

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення лабораторних занять
і організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ГЕОДЕЗІЯ»

Змістовий модуль 3

Засоби і методи геодезичних вимірювань

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до проведення лабораторних занять і організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Геодезія». Змістовий модуль 3 «Засоби і методи геодезичних вимірювань» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. М. А. Кухар. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 37 с.

Укладач канд. техн. наук М. А. Кухар

Рецензент

С. Г. Нестеренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 28 серпня 2023 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 8 Принцип і засоби кутових вимірювань	5
Лабораторна робота № 9 Геометричне нівелювання	25
Лабораторна робота № 10 Вимірювання ліній	32
Лабораторна робота № 11 Розв'язування комплексних задач	35
Список рекомендованих джерел.....	36

ВСТУП

Дисципліна «Геодезія» є нормативною дисципліною професійного спрямування для студентів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій.

Вона є базовою для подальшого вивчення більш вузьких дисциплін підготовки фахівців цього напрямку.

Методичні рекомендації містять завдання до лабораторних і розрахунково-графічних робіт. До кожної лабораторної роботи наведено рекомендації до виконання завдань з прикладами, а також дається посилання на додаткову літературу для самостійної роботи.

Основним завданням, яке має бути вирішено при виконанні лабораторних робіт, є закріплення та використання на практиці теоретичних знань, формування у студентів навичок роботи з планами й картами, вміння читати карту й розв'язувати різноманітні завдання, які постають на виробництві перед фахівцями з геодезії, картографії та землеустрою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ПРИНЦИП І ЗАСОБИ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: ознайомитися з будовою теодоліта, навчитись виконувати вимірювання горизонтальних, вертикальних кутів, робити обробку цих вимірювань та проводити перевірки і юстування теодоліту серії Т30.

Обладнання: теодоліт Т30, штатив, висок, калькулятор.

Пояснення до виконання роботи. Якщо Ви бачите в вихідних даних завдання знак «#» – цей знак замінити на номер варіанту за списком при виконанні цього завдання. Завдання виконуються послідовно; вказується текст завдання та формули для розрахунків, якщо вони використовуються; відповіді та розрахунки проводяться за варіантом у виділеному для цього місці – після тексту завдання. Рекомендації до виконання завдань та приклади слугують лише для ознайомлення з особливостями процесу виконання завдань та послідовністю розрахунків цих завдань.

Частина 1

Завдання 1. Вкажіть основний конструктивний елемент теодоліта:

Завдання 2. Перелічіть категорії, за якими класифікується теодоліт:

Завдання 3. Вкажіть елементи теодоліта, що вказані на рисунку 1:

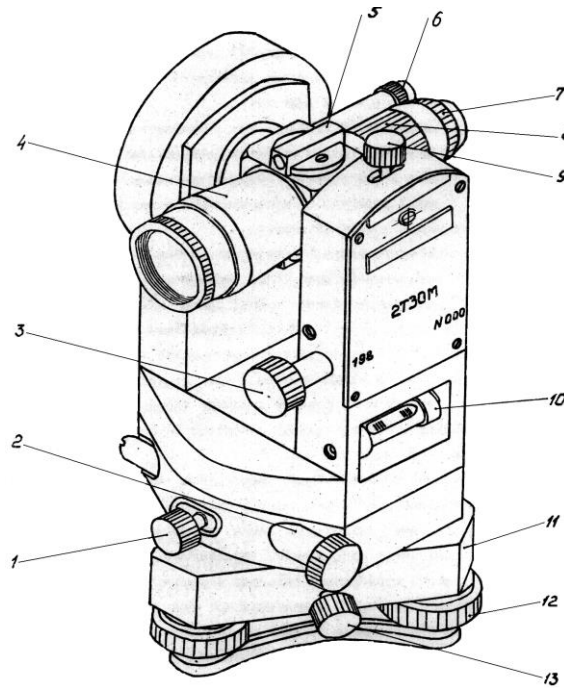


Рисунок 1 – Будова теодоліта до завдання 3

Рекомендації до виконання завдань. Теодоліт – прилад, призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів. Теодоліти, які дозволяють вимірювати ще й відстані за далекомірними нитками, а також азимути за допомогою накладної бусолі, називають теодолітами–тахеометрами.

Теодоліти класифікують за багатьма критеріями:

- 1) *за призначенням*: геодезичні, маркшейдерські, астрономічні, фототеодоліт;
- 2) *за точністю* (відповідно до середньоквадратичної помилки вимірювання кута): високоточні (Т1, Т05), точні (Т2, Т5) і технічні (Т15, Т30, 2Т30);
- 3) *за типом відлікового пристрою*: верньєрні, із шкаловим мікроскопом, із штриховим мікроскопом, з оптичним мікрометром, з електронною цифровою індикацією;
- 4) *за конструкцією вертикальної осі*: повторювальні, неповторювальні або прості;
- 5) *за конструкцією оптичної відлікової системи*: з двостороннім відліком за кругами і одностороннім;

б) за фізичною природою носія інформації: механічні, оптичні, кодові;

7) за типом зорової труби: з прямим і оберненим зображенням;

8) за конструкцією стабілізації відлікового індекса: з рівнем при вертикальному крузі, з рівнем при алідаді горизонтального круга, з компенсатором кутів нахилу.

У шифрі теодоліта літера «Т» означає «теодоліт», а цифри – середню квадратичну похибку вимірювання горизонтального кута одним прийомом (у секундах). Додаткова літера в шифрі теодоліта означає його модифікацію або конструктивне рішення: «А» – астрономічний, «М» – маркшейдерський, «К» – з компенсатором вертикального круга, «П» – зорова труба з прямим зображенням. Якщо на основі базової моделі розроблена нова модифікація – перед шифром додається цифра «2».

Теодоліт 2Т30 відноситься до технічних, з повторювальною системою вертикальної осі. Система відліку одностороння, зі шкаловим мікроскопом. Призначений для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних геодезичних мережах, при перенесенні в натуру споруд та інженерно–технічних вишукуваннях трас. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30 показана на рисунку 2.

Теодоліти бувають різних конструкцій. Вони мають різний зовнішній вигляд, але назви основних частин у всіх типів теодолітів і їх призначення однакові.

Штатив служить для встановлення приладу над вершиною кута. До верхньої частини (*головки*) штатива за допомогою *станового гвинта* (25) прикріплюється теодоліт. На головку штатива спирається *основа* (1) з трьома *піднімальними гвинтами* (15) і *підставкою* (13), яку ще називають *трегер*. Піднімальні гвинти розташовані через 120° один від одного. Їх призначення – приводити прилад у горизонтальне положення за допомогою *циліндричного рівня* (5).

Для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів слугують *кутомірні круги теодоліта* – відповідно *горизонтальний* (позначається *ГК*)

і *вертикальний (ВК) (19)*. Круги складаються із *лімба (ГК – (21), ВК – (23))* та *алідади (ГК – (22), ВК – (24))*. **Лімба** – це скляний круг, який розмічений поділками від 0° до 360° за рухом годинникової стрілки. При вимірюванні кута лімба є нерухомим і горизонтальним. Вісь алідади вміщується у вісь лімба. На алідаді нанесено відліковий пристрій у вигляді *шкали*, за допомогою якої знімається відлік за лімбом.

