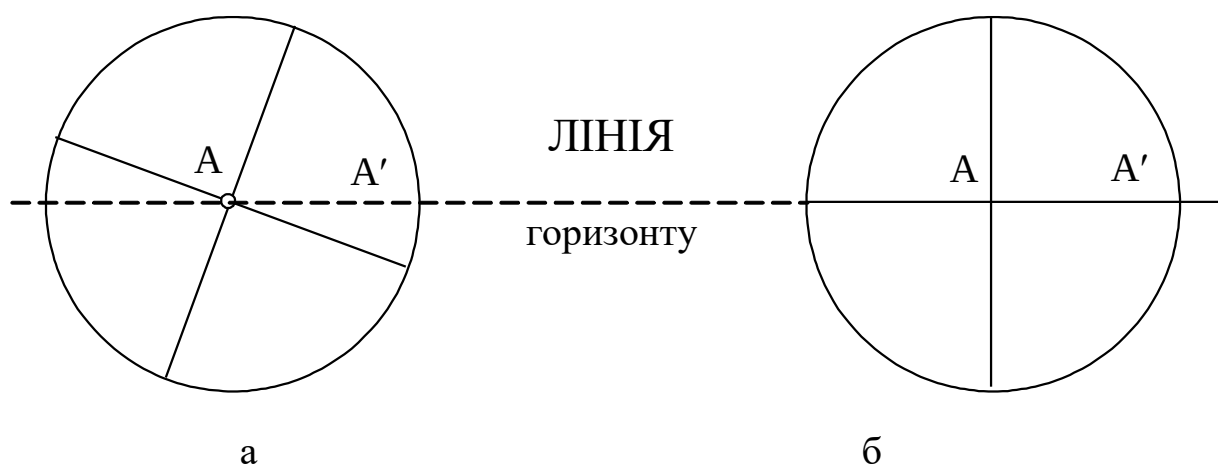


Рисунок 7.13- Перевірка правильності встановлення сітки ниток наведенням на точку:
а – умову не виконано; б – виконано

Вертикальну сітку ниток можна перевірити за допомогою виска, підвішеного на відстані 20...30 м (рис. 7.14). Якщо після візування на висок вертикальна сітка ниток суміститься зі шнурком виска – умову виконано. В іншому разі треба виконати юстирування.

Для виконання юстирування відгвинчують ковпачок, що закриває виправні гвинти сітки на окулярній частині зорової труби. Відкручують виправні гвинти й рукою повертають корпус ниток сітки так, щоб виконувалися умови горизонтальності й вертикальності ниток сітки. Після закінчення перевірки повторюють перевірку перпендикулярності осі візування до горизонтальної осі зорової труби.

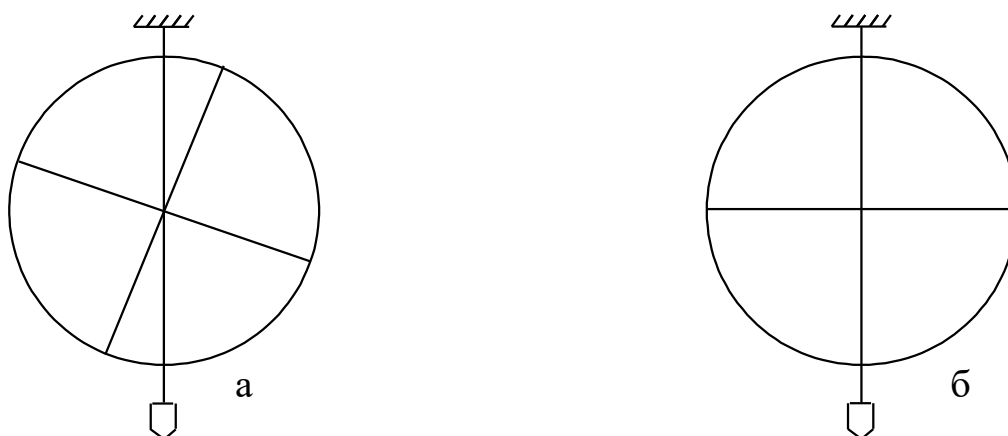


Рисунок 7.14- Перевірка сітки ниток за допомогою виска: а – умову не виконано; б – виконано

5. Визначення місця нуля вертикального круга

Місце нуля – це відлік по вертикальному кругу при положенні зорової труби круг "ліворуч" або круг "праворуч", коли візирна вісь горизонтальна й алідада вертикального круга встановлена за її рівнем у положення, якого вона набуває при вимірюванні вертикальних кутів.

Установлюють за рівнем вісь обертання теодоліта в прямовисне положення. При крузі "праворуч" візують трубу на віддалену точку, яку чітко видно. Виводять бульбашку рівня біля алідади вертикального круга на середину й беруть відлік по вертикальному кругу R_v . Переводять трубу через зеніт і візують трубу на ту саму точку. Знову за необхідності виводять бульбашку рівня при алідаді вертикального круга на середину й беруть відлік по вертикальному кругу L_v .

У теодоліта Т30 місце нуля обчислюють за формулою

$$MO = (R_v + L_v \pm 180^\circ) \leq 2t. \quad (7.6)$$

Для контролю визначають місце нуля візуванням на іншу точку. Всі операції виконують як у попередній послідовності.

Для модифікацій теодолітів з градуванням вертикального круга, відмінним від теодоліта Т30 (за рухом годинникової стрілки), місце нуля обчислюють за формулою

$$MO = (R_v + L_v \pm 360^\circ) \leq 2t. \quad (7.7)$$

У теодоліта 2Т30П та інших, у яких шкала вертикального круга має два ряди цифр (в одному зі знаком "-", а в другому – "+"), місце нуля

$$MO = 0,5 (L_v + R_v). \quad (7.8)$$

Якщо місце нуля більше за подвійну точність теодоліта, виконують юстирування. Для теодоліта Т30 порядок юстирування такий.

Знаходять кут нахилу по відліках, що отримані при візуванні труби на точку при двох положеннях вертикального круга

$$v = 0,5 (L_v - R_v - 180^\circ). \quad (7.9)$$

Залишивши зорову трубу наведеною на точку, встановлюють навідним гвинтом по вертикальному кругу відлік, що дорівнює обчисленому за формулою (7.9). Виводять на середину бульбашку рівня біля горизонтального круга піднімальними гвинтами. Центр сітки ниток зміститься з точки, яку спостерігають. Відгвинчують ковпачок, який закриває юстирувальні гвинти на окулярній частині зорової труби. Вертикальними юстирувальними гвинтами при послаблених горизонтальних гвинтах суміщають центр сітки ниток з точкою, яку спостерігають. Для контролю перевірку повторюють доти, поки не буде виконано умову. Результати визначення місця нуля вертикального круга теодоліта Т30 наведено в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6- Результати визначення місця нуля вертикального круга теодоліта Т30

Точка візуван- ня	Відлік по вертикальному кругу		Місце нуля МО	Примітка
	"Праворуч"	"Ліворуч"		
4	178°37'	1°43'	+ 0°10'	Умову не виконано Установити по вертикальному кругу відлік +1°43'
4	178°28'	1°33'	+ 0,5'	Умову виконано
4	178°12'	1°50'	+ 1'	Те саме

Вимірювання кутів теодолітом Т30

Спосіб прийомів при вимірюванні горизонтальних кутів найпоширеніший при інженерно-топографічних роботах на місцевості. За цим способом горизонтальний кут β отримують як різницю відліків при крузі "праворуч" й "ліворуч" двох напрямів, що виходять з однієї точки (рис. 7.15).

Кут обчислюють так:

а) перший півприйом вимірювання кута при крузі "праворуч"

$$\beta_{\text{п}} = a_{\text{п1}} - a_{\text{п3}}; \quad (7.10)$$

б) другий півприйом вимірювання кута при крузі "ліворуч"

$$\beta_{\text{л}} = a_{\text{л1}} - a_{\text{л3}}; \quad (7.11)$$

в) середнє значення виміряного кута з обох півприйомів

$$\beta_{\text{ср}} = 0,5 (\beta_{\text{п}} + \beta_{\text{л}}), \quad (7.12)$$

де $a_{\text{п1}}$, $a_{\text{п3}}$, $a_{\text{л1}}$, $a_{\text{л3}}$ – відліки по лімбі горизонтального круга відповідно на точки 1 і 3 при кругах "праворуч" і "ліворуч".

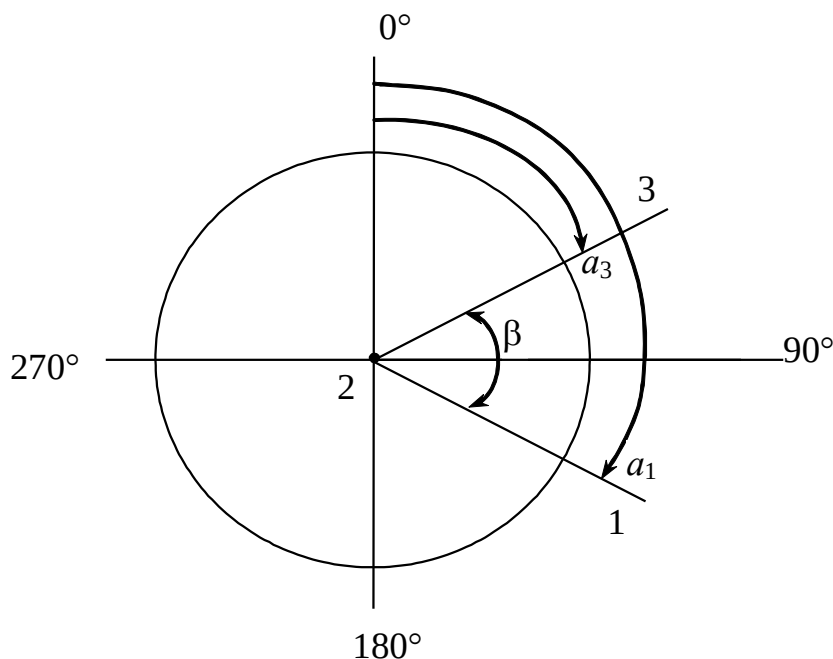


Рисунок 7.15- Схема вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Порядок вимірювання кутів способом прийомів такий. Встановлюють теодоліт над вершиною кута (рис. 7.15, точка 2) й приводять його у робочий стан. Перший прийом виконують при крузі "праворуч". Закріплюють лімб затискним гвинтом, відкріплюють алідаду і зорову трубу. Спочатку наближено,

а потім закріпивши алідаду й трубу, орудуючи навідними гвинтами алідади й труби, точно наводять центр сітки ниток на точку 1. Беруть відлік по горизонтальному колу, який записують у журнал (табл. 7.7). Відкріплюють алідаду, наводять центр сітки ниток на точку 3. Знову на горизонтальному колі беруть відлік, який записують у таблицю 7.7.

