

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ГЕОДЕЗІЯ ТА ГЕОТРОНІКА

Лабораторний практикум

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Геоінженерія»
спеціальності G16 Гірництво та нафтогазові технології

Укладачі: Т. В. Косенко, О. О. Фролов

Електронне мережеве навчальне видання

2-ге видання, перероблене і доповнене

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2026

УДК 528.48(075)

Укладачі: *Косенко Тетяна Володимирівна*
Фролов Олександр Олександрович

Рецензент *Босак А.В., к.т.н., доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ*

Відповідальний редактор *Зуєвська Н.В., проф., д.т.н., проф. кафедри геоінженерії*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 8 від 04.06.2026 р.)
за поданням вченої ради навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту
(протокол № 10 від 29.05.2026 р.)*

Г35 **Геодезія та геотроніка.** [Електронний ресурс] : лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Геоінженерія» спец. G16 Гірництво та нафтогазові технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т. В. Косенко, О. О. Фролов. – 2-ге вид., переробл. та доповн. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 67 с.

У навчальному посібнику викладено основні положення щодо виконання лабораторних робіт, тематика яких обіймає розділи курсу з визначення положення точок на земній поверхні, вивчення лінійних вимірювань, кутових вимірювань, нівелювання лінійних споруд, проведення тахеометричної та інших видів зйомок за допомогою сучасних геодезичних приладів.

Посібник містить детальні інструкції до виконання лабораторних робіт, методики роботи з сучасним вимірювальним обладнанням та алгоритми камеральної обробки даних. Видання допоможе студентам опанувати навички просторового аналізу та моделювання, необхідні для вирішення інженерних завдань у будівництві, гірництві та землеустрої.

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю G16 Гірництво та нафтогазові технології.

УДК 528.48(075)

Реєстр. № НП 25/26-404. Обсяг 3,1 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1. Рішення геодезичних задач за топографічними планами і картами.....	5
Лабораторна робота № 2. Лінійні вимірювання на місцевості.....	19
Лабораторна робота № 3. Будова і перевірки теодолітів. Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.....	24
Лабораторна робота № 4. Будова і перевірки нівелірів. Засвоєння техніки поздовжнього геометричного нівелювання.....	37
Лабораторна робота № 5. Камеральна обробка результатів теодолітної зйомки.....	47
Лабораторна робота № 6. Тахеометрична зйомка. Камеральна обробка результатів тахеометричної зйомки. Побудова топографічного плану.....	57
Список рекомендованої літератури.....	67
Перелік посилань.....	67

ВСТУП

Дане навчальне видання призначено для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю G16 Гірництво та нафтогазові технології денної і заочної форми навчання відповідно до силабусу навчальної дисципліни «Геодезія та геотроніка».

Геодезія є однією з фундаментальних дисциплін у системі підготовки фахівців інженерних напрямів, зокрема гірництва, будівництва та землеустрою. Дисципліна «Геодезія та геотроніка» спрямована на опанування методик дослідження фігури Землі, технологій визначення просторових координат і виконання топографічного знімання для подальшого створення планів, карт та цифрових моделей місцевості. Особлива увага приділяється точності вимірювальних процесів, оскільки якість геодезичних робіт безпосередньо впливає на безпеку капітального будівництва та ефективність розробки родовищ корисних копалин.

Лабораторний практикум займає ключове місце у навчальному процесі. Його головне завдання – закріплення теоретичних знань шляхом набуття практичних навичок роботи з геодезичними приладами, опанування методик польових вимірювань та засвоєння алгоритмів камеральної обробки даних. В процесі виконання лабораторних робіт студенти опановують методику побудови поверхонь у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Навчальний посібник структуровано відповідно до навчальної програми дисципліни та містить методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Кожна робота включає теоретичні відомості, опис конструкції та принципів роботи геодезичних приладів, покрокові алгоритми виконання вимірювань та перевірок, методику математичної обробки результатів з елементами теорії похибок, приклади розрахунків, питання для самоперевірки.

Кожна лабораторна робота завершується оформленням звіту за встановленим зразком та його захистом, що сприяє розвитку навичок підготовки технічної документації.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

РІШЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗАДАЧ ЗА ТОПОГРАФІЧНИМИ ПЛАНAMI I КАРТАМИ

Мета роботи: набути навичок користування топографічною картою для розв'язування найпоширеніших інженерних задач.

1.1. Завдання до роботи

1.1.1. Вивчити умовні знаки топографічних карт і планів, визначити фактичний масштаб карти

1.1.2. Визначити прямокутні координати точок 1 і 2 та довжину лінії.

1.1.3. Визначити абсолютні відмітки кінцевих точок та ухил лінії 1-2, крутизну схилу окремих ділянок профілю, побудувати профіль місцевості за заданим напрямком 1-2

1.1.4. Визначити географічні координати точок 1 і 2.

1.1.5. Визначити орієнтувальні кути лінії 1-2.

1.1.6. Вирішити пряму і обернену геодезичну задачу за вихідними даними. Обрати масштаб та зробити креслення в масштабі.

1.2. Устаткування для виконання лабораторної роботи

Топографічна карта, масштабна лінійка, транспорир, вимірювач або циркуль; олівець, аркуш міліметрового паперу, калькулятор, протокол роботи.

1.3. Загальні положення та послідовність виконання роботи

1.3.1. Визначення масштабу плану, карти

Масштаб – це ступінь зменшення довжини ліній місцевості на плані чи карті. В геодезії використовують числовий, лінійний та поперечний масштаби.

Числовим масштабом називають відношення довжини лінії на плані або карті S_n до горизонтального закладання цієї самої лінії на місцевості S_m , тобто $S_n:S_m = M$. Масштаб записується у вигляді дробу, чисельник якого дорівнює одиниці, а знаменник – числу, що вказує на ступінь зменшення. Чим

більший дріб, тим більший масштаб.

Масштаб 1:10000 означає, що одному міліметру на плані відповідає 10000 мм (10 м) на місцевості, одному сантиметру на плані відповідає 10000 см (100 м) на місцевості. Точність лінійного виміру на карті приймають рівною 0,1 мм, що відповідає відстані 1 м для масштабу 1:10000 і 0,2 м – для масштабу 1:2000. Тому і всі вимірювання на картах треба проводити з відповідною точністю [1, 2].

Приклад 1. Визначити довжину лінії d на карті масштабу 1:10000, якщо її горизонтальна довжина на місцевості дорівнює $D = 425$ м.

$$\text{Розв'язання: } \frac{1}{M} = \frac{d}{D}, \quad d = \frac{D}{M} = 42500 \text{ см} : 10000 = 4.25 \text{ см.}$$

Приклад 2. Визначити довжину лінії на місцевості, якщо на карті вона дорівнює $d = 12,46$ см.

$$\text{Розв'язання: } \frac{1}{M} = \frac{d}{D}, \quad D = d \cdot M = 12.46 \text{ см} \cdot 100 \frac{\text{м}}{\text{см}} = 1246 \text{ м.}$$

Лінійний масштаб – це графічне вираження числового масштабу. Довжину одного відрізка називають основою масштабу b . Лінійний масштаб може бути простим (рис. 1.1, а) та поперечним (рис. 1.1, б). Основа поперечного масштабу може дорівнювати 1, 2 або 5 см [1, 3].

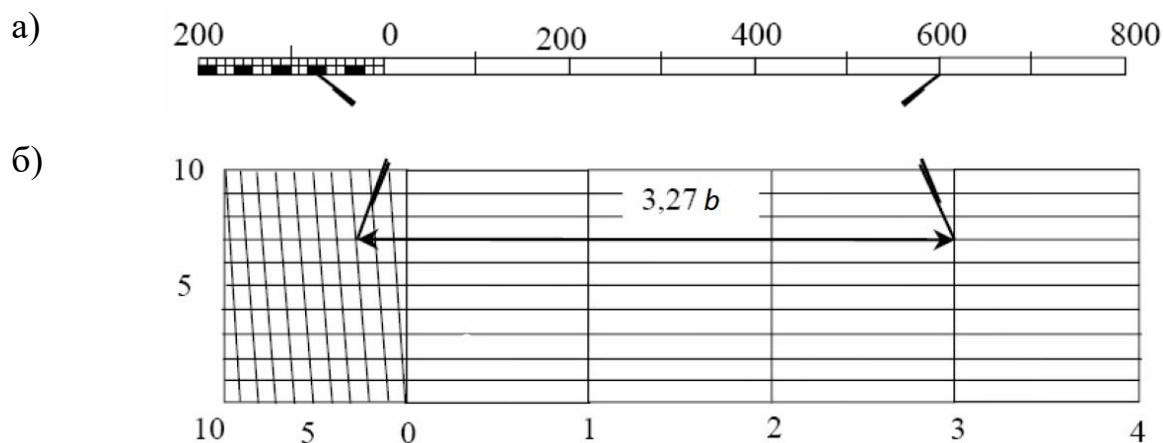


Рис. 1.1. Масштаби: а – лінійний; б – поперечний

Якщо відомі фактична довжина лінії S_m і її довжина на плані S_n , то можна визначити фактичне значення масштабу: $M_{\phi} = S_n / S_m$.

1.3.2. Визначення прямокутних координат на карті, плані

Прямокутні координати точки безпосередньо на карті визначають у такому порядку. Для заданої точки A необхідно знайти найближче перехрестя лінії сітки з координатами X_0 , Y_0 , виміряти відстані від точки A до ліній сітки ΔX_A , ΔY_A за допомогою поперечного масштабу і привести їх до відстаней в натурі зі своїми знаками відносно X_0 та Y_0 (рис. 1.2) [1, 3]. Після цього обчислюють координати точки за формулами:

$$\begin{aligned} X_A &= X_0 \pm \Delta X_A, \\ Y_A &= Y_0 \pm \Delta Y_A. \end{aligned} \quad (1.1)$$

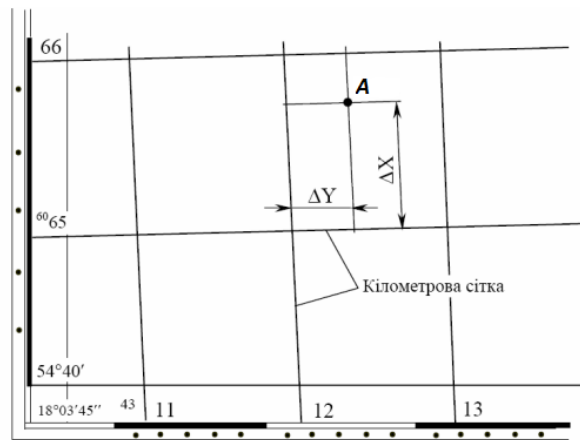


Рис. 1.2. Визначення прямокутних координат точки графічним способом

Приклад. Визначити прямокутні координати точки A на карті масштабом 1:25000 (рис. 1.3).

Розв'язання: координати X_A , Y_A точки A визначають за формулами (1.1):

$$X_A = X_0 \pm \Delta X_A = 6065000 + 280 = 6065280 \text{ м};$$

$$X_0 = 6065000 \text{ м},$$

$$\Delta X_A = 0,56 \cdot b \cdot M = 0,56 \cdot 2 \text{ см} \cdot 250 \text{ м/см} = 280 \text{ м},$$

де 0,56 – довжина відрізка ΔX , вимірюється за допомогою поперечного масштабу, ум. од.; $b=2$ – основа поперечного масштабу, см; $M=250$ – масштаб карти, м/см.

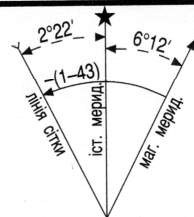
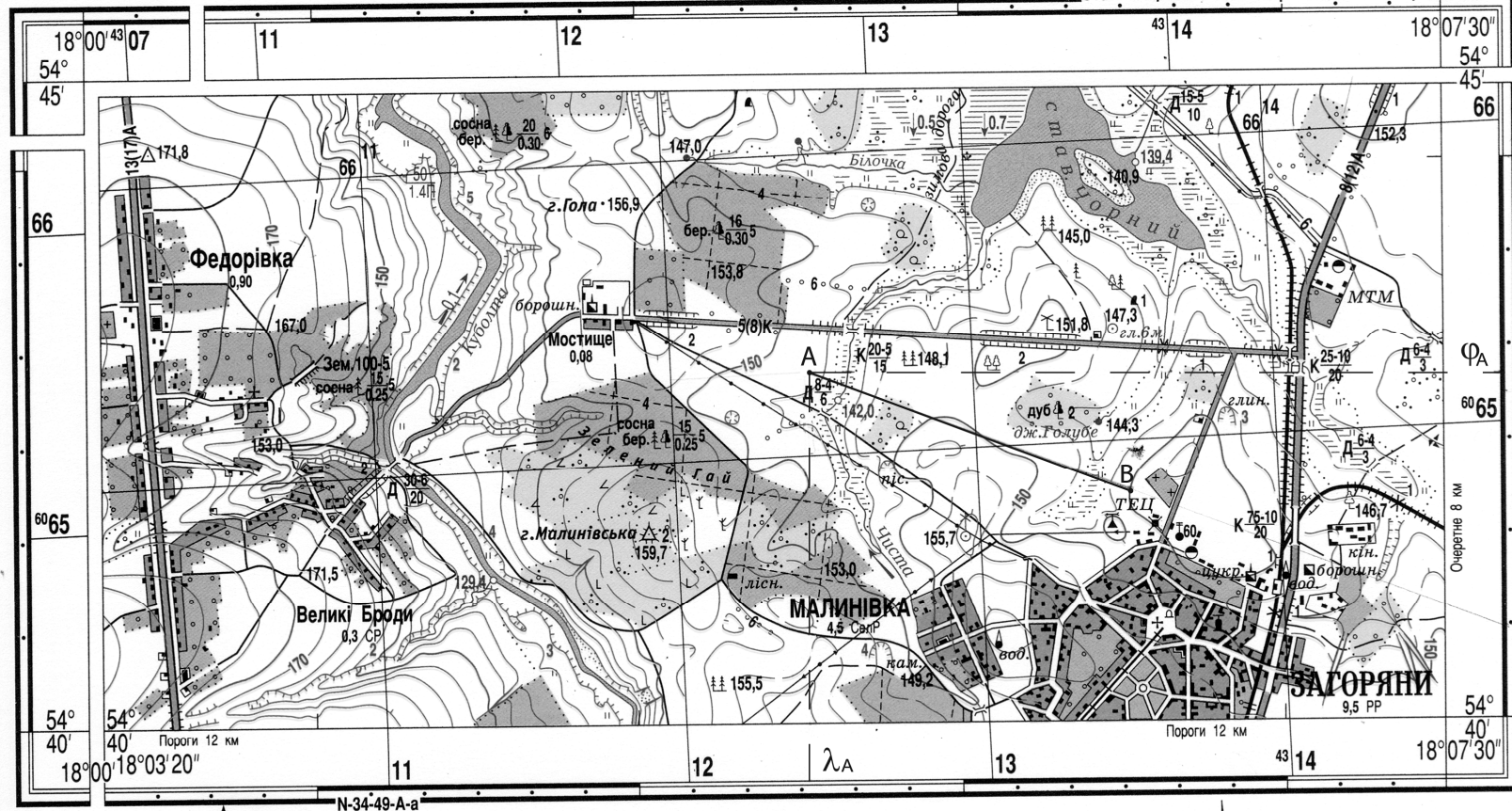
$$Y_A = Y_0 \pm \Delta Y_A = 4312000 + 445 = 4312445 \text{ м},$$

$$Y_0 = 4312000 \text{ м}, \Delta Y_A = 0,89 \cdot b \cdot M = 0,89 \cdot 2 \text{ см} \cdot 250 \text{ м/см} = 445 \text{ м}.$$

Аналогічні вимірювання та обчислення проводять і для точки B .

N-34-37-B-в

Стан місцевості на 2002 р. Видання 2003 р.



1:25 000

в 1 сантиметрі 250 метрів



Суцільні горизонталі проведені через 5 метрів
Балтійська система висот

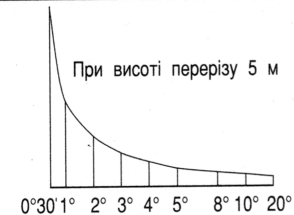


Рис. 1.3. Топографічна карта

1.3.3. Вивчення рельєфу місцевості, визначення абсолютних відміток точок, ухилу лінії, побудова профілю місцевості

Вивчення рельєфу починають з визначення на карті напрямку підвищення та зниження місцевості. При цьому треба враховувати таке:

- 1) бергштрихи завжди напрямлені в бік зниження;
- 2) основу цифр, котрими підписані горизонталі, написано в напрямі схилу;
- 3) місцевість знижується до водойм і водостоків;
- 4) горизонталі перетинаються на водорозділах хребтів і тальвегах долин;
- 5) чим частіше пройдуть горизонталі, тим крутіше буде нахил поверхні.

Визначення абсолютних відміток точок.

Абсолютну відмітку точки, що розташована між горизонталями з висотами H_1 і H_2 ($H_1 < H_2$), визначають, провівши через т. А найкоротшу лінію між горизонталями і вимірявши відстань d і a (рис. 1.4) в масштабі карти, за формулою:

$$H_A = H_1 + \frac{a}{d}h \quad (1.2)$$

або

$$H_A = H_1 + i_{1-2}a, \quad (1.3)$$

де H_1, H_2 – відмітки горизонталей, між якими розташована точка, м; d – найкоротша відстань між сусідніми горизонталями в точці А, м; h – висота перерізу, м; ha/d – перевищення точки А над горизонталлю H_1 , м; i_{1-2} – ухил лінії 1-2 (рис. 1.4) [1, 3].