Над *трегером (13)* розміщена верхня частина теодоліта, яка називається **алідадною**. Вона обертається навколо вертикальної осі теодоліта і складається з *алідади ГК (22), колонок (12)*, на яких кріпиться *зорова труба (26)*, та *вертикального круга (19)*. Зорова труба може обертатися навколо своєї осі обертання від 0° до 360° . На одному з кінців осі обертання труби закріплений вертикальний круг. Під час вимірювань вертикальний круг може розміщуватись від зорової труби ліворуч (*круг ліворуч – КЛ*) або праворуч (*круг праворуч – КП*). *Лімба (23) вертикального круга* наглухо скріплений із зоровою трубою і обертається разом з нею, а *алідада (24) вертикального круга – нерухома*.

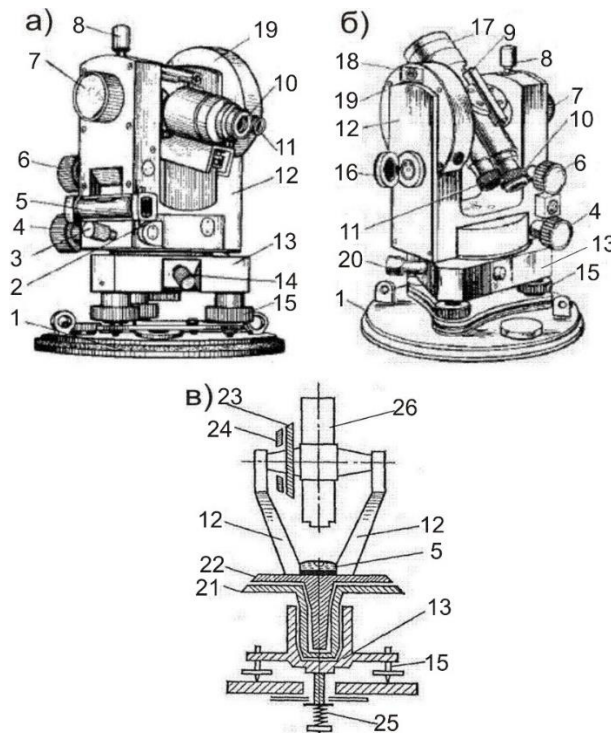


Рисунок 2 – Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30:

а – вигляд при крузі праворуч; б – вигляд при крузі ліворуч;

в –схематичний розріз

Зорова труба (26) має об'єктив (17), окуляр (10), фокусуючий гвинт (кремальєру) (7), візир (9), закріпний гвинт (8) і мікрометричний або навідний гвинт (6). За допомогою фокусуючого гвинта досягається чітке зображення предмета в полі зору труби, а за допомогою окуляра – чітке зображення сітки ниток. Візир призначений для швидкого попереднього наведення на точку. Закріпний гвинт закріплює трубу у будь-якому положенні, а мікрометричний гвинт дозволяє повільно і плавно обертати трубу при точному наведенні на потрібну точку (навідний гвинт працює лише при закріпленому закріпному гвинті).

Закріпний і навідний гвинти мають також лімб і алідада горизонтального круга: (3) – закріпний гвинт алідади ГК, (4) – навідний гвинт алідади ГК, (14) – закріпний гвинт лімба ГК, (20) – навідний гвинт лімба ГК.

Для підвищення точності відліку застосовують спеціальній пристрій – відліковий мікроскоп (11), в поле зору якого передається зображення штрихів лімбів ГК і ВК та шкали. Для підсвічування відліків використовується дзеркало (16).

Крім того, до комплекту теодоліта входить орієнтир-бусоль, яка призначена для вимірювання магнітних азимутів. Для її кріплення в теодоліті є спеціальний паз (18) на колонці зорової труби.

Частина 2

Завдання 1. На схему лімба горизонтального круга (рис. 3.1) теодоліта 2Т30М нанесіть відлік: $4^{\circ}42,5'$.

Завдання 2. На схему лімба вертикального круга (рис. 3.2) теодоліта 2Т30М нанесіть відлік: $\#^{\circ}12,5'$.

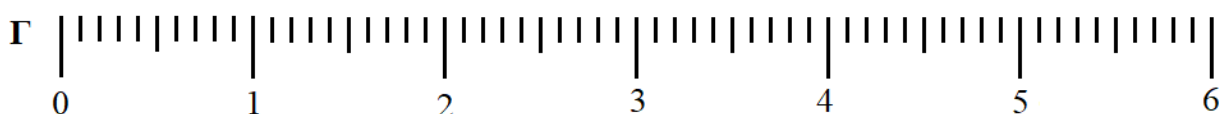


Рисунок 3.1 – Відліки по кругах теодоліта за варіантом до завдання 1



Рисунок 3.2 – Відліки по кругах теодоліта за варіантом до завдання 1

Завдання 3. Виконати розподіл групи на бригади по 4–5 студентів. Виконати вимірювання будь-якого зафіксованого на місцевості горизонтального кута, але різного для кожного члена бригади. Кожен член бригади повинен виміряти кут повним прийомом та розрахувати виміряний кут.

Станція	Точки наведення	Положення ВК	Відліки за ГК	Кути з півприймів	Середнє значення кута	Схема кута
		КП				
		КЛ				
		КП				
		КЛ				
		КП				
		КЛ				
		КП				
		КЛ				
		КП				
		КЛ				
		КП				
		КЛ				
		КП				
		КЛ				

Завдання 4. Виконати вимірювання будь-якого зафіксованого на місцевості вертикального кута. Кожен член бригади вимірює свій кут, розраховує МО та кут нахилу.

Станції	Точки наведення	Відліки за ВК		МО	Кути нахилу		Кут нахилу середній
		КП	КЛ		МО-КП	КЛ-МО	

Рекомендації до виконання завдань. Приведення теодоліта в **робоче положення** включає *центрування, горизонтування приладу й фокусування зорової труби.*

Центрування – це встановлення центра лімба або осі алідади на одній прямовисній лінії з вершиною кута. Для центрування використовують ниткові виски і оптичні центрири. Оскільки теодоліт 2Т30 не має оптичного центриру, ми будемо користуватись виском (рис. 4).

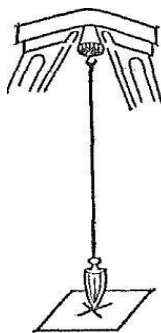


Рисунок 4 – Центрування за допомогою виска

Для центрування теодоліт встановлюють над вершиною кута так, щоб головка штатива була наближено горизонтальною, а висок розташовувався над кілочком, який позначає вершину кута. Ніжки штатива встановлюють у ґрант, натиснувши ногою на металеві наконечники. Переконавшись у стійкості приладу, необхідно послабити становий гвинт і виконати більш точне центрування, переміщуючи теодоліт на головці штатива, поки висок не

суміститься з точкою на місцевості. Після закінчення операції центрування закріплюють становий гвинт.

Горизонтування – приведення площини лімба в горизонтальне положення або осі алідади в прямовисне положення піднімальними гвинтами.

Для горизонтування спочатку встановлюють циліндричний рівень горизонтального круга паралельно до двох піднімальних гвинтів і приводять його бульбашку на середину (рис. 5, а). Потім повертають алідаду на 90° у напрямку третього гвинта (рис. 5, б). Обертаючи лише третій піднімальний гвинт, знову приводять бульбашку в нуль–пункт. Ці дії повторюють декілька разів, поки бульбашка рівня не залишатиметься на середині.