Таблиця 7.7- Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Станція	Точка візування	Положення вертикаль- ного кола	Відлік по горизонталь- ному колу	Кут, що вимірюється в напівприйомах	Середнє значення кута
2	1	КП	194°07'	103°24' 103°23'	103°23,5'
	3		90°43'		
2	1	КЛ	273°29'		
	3		170°06'		

Для контролю й зменшення похибок приладу горизонтальний кут вимірюють при крузі "ліворуч". Для цього переводять трубу через зеніт. Закріплюють алідаду й відкріплюють лімб. Змістивши лімб приблизно на 90°, закріплюють його й відкріплюють алідаду. Знову візують зорову трубу на точку 1. Закріплюють алідаду й беруть відлік по горизонтальному колу. Взявши відлік, відкріплюють алідаду й візують трубу на точку 3. Закріплюють алідаду й беруть по горизонтальному колу відлік, який також записують у таблицю 7.7. За результатами вимірювання кутів у двох півприйомах обчислюють середній кут.

Спосіб кругових прийомів застосовують тоді, коли з будь-якої точки необхідно виміряти кілька горизонтальних кутів (рис. 7.16).

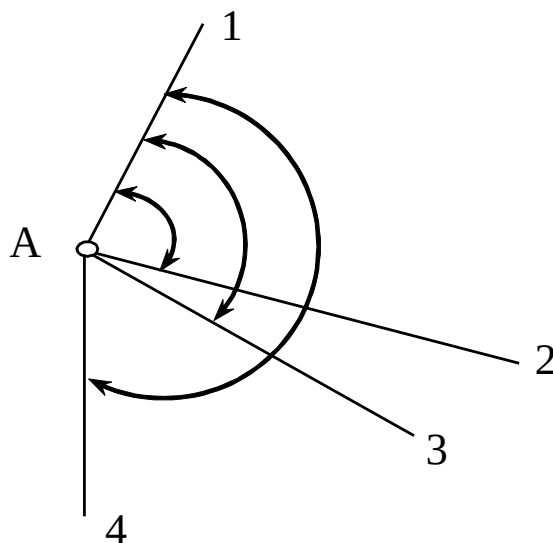


Рисунок 7.16- Схема вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Спочатку кути вимірюють першим півприйомом при крузі “праворуч” у такій послідовності. Встановлюють теодоліт над вершиною кута А й приводять у робочий стан. Встановлюють по горизонтальному колу відлік, близький до 0°. Закріплюють алідаду й при відкріпленому лімбі наводять центр ниток сітки зорової труби на точку 1. Беруть відлік по горизонтальному колу й записують його в журнал (табл. 7.8). Закріплюють лімб. Переміщенням алідади за ходом стрілки годинника послідовно візують на точки 2, 3 і 4, беруть при цьому відліки, які записують у журнал (табл. 7.8). Півприйом закінчують повторним наведенням і відліком на початковий пункт 1. Якщо початковий і кінцевий відліки не відрізняються більше як на подвійну точність відлікового пристрою, приступають до другого півприйому.

При закріпленому лімбі переводять трубу через зеніт. Переміщенням закріпленої алідади проти ходу стрілки годинника послідовно візують на всі точки й беруть відлік. Відлік на точку 1 записують в останній рядок таблиці 7.8. Відліки на наступні пункти в другому півприйомі записують знизу вгору. Якщо різниця між відліками в першому й другому напівприйомах на початковий напрям 1 не перевищує подвійну точність теодоліта, обчислюють середній відлік з двох півприймів. Його записують у наступну графу таблиці 7.8 і віднімають від усіх інших відліків на наступні напрями 1, 3 і 4. Наведені напрями на точки 2, 3 і 4 – це величини кутів між цими напрямками.

Якщо кути вимірюють кількома прийомами, відліки по напрямках визначають як середні з прийомів, а потім за цими відліками визначають кути. Кожний наступний прийом виконують так, як перший. Для послаблення впливу похибок поділок лімба його переставляють між прийомами на кут $180^\circ / n$, де n – кількість прийомів. Сума кутів має дорівнювати 360° , що є контролем обчислень. Додатковий польовий контроль вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів – постійність подвійної колімаційної похибки:

$$2C = L_r - R_r \pm 180^\circ. \quad (7.13)$$

Таблиця 7.8- Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Станція	Точка візування	Відлік по горизонтальному колу		Середнє значення відліків	Приведений напрямок	$2C = L_r - R_r \pm 180^\circ$.
		“Ліворуч”	“Праворуч”			
А	1	0°01'	180°00'	0°02',0	0°00'	+1'
	2	91°47'	271°46'	91°46',5	91°44',5	-1'
	3	116°09'	296°10'	116°09',5	116°07',5	+1'
	4	143°19'	323°19'	143°19',0	143°17',0	0
	1	0°02'	180°03'	0°01',5		

Для вимірювання **вертикальних кутів** теодоліт установлюють над точкою й приводять його основну вісь у прямовисне положення. При крузі "праворуч" візують зорову трубку на точку М (рис. 7.17). Закріплюють затискні гвинти алідади й трубу. Мікрометричними гвинтами труби й алідади суміщають сітку ниток з точкою. Закріплюють затискні гвинти алідади й труби. Перевіряють, чи

знаходиться на середині бульбашка рівня біля алідади горизонтального круга. Роблять відлік по вертикальному кругу R_v і записують його в журнал (табл. 7.9).

Відкріплюють затискні гвинти алідади й труби. Перевівши трубу через зеніт, знову візують трубу на ту саму точку M (рис. 7.17). Закріплюють затискні гвинти алідади й труби. Мікрометричними гвинтами алідади й труби суміщають сітку ниток з точкою і беруть відлік по вертикальному кругу L_v , який записують у журнал (табл. 7.9). Визначають місце нуля вертикального круга теодоліта. За результатами відліків і визначеного місця нуля обчислюють вертикальний кут:

$$v = MO - R_v - 180^\circ. \quad (7.14)$$

$$v = L_v - MO. \quad (7.15)$$

Результати обчислень вертикальних кутів записують у таблицю 7.9.

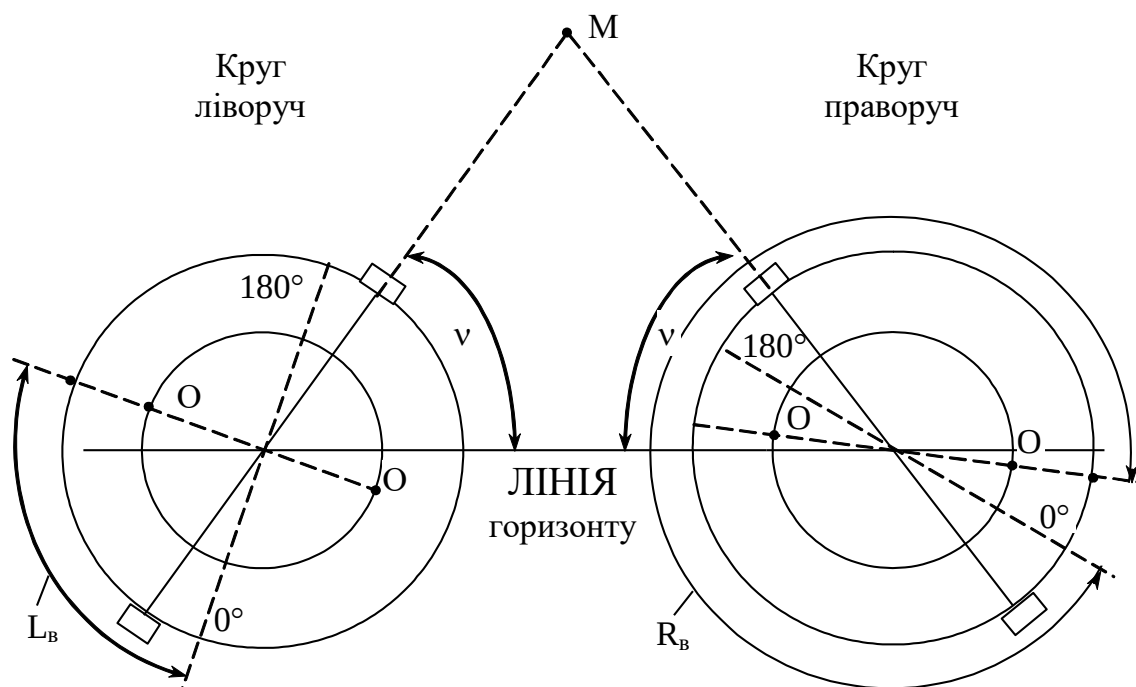


Рисунок 7.17- Схема вимірювання вертикальних кутів

Таблиця 7.9. Журнал вимірювання вертикальних кутів

Станція	Точка візування	Відлік по вертикальному кругу	Місце нуля МО	Вертикальний кут v
Круг "ліворуч"				
3	2 4	1°16' 2°49'		
Круг "праворуч"				
3	2 4	178°46' 177°13'	+01' +01'	+1°15' +2°48'

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Вихідні дані: бланк завдань, індивідуальний варіант вихідних даних, що розраховує студент за наведеними у завданні залежностями відповідно до порядкового номера студента в списку групи викладача, теодоліт.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Випробування теодоліта.
2. Перевірка та юстирування теодоліта.
3. Вимірювання кута між двома напрямками за способом прийомів. Заповнити журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.
4. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів. Заповнити журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів.
5. Вимірювання вертикальних кутів. Заповнити журнал вимірювання вертикальних кутів.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте принцип вимірювання кутів.
2. Назвіть типи теодолітів і їхні метрологічні характеристики.
3. Нарисуйте геометричну схему й назвіть основні частини теодоліта.
4. Будова зорової труби.
5. Будова рівнів.
6. Відлікові пристрої, що використовують у теодолітах.
7. Охарактеризуйте будову теодоліта Т30.
8. Установіть теодоліт у робоче положення.
9. Виконайте перевірку рівня при алідаді горизонтального круга.
10. Визначте колімаційну похибку.
11. Визначте нахил горизонтальної осі обертання труби.
12. Перевірте сітку ниток труби.
13. Визначте місце нуля вертикального круга.
14. Виміряйте горизонтальний кут способом прийомів.
15. Виміряйте горизонтальний кут способом кругових прийомів.
16. Виміряйте вертикальний кут.