Ухил лінії 1-2 визначається за формулою:

$$i_{1-2} = \frac{H_2 - H_1}{d} = \frac{h}{d}. \quad (1.4)$$

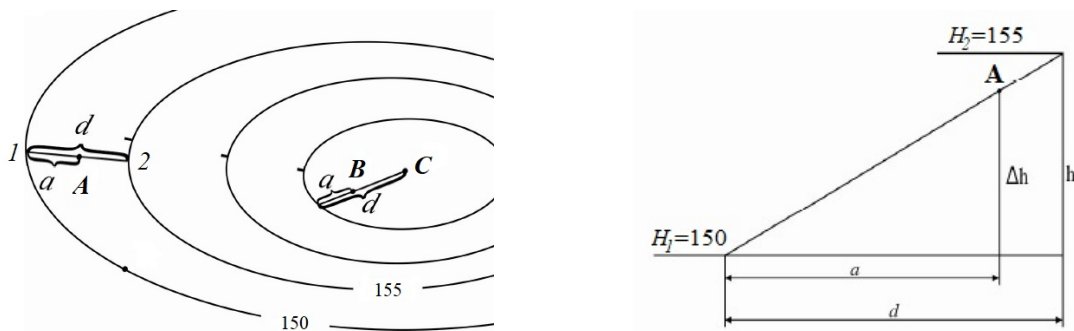


Рис. 1.4. Визначення абсолютної відмітки точки

Приклад. Визначити абсолютну відмітку точки A (див. рис. 1.3).

Розв'язання: Найближчою горизонталлю до точки A є горизонталь з позначкою $H_1 = 145$ м, відстань до якої визначається безпосередніми замірами на карті і становить $a = 3$ мм (75 м на місцевості з врахуванням масштабу). Найкоротша відстань між горизонталями в точці A також вимірюється і дорівнює $d = 8$ мм (200 м на місцевості з врахуванням масштабу). При висоті перерізу $h = 5$ м з формул (1.2) і (1.3) маємо:

$$H_A = H_1 + \frac{a}{d}h = 145 + \frac{3}{8} \cdot 5 = 146,88 \text{ м},$$

або

$$H_A = H_1 + i_{1-2} \cdot a = 145 + 0,025 \cdot 75 = 146,88 \text{ м},$$

де

$$i_{1-2} = \frac{h}{d} = \frac{5}{8 \cdot 25} = 0,025.$$

Ухилом лінії i називають відношення перевищення лінії до її закладання d . Перевищенням лінії AB називають різницю позначок точок A і B . Середній ухил між двома заданими точками визначають за формулою:

$$i_{AB} = \frac{H_B - H_A}{d_{AB}},$$

де H_B, H_A – абсолютні позначки заданих точок, м; d_{AB} – горизонтальна відстань між точками (визначається безпосередніми замірами на карті), м [2].

Приклад. Визначити ухил лінії АВ (див. рис. 1.3).

Розв'язання:

$$i_{AB} = \frac{H_B - H_A}{d_{AB}} = \frac{150 - 146,88}{1155} = 0,0027 = 2,7\text{‰},$$

де $H_B = 150$, $H_A = 146,88$ – абсолютні відмітки точок B і A , м;
 $d_{AB} = 4,62 \text{ см} \times 250 \text{ м/см} = 1155 \text{ м}$ – горизонтальна відстань між точками (визначається безпосередніми замірами на карті з врахуванням масштабу карти).

Розмірність ухилу – долі одиниці або промилі (‰). 1 промиля дорівнює 0,001 від одиниці.

Видимість між двома точками визначають за допомогою побудованого **профілю**. Для цього на карті проводять профільну лінію між цими точками. Потім на міліметровому папері проводять пряму лінію, яка є основою профілю. На неї з карти переносять точки перетину з горизонталями, водорозділами, тальвегами, сідловинами, вершинами. У знайдених точках на перпендикулярах відкладають висоти у вертикальному масштабі (який більший за горизонтальний у 20-50 разів). Кінці перпендикулярів з'єднують плавною лінією (рис. 1.5). Також профіль поверхні можна побудувати за допомогою комп'ютерних програм [2].

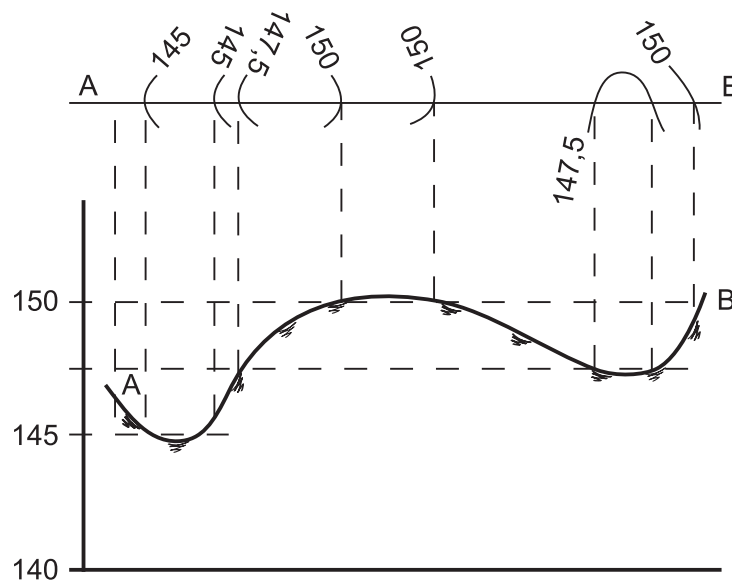


Рис. 1.5. Побудова профілю за напрямом А-В

1.3.4. Визначення географічних координат точок

Для визначення географічних координат точок на карті використовується мінутна рамка (шкала мінут) картографічної сітки. Вона складається з двох паралельних ліній, які розділені на мінутні поділки. Крім того, кожна мінута поділена точками на шість десятисекундних відрізків. При визначенні географічних координат будь-якої точки необхідно через задану точку провести меридіан та паралель, продовживши їх до перетину з мінутними рамками, і відрахувати там широту паралелі заданої точки та довготу її меридіану [2].

Приклад. Визначити географічні координати точки A (див. рис. 1.3).

Розв'язання: Широта південної паралелі карти становить $\varphi = 54^{\circ}40'$. Щоб визначити широту т. A , необхідно до φ додати $37''$ (три повних відрізки по $10''$ та $7''$ з четвертого відрізка), отже $\varphi_A = 54^{\circ}40'37''$. Аналогічно визначається довгота точки. Довгота східного меридіану карти становить $\lambda = 18^{\circ}07'30''$. Тоді, щоб визначити довготу точки A , треба від λ відняти $1'$ і $58''$, отже, $\lambda_A = 18^{\circ}05'32''$.

1.3.5. Визначення орієнтувальних кутів

Орієнтувати лінію на місцевості – значить знайти її напрям відносно меридіана. За орієнтувальні кути приймають азимути, дирекційні кути та румби [2].

Азимутом називають горизонтальний кут, що відліковується за ходом годинникової стрілки від північного напрямку меридіана до заданого напрямку.

Азимут називають справжнім A , якщо він відліковується від справжнього (географічного) меридіана, і магнітним (A_M) – від магнітного. Азимут змінюється у межах від 0° до 360° .

Азимут прямого напрямку P_1P_2 (рис. 1.6) називають прямим (A_{1-2}), зворотного напрямку P_2P_1 – оберненим (A_{2-1}).

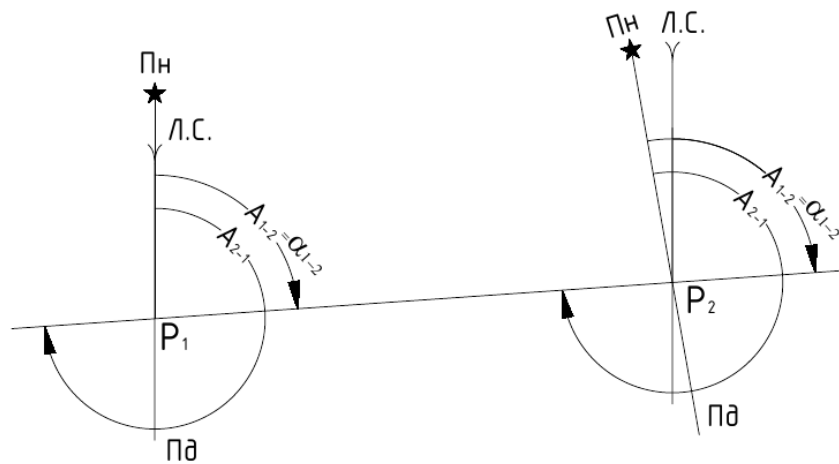


Рис. 1.6. Зв'язок між прямим і оберненим напрямком

Меридіани не паралельні між собою. Тому кут між напрямом двох меридіанів у двох даних точках називають **зближенням меридіанів** (γ). Залежність між прямим і зворотнім азимутами має вигляд:

$$A_{2-1} = A_{1-2} \pm 180^\circ + \gamma. \quad (1.5)$$

Дирекційний кут α відліковується від північного напрямку осьового меридіану або паралельної йому лінії сітки за ходом годинникової стрілки до заданого напрямку. Дирекційний кут змінюється в межах від 0° до 360° .

Залежність між справжнім азимутом і дирекційним кутом виражається формулою:

$$A = \alpha \pm \gamma. \quad (1.6)$$

Зближення меридіанів точок, розміщених на схід від меридіана, мають знак "+", на захід – знак "-".

Дирекційні кути прямого і зворотного напрямків відрізняються на 180° , тобто

$$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} \pm 180^\circ. \quad (1.7)$$

Знак « $\rightarrow$ » приймають у випадках, коли $\alpha_{1-2} > 180^\circ$.

Зв'язок між магнітним і справжнім азимутами виражається формулою:

$$A_m = A \pm \delta, \quad (1.8)$$

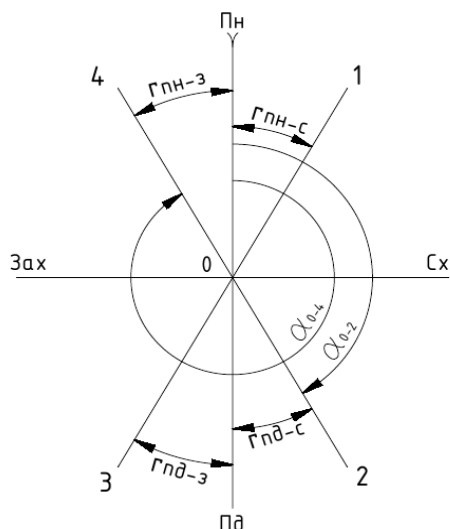
де δ – **магнітне схилення** – кут між площинами магнітного і справжнього меридіанів.

Східний нахил стрілки беруть зі знаком "+", західний – зі знаком "-".

На практиці замість азимутів і дирекційних кутів користуються румбами (табличними кутами).

Румбом r називають гострий кут між північним або південним напрямом і заданим. Позначення румбів з індексами, що показують чверть, показано на рис. 1.7. У табл. 1.1 розглянуто зв'язок між румбами і дирекційними кутами.

Таблиця 1.1.



Зв'язок між румбами і дирекційними кутами

Номер і назва чверті		Діапазон дирекційних кутів	Румб/табличний кут
1.	Пн.-східна	$0^\circ - 90^\circ$	$r = \alpha$
2.	Пд.-східна	$90^\circ - 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$
3.	Пд.-західна	$180^\circ - 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$
4.	Пн.-західна	$270^\circ - 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$

Рис. 1.7. Зв'язок між румбами і дирекційними кутами

Приклад. Визначити орієнтувальні кути (дирекційний кут (прямий і зворотній), справжній і магнітний азимути, румб) лінії AB , вказаної на карті (див. рис. 1.3), якщо $\gamma_3 = 2^\circ 22'$, $\delta_c = 6^\circ 12'$.

Розв'язання: Схему орієнтувальних кутів лінії AB наведено на рис. 1.8. Дирекційний кут α_{AB} лінії AB вимірюється транспортиром графічним способом безпосередньо на карті (рис. 1.9). Отримано $\alpha_{AB} = 102^\circ 40'$.

Зворотний дирекційний кут визначається за формулою (1.7):

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ = 102^\circ 40' + 180^\circ = 282^\circ 40'.$$

За формулою (1.6) визначається справжній азимут:

$$A_{AB} = \alpha_{AB} - \gamma_3 = 102^\circ 40' - 2^\circ 22' = 100^\circ 18'.$$

Магнітний азимут визначається за формулою (1.8):

$$A_{MAB} = A_{AB} - \delta_c = 100^\circ 18' - 6^\circ 12' = 94^\circ 06'.$$

Оскільки точка B знаходиться в другій чверті, румб – південно-східний – визначається за формулою:

$$r_{нд-сх} = 180^\circ - \alpha_{AB} = 180^\circ - 102^\circ 40' = 77^\circ 20'.$$

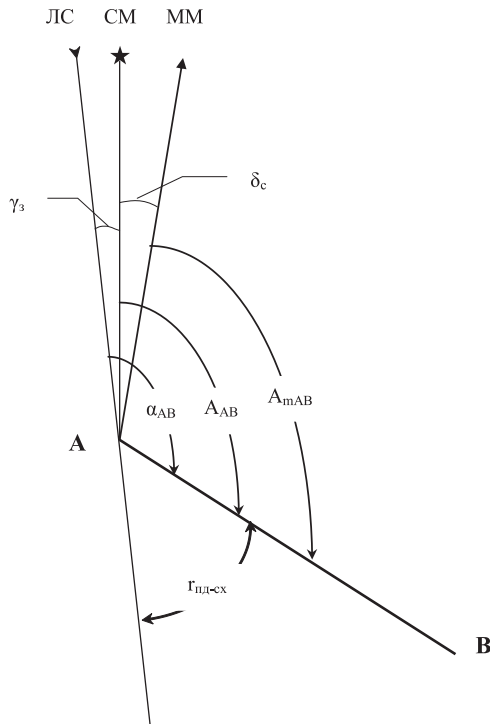


Рис. 1.8. Орієнтуючі кути лінії АВ

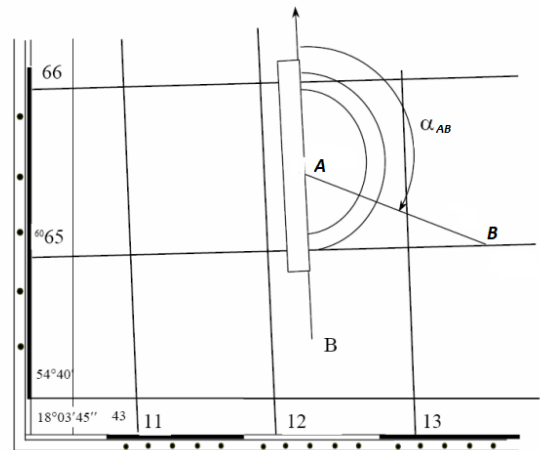


Рис. 1.9. Визначення дирекційного кута графічним способом

1.3.6. Розв'язання прямої і оберненої геодезичної задачі

Розв'язання **прямої геодезичної задачі** зводиться до знаходження координат точки 2 (X_2 , Y_2), якщо відомі координати точки 1 (X_1 , Y_1), горизонтальна відстань між точками d і дирекційний кут α_{1-2} лінії 1-2 (рис.1.10) [2]. Для цього визначаються приращення координат Δx , Δy за формулами:

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha_{1-2}, \quad (1.9)$$

$$\Delta y = d \cdot \sin \alpha_{1-2}. \quad (1.10)$$

Знак приращення координат Δx і Δy залежить від напрямку лінії, тобто від її дирекційного кута. На рис. 1.10, наприклад, для лінії 1-2 і 3-4 маємо відповідно $+\Delta x_{1-2}$, $+\Delta y_{1-2}$ і $+\Delta x_{3-4}$, $-\Delta y_{3-4}$.

Координати точки 2 визначаються за формулами:

$$X_2 = X_1 + \Delta x, \quad (1.11)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta y. \quad (1.12)$$

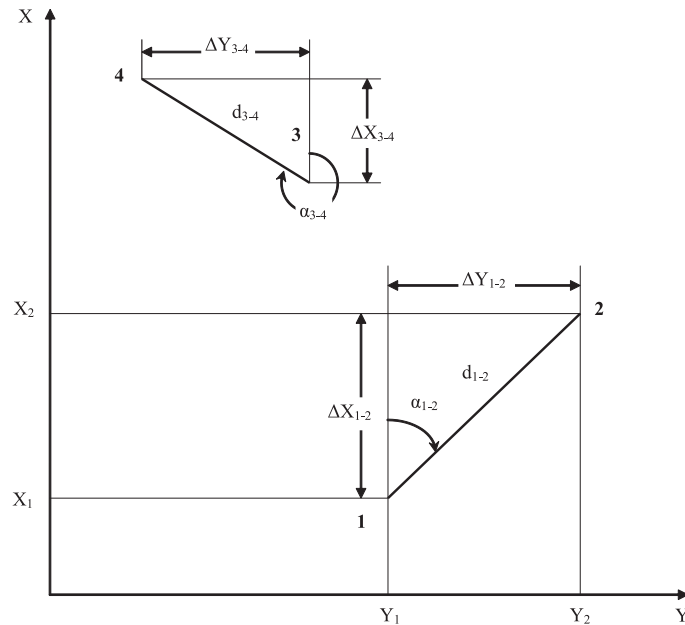


Рис.1.10. Схеми до прямої і оберненої геодезичних задач

Приклад рішення прямої геодезичної задачі.