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

Зорову трубу наводять на предмет і, обертаючи *кремальєру*, фокусують трубу, тобто добиваються чіткої, різко окресленої видимості предмета. Потім, обертаючи *окулярне кільце*, добиваються чіткого зображення сітки ниток. При спостереженні різновіддалених предметів кожного разу змінюють фокусування.

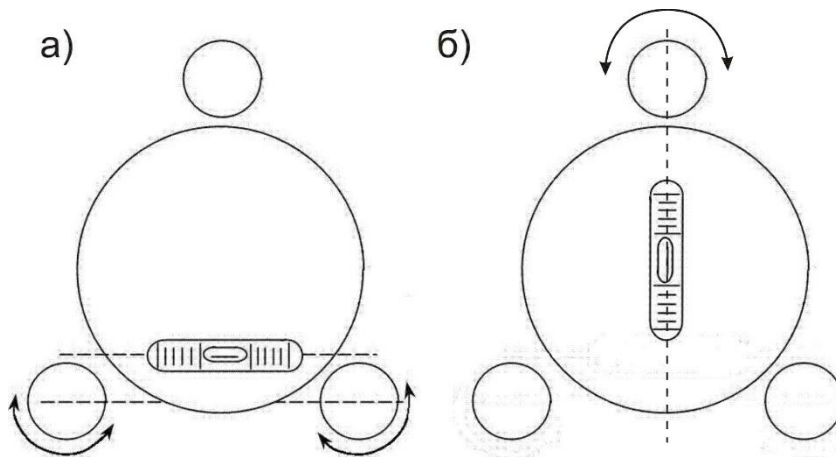


Рисунок 5 – Горизонтування теодоліта за допомогою циліндричного рівня:

а – циліндричний рівень встановлений за напрямком двох піднімальних гвинтів; б – циліндричний рівень встановлений за напрямком третього піднімального гвинта

При вимірюванні кутів теодолітом треба вміти правильно прочитати відлік на лімбі. У теодоліта 2Т30 коло лімба поділене на 360 поділок, кожна з яких відповідає 1°. Градусна величина однієї поділки лімба називається **ціною поділки лімба**. Відліки в теодоліті 2Т30 знімають за допомогою *відлікового шкалового мікроскопа*, у поле зору якого передаються зображення відліків з лімбів горизонтального і вертикального кругів. Окуляр відлікового мікроскопа розташований поряд з окуляром зорової труби. Верхня частина поля зору передає зображення вертикального круга (позначено літерою В), а нижня – горизонтального (позначено літерою Г). Поле зору відлікового мікроскопа теодоліта 2Т30 при крузі праворуч (КП) та крузі ліворуч (КЛ) показане на рисунку 6.

Відліки в теодоліті 2Т30 складаються з двох частин – *градуси* (знімаються за підписаним штрихом лімба) та *хвилини* (знімаються за шкалою від «0» до підписаного штриха лімба). Ціна найменшої нанесеної поділки шкали – 5'. Відліки хвилин за шкалами знімають на око, з точністю до 1'. Отже, на рисунку 6 відлік за ГК при КП = 125°13'; відлік за ГК при КЛ = 305°13'.

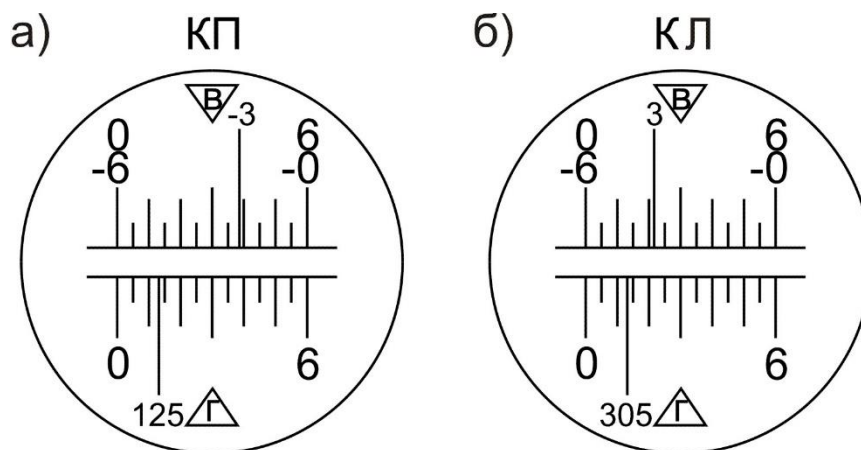


Рисунок 6 – Поле зору відлікового мікроскопу теодоліта 2Т30:

а – при крузі праворуч; б – при крузі ліворуч

Потрібно зауважити, що відліки за вертикальним кругом знімаються за таким же принципом, але залежно від знаку кута нахилу необхідно використовувати різні шкали, які мають відповідне оцифрування. *Наприклад*, на

рисунку 6, а – відлік на лімбі $= -3^\circ$, тому використовуємо шкалу від « -0 » до « -6 », відраховуючи кількість мінут *справа наліво*. Отже, остаточні відліки на рисунку 6: за *ВК* при *КП* $= -3^\circ 22'$; за *ВК* при *КЛ* $= +3^\circ 22'$.

Горизонтальні кути можна вимірювати наступними способами:

- 1) спосіб прийомів;
- 2) спосіб кругових прийомів.

Спосіб прийомів використовується, коли необхідно виміряти один кут на точці (рис. 7, а), а *спосіб кругових прийомів* – коли необхідно виміряти два або більше кутів з однієї вершини (рис. 7, б).

Кути *способом прийомів* вимірюють, дотримуючись такої послідовності:

- 1) теодоліт встановлюють над вершиною кута і приводять у робоче положення;

- 2) визначають, яка точка буде правою, а яка – лівою. Для цього стають у вершині обличчям до кута – за правою рукою буде *права точка*, за лівою – *ліва*;

- 3) закріплюють лімб у положенні круг праворуч (*КП*) і, повертаючи алідадну частину, наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *правій точці 3* (рис. 7, а). Наведення здійснюють спочатку приблизно – за допомогою візиру, а потім точно – за допомогою мікрометричних гвинтів. Після точного наведення труби на точку візування знімають відлік за горизонтальним кругом. Відліки записують у «Журнал вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів» у відповідну графу (позиція (1) у табл. 1);

- 4) після цього відкріплюють закріпний гвинт алідади і наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *лівій точці 1*, і знову знімають відлік по *ГК* (2);

- 5) величину виміряного кута (3) знаходять, віднімаючи від відліку на праву точку відлік на ліву точку, тобто за правилом – *правий напрямок мінус лівий* (3) $=$ (1) $-$ (2). Якщо відлік на праву точку буде меншим, ніж відлік на ліву точку, то до нього додають 360° ;

б) переводять зорову трубу через зеніт, тобто повертають теодоліт на 180° . Внаслідок цього вертикальний круг виявиться ліворуч від зорової труби, тобто займе положення – круг ліворуч *КЛ*. Після цього всі дії, вказані у пунктах 3–5, повторюють при положенні *КЛ* і вдруге обчислюють величину вимірюваного кута $(6) = (4) - (5)$.