Лабораторна робота № 8

Складання топографічного плану будівельного майданчика за результатами нівелювання поверхні по квадратах

Мета роботи: *освоїти поопераційну технологію побудови топографічних планів невеликих ділянок місцевості, переважно будівельних майданчиків, на підставі даних топографічних зйомок: горизонтальної, висотної, тахеометричної.*

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Проектування, будівництво та експлуатація споруд здійснюються на базі топографічних моделей місцевості, однією з яких є топографічний план. Тому інженеру-будівельнику необхідно знати технологію створення топографічних планів для будівництва, вміти самостійно виконувати топографічне моделювання невеликих, нескладних ділянок і кваліфіковано формулювати завдання на виробництво топографічних зйомок.

Обчислювальне опрацювання результатів вимірів при топографічних зйомках

Обчислювальне опрацювання результатів вимірів при горизонтальній зйомці

Мета обчислювального опрацювання – отримати прямокутні координати інформаційних точок капітальних споруд (кутів будинків, центрів колодязів підземних інженерних мереж, точок (осей доріг, центрів стрілочних переходів залізничних колій і т.п.) в єдиній системі координат, що використовується для всієї ділянки топографічної зйомки.

Вихідні дані для обчислень: прямокутні координати точок S, T теодолітного ходу і дирекційний кут α_{ST} з відомості координат.

Обчислити прямокутні координати x_j, y_j точки j :

за прямокутними координатами $\bar{x}_j, \bar{y}_j$ (рис.8.1а) за формулами

$$x_j = x_s + \bar{x}_j \cos \alpha_{ST} - \bar{y}_j \sin \alpha_{ST};$$

$$y_j = y_s + \bar{x}_j \sin \alpha_{ST} + \bar{y}_j \cos \alpha_{ST};$$

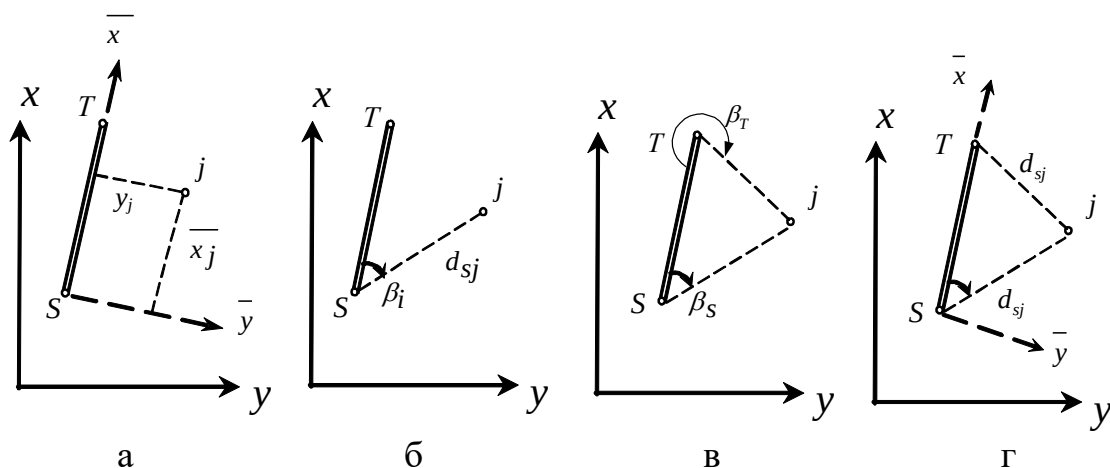


Рисунок 8.1- Горизонтальні системи координат

за полярними координатами β_j, d_{sj} (рис. 8.1б) за формулами

$$x_j = x_s + d_{sj} \cos(\alpha_{ST} + \beta_i);$$

$$y_j = y_s + d_{sj} \sin(\alpha_{ST} + \beta_i);$$

за біполярними координатами β_s, β_T (кутової засічки) (рис.8.1в) за формулами

$$x_i = x_s + \frac{\Delta x_{ST} \operatorname{ctg} \beta_s - \Delta y_{ST}}{\operatorname{ctg} \beta_s - \operatorname{ctg} \beta_T};$$

$$y_j = y_s + \frac{\Delta y_{ST} \operatorname{ctg} \beta_s + \Delta x_{ST}}{\operatorname{ctg} \beta_s - \operatorname{ctg} \beta_T};$$

за біполярними лінійними координатами d_{sj}, d_{Tj} (лінійної засічки), (рис.8.1г) – у два етапи: у першу чергу отримати

$$\bar{x}_j = \frac{d_{ST}^2 + (d_{sj}^2 - d_{Tj}^2)}{2d_{ST}};$$

$$\bar{y}_j = \sqrt{d_{sj}^2 - \bar{x}_j^2},$$

потім за прямокутними координатами $\bar{x}_j, \bar{y}_j$ отримати x_j, y_j за вищенаведеними формулами.

Обчислювальне опрацювання результатів висотної зйомки.

Мета обробки – отримати висоти вершин квадратів для ділянки місцевості, а також висоти точок об'єктів, планове положення яких визначено при горизонтальній зйомці.

Сітка квадратів зі сторонами 20 м спирається на лінію 6–7 теодолітного ходу; вершина 5б збігається з точкою 7 теодолітного ходу. Результати вимірів розміщені в журналі геометричного нівелювання і в журналі-схемі нівелювання поверхні за квадратами (рис.8.2).

Послідовність робіт:

математично опрацювати результати вимірів ходу геометричного нівелювання (7-3а-1в-7) у журналі нівелювання зв'язуючих точок з послідовністю операцій, викладеною в підрозділі 2.6;

обчислити висоти вершин квадратів як висоти проміжних точок; значення висот записати в журнал-схему під відповідними відліками (рис.8.2).

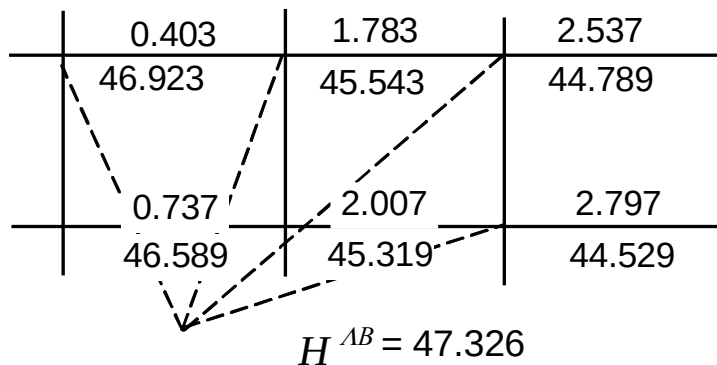


Рисунок 8.2- Фрагмент журналу-схеми геометричного нівелювання

Обчислювальне опрацювання результатів вимірів тахеометричної зйомки

Мета обчислювального опрацювання – обчислити горизонтальні відстані d (довжини полярних радіусів) і висоти H_j знімальних пікетів.

Результати виміру величин, що визначають положення кожного знімального пікету j (відстань, яку вимірюють далекоміром L_j , відлік за горизонтальним колом β_i (полярний кут), відлік за вертикальним колом U_j^{KL} і висота точки візування V_j) записати в журнал тахеометричної зйомки.

Обчислення треба почати з визначення місця нуля за формулою

$$MO = \frac{U^{KL} + U^{KP}}{2},$$

для чого по відліках $U^{KL'}$, $U^{KP'}$, записаних у графі “Примітка”, отримати наведені за модулем до гострих кутів відліки U^{KL} , U^{KP} таким чином:

якщо $U^{KL'} < 180^\circ$,	то $U^{KL} = U^{KL'}$;
якщо $U^{KL'} > 180^\circ$,	то $U^{KL} = U^{KL'} - 360^\circ$;
якщо $U^{KP'} > 180^\circ$,	то $U^{KP} = U^{KP'} - 180^\circ$;
якщо $U^{KP'} < 180^\circ$,	то $U^{KP} = 180^\circ - U^{KP'}$.

Слід використовувати одне значення МО для двох знімальних точок.

Приклад.

$$U^{KL'} = 359^\circ 18,3'; U^{KP'} = 180^\circ 40,7'.$$

Наведені відліки дорівнюватимуть:

$$U^{KL} = 359^\circ 18,3' - 360^\circ = -0^\circ 41,7';$$

$$U^{KP} = 180^\circ 40,7' - 180^\circ = +0^\circ 40,7'.$$

$$\text{Місце нуля } MO = (-0^\circ 41,7' + 0^\circ 40,7') : 2 = -0,5'$$

Для кожного знімального пікету необхідно обчислити:

кут нахилу променя візування

$$\nu_j = U_j^{KL} - MO;$$

горизонтальну відстань

$$d_j = L_j \cos^2 \nu_j;$$

перевищення h' між віссю обертання труби тахеометра і точкою візування

$$h'_j = H_{cm} + h'_j + I_{cm} - V_j$$

де H_{cm} – висота знімальної точки;

I_{cm} – висота осі обертання труби тахеометра над знімальною точкою (висота інструмента).