Задані координати точки 1: $X_1 = 6066825$ м, $Y_1 = 4312462$ м; довжина лінії 1-2 $d = 525$ м; дирекційний кут $\alpha_{1-2} = 145^\circ$. Обрати необхідний масштаб, накреслити лінію 1-2, вказати на плані дирекційний кут, прирощення координат, обчислити X_2 , Y_2 .

Розв'язання:

Визначення прирощень координат:

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha_{1-2} = 525 \cdot \cos 145 = -430,05 \text{ м},$$

$$\Delta y = d \cdot \sin \alpha_{1-2} = 525 \cdot \sin 145 = 301,13 \text{ м},$$

Визначення координат т.2:

$$X_2 = X_1 + \Delta x = 6066825 - 430,05 = 6066394,95 \text{ м},$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta y = 4312462 + 301,13 = 4312763,13 \text{ м}.$$

Для креслення обраний масштаб 1:5000. Креслення наведено на рис.1.11.

Обернена геодезична задача полягає у визначенні відстані d між точками 1 і 2 і дирекційного кута α_{1-2} при заданих координатах точок (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) (рис.1.10) [2]. Дирекційний кут визначається з виразу:

$$tg\alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (1.13)$$

а відстань між точками – з формул (1.10), (1.11), або за формулою:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (1.14)$$

Приклад рішення оберненої геодезичної задачі.

Задані координати точок $X_1 = 6066825$ м, $Y_1 = 4312462$ м; $X_2 = 6066713$ м, $Y_2 = 4312328$ м. Обрати необхідний масштаб, накреслити лінію 1-2, обчислити і вказати на плані дирекційний кут і румб лінії 1-2, визначити відстань між точками.

Розв'язання:

Визначення дирекційного кута:

$$\begin{aligned} \alpha_{1-2}^T &= \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \arctg \frac{4312328 - 4312462}{6066713 - 6066825} = \arctg \frac{-134}{-112} = \\ &= \arctg 1,1964 = 50^\circ 06'. \end{aligned}$$

Оскільки т. 2 знаходиться в III (південно-західній) чверті, α_{1-2} визначається за формулою:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1-2}^T + 180^\circ = 50^\circ 06' + 180^\circ = 230^\circ 06'.$$

Визначення відстані між точками 1 і 2:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{112^2 + 134^2} = 174,64 \text{ м.}$$

Для креслення обраний масштаб 1:2000. Креслення наведено на рис.1.12.

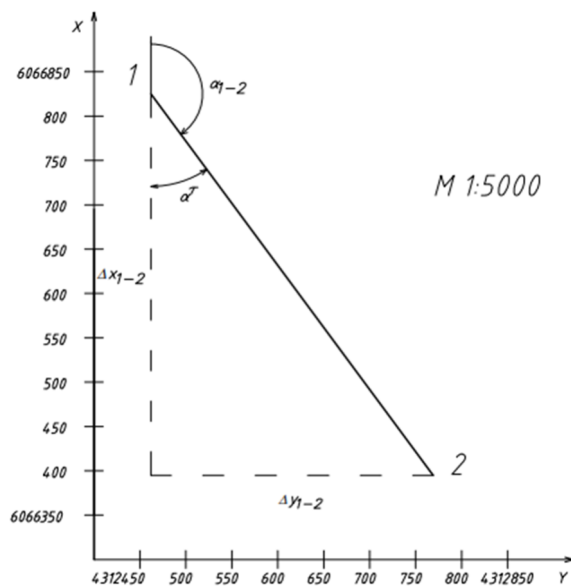


Рис. 1.11. Пряма геодезична задача

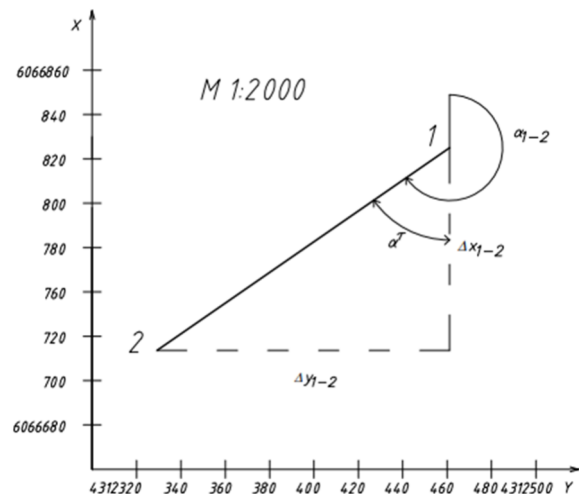


Рис. 1.12. Обернена геодезична задача

1.4. Висновки

У кінці роботи наводяться основні результати роботи та їх аналіз.

1.5. Запитання для самоперевірки

1. Дати визначення основним поняттям: земний сфероїд, рівнева поверхня, геоїд.
2. Які системи координат використовуються в геодезії? Їхні параметри, суть.
3. Пояснити суть системи плоских прямокутних координат Гауса-Крюгера, методи їх визначення на карті.
4. Які кути використовують в геодезії для орієнтування ліній, у чому їх сутність? Навести приклади зв'язку між орієнтуючими кутами.
5. Що таке топографічні плани і карти, який принцип їх побудови? Масштаби, їх види; умовні знаки.
6. Які види задач розв'язуються з допомогою топографічної карти? Навести приклади.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ НА МІСЦЕВОСТІ

Мета роботи – освоїти техніку вимірювання довжин ліній мірними стрічками та далекомірами.

2.1. Завдання по роботі

2.1.1. Ознайомитися з принципом вимірювання відстаней безпосереднім і опосередкованим способами.

2.1.2. Провести вимірювання довжин ліній мірною стрічкою. Встановити точність вимірювання. Визначити горизонтальне прокладання.

2.1.3. Провести вимірювання довжин ліній нитковим далекоміром. Визначити сталі далекоміра. Визначити горизонтальне прокладання.

2.2. Устаткування й прилади для виконання роботи

Мірна стрічка; теодоліт-тахеомер; штатив; нівелірна рейка; протокол роботи.

2.3. Загальні положення. Послідовність виконання роботи

2.3.1. Вимірювання довжин ліній мірними стрічками

Для вимірювання довжини лінії AC мірною стрічкою її розбивають на ділянки з приблизно однаковими кутами нахилу, закріплюють ділянку кілочками, накреслюють схему виміру, виконують вішення лінії. Вимірювання виконують дві людини і результати вимірювання довжини кожної ділянки записують в журнал [2, 3].

Довжину ліній визначають за формулою:

$$D = nl + r + \Delta D_t, \quad (2.1)$$

де n – число цілих відкладень стрічки; l – довжина стрічки, м; r – залишок довжини (менш як l), м; ΔD_t – поправка до довжини лінії на температурне розширення, якщо різниця температури при вимірюванні та компаруванні перевищує 8°C .

Кожну з ділянок теодолітного ходу вимірюють у прямому й зворотному напрямках ($D_{\text{пр}}, D_{\text{зв}}$).

Результати записують у журнал (табл. 2.1) і перевіряють виконання нерівності:

$$\frac{D_{\text{пр}} - D_{\text{зв}}}{D_{\text{пр}}} \leq f_{D_{\text{доп}}}, \quad (2.2)$$

$$\Delta D \leq \Delta D_{\text{доп}},$$

де $f_{D_{\text{доп}}}$ – відносна допустима похибка вимірювання (для М 1:500 і М 1:1000 дорівнює відповідно 1/3000 і 1/2000); $\Delta D_{\text{доп}} = D_{\text{пр}} \cdot f_{D_{\text{доп}}}$ – допустима похибка.

При виконанні нерівності (2.2) беруть середню величину з двох вимірювань:

$$D = \frac{D_{\text{пр}} + D_{\text{зв}}}{2}. \quad (2.3)$$

У разі невиконання нерівності вимірювання повторюють.

Таблиця 2.1.

Журнал лінійних вимірювань

Номер ділянки /лінії/	n	r , м	$D_{\text{пр}}, D_{\text{зв}}$	ΔD , м	$\Delta D_{\text{доп}}$, м	D , м	ϑ	d , м
1-2	16	12,73	332,73	0,15	0,17	332,66	4°30'	331,63
2-1	16	12,58	332,58					

Для похилих ділянок вимірюють кут нахилу лінії ϑ за допомогою теодоліта-тахеометра. При кутах нахилу більших 2° ($\vartheta > 2^\circ$), визначають проекцію цієї лінії на горизонтальну площину (горизонтальне прокладання):

$$d = D \cos \vartheta. \quad (2.4)$$

2.3.2. Вимірювання довжин ліній нитковим далекоміром

Під час вимірювання відстаней нитковим далекоміром прилад встановлюють над точкою N (рис. 2.1, а), а рейку в точці M . По додатковим (далекомірним) ниткам a' і b' в полі зору труби (рис. 2.1, б) беруть

далекомірний відлік $AB=l$, а відстань між точками N і $M - D$, визначають за формулою:

$$D = D' + f + \delta, \quad (2.5)$$

де D' – відстань від переднього фокуса об'єктива F до рейки; f – фокусна відстань об'єктива зорової труби; δ – відстань від об'єктива до вертикальної осі теодоліта [1, 3].

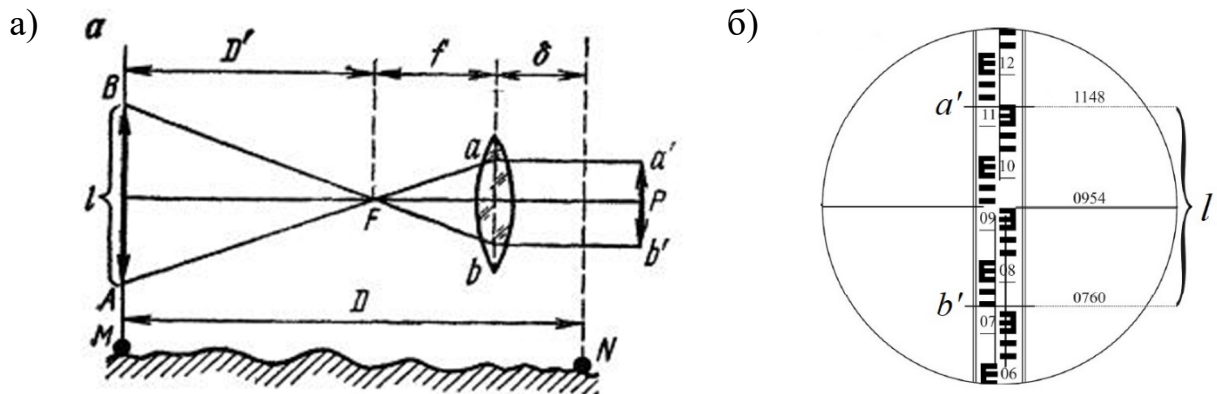


Рис. 2.1. Нитковий далекомір: а) оптична схема; б) поле зору труби

Відрізок D' визначають з подібності трикутників ABF і ABF :

$$D' = \frac{f}{P} l. \quad (2.6)$$

Відношення $\frac{f}{P} = K$ називають *коефіцієнтом далекоміра*, а суму $f + \delta = c$ – *постійною далекоміра*.

Таким чином, для зорової труби з зовнішнім фокусуванням відстань по нитковому далекоміру розраховують за формулою:

$$D = K \cdot l + c. \quad (2.7)$$

При зйомці в масштабі 1:5000 і менше величиною c нехтують і відстань визначають за формулою:

$$D = K \cdot l. \quad (2.8)$$

Горизонтальну відстань між точками N і M (при куті нахилу $\vartheta > 0^\circ$) визначають за формулою:

$$\begin{aligned} \text{при } \vartheta > 2^\circ \quad d &= D \cdot \cos^2 \vartheta, \\ \text{при } \vartheta \leq 2^\circ \quad d &= D. \end{aligned} \quad (2.9)$$

За відсутності даних про значення сталих далекоміра їх визначають у польових умовах. Якщо труба теодоліта з внутрішнім фокусуванням, то коефіцієнти K і c можна визначити за результатами кількох вимірювань (рис. 2.2).

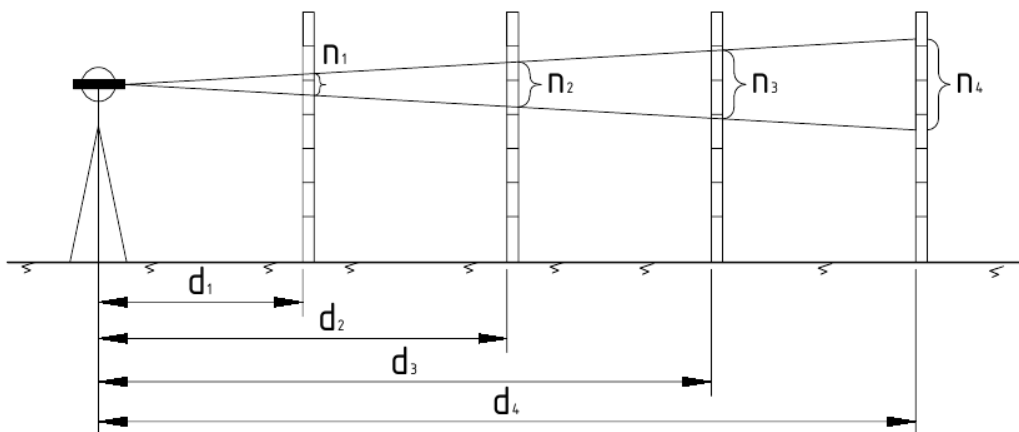


Рис. 2.2. Визначення сталих далекоміра

Для цього ділянку АВ довжиною 80 м поділяють на 4 ділянки по 20 м, закріплюють кілочками. Беруть відліки і складають рівняння:

$$d_1 = Kl_1 + c; \quad d_2 = Kl_2 + c; \quad (2.10)$$

$$d_3 = Kl_3 + c; \quad d_4 = Kl_4 + c.$$

Віднявши послідовно від рівняння (2) рівняння (1), від (3) – (2) і т.д. дістаємо:

$$K = \frac{d_2 - d_1}{l_2 - l_1} \quad K = \frac{d_3 - d_2}{l_3 - l_2} \quad K = \frac{d_4 - d_3}{l_4 - l_3} \quad (2.11)$$

З трьох рівнянь (2.11) знаходять середні значення:

$$\bar{K} = \frac{\sum K}{3} \quad (2.12)$$

$$c = d_1 - \bar{K}l$$

Результати вимірювань записують у журнал (табл. 2.2):

Журнал вимірювань ліній нитковим далекоміром (при $K=100$)

Номер ділянки (лінії)	Далеко-мірний відлік l , см	Відлік за вертикальним кругом		Місце нуля MO	Кут нахилу ϑ	Похила відстань D , м	Горизонтальна відстань d , м
1-2	58,2	КЛ	3°54'	0°02'	3°52'	58,2	57,9
	58,5	КП	-4°25'	0°02'	-4°27'	58,5	58,1
	Середнє						58,0

2.4. Висновки

У висновках вказуються виявлені похибки в процесі вимірювання відстаней, їх розмір, порівнюються з допустимими значеннями; порівнюються результати вимірювань при застосуванні мірних стрічок і далекомірів.

2.5. Запитання для самоперевірки

1. Якими способами вимірюються довжини ліній на місцевості і в чому їх відмінності?
2. Які прилади застосовуються для проведення лінійних вимірювань?
3. Що називається компаруванням мірних приладів?
4. Вказати порядок вимірювання ліній на місцевості мірною стрічкою або рулеткою.
5. Як перевіряють точність лінійних вимірювань?
6. Суть вимірювання довжин ліній нитяним далекоміром?
7. За якою формулою обчислюється довжина лінії виміряна нитковим далекоміром?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ ТЕОДОЛІТІВ.

ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ І ВЕРТИКАЛЬНИХ КУТІВ

Мета роботи – вивчити будову теодоліта, відлікових пристроїв, освоїти техніку відліків, виконання перевірок і юстировки теодоліта, освоїти техніку вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів оптичними і електронними теодолітами.

3.1. Завдання по роботі

3.1.1. Ознайомитися з конструкцією оптичних і електронних теодолітів.
Вивчити призначення основних складових частин.

3.1.2. Виконати встановлення теодоліта у робоче положення.

3.1.3. Виконати перевірки теодоліта.

3.1.4. Виміряти горизонтальний кут оптичним теодолітом 2Т30П, результати занести до таблиці 3.1, провести розрахунки.

3.1.5. Виміряти вертикальний кут оптичним теодолітом 2Т30П, результати занести до таблиці 3.2, провести розрахунки.

3.1.6. Виміряти горизонтальний кут електронним теодолітом South ET-05.

3.1.7. Виміряти вертикальний кут електронним теодолітом South ET-05.

3.2. Устаткування, прилади і матеріали для виконання роботи

Оптичний теодоліт 2Т30П, електронний теодоліт South ET-05, штатив, протокол роботи.