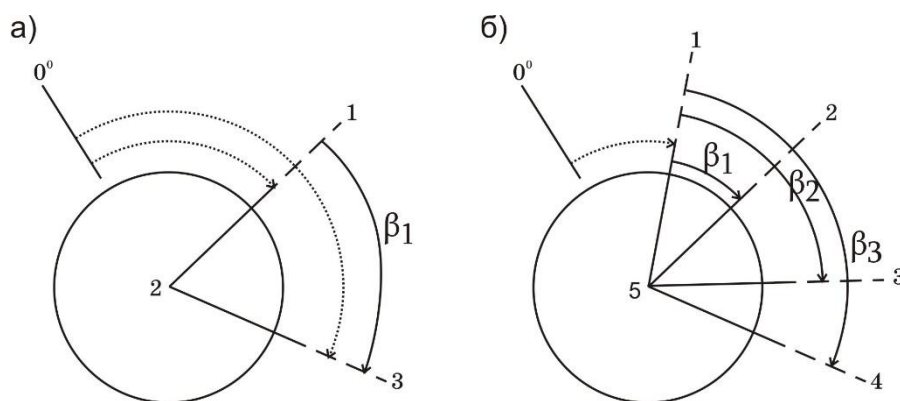


Рисунок 7 – Способи вимірювання горизонтальних кутів:

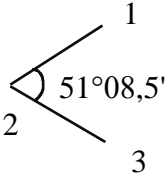
а – спосіб прийомів; б – спосіб кругових прийомів

Вимірювання одного й того ж кута при двох положеннях вертикального круга *КП* і *КЛ* становить один повний **прийм**. Вимірювання кута при якомусь одному положенні круга називається **півприйомом**. При вимірюванні кута повним прийомом ліквідується колімаційна помилка і помилка від неперпендикулярності осі обертання труби до осі обертання теодоліта.

Якщо значення кута, визначені при положеннях *КП* і *КЛ*, відрізняються не більше ніж на подвійну точність відлікового пристрою, то з них виводять середнє і записують у відповідні графи журналу, вважаючи цей запис величиною кута 2. Якщо різниця між величинами кута, отриманими при положеннях *КП* і *КЛ*, більша від подвійної точності теодоліта, вимірювання кута треба провести ще раз.

Приклад заповнення журналу вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Журнал вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів

Станція	Точки наведення	Положення ВК	Відліки за ГК	Кути з пів-приймів	Середнє значення кута	Схема кута
2	3	КП	45°27' (1)	51°09' (3)	51°08,5'	
	1		354°18' (2)			
	3	КЛ	225°26' (4)	51°08' (6)		
	1		174°18' (5)			

Позначеннями (1) – (6) показана послідовність запису відліків та обчислень.

Кутом нахилу ν називають кут між горизонтальною площиною і напрямком на необхідну точку (рис. 8). Прийнято називати кути нахилу **вертикальними**. Якщо точка, на яку необхідно визначити кут нахилу, розміщена вище від горизонтальної площини, то кут нахилу буде із знаком плюс, а якщо нижче – зі знаком мінус.

У процесі вимірювання кутів нахилу спочатку визначають *місце нуля вертикального круга (МО ВК)*. **МО ВК** – відлік з вертикального круга, при якому візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка рівня при алідаді **ВК** перебуває в нульовому пункті.

Для визначення **МО** приводять теодоліт в робоче положення, наводять центр сітки ниток на добре видиму точку і знімають відлік з вертикального круга **КЛ**. Далі переводять трубу через зеніт і проводять такі ж операції при другому положенні вертикального круга, отримуючи відлік **КП**.

Місце нуля **МО** вертикального круга визначають за відповідними формулами залежно від конструкції теодоліта. Зокрема, для теодоліта 2Т30:

$$MO = \frac{360^\circ + KL + KP + 180}{2} \quad (1)$$

Постійне значення місця нуля є *контролем* вимірювань, тому необхідно визначити його декілька разів на різні точки місцевості. За остаточне значення місця нуля приймають середнє.

Визначивши MO , переходять до *вимірювання вертикальних кутів* у такій послідовності (рис. 8):

- 1) теодоліт встановлюють над точкою і приводять в робоче положення;
- 2) вимірюють *висоту приладу* i (від верху кілочка до візирної осі) рейкою чи рулеткою;
- 3) зорову трубу у положенні круг праворуч ($KП$) наводять на віху, встановлену в кінцевій точці лінії, причому перехрестя сітки ниток наводять на висоту приладу, відмічену на осі;
- 4) після точного наведення зорової труби знімають відлік за вертикальним кругом. Відліки записують у «Журнал вимірювання вертикальних кутів теодолітом» у відповідну графу (табл. 2);
- 5) переводять трубу через зеніт і повторюють дії, зазначені у *пунктах 3–4* при крузі ліворуч (KL);
- 6) обчислюють *кут нахилу* v за формулами:

$$v = (KL + 360^\circ) - MO = MO - (KП + 180^\circ). \quad (2)$$

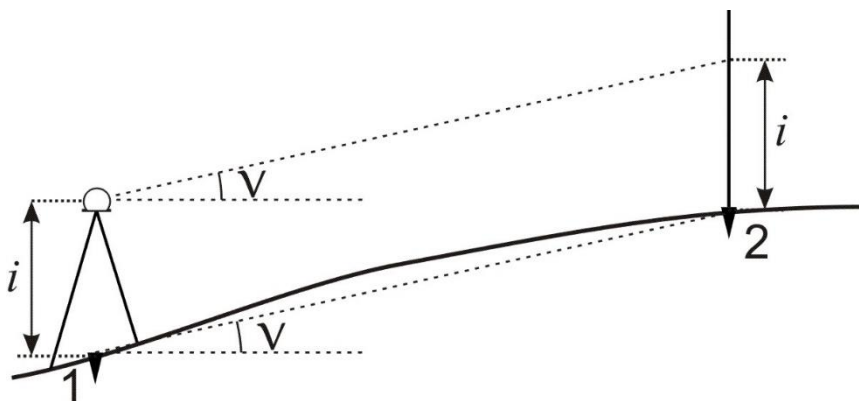


Рисунок 8 – Схема вимірювання вертикального кута

Якщо значення кута нахилу, визначені при положеннях *КП* і *КЛ*, відрізняються не більш як на подвійну точність приладу, то з них виводять середнє і записують у відповідні графи журналу, вважаючи цей запис величиною вертикального кута нахилу лінії. Якщо різниця між величинами кута, отриманими при положеннях *КП* і *КЛ*, більша від подвійної точності відлікового пристрою, то вимірювання вертикального кута необхідно провести ще раз.

Таблиця 2 – Журнал вимірювання вертикальних кутів теодолітом

Станції	Точки наведення	Відліки за ВК		МО	Кути нахилу		Кут нахилу середній
		КП	КЛ		МО–КП	КЛ–МО	
1	2	+1°31'	-1°25'	+0°03'	-1°28'	-1°28'	-1°28,0'
2	3	-2°23'	+2°28'		+2°26'	+2°25'	+2°25,5'
3	4	+3°44'	-3°39'		-3°41'	-3°42'	-3°41,5'

Частина 3

Виконати перевірки теодоліта 2Т30.

Завдання 1. Відобразити схему взаємного положення осей теодоліта і підписати їх.

Завдання 2. Перевірка осі циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга.

Номер прийому	Відхилення бульбашки при повороті алідади (поділок)		Примітка
	на 90°	на 180°	
			Умову не виконано, потрібне юстирування
			Те саме
			Умова виконана

Завдання 3. Визначення колімаційної похибки.

Номер прийому	Точка візування	Відлік за ГК		Колімаційна похибка С	Примітка
		КП	КЛ		
					Умову не виконано. Установити на горизонтальному крузі відлік 13°35'
					Умову виконано

Завдання 4. Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі обертання теодоліта.