Отримані значення записати в журнал на рядок знімального пікету j у відповідні стовпчики.

Побудова координатної сітки

Побудова сітки квадратів

Мета роботи – побудувати сітку 5х5 квадратів зі сторонами 100 мм з граничною точністю $\pm 0,2$ мм. Цієї точності можна досягти лише за умови застосування загостреного олівця твердості 2Т-4Т і працювати ним у положенні, перпендикулярному до площини паперу.

Сітку квадратів будують одним із відомих способів.

Перший спосіб – побудова за допомогою лінійних засічок. Використовується спеціальний засіб побудови довжин і дуг кола – лінійка Ф.Д. Дробішева. Лінійка має шість вікон. Скошені краї вікон і кінця лінійки виконані у вигляді дуги кола з радіусами 0,0; 100,0; 200,0; 300,0; 400,0; 500,0; 707,11 мм відповідно (707,11 мм – це довжина діагоналі квадрата зі стороною 500,0 мм).

Послідовність дій зображена на рисунку 8.3а:

- провести вихідну пряму лінію, рівнобіжну краю креслярського паперу і відстаючу від нього на 4-5 см; за допомогою лінійки нанести на лінію шість міток через 100,0 мм (положення 1);
- провести дугу кола радіусом 500,0 мм із центром у лівій мітці при положенні 2 лінійки, приблизно перпендикулярному до вихідної лінії;
- провести дугу кола радіусом 707,11 мм із центром у правій мітці при положенні 3 лінійки, приблизно на діагоналі квадрата;
- провести дугу кола радіусом 500,0 мм із центром у правій мітці при положенні 4 лінійки, приблизно перпендикулярному до вихідної лінії;
- провести дугу кола радіусом 707,11 мм із центром у лівій мітці при положенні 5, приблизно на діагоналі квадрата;
- лінійкою в положенні 6 перевірити довжину лінії між точками перетину дуг, що повинна бути побудована з точністю $\pm 0,2...0,3$ мм;
- нанести лінійкою мітки через 100,0 мм на інші сторони великого квадрата і протилежні з'єднати прямими лініями.

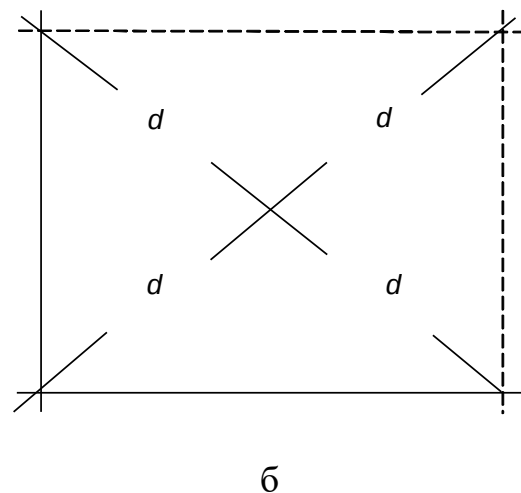
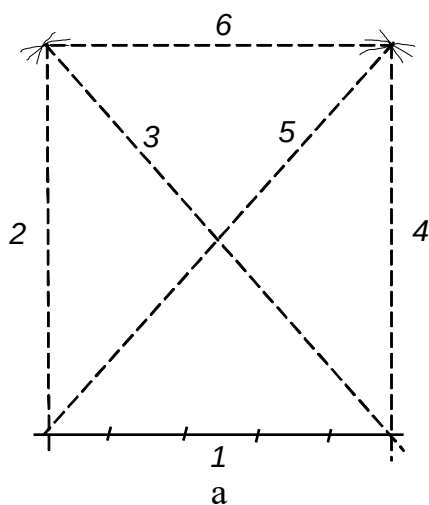


Рисунок 8.3- Схема побудови сітки квадратів

Другий спосіб – побудова по діагоналях прямокутника.

Порядок побудови зображено на рисунку 8.3б:

- провести дві діагоналі на аркуші креслярського паперу;
- від точки перетину діагоналей відкласти відрізки рівної довжини d ($d > 300$ мм) за допомогою циркуля;
- з'єднати отримані точки прямими лініями;
- від обраних двох сторін прямокутника відкласти відрізки довжиною 100,0 мм, після чого протилежні мітки з'єднати прямими лініями.

Присвоєння координат лініям сітки квадратів.

Для подальшої роботи лініям сітки квадратів необхідно надати значення абсцис і ординат, кратне довжині сторони квадрата (50 м), вираженої в масштабі плану (1:500). Вихідними даними для цього є координати точок теодолітного ходу. З них треба вибрати $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$. У першому наближенні південної лінії сітки квадратів варто привласнити значення абсциси, кратне 50 м, що передує $x_{\min}$; західної лінії – значення ординати, кратне 50 м, що передує $y_{\min}$. Від цих ліній необхідно надати відповідні значення абсцис і ординат наступним лініям. Перевірити приблизно положення лінії з $x_{\max}$ і лінії з $y_{\max}$ і за необхідності в другому наближенні змінити координати ліній сітки квадратів на значення, кратне 50 м.

Побудова точок теодолітного ходу

Точки теодолітного ходу будують на папері за їх прямокутними координатами за допомогою масштабної лінійки і вимірника.

Кожну точку теодолітного ходу треба зафіксувати наколом діаметром 0,1-0,2 мм і оформити умовним знаком: довкола наколу – коло діаметром 1.5 мм; поза колом нанести в напрямку координатних ліній штрихи довжиною 0,5 мм; номер точки розмістити ліворуч від умовного знака, а висоту – праворуч (рис. 8.4).

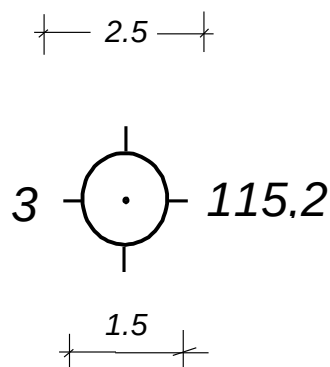


Рисунок 8.4- Умовний знак точки теодолітного ходу

Для контролю положення точок ходу треба виміряти довжини ліній між суміжними точками і порівняти їх з відповідними довжинами у відомості координат, допускаючи відхилення 0,2-0,3 мм від плану.

Побудова інформаційних точок і об'єктів місцевості

Вихідні дані: абриси зйомок і матеріали опрацювання результатів вимірів.

Побудову інформаційних точок за їх прямокутними координатами у системі координат, введеної для всієї ділянки зйомки, виконують за тією системою координат, що була застосована при зйомці (рис. 8.1). Для кожної інформаційної точки на підставі абрису слід встановити, яка точка (точки) теодолітного ходу прийнята за полюс (полюси), який напрямок сторони ходу – за напрямок першої осі координат. Від цього початку координатної системи й осі системи координат необхідно відкласти відповідні кути за допомогою транспортира, довжини ліній – за допомогою масштабної лінійки і вимірника.

За результатами горизонтальної зйомки необхідно, по-перше, побудувати інформаційні точки об'єктів за їх локальними координатами щодо точок і ліній теодолітного ходу, по-друге, з'єднати ці точки лініями відповідно до абрису і побудувати контур об'єкта; по-третє, використовуючи контрольні виміри ліній, кутів, перевірити точність побудови об'єктів при припустимій розбіжності довжин до 0,3 мм від плану.

За результатами геометричного нівелювання поверхні в першу чергу треба побудувати сітку квадратів зі сторонами 20 м, що спирається на лінію 6-7 теодолітного ходу, у другу чергу перенести з журналу-схеми геометричного нівелювання висоти вершин квадратів. Висоти розміщувати одномоментно праворуч від вершини на лінії, рівнобіжній осі ОУ, з положенням шрифту посередині вершини.

За результатами висотної зйомки забудованої території, використовуючи абрис, з журналу геометричного нівелювання виписати на план відповідні висоти точок об'єктів.

За результатами тахеометричної зйомки в кожній знімальній точці в першу чергу слід встановити центр транспортира, зорієнтувати його нульовий діаметр по полярній осі, відкласти полярні кути всіх знімальних пікетів, фіксуючи їх тимчасовою міткою з номером пікету, в другу чергу відкласти довжини полярних радіусів у напрямку від знімальної точки до відповідної тимчасової мітки і виписати висоти знімальних пікетів.

На плані відображають ті точки, лінії, об'єкти, що існують на місцевості; не відображають допоміжні лінії побудови точок.

Побудова горизонталей

Рельєф місцевості відображають горизонталями на ділянці нівелювання поверхні по квадратах і на ділянці тахеометричної зйомки. Використовуючи положення точок на папері і їхні висоти, горизонталі необхідно будувати в два етапи.

Етап 1. Інтерполяція точок горизонталей з висотою перерізу рельєфу 0,5 м.

На кожній лінії однієї крутості, позначеної в абрисі тахеометричної зйомки, на кожній стороні сітки квадратів необхідно визначити положення точок, висоти яких кратні висоті перерізу рельєфу. Цю задачу можна розв'язати графічним і обчислювальним способами.

Графічний спосіб заснований на побудові профілю лінії в горизонтальному масштабі, що дорівнює масштабу плану (1:500), (рис. 8.5а), у вертикальному – у масштабі 1:50, у 10 разів крупніше (рис. 8.5б).