3.3. Загальні положення. Послідовність виконання роботи

3.3.1. Будова теодоліта

Для виконання топографічних зйомок, інженерних пошуків під час розв'язування багатьох геодезичних задач треба виконувати кутові вимірювання. Горизонтальні і вертикальні кути вимірюються за допомогою

теодоліта. На рис. 3.1. показано схему будови теодоліта 2Т30П. Теодоліт 2Т30П – технічний. Основними складовими частинами теодоліта є: зорова труба 2 з візирами 3 і накладним рівнем 1; циліндричний рівень 7, що служить для встановлення приладу у робоче положення; затискний 4 і навідний 6 гвинти зорової труби; затискний 8 і навідний 9 гвинти алідади горизонтального круга; затискний 11 і навідний 10 гвинти лімба горизонтального круга; кремальєра 5, що служить для переміщення фокусуючої лінзи в зоровій трубі. Підставка теодоліта 14 оснащена підйомними гвинтами 13, за допомогою яких теодоліт центрують і приводять в робоче положення.

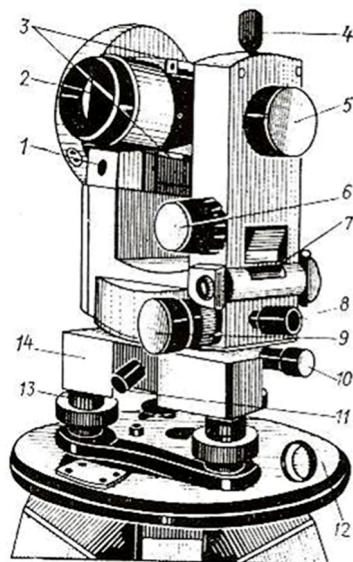


Рис. 3.1. Теодоліт 2Т30П: 1 – рівень; 2 – об’єктив; 3 – візири; 4, 8, 11 – затискні гвинти: труби, алідади і лімба горизонтального круга; 5 – кремальєра; 6, 9, 10 – гвинти наведення: труби, алідади і лімба горизонтального круга; 7 – циліндричний рівень; 12 – основа приладу; 13 – підйомні гвинти; 14 – підставка (трегер)

Зорова труба дозволяє при виконанні вимірювальних робіт точно візувати на значно віддалені від приладу предмети. До її складу (рис. 3.2) входять об’єктив 1, лінза 2, кремальєра 3, сітка ниток 4 і окуляр 5. Сітка ниток призначена для точного й одноманітного наведення на ціль візування [1, 3].

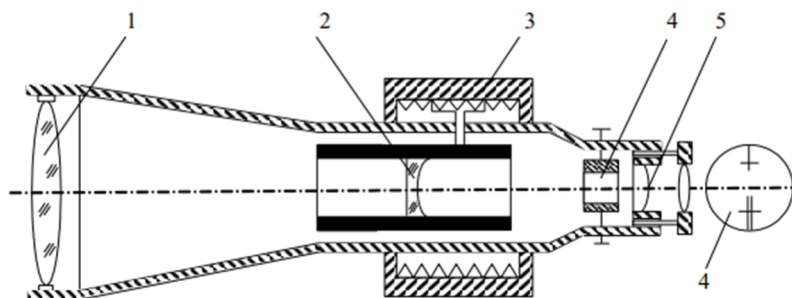


Рис. 3.2. Будова зорової труби

Теодоліт 2Т30П має оптичну систему, яка дає змогу виконувати водночас відліки по горизонтальному і вертикальному кругах за допомогою мікроскопа. Мікроскоп розміщений біля окуляра зорової труби. Схема системи відліку теодоліта 2Т30П зображена на рисунку 3.3 [1, 3].

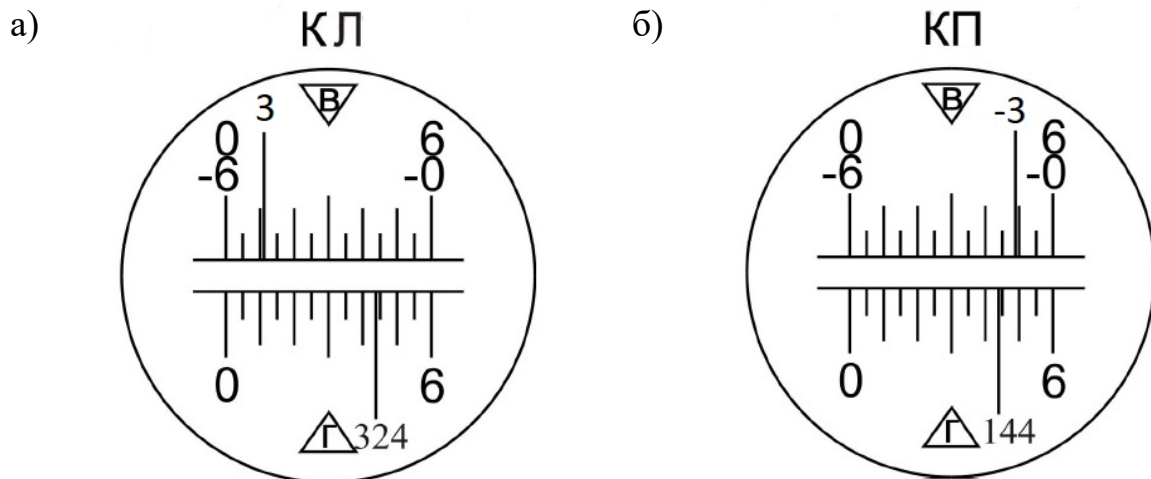


Рис. 3.3. Поле зору відлікового мікроскопу теодоліта 2Т30П:
а) при крузі ліво; б) при крузі право

Теодоліт 2Т30П має такі характеристики: пряме зображення (літера П у маркуванні), збільшення зорової труби – 20, кут поля зору – 2° , точність вимірювання кутів – $\pm 30''$, коефіцієнт нитяного далекоміра – 100.

Крім основної функції кутомірних робіт, теодоліт 2Т30П виконує:

- визначення відстаней з застосуванням ниткового далекоміра;
- нівелювання за допомогою рівня, розташованого на зоровій трубі;
- визначення на місцевості магнітних азимутів при підключенні зовнішньої бусолі.

Електронні теодоліти – це геодезичні прилади, призначені для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на місцевості, а також відстаней за допомогою далекомірних штрихів сітки. Основна перевага – простота і точність вимірювань.

Електронний теодоліт South ET-05 виробництва компанії South Survey & Mapping Instruments має два інтерфейсних порти для обміну даними із зовнішніми пристроями – світлодалекоміром і ПК. Прилад вологозахиснений.

Доступ до виправних гвинтів сітки ниток не ускладнений, налаштування і юстирування теодоліта можна виконувати самостійно. Теодоліти мають автоматичний компенсатор. Електронний теодоліт SouthET-05 має такі характеристики: пряме зображення, збільшення зорової труби – 30, роздільна здатність – 3", кут поля зору – 1°30", мінімальна відстань візування – 1,4 м, точність вимірювання кутів – 5", коефіцієнт нитяного далекоміра – 100 [2, 4].

Будова теодоліта SouthET-05 наведена на рис. 3.4.

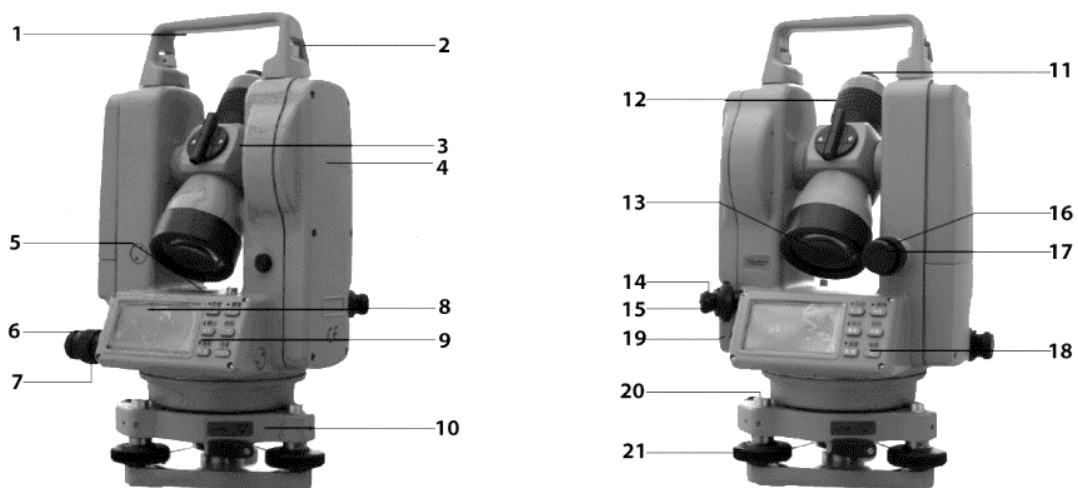


Рис. 3.4. Електронний теодоліт South ET-05: 1 – ручка; 2 – фіксує гвинт ручки; 3 – візир; 4 – марка горизонтальної осі; 5 – циліндричний рівень; 6 – гвинт точної наводки по горизонталі; 7 – затискний гвинт; 8 – ЖК дисплей; 9 – клавіатура; 10 – трегер; 11 – окуляр; 12 – фокусування зорової труби; 13 – об'єктив; 14 – фокусування оптичного відвісу; 15 – окуляр оптичного відвісу; 16 – затискний гвинт зорової труби; 17 – гвинт точної наводки по вертикалі; 18 – кнопка включення; 19 – роз'єм для контролера; 20 – круглий рівень; 21 – підйомні гвинти

3.3.2. Встановлення теодоліта у робоче положення.

Встановлення теодоліта **2Т30П** у робоче положення складається з двох операцій: центрування і нівелювання. При виконанні центрування теодоліт установлюють на підставку і становий гвинт легенько пригвинчують. Удавляють спочатку одну ніжку штатива в ґрунт, потім дві інші так, щоб висок розмістився у 2-3 см від центра станції (вершини вимірюваного кута), а площина лімба була близько до горизонтальної. Удавленням ніжок або

регулюванням їхньої довжини підганяють висок ближче до центра. Остаточне центрування здійснюється переміщенням трегера по головці штатива при відпущеному становому гвинті. Точність центрування ± 5 мм.

В процесі нівелювання суміщають головну вісь теодоліта з прямовисною лінією. Для цього встановлюють циліндричний рівень по двох підйомних гвинтах на середину, повертають алідаду навколо вертикальної осі на 90° і третім гвинтом виводять рівень на середину. Потім повертають алідаду в початкове положення і перевіряють, чи не зійшов рівень з середини. Якщо зійшов, то операцію нівелювання повторюють.

Встановлення електронного теодоліта **South ET-05** у робоче положення складається з трьох операцій: встановлення інструменту на штатив, центрування та горизонтування. Встановлення інструменту на штатив здійснюють в такий послідовності: висувають ніжки штативу на зручну для вимірювання висоту, закріплюють висок на крюк станового гвинта штативу і приблизно відцентровують його над центром станції. Слідкуючи за виском, остаточно фіксують штатив шляхом вдавлювання ніжок в ґрунт та регулювання довжини кожної ніжки штативу таким чином, щоб голівка штативу опинилася в горизонтальному положенні. Встановлюють інструмент на голівку штативу і закріплюють становим гвинтом.

Центрування інструменту виконують за допомогою оптичного виска. Для цього виводять в нуль-пункт пухирець круглого рівня за допомогою підйомних гвинтів трегера. Спостерігаючи в окуляр оптичного виска, обертають окуляр, поки зображення сітки ниток не стане чітким. Обертанням фокусуєчого гвинта оптичного виска домагаються чіткого зображення центру станції на землі і суміщають його з центом сітки ниток шляхом пересування трегера інструмента по голівці штативу при відпущеному становому гвинті. За допомогою двох підйомних гвинтів трегера переміщують пухирець круглого рівня в нуль-пункт. Спостерігаючи в окуляр виска перевіряють точність суміщення центру станції з центром сітки ниток. Затискають становий гвинт.

Точне горизонтування приладу здійснюють за допомогою циліндричного рівня. Для цього циліндричний рівень встановлюють між двома підйомними гвинтами. Одночасно обертаючи підйомні гвинти у протилежних напрямках, виводять пухирець в нуль-пункт. Повертають алідаду на 90° навколо вертикальної осі і виводять пухирець рівня в центр, обертаючи третій підйомний гвинт. Повертають алідаду на 90° і перевіряють, чи не зійшов рівень з середини. Якщо пухирець циліндричного рівня залишається в нуль-пункті при обертанні приладу, горизонтування виконано правильно [2, 4].

3.3.3. Виконання перевірок і юстировки теодоліта

I перевірка. Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга має бути перпендикулярною до основної осі інструмента.

Для виконання цієї перевірки треба виконати такі операції: встановити теодоліт у робоче положення; встановити рівень по двох підйомних гвинтах і вивести ними рівень на середину; повернути алідаду при закріпленому лімбі на 180° , пухирець рівня має зупинитися в центрі ампули. Якщо він відійде від середини більш як на одну поділку, то одну половину відхилення виправити підйомними гвинтами, а другу – виправити гвинтами рівня. Результати занести в протокол. Перевірку повторити до виконання умови – відхилення не має перевищувати однієї поділки.

II перевірка. Візирна вісь труби має бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби.

Похибка, що виникла через невиконання цієї умови, називається колімаційною. Для виконання цієї перевірки треба виконати такі операції: навести перехрестя ниток при КП на віддалену точку M , розташовану по можливості на рівні інструмента, взяти відлік; повернути трубу через зеніт і при КЛ візувати на ту саму точку. При відсутності колімаційної похибки має виконуватися рівність $L-R \pm 180^\circ = 0$. При невиконанні цієї умови виникає колімаційна похибка. У цьому разі обчислюють правильний відлік

$N=(L+R\pm180^\circ)/2$ і встановлюють його на лімбі поворотом алідади. При цьому центр ниток зійде з точки M . Виправними гвинтами сітки суміщають центр ниток з точкою M . Перевірка повторюється до виконання заданої умови. Результати записують у табл.3.1.

Таблиця 3.1.

Точка спостереження	КП (R)	КЛ (L)	$L-R\pm180^\circ$	N	Примітка
М	86°22'	266°26'	0°04'	86°24'	при перевірці
М	86°22'	266°22'	0°00'	86°22'	після юстировки

III перевірка. Горизонтальна вісь обертання труби має бути перпендикулярною до вертикальної осі інструмента.

Для виконання цієї перевірки треба виконати такі операції: встановити інструмент на 30...40 м від високого предмета (наприклад будинку) і навести центр ниток на високо розміщену точку A , при закріпленій алідаді при КП опустити трубу до горизонтального положення й відмітити на стіні проекцію точки $A - a_1$, повернути трубу через zenit (КЛ), спроеціювати точку A в точку a_2 . При збіганні проекцій умову виконано, при незбіганні точок a_1 і a_2 (рис. 3.5) обчислюють відносну похибку вимірювання:

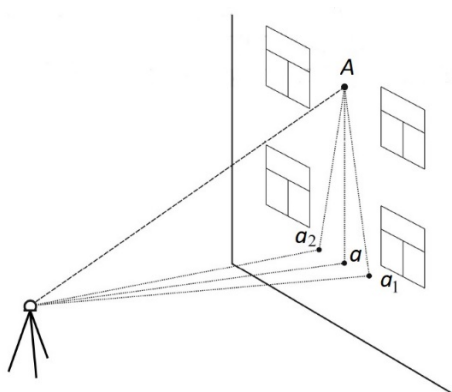


Рис. 3.5. Третя перевірка теодоліта

$$\frac{m_1 m_2}{Mm} \leq \frac{1}{1000}.$$

Наприклад, $Mm = 25000$ мм,

$m_1 m_2 = 10$ мм.

Тоді

$$\frac{m_1 m_2}{Mm} = \frac{10}{25000} \leq \frac{1}{1000}.$$

Умову виконано.

IV перевірка. Одна з ниток сітки має бути горизонтальною, друга – вертикальною. Для виконання цієї перевірки наводять центр ниток на будь-яку точку і повільно повертають алідаду навколо вертикальної осі. Якщо

зображення не буде сходити з горизонтальної нитки, то умову виконано. Якщо зображення зійшло з нитки, тоді сітку ниток повертають на потрібний кут з допомогою гвинтів, що кріплять окуляр до труби [2, 4, 5].

3.3.4. Вимірювання горизонтальних кутів оптичним теодолітом 2Т30П способом прийомів

Роботу з вимірювання горизонтального кута проводять у такому порядку.

У точці B (рис.3.6.) встановлюють теодоліт, проводять його центрування та нівелювання. У точках A і C встановлюють візирні знаки (кілочки) майже на рівні з поверхнею землі, а за ними у створі ліній BA і BC – віхи.

Відпустивши гвинт алідади, наводять трубу на точку C , повторюючи ті самі операції, і беруть відлік за горизонтальним кругом ($125^{\circ}39'$). Вимірний у першому півприйомі (при КЛ) кут дорівнює:

$$\beta_1 = \alpha_2 - \alpha_1 = 125^{\circ}39' - 45^{\circ}46' = 79^{\circ}53'. \quad (3.1)$$

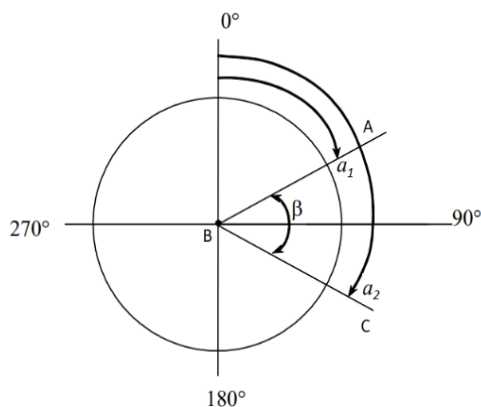


Рис. 3.6. Схема вимірювання горизонтального кута способом прийомів

Закріплюють лімб і, відпустивши алідаду у положенні “круг ліво” КЛ, наприклад, наводять трубу на точку A спочатку грубо, а потім, закріпивши затискний гвинт алідади, точно з допомогою мікрометричного гвинта алідади. Відлік за мікроскопом записують у табл. 3.2 (наприклад, $45^{\circ}46'$).