Висота точки М, м	Відстань між точками m_1 і m_2 , мм	Відношення відстані до висоти	Примітка
			Умову виконано

Завдання 5. Визначення місця нуля вертикального круга теодоліта 2Т30М

Точка візування	Відлік за ВК		МО	Примітка
	КП	КЛ		
				Умову не виконано. Установити на ВК відлік +1°43'
				Умову виконано
				Те саме

Рекомендації до виконання завдань. Як відомо, під **перевірками** розуміють контроль правильності взаємного положення осей і частин приладу. Схема основних осей теодоліта показана на рисунку 9.

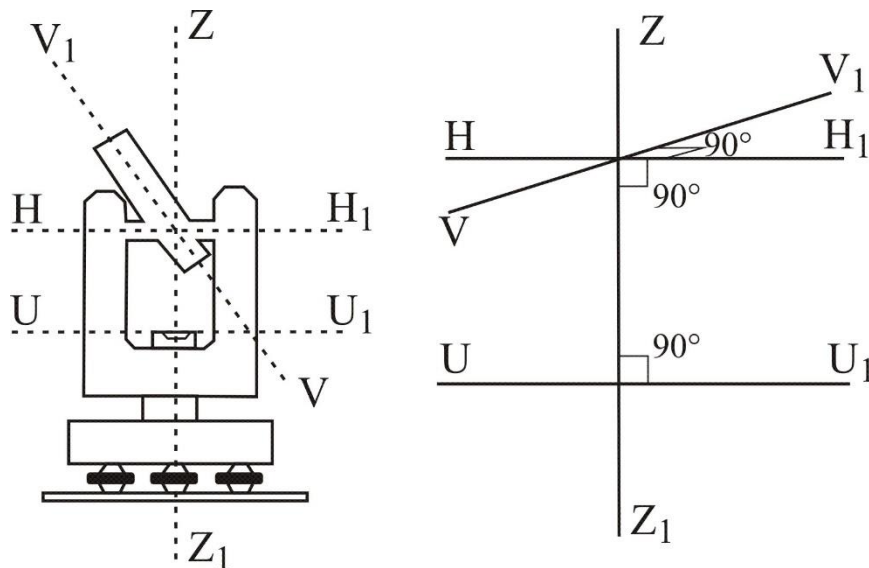


Рисунок 9 – Геометричні осі теодоліта

Основні геометричні осі теодоліта такі:

Візорна вісь зорової труби VV_1 – уявна пряма лінія, яка проходить через центр сітки ниток і оптичний центр об’єктива.

Вертикальна вісь обертання теодоліта ZZ_1 – уявна пряма лінія, яка проходить через центр обертання алідади і лімба.

Горизонтальна вісь обертання зорової труби HH_1 – уявна пряма лінія, яка проходить через центр обертання зорової труби.

Вісь циліндричного рівня UU_1 – уявна пряма лінія, яка проходить за дотичною до внутрішньої поверхні ампули рівня в точці нуль–пункту (рис. 10).

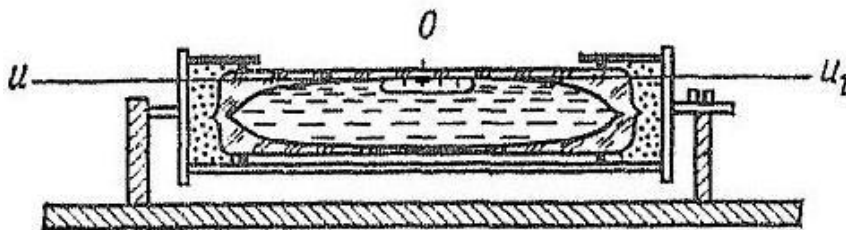


Рисунок 10 – Вісь циліндричного рівня

Перевірка осі циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга (перевірка циліндричного рівня). Вісь циліндричного рівня UU_1 при алідаді

горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта ZZ_1 .

Виконання перевірки. Приводять теодоліт у робоче положення. Після цього розташовують циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів. Оскільки теодоліт приведений в робоче положення, бульбашка рівня має розташовуватись на середині. Далі повертають алідадну частину теодоліта на 180° . Якщо бульбашка рівня змістилась від нуля–пункта не більше однієї поділки, то умова виконана. В іншому випадку виконують виправлення.

Виправлення. На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нульового пункту виправними гвинтами рівня. Після виправлення перевірку повторюють знову.

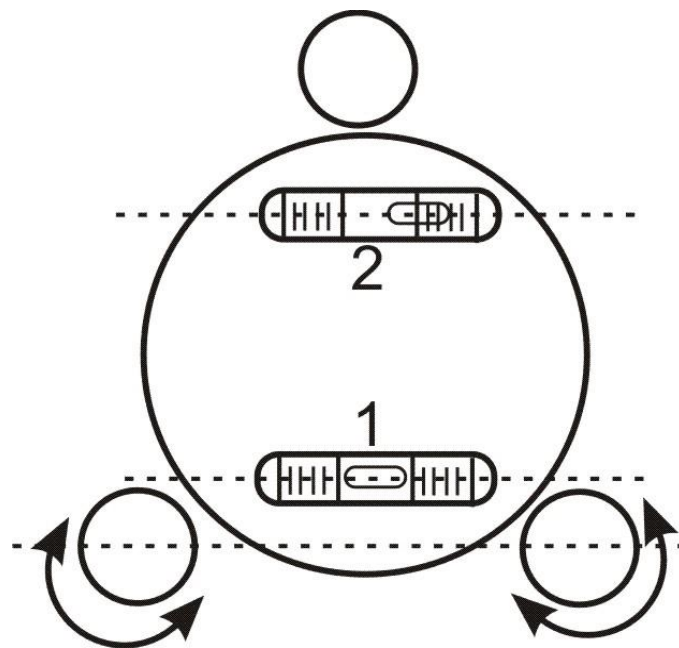


Рисунок 11 – Перевірка циліндричного рівня

Перевірка сітки ниток. Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта ZZ_1 .

Виконання перевірки. Приводять теодоліт в робоче положення і на відстані 20–30 м підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска. Якщо вертикальна нитка сітки співпадає з ниткою виска, то умова

виконана. Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска, то виконують виправлення. (рис. 12)

Виправлення. Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають чотири гвинти, за допомогою яких кріпиться окуляр до труби. Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Далі закріплюють гвинти і прикручують ковпачок. Після виправлення перевірку повторюють знову.

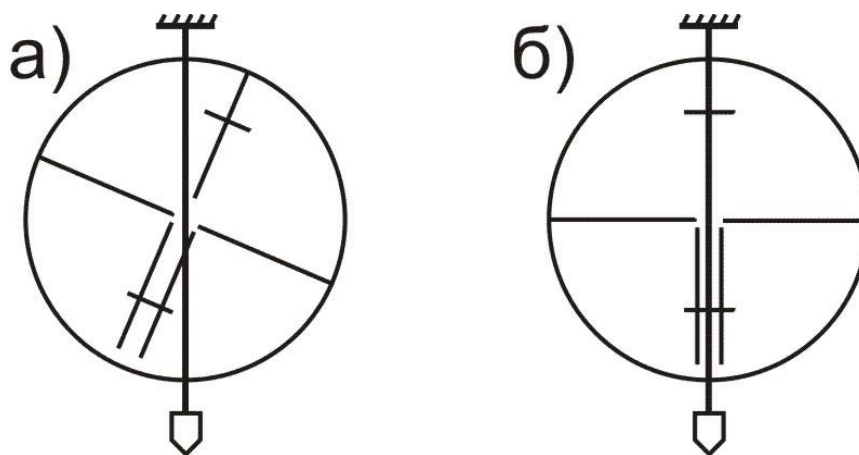


Рисунок 12 – Перевірка сітки ниток:

а – перевірка не виконується; б – перевірка виконується

Перевірка перпендикулярності візирної осі до осі обертання труби (перевірка колімаційної похибки). Візирна вісь зорової труби VV_1 повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби NN_1 .