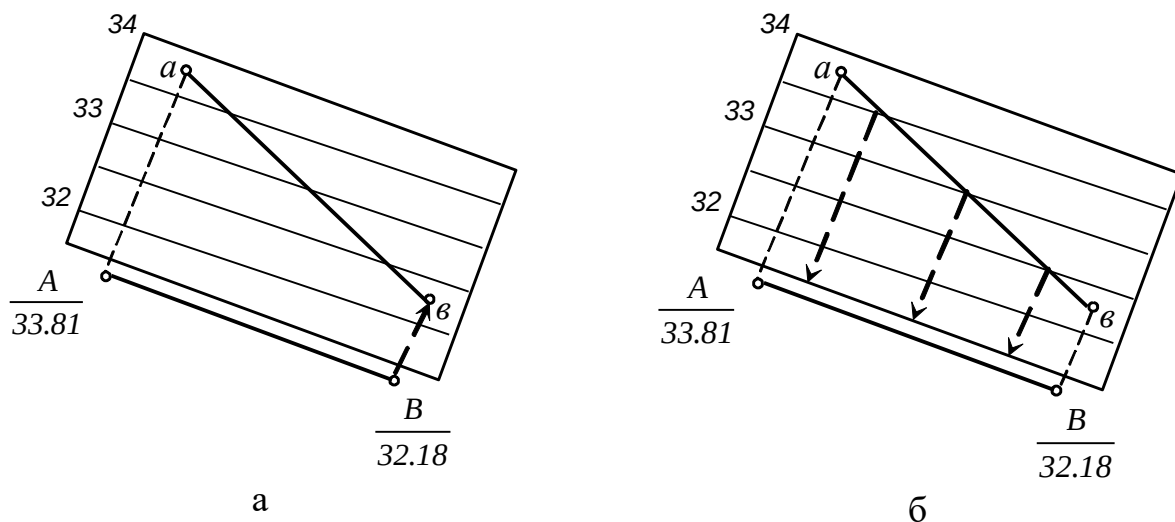


Рисунок 8.5- Схема інтерполяції точок горизонталей побудовою профілю

Точки перетину лінії профілю з горизонтальними прямими, висоти яких кратні висоті перерізу рельєфу, проектують ортогонально на вихідну лінію.

Інтерполяція точок спрощується з використанням палетки – прозорої основи (кальки) з нанесеними через 5 мм рівнобіжними лініями (рис. 8.6).

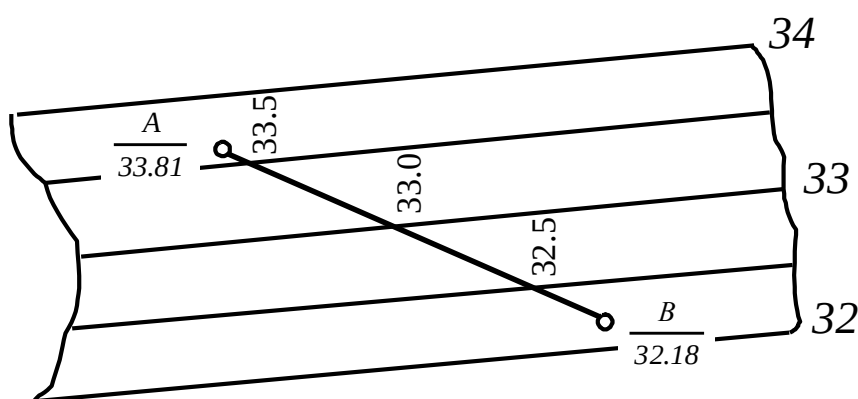


Рисунок 8.6- Схема інтерполяції точок горизонталей за допомогою палетки

Лініям палетки приписують висоти, кратні висоті перерізу рельєфу. Накласти палетку на вихідну лінію АВ, повертаючи її доти, поки точки А і В займуть положення на шкалі палетки, що відповідає своїм висотам. Після цього необхідно точки перетину лінії АВ з лініями палетки переколоти на план.

Обчислювальний спосіб заснований на використанні залежності

$$d_{Aj} = \frac{d_{AB}}{h_{AB}} h_{Aj} = \frac{h_{Aj}}{i_{AB}},$$

де j – точка, висота якої кратна висоті перерізу рельєфу;

d_{Aj} – довжина відрізка від точки А до точки j ;

h_{Aj} – перевищення точки j над точкою А.

Етап 2. Проведення горизонталей.

Точки з однаковими висотами, що належать однієї горизонталі, необхідно в першому наближенні зв'язати ламаною лінією. В другому наближенні ламану замінити кривою, що згладжує, з найменшими відступами від ламаної, з огляду на особливості рельєфу по абрису (рис. 8.7). Горизонталі не проводять у місцях стрибкоподібної зміни поверхні – по обривах, підпірних стінах, будинках і т.п., а також через водойми і водотоки.

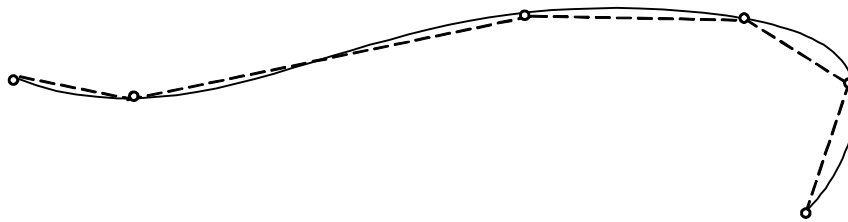


Рисунок 8.7- Схема проведення горизонталі

Оформлення топографічного плану

Топографічний план оформляють так: об'єкти місцевості, написи – чорним кольором, горизонталі – світло-коричневим, гідрографічні об'єкти і перетини координатних ліній – світло-зеленим. Усі лінії повинні мати товщину 0,2 мм. Допоміжні лінії видаляють.

Усі об'єкти відображають встановленими умовними знаками для топографічних планів масштабу 1:500, надписи – похилим шрифтом висотою 2,5 мм.

Границями окремого аркуша (планшета) топографічного плану є координатні лінії квадрата зі сторонами 500 мм, зображені суцільними лініями товщиною 0,2 мм. Замість інших координатних ліній показують їхні перетини з довжиною штрихів 3 мм у кожному напрямку від точки перетину. Аркуш плану оформляють зовнішньою рамкою товщиною 1,2 мм (Рис. 8.8).



Рисунок 8.8- Фрагмент рамки топографічного плану

Зарамкові написи над північною рамкою: ліворуч – назва району; посередині – назва організації (ХДАМГ); праворуч – назва площадки. Зарамкові написи з південного боку рамки: ліворуч – виконавець; посередині – масштаб, висота перетину рельєфу; праворуч – види топографічних зйомок, рік проведення робіт.

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Технічні засоби: калькулятор, лінійка для побудови сітки квадратів, масштабна лінійка, транспорир, вимірник, твердий олівець, аркуш креслярського паперу формату А24.

Вихідні дані: схема і відомість координат точок теодолітного ходу, абрис горизонтальної зйомки, журнал-схема нівелювання поверхні, журнал тахеометричної зйомки.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст роботи: побудувати топографічний план місцевості в масштабі 1:500 за матеріалами горизонтальної, висотної і тахеометричної зйомок.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Звітний матеріал: відомість координат точок горизонтальної зйомки, журнал геометричного нівелювання, журнал-схема нівелювання поверхні, топографічний план місцевості в масштабі 1:500.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення топографічної зйомки. Перелічіть види топографічних зйомок.
2. Назвіть основні етапи топографічної зйомки і процесу створення топографічного плану.
3. Яку роль виконує теодолітний хід, тахеометричний хід, хід геометричного нівелювання при відповідній топографічній зйомці ?
4. Що розуміють під інформаційними точками об'єктів зйомки? Як їх виділяють?
5. У чому полягає обчислювальне опрацювання результатів вимірів при горизонтальній зйомці? Наведіть формули обчислення прямокутних координат за координатами при зйомці координатних систем.
6. У чому полягає обчислювальне опрацювання результатів висотної зйомки?
7. У чому полягає обчислювальне опрацювання результатів виміру тахеометричної зйомки?
8. Наведіть формули обчислення місця нуля, кута нахилу променя візування, горизонтальної відстані, перевищення між віссю обертання труби тахеометра і точкою візування, висоти знімального пікету.
9. Яка послідовність дій при нанесенні на план об'єктів зйомки?
10. Яка послідовність дій при побудові координатної сітки квадратів?
11. Який зміст етапів побудови горизонталей на плані?

Лабораторна робота № 9

Математичне опрацювання результатів геодезичних вимірів

Мета роботи: осмислити й набути початкових навичків математичного опрацювання результатів геодезичних вимірів.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Основним способом розв'язання геодезичних задач є вимірювання фізичних величин. Але результати будь-яких вимірів супроводжуються неминучими похибками. Тому виникає проблема оцінювання значень вимірюваної фізичної величини, точності результатів вимірів і їхніх функцій, методи розв'язання якої є предметом теорії математичного опрацювання результатів геодезичних вимірів.

Оцінювання точності результатів виміру фізичної величини

Вихідні поняття теорії похибок вимірів.

Похибки результату виміру ε – це відхилення результату виміру l від дійсного значення вимірюваної величини L , яку визначаємо за формулою

$$\varepsilon = l - L.$$

Похибки результату виміру складаються з двох частин, що відрізняються характером прояву.

Систематична похибка θ – частина похибки виміру, що залишається постійною чи змінюється за певним законом при повторних вимірах однієї й тієї ж величини.

Випадкова похибка Δ – частина похибки виміру, що змінюється випадково (за знаком і значенням) при повторних вимірах однієї величини.

У зв'язку з тією обставиною, що систематичні похибки можуть бути усунуті з результатів вимірів, у курсі інженерної геодезії надалі прийнято вважати, що

$$\varepsilon = \Delta;$$
$$\Delta = l - L.$$

До вихідних понять теорії похибок варто віднести ряд (серію, вибірку) результатів вимірів якої-небудь величини L

$$l_1, l_2, \dots, l_n$$

і відповідний ряд випадкових похибок

$$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n.$$

Наявність ряду результатів вимірів, що включає результати необхідних і надлишкових вимірів, є найважливішою умовою можливості оцінювання їхньої точності.