Для контролю і підвищення точності вимірювання виконують другий півприйом при положенні “круг право”(КП). Для цього збивають лімб на кілька поділок, переводять трубу через зеніт, відпускають алідаду і наводять на точку A , повторюючи операції попереднього півприйому. Результати записують у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Журнал вимірювання горизонтальних кутів

Точка стояння	Точка візиру- вання	КП, КЛ	Відлік за мікроскопом		Кути β ₁ , β ₂		β = $\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$			
			градус	хвилина	градус	хвилина	градус	хвилина		
В	А	КЛ	45	46	79	53	79	52,5		
	С		125	39						
В	А	КП	311	26	79	52				
	С		31	18						

Якщо в процесі вимірювання кута при переході від точки *А* до точки *С* відлікове пристосування переходить через 360° (другий відлік менший за перший), під час розрахунку кута до першого відліку необхідно додати 360° . Таким чином, виміряний у другому півприйомі (при КП) кут визначається:

$$\beta_2 = \alpha_2' - \alpha_1' = 31^\circ 18' + 360^\circ - 311^\circ 26' = 79^\circ 52'.$$

Вимірювання кута вважається правильним, якщо виконується нерівність:

$$(\beta_1 - \beta_2) \leq 2t, \quad (3.2)$$

де t – точність відлікового пристрою (для теодолітів Т-30 – $t = 1'$).

Виміряний кут визначається як середнє арифметичне з двох вимірювань у півприйомах:

$$\beta = (\beta_1 + \beta_2) / 2 = (79^\circ 53' + 79^\circ 53') / 2 = 79^\circ 52,5'. \quad (3.3)$$

При невиконанні нерівності вимірювання кута в півприйомах повторюються [2, 4].

3.3.5. Вимірювання вертикальних кутів теодолітом 2Т30П

Послідовність вимірювання така. При положенні “круг ліво” наводять перетин ниток орієнтовно на точку і затискають закріпні гвинти. Потім навідними гвинтами аліади і труби проводять точну наводку і беруть відлік за вертикальним кругом, наприклад $L = 4^\circ 30'$, дані записують у табл. 3.3.

Журнал вимірювання вертикальних кутів

Точка		КЛ, КП	Відліки за вертикальним кругом	Місце нуля /МО/	Кут нахилу
стояння	візирування				
А	В	Л	4°30′	0°02′	4°28′
		П	-4°26′		

Потім переводять трубу через zenit і повторюють вимірювання при положенні “круг право”: $П = -4^{\circ} 26'$. Після цього обчислюють місце нуля (МО) вертикального круга і вертикальний кут:

$$МО = \frac{Л + П}{2} = \frac{4^{\circ}30' + (-4^{\circ}26')}{2} = 0^{\circ}02', \quad (3.4)$$

$$v = Л - МО = 4^{\circ}30' - 0^{\circ}02' = 4^{\circ}28'. \quad (3.5)$$

Якщо місце нуля вже визначено, то вимірювання вертикальних кутів можна виконувати при одному положенні вертикального круга [2].

3.3.6. Вимірювання горизонтального кута електронним теодолітом South ET-05

В точці В встановлюють теодоліт, приводять його у робоче положення. У точках А і С встановлюють візирні знаки (кілочки) майже на рівні з поверхнею землі, а за ними у створі ліній ВА і ВС – віхи.

Включення приладу здійснюють шляхом натискання клавіші [POWER] і утримання її до тих пір, поки всі символи не появляться на дисплеї. Через 2 секунди на дисплеї відобразиться горизонтальний кут, можна починати вимірювання. Для виключення живлення необхідно натиснути і утримувати клавішу [POWER] більше 2 секунд.

Фокусування приладу здійснюють шляхом наведення зорової труби на світлу поверхню (наприклад, лист паперу). Дивлячись в окуляр, обертають окулярне кільце до тих пір, поки сітка ниток не буде чітко видна.

Встановлюють прилад в положення «круг ліво» КЛ. Наведення труби на ціль здійснюють за допомогою візира. Дивлячись в окуляр, остаточно фокусують зображення цілі. Закріплюють затискний гвинт. Гвинтами точної наводки суміщають зображення цілі з перехрестям візирних ниток.

Встановлюють правий горизонтальний кут в нуль. Для цього, після точного наведення приладу на точку візування A , натискають клавішу [0 SET] двічі, після чого горизонтальний кут буде встановлено на $00^{\circ}00'00''$. Наприклад, після наведення на точку A на екрані відображається: HR $20^{\circ}35'40''$ → натискають [0 SET] двічі, на екрані з'явиться →HR $00^{\circ}00'00''$. Повертають прилад за годинниковою стрілкою і наводять трубу на точку C . Отримують, наприклад, HR $50^{\circ}10'20''$. Таким чином, правий горизонтальний кут між напрямками на A і C (кут ABC) становить $50^{\circ}10'20''$.

Для того, щоб змінити режим вимірювання правого горизонтального кута на режим вимірювання лівого горизонтального кута, треба натиснути клавішу [R/L]. Для цього, повертають прилад проти годинникової стрілки (НЛ), точно наводять трубу на точку A , натискають двічі клавішу [0 SET], щоб обнулити горизонтальний кут. Повертають прилад проти годинникової стрілки і наводять на точку C . На дисплеї відобразиться наступне: HL $309^{\circ}49'40''$ (лівий горизонтальний кут між напрямками на A і C – кут CBA).

Для контролю вимірювань, встановлюють прилад в положення «круг право» КП і повторюють дії, наведенні вище, з подальшим усередненням результатів. Це дозволяє виключити систематичні помилки приладу.

Якщо в процесі кутових вимірювань необхідно зафіксувати поточне значення горизонтального кута, необхідно двічі натиснути клавішу [HOLD]. На екрані з'явиться значок «HRL», це означає, що при обертанні теодоліта значення горизонтального кута змінюватися не буде. Для того, щоб відмінити фіксацію, треба натиснути [HOLD] ще раз [2, 4].

3.3.7. Вимірювання вертикального кута електронним теодолітом South ET-05

Вимірювання вертикального кута можна проводити в положенні «0 в zenіті» і «0 в горизонті» (рис. 3.7.)

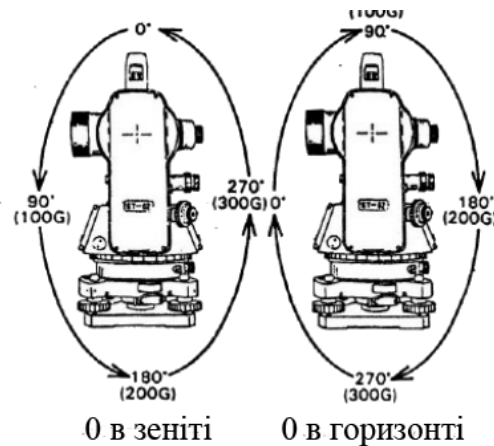


Рис. 3.7. Встановлення приладу в положення «0 в zenіті», «0 в горизонті»

Встановлення приладу в положення «0 в горизонті» здійснюється шляхом натискання під час включення на кнопку [L/R] і утримання її натиснутою до тих пір, поки не прозвучать три звукових сигнали. Виставити на місці третьої цифри коду, що з'явився на екрані, «1» шляхом натискання клавіш [←], [→], [↑], [↓].

Після завершення настройки необхідно натиснути на клавішу [FUNC] для збереження змін.

Для визначення вертикального кута в положенні «0 в горизонті» необхідно зорову трубу навести на точку, закріпити затискний гвинт зорової труби, гвинтами точної наводки сумістити зображення цілі з перехрестям сітки ниток, зафіксувати значення вертикального кута. Для точності вимірювань повторюють вимірювання при іншому положенні круга [1, 2].

3.4. Висновки

У висновку вказується, що в результаті проведених перевірок теодоліта виявлено такі недоліки: 1)...; 2)... . Порівнюються результати вимірювань горизонтальних і вертикальних кутів оптичним і електронним теодолітом.

3.5. Запитання для самоперевірки

1. Які ви знаєте теодоліти, їх класифікацію за конструкцією, принципом дії, точністю вимірювання?
2. Як виконується встановлення теодоліта в робоче положення?
3. З яких основних частин складається теодоліт?
4. Назвати порядок виконання і перевірок.
5. Які існують способи вимірювання горизонтальних кутів?
6. Описати вимірювання горизонтального кута способом прийомів і кругових прийомів.
7. Чому дорівнює допустима похибка при вимірюванні горизонтального кута способом прийомів?
8. Що таке вертикальний кут? Як його вимірюють?
9. Що таке місце нуля вертикального круга теодоліта і за якою формулою він обчислюється?
10. За якими формулами обчислюється кут нахилу?
11. Назвати основні функціональні можливості електронних теодолітів і тахеометрів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ НІВЕЛІРІВ. ЗАСВОЄННЯ ТЕХНІКИ ПОЗДОВЖНЬОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

Мета роботи – вивчити будову оптичних і електронних нівелірів, освоїти техніку нівелювання, виконати перевірки нівеліра, ознайомитися з методикою проведення поздовжнього геометричного нівелювання, набути навичок камеральної обробки результатів нівелювання.

4.1. Завдання по роботі

4.1.1. Ознайомитися з конструкцією оптичних і електронних нівелірів. Вивчити призначення основних складових частин, освоїти техніку встановлення і наведення нівеліра, читання відліків за рейкою.

4.1.2. Виконати встановлення нівеліра у робоче положення.

4.1.3. Виконати перевірки нівеліра, знайти величину похибки.

4.1.4. Провести нівелювання ділянки траси способом «нівелювання з середини». Визначити абсолютні відмітки пікетів і проміжних точок. Зробити посторінковий контроль.

4.3. Устаткування й прилади для виконання роботи

Нівелір, штатив, нівелірна рейка, протокол роботи.

4.4. Загальні положення. Послідовність виконання роботи

4.4.1. Будова нівелірів і нівелірних рейок

Для визначення висоти точок місцевості відносно прийнятої відлікової поверхні, а також для встановлення різниці висот між окремими точками використовується нівелювання. Існує кілька методів нівелювання, найчастіше застосовується в інженерній практиці більш точне геометричне нівелювання, яке проводиться горизонтальним візирним променем, одержаним за допомогою нівеліра.

Головними складовими частинами оптичного нівеліра South NL-20 є зорова труба 2, круглий рівень 9 і підставка 5 з підйомними гвинтами 4 (рис. 4.1). Для попередньої установки вертикальної осі нівеліра в прямовисне положення використовується круглий рівень 9. Точне встановлення візирної осі труби в горизонтальне положення здійснюється за допомогою автоматичного компенсатора кута нахилу. Різкість зображення сітки ниток одержують поворотом діоптрійного кільця окуляра 7, а різкість зображення рейки – поворотом маховичка 1 фокусуючого пристрою [2, 5].



Рис. 4.1. Оптичний нівелір South NL-20: 1 – фокусуючий гвинт, 2 – зорова труба, 3 – горизонтальний лімб, 4 – підйомні гвинти, 5 – підставка, 6 – візир, 7- окуляр, 8 – протипилове кільце, 9 – круглий рівень, 10 – юстировочні гвинти, 11 – горизонтальний навідний гвинт, 12 – юстировочні шпильки, 13 – нівелір, 14 – кейс для переноски.

Електронні нівеліри – це сучасні багатофункціональні геодезичні прилади, що суміщають функції високоточного оптичного нівеліра, електронного запам'ятовуючого пристрою і вбудованого програмного забезпечення для обробки отриманих вимірювань. Електронні нівеліри випускаються фірмами Sokkia, Topcon, Trimble, Leica (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд електронних нівелірів

Вони характеризуються високою точністю визначення перевищень (0,3...2 мм на 1 км подвійного ходу). Час вимірювання такими нівелірами складає менше 3 секунд, діапазон дальності вимірювань – 1,6...100 м.

Будова електронного нівеліра Sokkia SDL1X наведена на рис. 4.3.

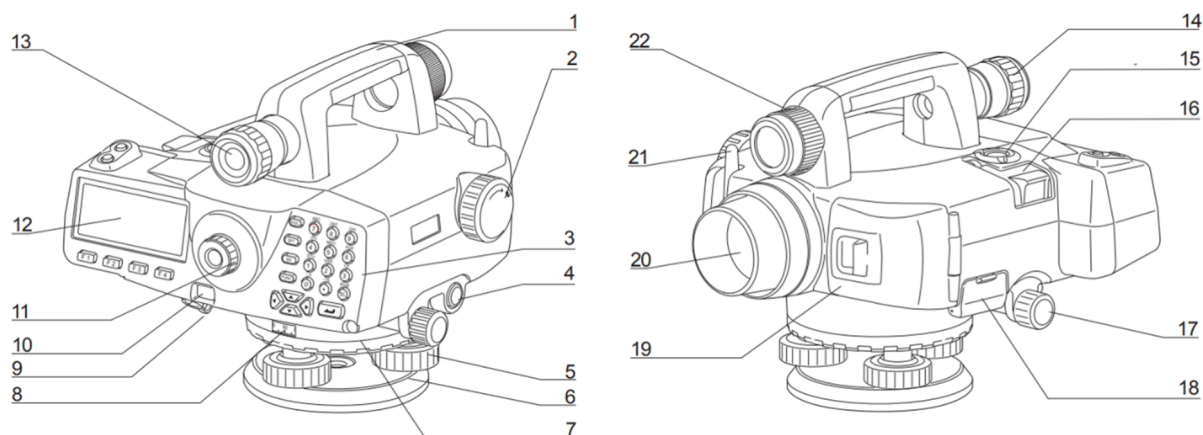


Рис. 4.3. Електронний нівелір Sokkia SDL1X: 1 – ручка, 2 – кремальєра, 3 – клавіатура, 4 – клавіша вимірювань, 5 – підйомні гвинти, 6 – підставка, 7 – кільце перестановки лімба горизонтального круга, 8 – лімб горизонтального круга, 9 – роз'єм для підключення кабелю, 10 – ІК порт для пульта ДК, 11 – окуляр, 12 – екран, 13 – візир, 14 – кільце фокусування зображення візиру, 15 – круглий рівень, 16 – дзеркало рівня, 17 – горизонтальні навідні гвинти, 18 – відсік для підключення зовнішніх пристроїв пам'яті, 19 – кришка батарейного відсіку, 20 – об'єктив, 21 – Bluetooth антена, 22 – кільце фокусування сітки візиру.

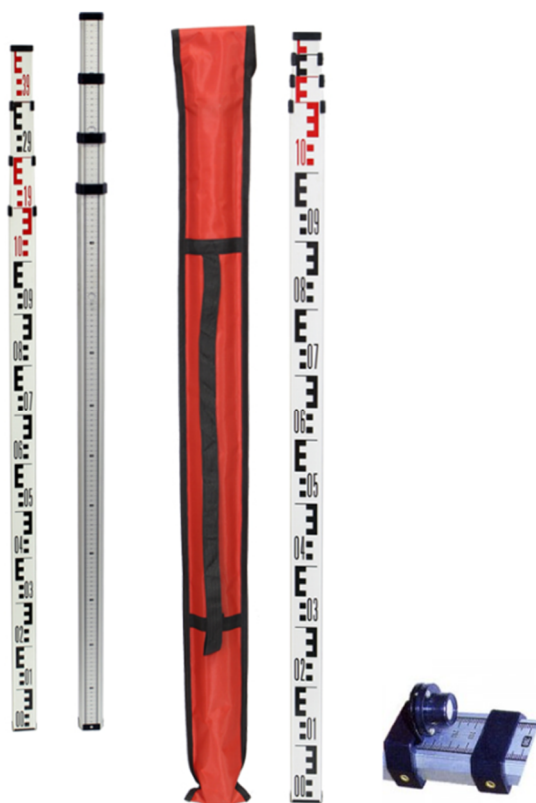


Рис. 4.4. Нівелірна рейка AGR4

В комплексі з нівеліром для нівелювання місцевості застосовуються нівелірні рейки. Широке застосування отримали 3-, 4-, 5-метрові телескопічні алюмінієві рейки. Нівелірні рейки двосторонні. Одна сторона рейки має шашкові поділки червоного і чорного кольору, нанесені з інтервалом 10 мм.

Міліметрова шкала з ціною поділки 1 мм на зворотному боці дає можливість більш точного вимірювання перевищень. Рейки комплектуються рівнями і чохлами.

4.4.2. Встановлення нівеліра у робоче положення

Встановлення і горизонтування нівеліра здійснюють наступним чином. Штатив встановлюють таким чином, щоб голівка штативу була приблизно горизонтальною. Прилад встановлюють на штатив і міцно закріплюють становим гвинтом. Приводять пухирець круглого рівня нівеліра в нуль-пункт: спочатку двома підйомними гвинтами виводять рівень на середину, обертаючи їх в протилежних напрямках, потім третім гвинтом коректують його положення (рис. 4.5).