Виконання перевірки. Приводять теодоліт в робоче положення. На місцевості вибирають віддалену, добре видиму точку і наводять на неї зорову трубу при $КП$. Знімають відлік з горизонтального круга $КП_1$. Після цього відкріплюють закріпні гвинти алідади горизонтального круга та зорової труби, переводять трубу через зеніт і при $КЛ$ наводять її на ту ж саму точку, що і при $КП$. З горизонтального круга знімають відлік $КЛ_1$. Для теодоліта 2Т30, для виключення ексцентриситету алідади, необхідно повернути лімба приблизно на 180° . Це виконується за допомогою закріпного гвинта лімба. Після зміщення лімба повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки $КП_2$ і $КЛ_2$.

За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють *колімаційну похибку* за формулою:

$$c = \frac{(KL_1 - KP_1 \pm 180^\circ) + (KL_2 - KP_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (3)$$

Якщо $c \leq l'$, то умова виконана. В іншому випадку виконують виправлення.

Виправлення. Обчислюють відлік за горизонтальним кругом, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до осі її обертання, за однією з формул:

$$\begin{aligned} KL_0 &= KL_2 - c; \\ KP_0 &= KP_2 + c. \end{aligned} \quad (4)$$

Обертаючи навідний гвинт аліади горизонтального круга, встановлюють вирахований відлік KL_0 (або KP_0). При цьому центр сітки ниток зміститься із спостережуваної точки. Після цього знімають ковпачок в окулярній частині зорової труби, який закриває доступ до виправних гвинтів сітки ниток. Попередньо послабивши верхній виправний гвинт, обертають по черзі правий і лівий виправні гвинти (один відкручують, а другий закручують за допомогою шпильки), пересуваючи пластинку з сіткою ниток так, щоб центр сітки співпав із зображенням предмету. Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі обертання теодоліта. *Горизонтальна вісь обертання зорової труби NN_1 повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта ZZ_1 .*

Виконання перевірки. Встановлюють теодоліт на відстані 20–30 м від стіни будинку. Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку, яка розташована у верхній частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта **проєктують** точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її

проекцію m_1 (рис. 13). Після цього переводять трубу через зеніт і при другому положенні круга таким же способом одержують другу проекцію – m_2 . Якщо обидві точки співпадають або знаходяться в межах бісектора сітки ниток, то умова виконана. В іншому випадку виправлення виконують тільки в спеціальних майстернях.

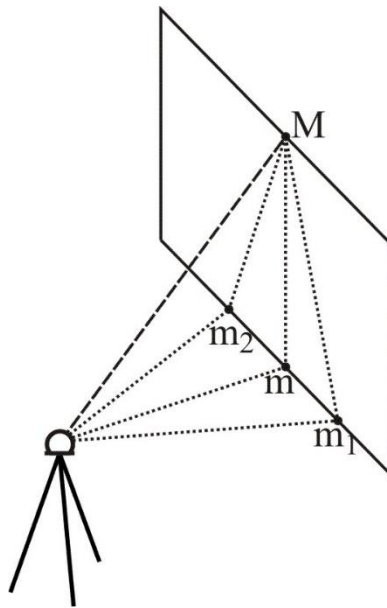


Рисунок 13 – Перевірка перпендикулярності осі обертання труби до вертикальної осі теодоліта

Питання для самоперевірки

1. Дати характеристику приладу теодоліт.
2. Що таке КЛ та КП?
3. Дайте визначення МО.
4. Схема осей теодоліта.
5. Що таке перевірки теодоліта?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ГЕОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

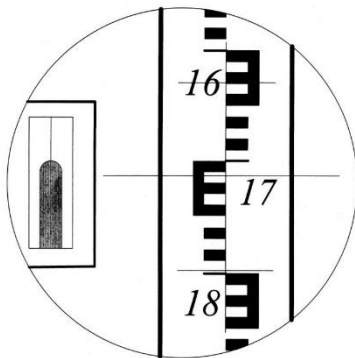
Мета роботи: ознайомитись з будовою нівеліра, навчитись виконувати геометричне нівелювання технічної точності та робити обробку цих вимірювань.

Обладнання: нівелір, штатив, нівелірні рейки, калькулятор.

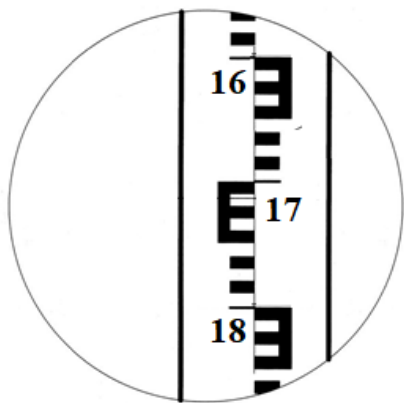
Пояснення до виконання роботи. Якщо Ви бачите в вихідних даних завдання знак «#» – цей знак замінити на номер варіанту за списком при виконанні цього завдання. Завдання виконуються послідовно; вказується текст завдання та формули для розрахунків, якщо вони використовуються; відповіді та розрахунки проводяться за варіантом у виділеному для цього місці – після тексту завдання. Рекомендації до виконання завдань та приклади слугують лише для ознайомлення з особливостями процесу виконання завдань та послідовністю розрахунків цих завдань.

Завдання 1. Будова нівеліра.

Завдання 2. Вказати відліки по рейці.



Відлік по рейці _____



Відлік по рейці $1600 + 9\# = \underline{\hspace{2cm}}$ мм

Завдання 3. Виконати геометричне нівелювання і розрахунки до нього.

Станція	Номери точок нівелювання	Відліки з рейок			Перевіщення, мм	Середнє перевіщення, мм	Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
		задня	передня	проміжна				
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Рекомендації до виконання завдань. **Нівелюванням** називається сукупність вимірів, у результаті яких визначають перевіщення між точками з наступним обчисленням їхніх висот щодо прийнятої вихідної поверхні.

Геометричне нівелювання виконують за допомогою спеціальних геодезичних приладів – нівелірів, що забезпечують горизонтальне положення лінії візування і нівелірних рейок. Нівелір (Н–3) становить сполучення зорової труби з циліндричним рівнем, що служить для приведення візирної осі в горизонтальне положення.

Нівелір Н–3 складається із зорової труби (2) (рис. 14) з жорстко скріпленим контактним циліндричним рівнем і призматичним пристроєм, що передає зображення кінців пухирця рівня в поле зору труби, підставки (трегера) із трьома піднімальними гвинтами і пружною пластиною. Попередня установка нівеліра в робоче положення виробляється за круглим рівнем (7) шляхом обертання піднімальних гвинтів.