Середня квадратична похибка результатів вимірів однієї фізичної величини

У геодезії для оцінювання точності використовують узагальнену характеристику – середню квадратичну похибку. Формула середньої квадратичної похибки результатів вимірів однієї фізичної величини має вигляд

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}},$$

де $\Delta_i = l_i - L$.

Граничне значення похибки виміру, що допускається для ряду вимірів, визначають залежністю

$$\Delta_{\text{гран}} = 3 \cdot m.$$

За формою представлення слід розрізняти:

- абсолютну похибку виміру, абсолютну середню квадратичну похибку, що виражаються в одиницях вимірюваної величини (Δ_i , m);

- відносну похибку, відносну середню квадратичну похибку, що виражаються відношенням відповідної абсолютної похибки до вимірюваного значення фізичної величини і подаються аліквотним дробом вигляду $\frac{1}{M}$

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{1}{l : \Delta}; \quad \frac{m}{l} = \frac{1}{l : m}.$$

Задача 1. Отримано ряд результатів виміру одного кута: $41^\circ 20,9'$, $41^\circ 21,6'$; $41^\circ 22,1'$; $41^\circ 22,8'$; $41^\circ 21,2'$. Визначити середню квадратичну похибку результатів виміру кута, якщо його дійсне значення $41^\circ 21,9'$.

Таблиця 9.1- Результати вимірів кута

i	β_i	β	Δ_t	Δ_t^2	$\sum_1^i \Delta_t^2$
1	$41^\circ 20,9'$	$41^\circ 21,9'$	-1,0	1,00	1,00
2	$41^\circ 21,6'$	$41^\circ 21,9'$	-0,3	0,09	1,099
3	$41^\circ 22,1'$	$41^\circ 21,9'$	+0,2	0,04	1,13
4	$41^\circ 22,8'$	$41^\circ 21,9'$	+0,9	0,81	1,94
5	$41^\circ 21,2'$	$41^\circ 21,9'$	-0,7	0,49	2,43

Потім обчислюємо середню квадратичну похибку результатів виміру кута. Для даних таблиці 9.1

$$m_\beta = \sqrt{\frac{2.43}{5}} = \pm 0.69'.$$

Задача 2. Визначити граничну похибку виміру кута за умовою задачі 1.

Розв'язання:

$$m_{\text{гран}} = 3 \cdot 0,69' = \pm 2,07'.$$

Задача 3. Визначити відносну середню квадратичну похибку обмірюваної довжини лінії $d = 136.82$ м із середньою квадратичною похибкою $m_d = \pm 0.079$ м.

Розв'язання:

$$\frac{m_d}{d} = \frac{1}{136.82 : 0.079} = \frac{1}{1732}.$$

Середня квадратична похибка функції результатів вимірів кількох фізичних величин

У практиці інженерно-геодезичних робіт деякі величини обчислюють як функції обмірюваних аргументів, наприклад, площа прямокутника за обмірюваними довжинами його сторін. У загальному вигляді

$$F = f(l_1, l_2, \dots, l_n).$$

Середню квадратичну похибку функції результатів вимірів n фізичних величин визначають за формулою

$$m_f = \sqrt{\left(\frac{df}{dl_1}\right)^2 \cdot m^2 l_1 + \left(\frac{df}{dl_2}\right)^2 \cdot m^2 l_2 + \dots + \left(\frac{df}{dl_n}\right)^2 \cdot m^2 l_n}.$$

Послідовність визначення середньої квадратичної похибки функції:

- виходячи з умови задачі, записати функцію в явному вигляді;
- отримати частинні похідні за вимірюваними аргументами функції;
- підставити значення часток похідних у загальну формулу оцінювання точності функції і виконати перетворення;
- підставити значення середніх квадратичних похибок аргументів в отриману залежність і обчислити похибку функції.

Задача 4. Визначити площу і середню квадратичну похибку площі прямокутника за результатами виміру його сторін:

$$136.82 \pm 0.079; 74.26 \pm 0.058.$$

$$S = ab; \frac{dS}{da} = b; \frac{dS}{db} = a.$$

Розв'язання:

$$m_s = \sqrt{b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2}.$$

$$m_s = \sqrt{(74.26 \cdot 0.079)^2 + (136.82 \cdot 0.058)^2} = \pm 9.87.$$

Відповідь: $S = 10160.25 \pm 9.87; m_s : S = 1 : 1029$.

Задача 5. Визначити середню квадратичну похибку середнього арифметичного значення.

Розв'язання:

$$\bar{L} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n}$$

$$\frac{d\bar{L}}{dl_i} = \frac{1}{n};$$

$$m_{\bar{L}} = \sqrt{\frac{1}{n^2} m_{l_1}^2 + \frac{1}{n^2} m_{l_2}^2 + \dots + \frac{1}{n^2} m_{l_n}^2}$$

при

$$m_{l_1} = m_{l_2} = \dots = m_{l_n} = m_l;$$

$$m_{\bar{L}} = \frac{m_l}{\sqrt{n}}.$$

Математичне опрацювання результатів вимірів однієї фізичної величини

Послідовність математичної обробки рівноточних результатів вимірів однієї фізичної величини

1. Обчислити найбільш близьке до дійсного значення фізичної величини за формулою простого арифметичного середнього:

$$\bar{l} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}.$$

2. Отримати виправлення в результаті вимірів

$$v_i = \bar{L} - l_i$$

з контролем $\sum_{i=1}^n v_i = 0$.

3. Утворити суму квадратів виправлень

$$\sum_{i=1}^n v_i^2.$$

4. Обчислити середню квадратичну похибку результату виміру за формулою Бесселя

$$m_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}.$$

5. Обчислити середню квадратичну похибку середнього арифметичного значення

$$m_L = \frac{m_l}{\sqrt{n}}.$$

Задача 6. Виконати математичне опрацювання результатів β_i обмірюваного кута B , наведених у п.2.2.2 у таблиці 9.2.

Таблиця 9.2. Результати виміру кута B

i	β_i	v_i	v_i^2	$\sum_{i=1}^n v_i^2$	$m_\beta, m_{\bar{B}}$
1	41° 20,9′	+0,82	0,6724	0,6724	$m_\beta = \sqrt{\frac{2.2680}{5-1}} = \pm 0.75$ $m_{\bar{B}} = \frac{0.75}{5} = \pm 0.34.$
2	41° 21,6′	+0,12	0,0144	0,6868	
3	41° 22,1′	-0,38	0,1444	0,8312	
4	41° 22,8′	-1,08	1,1664	1,9976	
5	41° 21,2′	+0,52	0,2704	2,2680	

Розв'язання :

$$\bar{B} = 41^{\circ} 21,72'.$$

$$\text{Відповідь: } \bar{B} = 41^{\circ} 21,72' \pm 0,34.$$

Послідовність математичної обробки нерівноточних результатів вимірів однієї фізичної величини

Встановити значення ваги результатів вимірів, користуючись залежністю

$$P_i = \frac{C}{m^2 l_i},$$

де C – довільно обраний коефіцієнт ($C > 0$).

Обчислити найбільш близьке до дійсного значення фізичної величини за формулою загального арифметичного середнього

$$\bar{L} = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2 + \dots + P_n l_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

Отримати виправлення в результати вимірів:

$$v = \bar{L} - l_i.$$

Утворити

$$\sum_{i=1}^n P_i v_i.$$

Обчислити середню квадратичну похибку такого результату, вага якого дорівнює одиниці,

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i v_i^2}{n-1}}.$$

Обчислити середню квадратичну похибку загального арифметичного середнього

$$m_{\bar{L}} = \frac{\mu}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i}}.$$

Задача 7. Виконати математичне опрацювання результатів H_i виміру висоти $\bar{H}$ точки за допомогою чотирьох ходів геометричного нівелювання з числом N станцій у таблиці 9.3.

Таблиця 9.3- Результати виміру висоти H

i	N	$P_i = \frac{60}{N_i}$	$H_i, \text{м}$	v_i	$P_i v_i^2$	$\sum_1^i P_i v_i^2$	μ, m_H
1	5	12	96,472	+21	5292	5292	$\mu = \sqrt{\frac{10490}{4-1}} =$ $= \pm 59 \text{ мм}$ $m_H = \frac{59}{\sqrt{49}} =$ $= \pm 8 \text{ мм}$
2	4	15	96,511	-18	4860		
3	5	12	96,488	+5	300		
4	6	10	96,495	-2	40		

Розв'язання:

$$\sum_1^n P_i = 49; \bar{H} = 96.493 \text{ м.}$$

Відповідь: $H = 96,493 \pm 0,008 \text{ м.}$

Математичне опрацювання результатів вимірів теодолітного ходу

Мета математичного опрацювання – за результатами вимірів кутів і довжин ліній отримати найбільш близькі до дійсного значення обмірюваних величин і їхніх функцій, при яких виконуються математичні співвідношення в теодолітному ході, й обчислити за цими величинами координати точок теодолітного ходу.

Усі дані розмістити на навчальному бланку «Відомість математичного опрацювання результатів вимірів теодолітного ходу» (табл. 9.4). Роботу починати з внесення у відомість початкової інформації:

заповнити графи 1, 15, виходячи зі схеми теодолітного ходу: $-n, 1, \dots, n, 1$, якщо хід зімкнений, або $0, 1, \dots, n, n+1$, якщо хід розімкнений;

у графу 5 вписати початковий дирекційний α_{n1} або початкові дирекційні кути $\alpha_{01}, \alpha_{n, n+1}$; у графи 13, 14 – початкові координати X_1, Y_1 або X_1, Y_1 і X_n, Y_n ;

у графу 2 записати обмірювані значення кутів β_i у точках $1, \dots, n$, виражені в градусах до тисячних часток градуса (попереднє переведення хвилин і секунд значення кута в десяткові частки градуса виконувати розподілом на 60 і 3600 відповідно); у завданні наведено кути, що лежать ліворуч щодо ходу;

у графу 6 записати обмірювані довжини ліній $d_{12}, d_{23}, \dots, d_{n1}$.