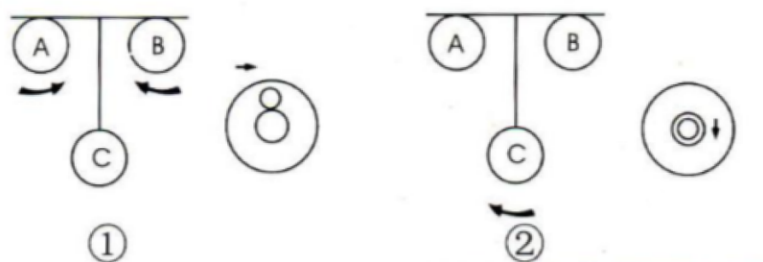


Рис. 4.5. Встановлення круглого рівня

Точне встановлення приладу в горизонтальне положення здійснюється автоматично за допомогою компенсатора кута нахилу [2, 5].

4.4.3. Виконання перевірок і юстировки нівеліра

1. Перевірка круглого рівня: вісь круглого рівня має бути паралельною вертикальній осі обертання інструмента.

Для виконання цієї перевірки необхідно: встановити круглий рівень між двома підйомними гвинтами і, повертаючи їх у протилежних напрямках, вивести пухирець рівня в нуль-пункт; повернути інструмент на 180° . Пухирець повинен залишитися в центрі рівня (рис. 4.6).

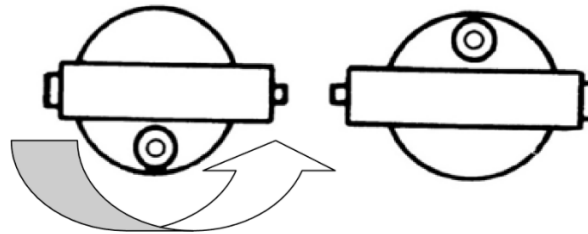


Рис. 4.6. Перевірка круглого рівня

При невиконанні умови (рис. 4.7, пол.2) необхідно зробити юстировку. Для цього, повертаючи підйомний гвинт, зміщують пухирець на половину відхилення (пол.3) від центру рівня (1). Другу половину відхилення виправляють за допомогою юстировочних гвинтів. Перевірку повторюють.

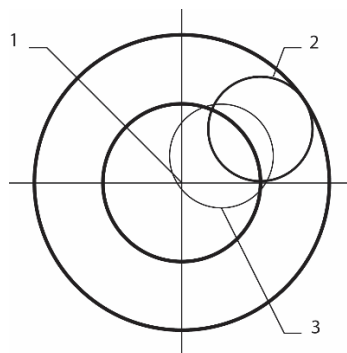


Рис. 4.7. Проведення юстировки круглого рівня

2. Перевірка правильності встановлення сітки ниток: вертикальна сітка має бути паралельна осі нівеліра.

Після встановлення нівеліра на відстані 25...30 м у захищеному від вітру місці підвісити на тонкому шнурі висок і сумістити його з одним кінцем вертикальної нитки. Якщо другий кінець нитки відходить від шнура виска не більш як на 0,5 мм, то умову виконано. У протилежному випадку треба відділити окулярну частину труби, послабити гвинти, якими прикріплюється сітка до корпусу труби, і повернути сітку в потрібний бік. Для контролю цю дію треба повторити, після чого сітку закріпити і пригвинтити окуляр.

3. Перевірка головної геометричної умови: вісь циліндричного рівня має бути паралельна візирній осі.

Для виконання цієї перевірки необхідно встановити інструмент приблизно посередині між двома точками A і B , розташованими на відстані 50-70 м одна від одної (рис. 4.8, а). В точках A і B встановлюються нівелірні рейки. Беруть відлік a_1 за рейкою A і відлік b_1 за рейкою B . При цьому перевищення між точками становить:

$$\Delta h = a_1 - b_1.$$

Далі встановлюють інструмент на відстані 1-2 м від рейки A (рис. 4.8, б) і беруть відлік a_2 по рейці A і відлік b_2 по рейці B . Якщо виконується умова:

$$(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \leq 3\text{мм},$$

то інструмент не потребує юстировки.

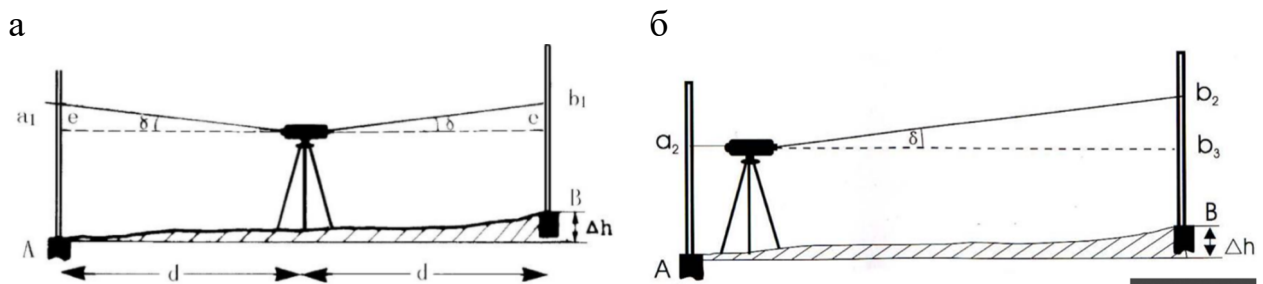


Рис. 4.8. Схема перевірки головної геометричної умови нівеліра

Якщо умова не виконується, наводять трубу на рейку B , відділяють окулярну частину труби і юстировочними гвинтами встановлюють відлік b_3 на рейці B : $b_3 = a_2 - \Delta h$. Повторюють всі пункти, поки умова не буде виконана [2].

4.4.4. Проведення поздовжнього геометричного нівелювання

В процесі нівелювання трасу розбивають на окремі пікети з відстанями між ними 60 або 100 м. Нівелювання траси проводять способом «нівелювання з середини». Під час нівелюванні траси зв'язуючі точки (пікети) визначають з контролем, тобто перевищення між ними визначають двічі - за чорною і червоною рейками. Проміжні точки, які встановлюються в місцях перегину рельєфу та інших характерних точках, що не збігаються з пікетами, нівелюють один раз. Контроль усього нівелірного ходу виконується подвійним нівелюванням.

Порядок проведення польових робіт і опрацювання результатів вимірювань проводять у такій послідовності.

1. Заповнюють журнал геометричного нівелювання (табл. 4.1). У графі 1 журналу записують номер станції, у графі 2 – номери пікетів і проміжних точок.

2. Встановлюють нівелір посередині між репером R і пікетом 0 . Візують трубу нівеліра зі станції 1 на рейку, встановлену вертикально на точку R (рис. 4.9), висота якої відома ($H_R = 153,611$ м), беруть задній відлік за чорною рейкою $a'_I = 615$ мм, за червоною рейкою $a''_I = 5304$ мм, записують в графу 3 табл. 4.1. Потім візують на рейку, встановлену в точці 0 , беруть передній відлік за чорною рейкою $b'_I = 1645$ мм, за червоною рейкою $b''_I = 6333$ мм, записують у графу 4.

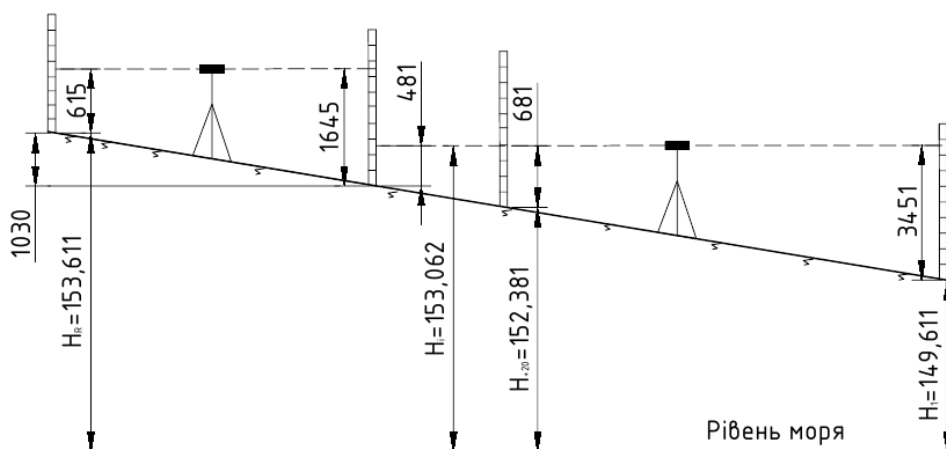


Рис. 4.9. Схема поздовжнього геометричного нівелювання

3. Не знімаючи нівеліра зі станції обчислюють перевищення між точками R і O за формулою:

$$\begin{aligned} h_1' &= a_1' - b_1' = 615 - 1645 = -1030 \text{ мм}, \\ h_1'' &= a_1'' - b_1'' = 5304 - 6333 = -1029 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

і записують в графу 6 (табл. 4.1).

Обчислюють різницю перевищень і порівнюють її з допустимим значенням:

$$\Delta h = h_1' - h_1'' = -1030 - (-1029) = -1 \text{ мм} \leq 3 \text{ мм}. \quad (4.2)$$

Різниця між здобутими значеннями не перевищує ± 3 мм, тому в графі 7 записують середнє значення:

$$h_1 = \frac{h_1' + h_1''}{2} = \frac{(-1030) + (-1029)}{2} = -1029,5 \text{ мм} \quad (4.3)$$

з округленням до парного значення: $h \approx -1030$ мм.

Обробка має проводитися на станції відразу після зняття відліків. Якщо розбіжності перевищують допустимі, то вимірювання повторюють.

Так само виконується зйомка і первинна обробка результатів зйомки на станції 2. За наявності проміжної точки відлік ($b_+ = 681$ мм) беруть за чорною рейкою, встановленою на цій точці, і записують у графу 5.

Таблиця 4.1.

Журнал геометричного нівелювання

Номер станції	Номер точки (пікету)	Відліки за рейкою			Перевищення h', h'' , мм	Середнє перевищення h , мм	Горизонт інструмента H_i , м	Абсолютна відмітка H , м
		задні a , мм	передні b , мм	проміжні b_+ , мм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	R	615			-1030	-1030		153,611
	0	5304	1645 6333		-1029			152,581
2	0	481 5169		681	-2970	-2970	153.062	152,581
	+20				-2969			152,381
	1		3451 8138					149,611

4. На кожній сторінці виконують контроль, для чого підсумовують задні відліки $\sum a$ (чорні та червоні) – графа 3, передні відліки $\sum b$ – графа 4 і перевищення $\sum h$ – графи 6 і 7. Здобуті результати записують у кінці таблиці (на кожній сторінці).

При правильних розрахунках має виконуватися умова:

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{\sum h' - \sum h''}{2} = \sum h. \quad (4.4)$$

5. Аналогічно виконують зйомку і обробку результатів зйомки зворотним ходом. Загальну нев'язку перевищень у прямому і зворотному ходах f_h підраховують відразу після закінчення польових робіт. Значення нев'язки (різниця між виміряними значеннями $\sum h$ і теоретичною сумою $\sum h_T$) не повинна перевищувати допустимої величини, яка для технічного нівелювання становить:

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 50\sqrt{L}$$

або

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 10\sqrt{n},$$

де L – довжина ходу, км; n – число станцій у ході.

Якщо нівелювання проводилося прямим і зворотним ходом (подвійне нівелювання), то

$$f_n = \sum h_{\text{пр}} - \sum h_{\text{зв}}.$$

При виконанні умови $f_n \leq f_{n \text{ доп}}$ виконують ув'язку нівелірного ходу, яка полягав у розподіленні на всі перевищення нев'язки f_n/n зі зворотним знаком. Поправку округлюють з точністю до 1 мм.

Пункт 5 виконується у період геодезичної практики.

6. Обчислюють абсолютну відмітку точки 0 відносно відомої абсолютної відмітки H_R за формулою:

$$H_0 = H_R + h_1 = 153,611 + (-1,030) = 152,081 \text{ м.} \quad (4.5)$$

Отримані значення заносять до граfi 9 (табл. 4.1). Аналогічно розраховують абсолютні відмітки всіх інших пікетів.

Після розрахунку останньої відмітки перевіряють загальне перевищення між кінцевими точками. Для цього випадку

$$H_1 - H_R = 149,611 - 153,611 = -4,000\text{м} = \sum h. \quad (4.6)$$

7. Для кожної станції, де є проміжні точки (наприклад, станція 2), обчислюють горизонт інструмента та абсолютні відмітки цих точок за формулами:

$$H_i = H_0 + a = 152,581 + 0,481 = 153,062 \text{ м}, \quad (4.7)$$

$$H_{0+20} = H_i - b_+ = 153,062 - 0,681 = 152,381 \text{ м}. \quad (4.8)$$

Отримані результати заносять до таблиці 4.1.

4.5. Висновки

У висновках вказуються виявлені похибки, їх розмір, порівнюються з допустимими значеннями.

4.6. Запитання для самоперевірки

1. Що таке нівелювання, які існують способи нівелювання?
2. Які ви знаєте типи нівелірів, їх призначення?
3. Назвати основні складові частини оптичного і електронного нівелірів. Яка різниця між ними?
4. Навести послідовність виконання перевірок нівеліра South NL-20. У чому полягає їх сутність?
5. Як виконується контроль за точністю нівелювання?
6. Які типи нівелірних рейок використовуються для нівелювання?
7. Вказати сутність геометричного нівелювання.
8. Навести способи геометричного нівелювання.
9. Як обчислюють абсолютні відмітки пікетів?
10. Що таке горизонт інструмента, як його обчислюють? Як обчислюють абсолютну відмітку проміжної точки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

КАМЕРАЛЬНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕОДОЛІТНОЇ ЗЙОМКИ

Мета роботи – набути навичок обробки результатів вимірювань при прокладанні теодолітного ходу.

5.1. Завдання по роботі

5.1.1. Прокласти теодолітний хід, заміряти горизонтальні й вертикальні кути і відстані між його вершинами. Виміряти магнітний азимут однієї з сторін.

5.1.2. Обчислити координати вершин теодолітного ходу і перевірити точність вимірювань і розрахунків.

5.1.3. Обчислити координати вершин теодолітного ходу, здійснити перевірку точності вимірювань і розрахунків за допомогою програми Excel.

5.1.4. Накреслити полігон в масштабі.

За вихідні дані взяти виміряні і наведені в табл. 5.1. кути вершин полігону і довжини сторін полігону (горизонтальні відстані). Дирекційний кут початкової сторони 1-2 і координати т. 1 задаються індивідуально за варіантом.

5.2. Устаткування та прилади для виконання роботи

Теодоліт; штатив, вимірювальна стрічка, бусоль, інженерний калькулятор, креслярські інструменти, протокол роботи.

5.3. Загальні положення. Послідовність виконання роботи

5.3.1. Прокладання теодолітного ходу

Для виконання теодолітної або тахеометричної зйомки місцевості створюють геодезичне **зйомочне обґрунтування** – систему закріплених на місцевості точок, пов'язаних між собою в єдину геодезичну мережу з визначеними координатами, що призначається для подальшої детальної зйомки заданої території (зйомки подробиць). Зйомочне обґрунтування

розвивається на основі пунктів державної геодезичної мережі і сіток згущення. В окремих випадках може розвиватися самостійно.

Ходи планових зйомочних мереж, які розвиваються методом полігонометрії, називають теодолітними ходами.

Порядок виконання робіт при прокладанні теодолітних ходів:

- вивчення картографічного матеріалу, каталогів планової і висотної мереж, складання попереднього проєкту робіт;
- рекогносцировка місцевості, яка полягає у знаходженні на місцевості пунктів геодезичних мереж, визначенні можливості прив'язки до них теодолітного ходу та закріпленні його вершин;
- складання абрису (схеми) з нанесенням на нього вершин теодолітного ходу, об'єктів майбутньої зйомки, нумерації характерних точок;
- вимірювання горизонтальних кутів у вершинах теодолітного ходу повним прийомом за методикою, викладеною в п. 3.3.4., 3.3.6.(див. л.р. № 3); записи в журнал;
- вимірювання вертикальних кутів у вершинах теодолітного ходу (див. л.р. № 3 п. 3.3.5., 3.3.7); записи в журнал;
- вимірювання довжин сторін ходу землемірною стрічкою або далекоміром відповідної точності в прямому і зворотному порядку (див. л.р. № 2 п. 2.3.1., 2.3.2); записи в журнал;
- попередня перевірка результатів вимірювань, перевірка кутової і лінійної нев'язок, порівняння з нормативними значеннями.

5.3.2. Обчислювальна обробка теодолітного ходу

Мета обробки результатів польових вимірювань при прокладанні теодолітного ходу – одержання координат його вершин. Вихідними даними є виміряні у вершинах ходів горизонтальні кути, горизонтальні прокладання сторін цих ходів і дані прив'язки до пунктів державної чи місцевої мережі (дирекційний кут однієї з сторін).

Результати зйомки замкненого (замкнутого) теодолітного ходу опрацьовують у такій послідовності.

1. Перевіряють журнали польових зйомок; виміряні кути і горизонтальні прокладання заносять до табл. 5.1.

2. Визначають кутову нев'язку замкнутого теодолітного ходу як різницю суми виміряних кутів і теоретичної суми кутів:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{в}} - \sum \beta_{\text{т}}, \quad (5.1)$$

$$\beta_{\text{т}} = 180^{\circ}(n - 2), \quad (5.2)$$

де n – число кутів у полігоні.

Здобута нев'язка не повинна перевищувати допустимої нев'язки:

$$f_{\beta} \leq f_{\beta \text{ доп}} = 1,5t\sqrt{n}, \quad (5.3)$$

де t – точність вимірювання кутів.

Якщо умова (5.3) виконується, треба зв'язати кути теодолітного ходу й привести їх до теоретичної суми. Для цього до кожного кута треба додати поправку f_{β}/n зі зворотним знаком з точністю 0,5'.