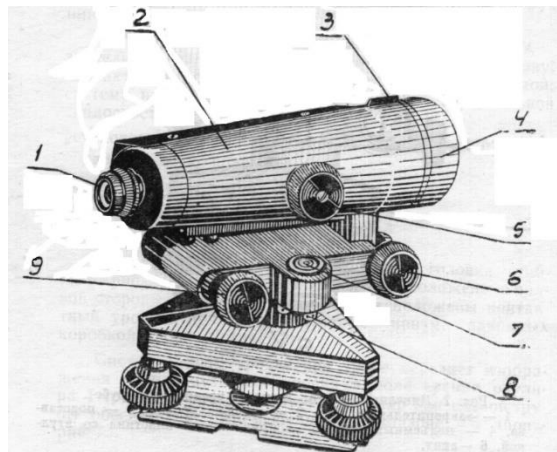


Рисунок 14 – Нівелір Н–3:

- 1 – окуляр; 2 – корпус зорової труби; 3 – механічний візир; 4 – об’єктив;
5 – кремальєра; 6 – навідний гвинт; 7 – настановний рівень; 8 – виправний гвинт настановного рівня; 9 – елеваційний гвинт

Точне приведення візирної осі труби в горизонтальне положення виконують за допомогою елеваційного гвинта (9), сполучаючи зображення кінців пухирця циліндричного рівня в полі зору зорової труби.

Для грубого наведення нівеліра на рейку на корпусі зорової труби є механічний візир (3), точне наведення приладу здійснюється навідним гвинтом (6) при затиснутому положенні закріпного гвинта. Фокусування зорової

труби здійснюється кремальєрою (5). Нівелір кріпиться на штативі становим гвинтом.

Для визначення висот точок місцевості необхідно виконати комплекс геодезичних вимірювань, який називають **нівелюванням**. У процесі нівелювання визначають перевищення одних точок земної поверхні над іншими, а потім за відомими висотами вихідних точок і відомими перевищеннями між точками визначають висотне положення інших точок над прийнятою рівневою поверхнею.

Залежно від приладів, які застосовують для нівелювання, його поділяють на **геометричне** – нівелювання горизонтальним променем візування за допомогою нівеліра; **тригонометричне** – нівелювання похилим променем візування за допомогою теодоліта; **гідростатичне** – виконується за принципом, що рідина в сполучених посудинах завжди перебуває на однаковому рівні; **барометричне** – при якому перевищення між точками визначають за різницею атмосферного тиску в точках; **механічне** – виконується за допомогою приладів, які автоматично записують профіль місцевості.

Відомі такі способи геометричного нівелювання: *нівелювання із середини* та *нівелювання вперед* (рис. 15). При нівелюванні із середини в точках 1 і 2 встановлюють нівелірні рейки, а посередині між точками – нівелір. Коли нівелювання виконують у напрямку від першої точки до другої, то першу точку називають **задньою**, а другу – **передньою**. При нівелюванні вперед нівелір встановлюється або біля однієї з точок, або на одній з точок. При прокладанні нівелірних ходів більш поширеним є нівелювання зсередини, оскільки в ньому компенсується похибка за невиконання головної умови нівеліра.

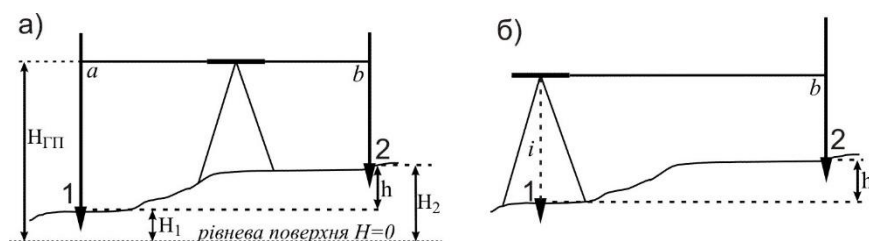


Рисунок 14 – Способи геометричного нівелювання:
а – нівелювання зсередини; б – нівелювання вперед

Для визначення висот точок (1) та (2) *нівелюванням зсередини* (рис. 8.1, а) необхідно:

1) встановити нівелір посередині між точками 1 та 2;

2) на точках 1 та 2 встановити нівелірні рейки;

3) привести нівелір в **робоче положення**:

– бульбашку круглого рівня необхідно вивести в нульовий пункт допомогою піднімальних гвинтів;

– навести зорову трубу на задню рейку і добитися чіткого зображення поділок на рейці (за допомогою кремальєри) та сітки ниток (за допомогою окуляра);

– привести бульбашку циліндричного рівня в нульовий пункт при допомозі елеваційного гвинта;

4) зняти відліки за рейками.

Геометричне нівелювання за точністю поділяють на нівелювання I, II, III, IV класів і технічне нівелювання. **Технічне нівелювання** застосовується для визначення висот точок знімального обґрунтування при виконанні топографічних знімачь, виконанні трасування лінійних споруд а також при вирішенні різних задач у процесі будівництва та експлуатації інженерних споруд.

Хід технічного нівелювання починають з передачі висоти від репера державної геодезичної мережі на початковий пункт ходу. Таку операцію називають **прив'язкою ходу** до репера. У кінці хід також повинен бути прив'язаний до репера державної геодезичної мережі. Розрізняють *замкнені* та *розімкнені* нівелірні ходи. *Замкнений нівелірний хід* розпочинається і закінчується на одному репері. *Розімкнений нівелірний хід* розпочинається на одному репері, а закінчується на іншому. **Репер** – це пункт з відомою висотою.

Нівелювання виконують на станціях. **Станцією** називають одноразове встановлення нівеліра з наступним зніманням відліків за рейками, які називають *задніми, передніми* і *проміжними*. Технічне нівелювання виконується способом із середини. Довжина візирного променя від нівеліра до рейки (**плече**

нівелювання) не повинна перевищувати 120 м. Розбіжність перевищень, визначених за відліками з чорного та червоного боків задньої і передньої рейок допускається ± 5 мм. Відліки знімають тільки з середньої нитки. Точки, які є спільними для двох суміжних станцій і через які передають висоти на наступні точки, називають **зв'язуючими**, решта точок – **проміжними**.

Спостереження на станції виконують у такій послідовності:

- а) встановлюють нівелір у робоче положення на визначеному місці;
- б) наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з чорного боку рейки;
- в) наводять зорову трубу на передню рейку і знімають відліки з чорного та червоного боків рейки;
- г) наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з червоного боку рейки;
- д) якщо на станції є проміжні точки, то задню рейку послідовно встановлюють на ці точки і знімають відліки лише з чорного боку.

Така послідовність знімання відліків дозволяє контролювати стійкість штатива на станції. *Перед зніманням відліків необхідно щоразу приводити кінці бульбашки циліндричного рівня в контакт.*

Усі результати спостережень записують у журналі технічного нівелювання (табл. 3) і відразу на станції для контролю правильності знімання відліків *обчислюють*.

Таблиця 3 – Журнал технічного нівелювання

Станція	Номери точок нівелювання	Відліки з рейок			Перевищення, мм	Середнє перевищення, мм	Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
		задня	передня	проміжна				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Рп 1	1647(1)						166,159
		6430(4)			-456 (7)	2		
1	2	4783(5)	2103(2)			-455 (9)		165,706
			6884(3)		-454 (8)	-453		
			4781(6)					

Позначеннями (1) – (9) показана послідовність запису відліків та обчислень.