Таблиця 9.4- Відомість математичного опрацювання результатів вимірів у теодолітному ході

Номер точки	Кут виміряний	Кутова поправка	Кут зрівняний	Кут дирекційний	Довжина лінії	Приріст абсцис розрахований
№	$\beta, ^\circ$	$\delta\beta, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	d, м	$\Delta x, м$
207						
				230,933		
208	169,575	0,007	169,582			
				220,515	87,45	-66,483
2	112,403	0,006	112,409			
				152,924	89,16	-79,388
3	141,68	0,007	141,687			
				114,611	55,24	-23,005
4	117,301	0,006	117,307			
				51,918	57,53	35,484
5	153,433	0,007	153,44			
				25,358	45,57	41,179
710	278,725	0,007	278,732			
				124,09		
711						
Σ	973,117	0,04	973,157		334,95	-92,213
ω	973,157					-92,126
$\omega_{прип}$	-0,04					-0,087

Таблиця 9.4- Відомість математичного опрацювання результатів вимірів у теодолітному ходу (продовження)

Поправка до приросту абс.	Приріст абсис зрівняний	Приріст ординат розрахований	Поправка до приросту орд.	Приріст ординат зрівняний	Абсциса точки	Ордината точки	Номер точки
δx , м	Δx , м	Δy , м	δy , м	Δy , м	X, м	Y, м	№
							207
					900,861	286,175	208
0,022	-66,461	-56,812	-0,032	-56,844			
					834,4	229,331	2
0,024	-79,364	40,583	-0,033	40,55			
					755,036	269,881	3
0,014	-22,991	50,222	-0,02	50,202			
					732,045	320,083	4
0,015	35,499	45,284	-0,022	45,262			
					767,544	365,345	5
0,012	41,191	19,164	-0,017	19,147			
					808,735	384,492	710
							711
0,087	-92,126	98,441	-0,124	98,317			Σ
		98,317					ω
		0,124					$\omega_{прим}$

Математичне опрацювання результатів вимірів теодолітного ходу, розділити на п'ять етапів і виконувати в такій послідовності.

Етап 1. Зрівнювання кутів теодолітного ходу:

обчислити суму $\sum_{i=1}^n \beta_i$ обмірюваних значень кутів β_i ;

обчислити суму $\sum_{i=1}^n B_i$ дійсних значень кутів B_i у зімкненому ходу

$$\sum_{i=1}^n B = 180^\circ(n-2);$$

у розімкненому ходу для лівих кутів

$$\sum_{i=1}^n B = \alpha_{n,n+1} - \alpha_{01} + 180^\circ \cdot n;$$

отримати кутове нев'язання ω_β ходу

$$\omega_\beta = \sum_{i=1}^n \beta_i - \sum_{i=1}^n B_i;$$

порівняти кутове нев'язання з граничним припустимим значенням нев'язання

$$\omega_{\beta_{\text{гран}}} = 1' \sqrt{n} = 0,017^\circ \sqrt{n};$$

при $\omega_\beta \leq \omega_{\beta_{\text{гран}}}$ отримати виправлення v_β в обмірювані значення кутів

$$v_\beta = -\frac{\omega_\beta}{n}$$

до 0,001 і записати їх у графу 3 за умови виконання контрольного співвідношенн

$$\sum_{i=1}^n v_\beta = -\omega_\beta;$$

обчислити зрівняні значення кутів

$$\bar{B}_i = \beta_i + v_\beta, \text{ записати їх у графу 4;}$$

перевірити правильність обчислень $\bar{B}_i$ виконанням співвідношення

$$\sum_{i=1}^n \bar{B}_i = \sum_{i=1}^n B_i.$$

Етап 2. Обчислення дирекційних кутів ліній ходу.

Дирекційні кути $\alpha_{i,i+1}$ напрямків $i, i+1$ ліній ходу обчислити послідовно від вихідного дирекційного кута, використовуючи зрівняні значення кутів повороту

$$\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i-1,i} + \bar{B}_{\text{лев}} \pm 180^\circ$$

або

$$\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i-1,i} - \bar{B}_{\text{лев}} \pm 180^\circ,$$

отримані до $0,001^\circ$ значення, записати в графу 5 на рядки між точками $i, i+1$; перевірити правильність обчислень: отриманий дирекційний кут кінцевої сторони повинен дорівнювати вихідному дирекційному куту кінцевої сторони.

Етап 3. Обчислення приростів координат:

для кожної пари суміжних точок $i, i+1$ ходу за аргументами $\alpha_{i,i+1}$, $d_{i,i+1}$ обчислити збільшення абсцис

$$\Delta x_{i,i+1} = d_{i,i+1} \cos \alpha_{i,i+1};$$

збільшення ординат –

$$\Delta y_{i,i+1} = d_{i,i+1} \sin \alpha_{i,i+1}.$$

(до 0,001 м) і записати їх на рядок цих аргументів у графи 7, 10 відповідно.

Етап 4. Зрівнювання приростів координат:

отримати суму обчислених значень приростів абсцис і приростів ординат:

у зімкненому ході $\sum_{i=1}^n \Delta x_{i,i+1}; \sum_{i=1}^n \Delta y_{i,i+1};$

в розімкненому ході $\sum_{i=1}^{n-1} \Delta x_{i,i+1}; \sum_{i=1}^{n-1} \Delta y_{i,i+1}.$

Обчислити суми дійсних значень приростів абсцис і приростів ординат: у зімкненому ході

$$\sum_{i=1}^n \Delta X_{i,i+1} = 0; \sum_{i=1}^n \Delta Y_{i,i+1} = 0;$$

у розімкненому ході

$$\sum_{i=1}^{n-1} \Delta X_{i,i+1} = X_n - X_1; \sum_{i=1}^{n-1} \Delta Y_{i,i+1} = Y_n - Y_1.$$

Отримати нев'язання $\omega_{\Delta x}$, $\omega_{\Delta y}$ у приростів абсцис і приростів ординат за формулами:

$$\omega_{\Delta x} = \sum \Delta x - \sum \Delta X \text{ та } \omega_{\Delta y} = \sum \Delta y - \sum \Delta Y.$$

Для контролю якості вимірів ліній і правильності обчислень приростів координат отримати лінійне нев'язання

$$\omega_d = \sqrt{\omega_{\Delta x}^2 + \omega_{\Delta y}^2};$$

відносне лінійне нев'язання

$$\omega_{d\text{отн}} = \frac{1}{\sum d : \omega_d},$$

порівняти $\omega_{d_{отн}}$ з граничним значенням відносного лінійного нев'язання

$$\omega_{d_{гран}} = \frac{1}{2000}.$$

При $\omega_{d_{отн}} \leq \omega_{d_{пред}}$ отримати виправлення $v_{\Delta x_{i,i+1}}$, $v_{\Delta y_{i,i+1}}$ в обчисленні значення збільшень координат за формулами

$$v_{\Delta x_{i,i+1}} = -\frac{\omega_{\Delta x}}{\sum d} d_{i,i+1} \text{ та } v_{\Delta y_{i,i+1}} = -\frac{\omega_{\Delta y}}{\sum d} d_{i,i+1}$$

до 0,001 м, записати їх на рядок між точками $i, i+1$ у графі 8,11 відповідно за умови

$$\sum v_{\Delta x} = -\omega_{\Delta x}; \sum v_{\Delta y} = -\omega_{\Delta y};$$

отримати зрівняні значення приростів абсцис і приростів ординат

$$\Delta \bar{X}_{i,i+1} = \Delta x_{i,i+1} + v_{\Delta x_{i,i+1}}; \Delta \bar{Y}_{i,i+1} = \Delta y_{i,i+1} + v_{\Delta y_{i,i+1}}$$

і записати їх у графі 9, 12 на рядки між точками $i, i+1$;

перевірити правильність обчислень $\Delta \bar{X}, \Delta \bar{Y}$ виконанням співвідношень:

у зімкненому ході

$$\sum_1^n \Delta \bar{X}_{i,i+1} = \sum_1^n \Delta X_{i,i+1}; \sum_1^n \Delta \bar{Y}_{i,i+1} = \sum_1^n \Delta Y_{i,i+1};$$

у розімкненому ході

$$\sum_1^{n-1} \Delta \bar{X}_{i,i+1} = \sum_1^{n-1} \Delta X_{i,i+1}; \sum_1^{n-1} \Delta \bar{Y}_{i,i+1} = \Delta Y_{i,i+1}.$$

Етап 5. Обчислення координат точок ходу:

координати точок ходу визначити послідовно від координат X_1, Y_1 початкової точки 1, використовуючи зрівняні значення приростів координат за формулами:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta \bar{X}_{i,i+1}; Y_{i+1} = Y_i + \Delta \bar{Y}_{i,i+1}$$

отримані до 0,001 м значення координат записати у графі 13,14 на рядки точок i ;

перевірити правильність обчислень: отримані координати кінцевої точки повинні дорівнювати вихідним координатам кінцевої точки.

Математичне опрацювання результатів вимірів ходу геометричного нівелювання

Мета математичного опрацювання – за результатами виміру перевищень отримати найбільш близькі до дійсного значення перевищень, при яких виконуються математичні співвідношення в ході геометричного нівелювання, і обчислити за цими величинами висоти зв'язуючих точок ходу і потім проміжних точок. Усі дані записати у журнал геометричного нівелювання (табл. 9.5), який починають заповнювати при польових роботах.