Для кожної сторони теодолітного ходу розраховують дирекційні і табличні кути. На рис. 5.1. наведено схему полігону, на якій показано зв'язок між кутами повороту теодолітного ходу, виміряними справа ($\beta_{\text{пр}}$) за ходом полігону, та дирекційними кутами [2, 4].

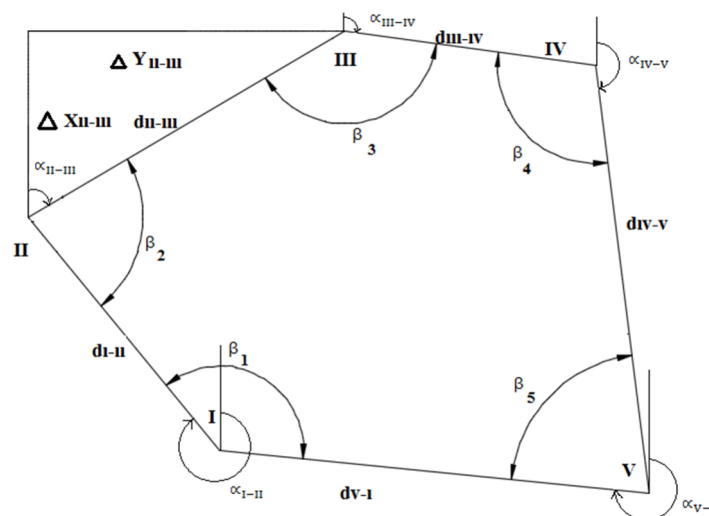


Рис. 5.1. Схема полігону

Таблиця 5.1.

Журнал теодолітної зйомки

Номер точки	Вимірний кут, поправки	Виправлений кут	Дирекційний кут	Табличний кут	Горизонтальна відстань, м	Прирошення координат, м				Координати, м	
						обчислене		виправлене		X	Y
						Δx	Δy	Δx	Δy		
<u>1.</u>	<u>135°23'</u>	<u>135° 23'</u>								<u>1162,13</u>	<u>8728,07</u>
			333°25'	26°35'	187,35	+0,05 +167,54	-0,01 -83,74	+167,59	-83,75		
<u>2.</u>	+0,5 <u>81°13,5'</u>	<u>81°14'</u>								<u>1329,72</u>	<u>8644,32</u>
			72°11'	72°11'	225,84	+0,06 +69,11	-0,02 +215,00	+69,17	+214,98		
<u>3.</u>	+0,5 <u>142°33,5'</u>	<u>142°34'</u>								<u>1398,89</u>	<u>8859,30</u>
			109°37'	70°23'	156,65	+0,04 -52,60	-0,01 +147,55	-52,56	+147,54		
<u>4.</u>	+0,5 <u>103°51,5'</u>	<u>103°52'</u>								<u>1346,33</u>	<u>9006,84</u>
			185°45'	5°45'	271,37	+0,08 -270,00	-0,02 -27,19	-269,92	-27,21		
<u>5.</u>	<u>76°57'</u>	<u>76°57'</u>								<u>1076,41</u>	<u>8979,63</u>
			288°48'	71°12'	265,73	+0,08 +85,64	-0,01 -251,55	+85,72	-251,56		
<u>1.</u>										<u>1162,13</u>	<u>8728,07</u>

3. Визначають дирекційні кути сторін теодолітного ходу. Якщо заданий дирекційний кут початкової сторони α_{1-2} , то дирекційний кут іншої сторони можна визначити з виразу

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{2-1} - \beta_{\text{пр}} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}2}. \quad (5.4)$$

При вимірюваному лівому куті дирекційний кут

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{2-1} + \beta_{\text{лів}} = \alpha_{1-2} + 180^\circ + \beta_{\text{лів}2}. \quad (5.5)$$

Якщо з розрахунків за цими формулами значення дирекційного кута більше за 360° , від нього треба відняти 360° , а якщо від'ємне – додати 360° .

Вказаним способом можна обчислити дирекційні кути всіх сторін. Для контролю після обчислення α_{n-1} останньої сторони визначають дирекційний кут початкової сторони. Збігання здобутого значення з вихідним свідчить про правильність розрахунків усіх дирекційних кутів.

Табличні кути (румби) визначають відповідно до вказівок, вказаних в п.1.3.5 (див. л.р. № 1).

4. Обчислюють приращення координат усіх точок теодолітного ходу. Приращення координат точок визначають за формулами:

$$\Delta x_{1-2} = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2}^T, \quad (5.6)$$

$$\Delta y_{1-2} = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2}^T, \quad (5.7)$$

де d_{1-2} – горизонтальна відстань лінії 1-2, м.

При цьому необхідно враховувати знак приращення.

5. Перевіряють точність польових вимірювань. Для замкнутого полігону теоретичні суми приращень координат Δx і Δy дорівнюють 0, тобто значення теоретичних похибок вимірювань мають становити

$$f_x^T = \sum_{i=1}^n \Delta x_T = 0, \quad f_y^T = \sum_{i=1}^n \Delta y_T = 0. \quad (5.8)$$

Через неточність вимірювань кутів і відстаней фактичні нев'язки відрізняються від теоретичних і складають:

$$f_x = \sum \Delta x_i, \quad f_y = \sum \Delta y_i. \quad (5.9)$$

Абсолютну лінійну нев'язку визначають з формули:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (5.10)$$

Відносна лінійна нев'язка (відношення абсолютної лінійної нев'язки до периметру P) не повинна перевищувати допустимого значення:

$$\frac{f}{P} \leq \frac{1}{2000}. \quad (5.11)$$

Для несприятливих умов вимірювань приймають:

$$\frac{f}{P} \leq \frac{1}{1000}. \quad (5.12)$$

Якщо умови (5.11) і (5.12) виконуються, то переходимо до ув'язки прирощень координат окремо по абсцисах і ординатах. Поправку для кожної зі сторін визначають пропорційно її довжині d_i відносно периметра P :

$$\begin{aligned} U_{\Delta x i} &= \frac{f_x}{P} d_i, \\ U_{\Delta y i} &= \frac{f_y}{P} d_i. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Після цього виконують ув'язку прирощень координат шляхом введення відповідних поправок з протилежним знаком до раніше обчислених значень прирощень:

$$\begin{aligned} \Delta x'_1 &= \Delta x_1 + (-U_{\Delta x 1}), \\ \Delta y'_1 &= \Delta y_1 + (-U_{\Delta y 1}). \end{aligned} \quad (5.14)$$

6. Визначають координати вершин теодолітного ходу:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + \Delta x'_1, \\ Y_2 &= Y_1 + \Delta y'_1. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Для контролю після визначення координат останньої точки обчислюють координати початкової першої точки [2, 4].

Приклад обробки результатів вимірювань теодолітного ходу

Для виміряних і наведених у табл. 5.1 кутів і довжин сторін теодолітного ходу обчислити координати усіх пунктів цього ходу, якщо відомі координати точки 1: $X_1=6271162,13$ м; $Y_1=4428728,07$ м.

Порядок виконання роботи такий.

Обчислюємо суму виміряних і теоретичних кутів, фактичну й допустиму кутові нев'язки за (5.1), (5.2), (5.3):

$$\sum_1^5 \beta_{\text{в}} = 135^\circ 23' + 81^\circ 13,5' + \dots + 76^\circ 57' = 539^\circ 58,5',$$

$$\beta_{\text{т}} = 180^\circ(5 - 2) = 540^\circ,$$

$$f_{\beta} = 539^\circ 58,5' - 540^\circ 00' = -0^\circ 01,5',$$

$$f_{\beta\text{доп}} = 1,5 \cdot 1 \cdot \sqrt{5} = 0^\circ 03,3'.$$

Зважаючи на те, що умова (4.3) виконується, кутову нев'язку розкидаємо на три кути по $+0,5'$ і записуємо виправлені кути (див. табл. 5.1).

Для наочності і контролю правильності обчислення дирекційних кутів на міліметровці в масштабі необхідно побудувати полігон, використовуючи задані кути і довжини сторін починаючи з першої заданої точки.

Для правих виміряних за ходом руху внутрішніх кутів за (5.4) визначаємо дирекційні кути інших сторін:

$$\alpha_{2-3} = 333^\circ 25' + 180^\circ - 81^\circ 14' = 432^\circ 11' = 72^\circ 11',$$

$$\alpha_{3-4} = 72^\circ 11' + 180^\circ - 142^\circ 34' = 109^\circ 37'.$$

Для решти сторін розрахунки проводимо аналогічно. Результати записуємо в табл. 5.1.

Робимо перевірку правильності розрахунків дирекційних кутів:

$$\alpha_{1-2} = 288^\circ 48' + 180^\circ - 135^\circ 23' = 333^\circ 25'.$$

За формулами (5.6) і (5.7) обчислюємо приращення координат між точками 1 і 2:

$$\Delta x_{1-2} = 187,35 \cos 333^\circ 25' = 187,35 \cos 26^\circ 35' = 167,54 \text{ м},$$

$$\Delta y_{1-2} = -187,35 \sin 26^\circ 35' = -83,74 \text{ м}.$$

Для решти сторін чисельні значення прирощень координат визначимо аналогічно і результати занесемо до табл. 5.1.

За формулами (5.9) визначаємо:

$$f_x = \sum \Delta x_i = -0,31; f_y = \sum \Delta y_i = +0,07.$$

Абсолютну лінійну нев'язку визначаємо за формулою (5.10):

$$f = \sqrt{0,31^2 + 0,07^2} = 0,32.$$

Визначаємо відносну нев'язку (5.11) і порівнюємо її з допустимою:

$$\frac{f}{P} = \frac{0,32}{1106,94} = \frac{1}{3460} < \frac{1}{2000}.$$

Нерівність виконується. Розкидаємо нев'язки пропорційно довжинам сторін за формулами (5.13):

$$U_{\Delta x_{1-2}} = \frac{-0,31}{1106,94} \cdot 187,35 = -0,05 \text{ і т.д.}$$

$$U_{\Delta y_{1-2}} = \frac{0,07}{1106,94} \cdot 187,35 = +0,01 \text{ і т.д.}$$

Розраховуємо виправлені прирощення за формулою (5.14):

$$\Delta x'_1 = 167,54 + 0,05 = 167,59 \text{ м},$$

$$\Delta y'_1 = -83,74 - 0,01 = -83,75 \text{ м}.$$

Сума виправлених прирощень дорівнює нулеві.

Розраховуємо координати точок за формулою (5.15). Під час розрахунку координат перші три цифри виключаємо:

$$X_2 = 1162,13 + 167,59 = 1329,72 \text{ м},$$

$$Y_2 = 8728,07 - 83,75 = 8644,32 \text{ м}.$$

Решту координат обчислюємо аналогічно і результати заносимо до табл. 5.1. Виконуємо перевірку.

4.3.3. Обчислювальна обробка теодолітного ходу за допомогою програми Excel

Обчислювальну обробку теодолітного ходу можна ефективно виконати за допомогою програми Excel, використовуючи її функціонал для автоматизації обчислень. Для цього необхідно прописати відповідні формули у потрібні комірки, які будуть автоматично обчислювати значення проміжних величин і координат вершин теодолітного ходу на основі введених вхідних даних. Такий підхід значно спрощує та прискорює процес розрахунків, мінімізуючи ймовірність помилок (рис. 5.2).

Лабораторна_4.xlsx - Microsoft Excel

Главная	Вставка	Разметка страницы	Формулы	Данные	Рецензирование	Вид	Acrobat
Вставить	Буфер обмена	Шрифт	Выравнивание	Числовой	Число	Условное форматирование	Форматирование как таблица
Calibri 11		Перенос текста		Числовой		Условное форматирование	
Ж К У		Объединить и поместить в центре		Число		Форматирование как таблица	
Шрифт		Выравнивание		Число		Форматирование как таблица	

Q16

=Q14+O15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
2		Номер точки	Вимірний кут, поправки	Виправлений кут	Дирекційний кут		Табличний кут	Горизонтальна відстань	Прирошення координат, м						Координати			
3									обчислене		виправлене							
4					градус	радіан			ΔX	Поправка U(ΔX)	ΔY	Поправка u(ΔY)	ΔX	ΔY		X	Y	
5																		
6		1	135°23'	135°23'												1162,13	8728,07	
7			0,5		333°25'	333,42	5,8193	26°35'	187,35	167,55	0,051891	-83,83	0,001792	167,60	-83,83			
8		2	81°13,5'	81°14'												1329,73	8644,24	
9			0,5		72°11'	72,18	1,2598	72°11'	225,84	69,11	0,062551	215,00	0,00216	69,18	215,01			
10		3	81°13,5'	142°34'												1398,91	8859,25	
11			0,5		109°37'	109,62	1,9132	70°23'	156,65	-52,60	0,043388	147,55	0,001498	-52,56	147,56			
12		4	103°51,5'	103°52'												1346,35	9006,81	
13					185°45'	185,75	3,2419	5°45'	271,37	-270,00	0,075162	-27,19	0,002596	-269,93	-27,19			
14		5	76°57'	76°57'												1076,42	8979,62	
15					288°48'	288,8	5,0405	71°12'	265,73	85,64	0,0736	-251,55	0,002542	85,71	-251,55			
16		1														1162,13	8728,07	
17									Периметр Р	fx	Перевірка	fy	Перевірка	fx випр	fy випр			
18									1106,94	-0,31	0,31	-0,01	0,01	0,00	0,00			
19		Абсолютна лінійна невязка	f=	0,30677														
20																		
21		Відносна лінійна невязка	f/P=	0,00028	≤	0,0005												
22																		

ЛР-4

ЛР-4 Завдання

ЛР-2

Рис. 5.2. Приклад виконання роботи в програмі Excel

5.3.3. Побудова полігону в масштабі

На аркуші паперу будують сітку зі стороною квадрату 10 см. Обирають масштаб. За допомогою циркуля і масштабної лінійки на план наносять за

координатами пункти теодолітних ходів. Правильність побудови контролюється вимірюванням відстаней і кутів між кожною парою пунктів. Потім на план наносять ситуацію, користуючись поперечним масштабом і транспортиром. Показують дирекційні кути, внутрішні кути, табличні кути, прирощення координат.

Побудова полігону в масштабі може бути здійснена за допомогою графічних програм, зокрема AutoCAD.

5.5. Висновки

У висновках оцінюється точність результатів вимірювання й обчислення.

5.6. Запитання для самоперевірки

1. Що таке зйомочне обґрунтування?
2. У якій послідовності проводять роботи з прокладання теодолітних ходів?
3. Що таке рекогносцировка місцевості?
4. Якими методами будуються знімальні мережі?
5. Як здійснюється контроль польових робіт?
6. З чого складаються камеральні роботи при теодолітній зйомці?
7. Як обчислюють абсолютну лінійну нев'язку, відносну лінійну нев'язку?
8. Як перевіряють точність розрахункових робіт?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ТАХЕОМЕТРИЧНА ЗЙОМКА. КАМЕРАЛЬНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТАХЕОМЕТРИЧНОЇ ЗЙОМКИ. ПОБУДОВА ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ

Мета роботи – вивчити методику виконання тахеометричної зйомки, набути навичок камеральної обробки результатів зйомки і побудови топографічного плану.

6.1. Завдання по роботі

6.1.1. Провести докладну тахеометричну зйомку ділянки місцевості.

6.1.2. Провести обробку результатів тахеометричної зйомки. Визначити горизонтальну довжину, перевищення, абсолютні відмітки точок.

6.1.3. За отриманими даними побудувати топографічний план ділянки місцевості.

6.2. Устаткування, прилади і матеріали для виконання роботи

Теодоліт-тахеометр, штатив, нівелірна рейка, висок, мірна стрічка.

6.3. Загальні положення. Порядок виконання роботи

Тахеометрична зйомка – один з видів наземної топографічної зйомки, що виконується зазвичай на невеликих ділянках місцевості з метою отримання планів крупних масштабів для інженерних вишукувань із зображенням ситуації і рельєфу.

Зйомка включає три основні операції: створення зйомочного геодезичного обґрунтування, виконання самої зйомки і камеральні роботи.

В якості зйомочного обґрунтування тахеометричної зйомки приймають теодолітно-тахеометричні ходи. Зйомку предметів, контурів і рельєфу місцевості проводять полярним способом, а відмітки точок визначають тригонометричним

нівелюванням. Всі вимірювання виконують при одному наведенні зорової труби приладу на рейку. Планове положення рейкової точки визначають вимірюванням відстані далекоміром і взяттям відліку по лімбу горизонтального круга тахеометра, що орієнтований на початковий напрямок. Перевищення визначають за кутом нахилу і відстанню до точки [2, 5].

Перед початком зйомки виконують всі основні перевірки тахеометра.

6.3.1. Порядок проведення польових робіт під час виконання тахеометричної зйомки

1. Встановлюють тахеометр над точкою зйомочного обґрунтування (наприклад, точкою *I*) і приводять його в робоче положення. За допомогою нівелірної рейки вимірюють висоту інструмента *i*. Результат записують в журнал тахеометричної зйомки (табл. 6.1). Для спрощення наступних обчислень рекомендується відмічати висоту приладу *i* на рейці і в подальшому візувати трубу на цю відмітку.

2. Наводять трубу на одну з точок зйомочного обґрунтування (наприклад, точку *II*) спочатку при положенні КП, потім при положенні КЛ. Беруть відліки по вертикальному кругу і записують в журнал (табл. 6.1, графа 4). Визначають місце нуля вертикального круга (див. л.р. № 3 (п. 3.3.5)) і записують його в журнал тахеометричної зйомки (табл. 6.1, графа 5).