Таблиця 9.5. Журнал технічного нівелювання траси (початок)

№ станції	Назва точки		Відлік по шкалі рейки, мм	
	Зв'язуюча	Проміжна	Основний u^o	Додатковий u^o
1	2	3	4	5
1	Rp135		2189	5645
	<i>A</i>		0440	3898
9	<i>ГК6</i>		1749	6216
	ГК7		2567	7032
		ГК7 п12	1715	
		ГК7 п20	2148	
		ГК7 л10	2312	
		ГК7 л20	2003	
10	<i>ГК7</i>		1531	6001
	Rp147		2178	6644

Таблиця 9.5 – Журнал технічного нівелювання траси (продовження)

Перевищення виміряне, мм			Поправка v_h , мм	Перевищення виправлене h^e , мм	Висота точки H , м	Висота променя візування H^{me} , м
По осн. шкалі $+h^o$	По дод. шкалі $+h^d$	Середнє $+h^c$				
6	7	8	9	10	11	12
					64,013	
1749	1747	1748	1	1749		
					65,762	
					67,743	69,492
-0818	-0816	-0817	1	-0816		
					66,927	69,496
					67,779	
					67,346	
					67,182	
					67,491	
-0647	-0643	-0645	1	-0644	66,427	
					66,283	
		$\sum h^c$ =	$\sum v_h$ =	$\sum h^e$ =		

Нев'язки: $\omega_h = H_{Rp147} - H_{Rp135} =$ $\omega_{h_{гран}} =$

Перевищення між парою суміжних зв'язуючих точок $i, i+1$ виміряти двічі, для чого отримати відліки:

U_{zi}^o – по основній шкалі задньої рейки в точці i ;

U_{ni+1}^o – по основній шкалі передньої рейки в точці $i+1$;

U_{zi}^d – по додатковій шкалі задньої рейки в точці i ;

U_{ni+1}^d – по додатковій шкалі передньої рейки в точці $i+1$.

Відліки вписати у графи 4,5.

Для кожної пари суміжних точці точок необхідно отримати перевищення, виміряне по основних шкалах

$$h_{i,i+1}^o = U_{zi}^o - U_{ni+1}^o,$$

записати його в графу 6 у рядок між точками $i, i+1$;

перевищення, виміряне по додаткових шкалах,

$$h_{i,i+1}^{\partial} = U_{zi}^{\partial} - U_{ni+1}^{\partial},$$

записати в графу 7 у рядок між точками $i, i+1$;

перевищення виміряне середнє

$$h_{i,i+1}^{cp} = (h_{i,i+1}^o + h_{i,i+1}^{\partial}) : 2,$$

якщо $|h_{i,i+1}^o - h_{i,i+1}^{\partial}| \leq 5$ мм;

значення $h_{i,i+1}^{cp}$, заокруглене до цілого міліметра, записати в графу 8 у рядок між точками $i, i+1$.

Висоти вихідних реперів: початкового (H_{RpN}) і кінцевого (H_{RpK}) необхідно занести в графу 11.

Математичне опрацювання результатів вимірів нівелірного ходу поділити на три етапи.

Етап 1. Зрівнювання перевищень ходу.

Обчислити суму обмірюваних середніх перевищень між суміжними сполучними точками ходу

$$\sum_{1}^n h_{i,i+1},$$

де n – число перевищень.

Обчислити суму дійсних значень перевищень як різницю висот кінцевого і початкового реперів

$$H_{RpK} - H_{RpN}.$$

Отримати нев'язання перевищень нівелірного ходу

$$\omega_h = \sum_{1}^n h_{i,i+1} - (H_{RpK} - H_{RpN}).$$

Порівняти нев'язання перевищень з її граничним значенням

$$\omega_{h_{гран}} = \mu \sqrt{L},$$

де для технічного нівелювання $\mu = 50$ мм, L – довжина ходу, виражена в кілометрах.

При $\omega_h \leq \omega_{h_{пред}}$ отримати виправлення v_h в обмірюванні значення перевищень до цілого міліметра за формулою

$$v_h = -\frac{\omega_h}{n},$$

записати їх у графу 9 на рядок перевищень за умови виконання контрольного співвідношення

$$\sum_{1}^n v_h = -\omega_h;$$

обчислити зрівняні значення $\bar{h}_{i,i+1}$ перевищень

$$\bar{h}_{i,i+1} = h_{i,i+1} + v_h,$$

записати їх у графу 10 на рядок обмірюваних перевищень;

перевірити правильність обчислень $\bar{h}_{i,i+1}$ виконанням співвідношення

$$\sum_{i=1}^n \bar{h}_{i,i+1} = H_{RpK} - H_{RpN}.$$

Етап 2. Обчислення висот точок ходу.

Висоти точок ходу геометричного нівелювання обчислюють послідовно від висоти вихідного репера на початку ходу, використовуючи зрівняні значення перевищень, репера (H_{RpN}) початку ходу, використовуючи зрівняні значення перевищень, за формулою

$$H_{i+1} = H_i + \bar{h}_{i,i+1},$$

перевірити правильність обчислень – отримане значення висоти кінцевого репера (H_{RpK}) наприкінці ходу повинно дорівнювати вихідному значенню.

Етап 3. Обчислення висот несполучних проміжних точок ходу.

Для кожної станції, з яких нівелювалися проміжні точки, отримати висоту горизонтального променя візування H^{lg} двічі, використовуючи відліки по основних шкалах за формулами

$$H^{lg}_{i,i+1} = H_i + U^o_{zi};$$

$$H^{lg}_{i,i+1} = H_i + U^o_{ni+1},$$

записати ці значення в графу 12 на рядки точок $i.i+1$. Використовуючи середнє значення H^{lg}_j між точками $i.i+1$, обчислити висоти проміжних точок j , що нівелювалися з даної станції, за формулою

$$H_j = H^{lg}_{i,i+1} - U^o_j,$$

записати ці значення в графу 11 на рядки точок j .

2. ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ

Обчислювальні засоби: мікрокалькулятор (МК), що дозволяє поопераційно виконати й осмислити опрацювання результатів вимірів.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст роботи: розв'язання задач з оцінювання точності результатів вимірів фізичних величин і їхніх функцій, математичне опрацювання результатів вимірів теодолітного ходу і ходу геометричного нівелювання.

4. ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Варіант вихідних даних студенти отримують залежно від свого номера в списку академічної групи.

5. Звітний матеріал: лист оцінювання точності вимірів і їхніх функцій; таблиця математичного опрацювання результатів вимірів однієї фізичної величини; відомість математичного опрацювання результатів вимірів теодолітного ходу; журнал геометричного нівелювання з математичним опрацюванням результатів вимірів.

6. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які задачі розв'язують математичним опрацюванням результатів вимірів?

2. Як визначається похибка результату виміру, її систематична і випадкова частини? Назвіть властивості випадкових похибок.

3. Що розуміють під середньою квадратичною похибкою результатів вимірів однієї величини, граничним і відносним її значенням?

4. За якою формулою знаходять середню квадратичну похибку функції результатів вимірів кількох фізичних величин і яка послідовність її застосування?

5. Яка послідовність математичного опрацювання рівноточних результатів вимірів однієї фізичної величини?

6. Яка послідовність математичного опрацювання нерівноточних результатів вимірів однієї фізичної величини?

7. Що розуміють під зрівнюванням результатів вимірів? Опишіть алгоритм наближеного зрівнювання результатів вимірів у вигляді послідовності формул.

8. Опишіть зрівнювання кутів теодолітного ходу у вигляді послідовності формул.

9. Як обчислюють дирекційні кути сторін теодолітного ходу, приріст абсцис, приріст ординат?

10. Опишіть зрівнювання приростів координат теодолітного ходу у вигляді послідовності формул.

11. Опишіть зрівнювання перевищень ходу у вигляді послідовності формул.

12. Як обчислюють висоти зв'язуючих і проміжних точок ходу геометричного нівелювання?

Використана література

1. Багратуни Г.В. Инженерная геодезия / Г.В. Багратуни и др. – М.: Недра, 1984. – 344 с.
2. Полищук Ю.В. Высотные разбивочные работы в строительстве / Ю.В. Полищук. – К.: Будівельник, 1980. – 104 с.
3. Практическое руководство по геодезическому обеспечению строительства зданий повышенной этажности / ГУГК, НИИПГ. – М.: Недра, 1984. – 120 с.
4. Руководство по расчету точности геодезических работ в промышленном строительстве / ГУГК. – М.: Недра, 1979. – 55 с.
5. Справочник по инженерной геодезии: под ред. Н. Г. Видуева. – К.: Выща школа, 1978. – 376с.
6. Справочник по геодезическим разбивочным работам: под ред. Г.В. Багратуни. – М.: Недра, 1982. – 128 с.
7. Ратушняк Топографія з основами картографії: навчальний посібник / Г.С. Ратушняк. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 179 с.
8. Инженерная геодезия / Г.В. Багратуни, В.Н. Ганьшин, Б.Б. Данилевич и др. – М.: Недра, 1984. – 344 с.
9. Войтенко С.П. Геодезичні роботи в будівництві / С.П. Войтенко. – К.: ІСДО, 1993. – 144 с.



Видавництво Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя

виготовляє підручники для вузів, методичну літературу, художні видання, надає редакційно-видавничі та поліграфічні послуги з набору тексту, розробки макетів і друку книги чи будь-якої іншої поліграфічної продукції (брошури, плакати, афіші, календарі).

КРІМ ТОГО, ВИДАВНИЦТВО ПРОПОНУЄ ТАКІ ПОСЛУГИ:

- дизайн візитівок, буклетів, вітальних листів;
- професійне вичитування і верстку;
- сканування та копіювання;
- чорно-білий і повноколірний друк.



м. Тернопіль,
вул. Руська, 56.
Тел.: 42-79-65.

e-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua

Редактор Є.І.Гриценко
Коректор О.О.Зелінський
Комп'ютерне макетування Н.М.Новоринської

Формат 60×90 Папір ксероксний.
Авт. арк.5,06
Наклад 200 прим. Зам. № 1537 -12.10

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001
E-mail :vydavnytstvo@tu.edu.te.ua