3. Орієнтують лімб горизонтального круга на точку *II* зйомочного обґрунтування при положенні КЛ. Для цього суміщають відліковий індекс алідади з нульовим штрихом лімба горизонтального круга, обертаючи зорову трубу навколо осі при закріпленому лімбі і відкріпленій алідаді. Далі закріплюють алідаду, відпускають лімб і візують зорову трубу на обрану точку. Після цього лімб закріплюють. На шкалі лімба горизонтального круга повинно бути: 0°00'. В даному положенні для вимірювання кутів на станціях достатньо

відкріпити алідаду, навести зорову трубу на рейку і взяти відлік по горизонтальному кругу. Всі подальші вимірювання проводять при положенні КЛ.

4. На кожній станції оглядають ділянку зйомки, виявляють характерні точки ситуації і рельєфу – рейкові точки. Під час зйомки ситуації рейкові точки розташовуються на всіх поворотах контуру, під час зйомки рельєфу – на характерних точках рельєфу (на підвищеннях, точках перегину скату тощо). Рейкові точки мають наскрізну нумерацію на всій ділянці від першої до останньої станції.

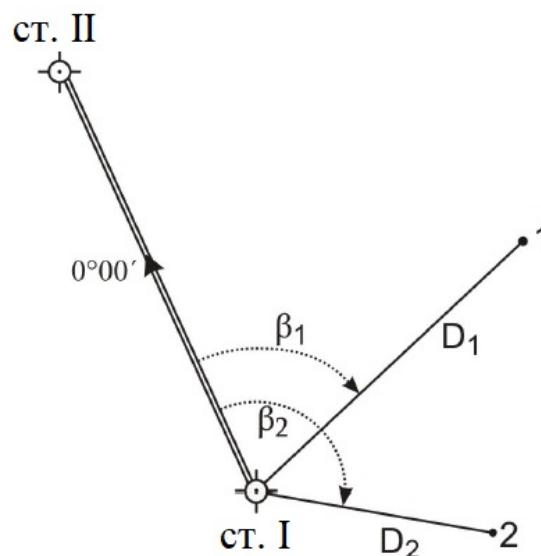


Рис. 6.1. Принципова схема визначення положення рейкових точок під час тахеометричної зйомки

5. В процесі вимірювань послідовно встановлюють рейку на всі намічені точки. При візуванні на рейку вертикальну нитку сітки суміщають з віссю рейки, а горизонтальну – з міткою, що відповідає висоті приладу.

Відліки беруть в наступній послідовності:

- по горизонтальному кругу (з точністю до 1');
- по вертикальному кругу (з точністю до 1');
- по далекоміру (з точністю до 0,1 м).

Результати спостережень записують в тахеометричний журнал відповідно в графи 2, 4, 3.

Таблиця 6.1.

Журнал тахеометричної зйомки

Номер точки	Відліки			Місце нуля МО	Кут нахилу ν	Горизонтальна відстань d , м	Перевищення h , м	Абсолютні відмітки H , м	Примітка
	за горизонтальним кругом	за далекоміром D	за вертикальним кругом L						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Станція I									
Лімб орієнтований та станцію II при КЛ, $i=1380$, $H_I=176,16$									
При КП									
II	61°14'		-1°22'						
При КЛ									
II	0°00'	139,2	1°24'	0°01'	1°23'	139,2	3,36	179,52	
1.	17°05'	53,1	-0°25'		-0°26'	53,1	-0,40	175,76	стежка
2.	42°15'	72,0	-3°00'		-3°01'	71,8	-3,78	172,38	межа городу
3.	103°26'	39,1	-3°04'		-3°05'	39,0	-2,08	174,08	- «» -
4.	144°11'	53,9	-3°01'		-3°02'	53,8	-2,85	173,31	- «» -
...	...	...	...		...	...	...	...	...
II	0°02'								

6. В процесі зйомки паралельно з польовим журналом складається абрис (схематичне креслення ділянки місцевості) для кожної станції (рис. 6.2). На абрисі показують положення станції, напрямок на суміжні точки зйомочного обґрунтування, розташування рейкових точок, об'єкти зйомки. Абрис повинен дати повне уявлення про місцевість зйомки як по ситуації, так і по рельєфу. Номера рейкових точок в журналі і на абрисі повинні співпадати.

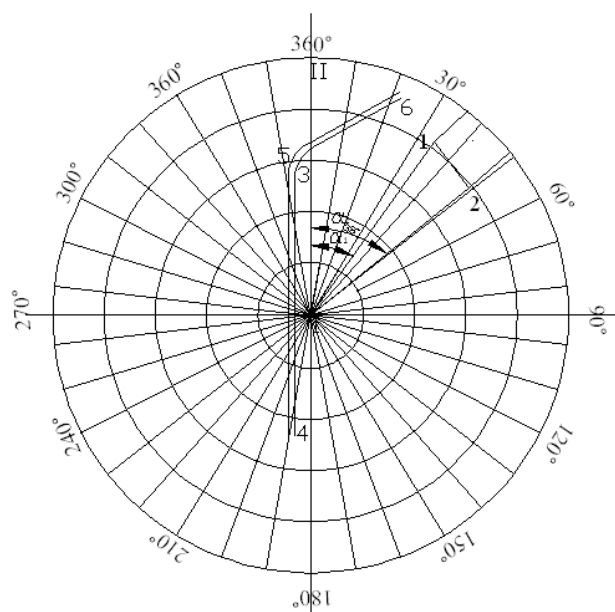


Рис. 6.2. Абрис тахеометричної зйомки для станції I, орієнтованої на станцію II

7. По закінченні робіт на станції для контролю трубу знов візують на початковий напрямок, беруть відлік і записують у графу 2. Розходження з початковим значенням не повинно перевищувати 3'. При більших розходженнях спостереження на станції повторюють [2, 4, 5].

6.3.2. Обробка журналу тахеометричної зйомки

Обробку журналу тахеометричної зйомки починають з перевірки записів в польових журналах і абрисах.

Розрахунки для кожної станції проводять в наступному порядку, результати записують в табл. 6.1.

1. Розраховують місце нуля вертикального круга за формулою:

$$\text{MO} = \frac{\mathcal{I} + \Pi}{2}. \quad (6.1)$$

Результати записують в графу 6 табл. 6.1. Місце нуля і вертикальні кути визначають з точністю 1'.

2. Визначають горизонтальне закладання ліній за формулою:

$$\begin{aligned} \text{при } \vartheta > 2^\circ \quad d &= D \cdot \cos^2 \vartheta, \\ \text{при } \vartheta \leq 2^\circ \quad d &= D. \end{aligned} \quad (6.3)$$

Результати записують в графу 7 табл. 6.1.

3. Перевищення між станцією і рейковою точкою визначають методом тригонометричного нівелювання (рис. 6.3) за формулою:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \vartheta + i - V,$$

де i – висота інструменту; V – відлік за рейкою.

Оскільки в процесі вимірювань зорову трубу наводять на висоту інструменту i , тобто $V=i$, формула прийме вигляд:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \vartheta. \quad (6.4)$$

Перевищення визначають з точністю 0,01 м. Результати записують в графу 8 табл. 6.1.

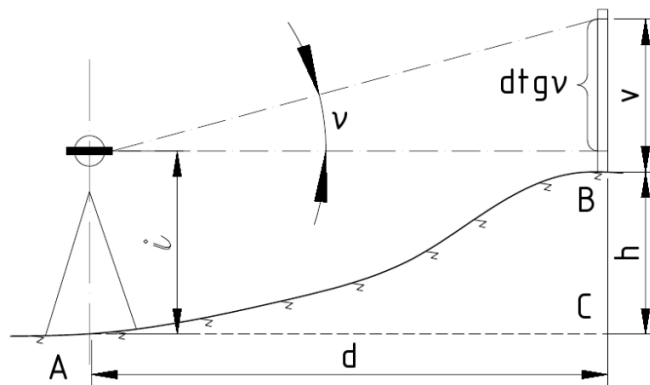


Рис. 6.3. Схема тригонометричного нівелювання

4. Розраховують абсолютні відмітки рейкових точок за формулою:

$$H_i = H_{\text{ст}} + h_i, \quad (6.5)$$

де $H_{\text{ст}}$ – абсолютна відмітка станції, з якої ведеться спостереження, м; h_i – перевищення між станцією і рейковою точкою.

Абсолютні відмітки рейкових точок визначають з точністю 0,01 м. Результати записують в графу 9 табл. 6.1.

Приклад розрахунку елементів тахеометричної зйомки

Приводимо приклад обробки результатів тахеометричної зйомки для даних, наведених в табл. 6.1.

Місце нуля вертикального круга визначаємо за формулою (6.1):

$$MO = \frac{1^{\circ}24' - 1^{\circ}22'}{2} = 0^{\circ}01'.$$

Кути нахилу рейкових точок визначаємо за формулою (6.2):

$$\vartheta_{I-II} = 1^{\circ}24' - 0^{\circ}01' = 1^{\circ}23',$$

$$\vartheta_{I-1} = -0^{\circ}25' - 0^{\circ}01' = -0^{\circ}26' \text{ і т.д.}$$

Горизонтальне закладання відповідних ділянок визначаємо за (6.3):

$$d_{I-II} = D_{I-II} = 139,2 \text{ м } [\vartheta_{I-II} = 1^{\circ}23' \leq 2^{\circ}],$$

$$d_{I-2} = 72,0 \cdot \cos^2(-3^{\circ}01') = 71,8 \text{ м } [\vartheta_{I-2} = |-3^{\circ}01'| > 2^{\circ}]$$

і т.д.

Перевищення між станцією *I* та рейковими точками розраховуємо за формулою (6.4):

$$h_{I-II} = 139,2 \cdot \operatorname{tg} 1^{\circ}23' = 3,36 \text{ м,}$$

$$h_{I-1} = 53,1 \cdot \operatorname{tg}(-0^{\circ}26') = -0,40 \text{ м і т.д.}$$

Абсолютні відмітки розраховуємо за формулою (6.5):

$$H_{II} = 176,16 + 3,36 = 179,52 \text{ м,}$$

$$H_1 = 176,16 + (-0,40) = 175,76 \text{ м і т.д.}$$

6.3.3. Побудова топографічного плану

Побудова топографічного плану може здійснюватися за допомогою графічних або геоінформаційних програм, зокрема AutoCad, Surfer, QGIS, або робиться вручну за допомогою креслярських приладів. Побудова топографічного

плану ділянки місцевості включає: побудову координатної сітки, нанесення на план точок теодолітного ходу, побудова контурів місцевості за результатами тахеометричної зйомки, проведення горизонталей і оформлення плану.

План тахеометричної зйомки складають в масштабах 1:500 – 1:2000. Висоту перерізу приймають в залежності від рельєфу 0,5 або 1,0 м.

Порядок побудови топографічного плану:

1. На листі креслярського паперу формату А2 або А3 будують координатну сітку зі стороною квадрату 10 см. Побудовану сітку підписують по осях X і Y у відповідності до розташування ділянки і масштабу плану. Початок координат обирають таким чином, щоб ділянка зйомки розмістилася у центрі.

2. Точки зйомочного обґрунтування наносять на план за координатами. Перевіряють довжини ліній. Розбіжність не повинна перевищувати $\pm 0,3$ мм. Точки тахеометричного ходу з'єднують тонкими лініями. Побудоване планове обґрунтування служить опорою для нанесення контурів місцевості і рейкових точок.

3. З кожної станції за допомогою транспортира і лінійки наносять на план зняті рейкові точки з використанням даних табл. 6.1 (графи 2, 7). Кожну точку підписують (в чисельнику вказують номер точки, у знаменнику – її висоту). За цими точками наносять ситуацію і перевіряють за абрисом. Після нанесення ситуації всієї ділянки треба зробити звірку з місцевістю. Об'єкти зйомки викреслюють в умовних знаках чорним кольором.

4. Побудову рельєфу місцевості здійснюють способом інтерполяції за допомогою лінійної палетки. Спочатку наносять водорозділи, лощини і напрям скатів. Висотні точки на ділянках без перегинів з'єднують і на лініях інтерполюванням відмічають висоти горизонталей для заданої висоти перерізу h . З'єднуючи точки з однаковими відмітками плавною лінією, дістають горизонталі. Горизонталі наносять коричневим кольором, відмітки горизонталей записують в

розривах горизонталей, при цьому верх цифр повинен бути спрямований в бік підвищення місцевості. Оформлення плану здійснюють у відповідності до умовних знаків для топографічних планів масштабу 1:500.

Побудову топографічного плану можна виконати із застосуванням сучасних геоінформаційних програм, зокрема Surfer, QGIS тощо. Такі програмні засоби забезпечують автоматизацію обробки просторових даних, створення цифрових моделей рельєфу та візуалізацію результатів у зручному графічному вигляді. Використання ГІС-технологій підвищує точність побудов, скорочує час виконання робіт і дає можливість ефективно аналізувати отримані дані. Приклад побудови топографічного плану в програмі Surfer наведено на рис. 6.4.

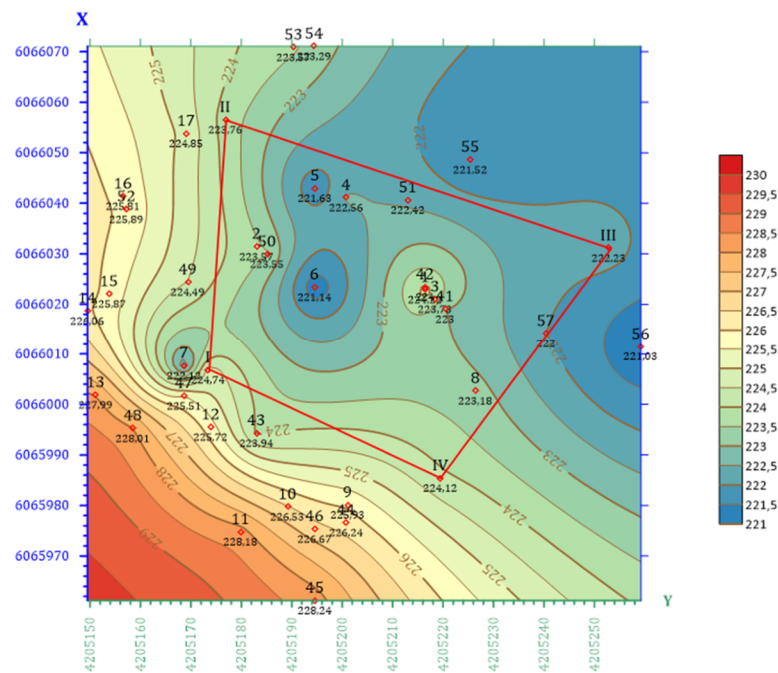


Рис. 6.4. Приклад побудови топографічного плану в програмі Surfer

6.4. Висновки

У висновках вказують головні результати роботи, оцінюють точність розрахунків, підтверджують достатність здобутої точності.

6.5. Запитання для самоперевірки

1. Які види топографічних зйомок застосовують для отримання топографічних планів і карт?
2. В чому полягає сутність теодолітної зйомки? Які ви знаєте способи зйомки подробиць?
3. В чому полягає сутність тахеометричної зйомки? Чим вона відрізняється від теодолітної?
4. Яким чином визначаються планове та висотне положення точок при проведенні тахеометричної зйомки?
5. Що таке абрис? Яких вимог потрібно дотримуватися при складанні абрису?
6. Які елементи ситуації підлягають зніманню?
7. За якими формулами обчислюються перевищення і горизонтальне прокладання при проведенні тахеометричної зйомки?
8. Які прилади застосовуються для проведення тахеометричної зйомки?
9. В якій послідовності проводиться обробка результатів тахеометричної зйомки?
10. Навести послідовність побудови топографічного плану.
11. Яким методом визначають положення горизонталей на плані?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ляшенко Д. О. Геодезія. Частина I : навч. посіб. / Д. О. Ляшенко, Т. М. Малюк, А. Ю. Гордєєв. – Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2025. – 212 с.
2. Калинич І. В. Геодезія: навч. посіб. / І. В. Калинич, Г. Г. Гриник, М. Р. Ничвид. – Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2020. – 248 с. – ISBN 978-617-7825-16-5.
3. Ратушняк Г. С. Інженерна геодезія: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 180 с.
4. Інженерна геодезія : підручник / за ред. проф. С. П. Войтенка. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – 700 с. – ISBN 978-617-7932-30-6.
5. Електронні геодезичні прилади: конспект лекцій / уклад. І. В. Калинич, І. П. Радиш, Я. І. Ваш. – Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2021. – 156 с.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чорномаз Н.Ю. Навчальний посібник для виконання лабораторних робіт з курсу “Інженерна геодезія” для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія / Чорномаз Н.Ю., С.М. Данильченко. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 116с.
2. Геодезія [Текст]: навч. посіб. / М.Т. Кириченко, Т.В. Косенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 196 с.
3. Панчук Ю.М. Інженерна геодезія: Навчальний посібник / Панчук Ю.М., Бялик І.М., Янчук О.Є. – Рівне: НУВГП, 2012. – 337 с.
4. Романчук С. В. Геодезія: навч. посіб. / С. В. Романчук, В. П. Кирилюк, М. В. Шемякін. – Київ : Центр навчальної літератури, 2023. – 296 с.
5. Тельнов В. Г. Геодезія: навч. посіб. / В. Г. Тельнов. – Дніпро: НТУ, 2019. – 317 с.