Записавши в журналі відліки (1), (2), (3), (4), обчислюють («п'ятки») (5) і (6), для чого від відліку з червоного боку рейки віднімають відлік з чорного боку цієї ж рейки:

$$(5) = (4) - (1) \quad \text{і} \quad (6) = (3) - (2). \quad (5)$$

Значення «п'ятки» повинне залишатись постійним і коливатись в межах до 5 мм, що контролює правильність зняття відліків з рейок.

Значення перевищень h між зв'язуючими точками обчислюють як різницю відліків за задньою і передньою рейками з чорних і червоних боків, тобто:

$$(7) = (1) - (2) \quad \text{і} \quad (8) = (4) - (3). \quad (6)$$

Якщо розбіжність між перевищеннями не перевищує ± 5 мм, то обчислюють їх середнє значення, яке заокруглюють до цілого числа міліметрів (9). Якщо значення перевищень або п'яток відрізняються більше як на ± 5 мм, то всі записи в журналі закреслюють, а вимірювання повторюють. На наступній станції вимірювання записи та їх контроль виконують у такій самій послідовності.

Питання для самоперевірки

1. Що таке нівелір?
2. Що таке горизонт приладу?
3. Дайте визначення перевищення.
4. Як встановити нівелір у робоче положення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙ

Мета роботи: навчитись виконувати вимірювання ліній нитяним дальноміром, робити обробку цих вимірювань електронним віддалеміром – електронною рулеткою.

Обладнання: теодоліт Т30, нівелірні рейки, калькулятор.

Завдання 1. Визначити відстань нитяним дальноміром. Після вимірювання відстані кожен член бригади змінює висоту теодоліта або рейки та вимірює цю ж відстань.

№ з/п	Відліки на напрямок N ₁ , мм	Відліки на напрямок N ₂ , мм	N ₂ – N ₁ , мм	Середнє значення, мм	Відстань, м
1					
2					
3					
4					
5					

Завдання 2. Визначити відстань електронною рулеткою.

№ з/п	1	2	3	4	5
Відстань, м					

Рекомендації до виконання завдань. Перед встановленням теодоліта або тахеометра в робоче положення переконатись, що всі вузли приладу функціонують справно (гвинти не зірвані, скляні елементи не розбиті тощо), а штатив має всі необхідні елементи, які також функціонують справно. Встановити прилад в робоче положення, за необхідності виконати перевірки приладу.

Визначення відстані від станції до точки, координати якої необхідно визначити. Далі проводиться визначення горизонтального прокладення між станцією та передньою точкою – здійснюється вимірювання довжини між ними. Для цього використовується нівелірна рейка і теодоліт. Рейку встановлюють на точку, відстань до якої необхідно визначити, визначають висоту приладу,

центральною ниткою наводяться на рейку, на значення висоти приладу. Беруть відлік по нижній N_1 та верхній N_2 сітці віддалемірних ниток (рис. 16).

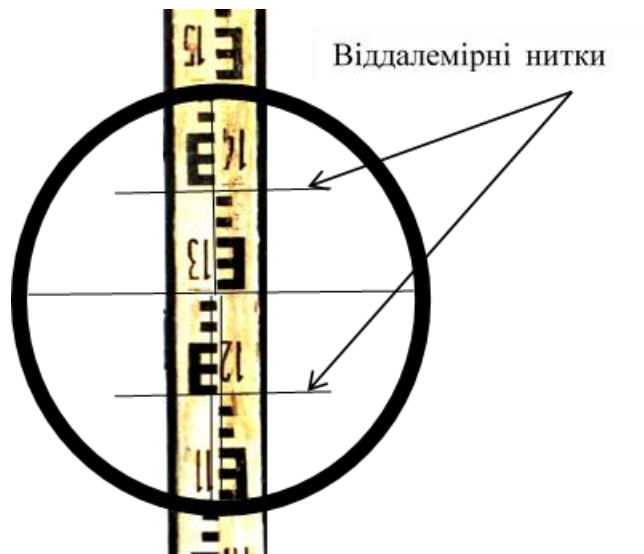


Рисунок 16 – Віддалемірні нитки при наведенні на рейку

Таблиця 4 – Визначення відстані

№ з/п	Відліки на напрямок N_1 , мм	Відліки на напрямок N_2 , мм	$N_2 - N_1$, мм	Відстань, м
1	1 200	1 395	195	19,5

Далі знаходження відстані за значенням з нитяного дальноміра використовують формулу, результат отримують у міліметрах:

$$D = 100 \cdot |N_1 - N_2|_{\text{сеп}}. \quad (7)$$

Для визначення відстані електронною рулеткою рулетку встановлюють на початкову точку лінії, лазером вказують на другу точку лінії та натискають кнопку «виміряти». Результат відобразиться на екрані (рис. 17).



Рисунок 17 – Електронна рулетка

Питання для самоперевірки

1. Що таке проєкція з числовими позначками?
2. Що таке цифрова модель рельєфу?
3. Дайте визначення горизонталі.
4. Які властивості у горизонталей?
5. Що становить профіль місцевості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЗАДАЧ

Мета роботи: розв'язування задач за пройденим матеріалом.

Обладнання: вимірювач, лінійка, транспортир, аркуші паперу, калькулятор.

Завдання 1. Схил має ухил 0,015. Визначити різницю висот двох точок при відстані між точками на карті 21,3 мм, масштаб карти 1:25 000

Завдання 2. Визначити ухил скату, якщо на карті закладення 11,2 мм, висота перетину рельєфа 2 м, масштаб карти 1:1 000.

Завдання 3. Визначити ухил скату, якщо на карті закладення 15,7 мм, висота перетину рельєфа 2 м, масштаб карти 1:1 000

Завдання 4. Визначити за допомогою карти ухил лінії. Лінію задає викладач.

Завдання 5. Побудувати із точки А лінію довжиною 350 м з дирекційним кутом, якщо відомі координати точки А: $X_A = 234$ м, $Y_A = 486$ м.

Завдання 6. Визначити графо-аналітично усі орієнтирні кути лінії АВ, що задана координатами точок:

$$X_A = 6\,066,425 \text{ м}, Y_A = 4\,312,398 \text{ м}$$

$$X_B = 6\,065,125 \text{ м}, Y_B = 4\,311,105 \text{ м}$$

Завдання 7. Визначити на карті географічні координати точок А і В.

Завдання 8. Побудувати горизонталі, якщо відомо, що ділянка має форму квадрата 40 м на 40 м, висоти точок–кутів за годинниковою стрілкою: 38,5; 36,3; 35,2; 37,7.

Рекомендації до виконання завдань. Розв'язання задач за попередньо пройденим матеріалом.

Питання для самоперевірки

1. Що таке ухил?
2. Що таке горизонтальне прокладення?
3. Що таке горизонталь?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дистанційний курс на платформі Moodle. Геодезія (Модуль 1 Геодезичні вимірювання) [Електрон. ресурс] / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова : сайт. – Електрон. текст. дані. – Харків, 2024. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=1732>, вільний (дата звернення: 02.02.2024). – Назва з екрана.
2. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 [Електрон. ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті міністрів України. № 56 від 09.04.98. – Електрон. текст. дані. – Київ, 1998. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>, вільний (дата звернення: 02.02.2024). – Назва з екрана.
3. Гончаренко О. С. Геодезичне забезпечення землевпорядкування : [Електрон. ресурс] : конспект лекцій / О. С. Гончаренко. – Електрон. текст. дані. – Київ, 2020. – 129 с. – Режим доступу : http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/Konspekt_lekcii/Zemlya_Goncharenko.pdf, вільний (дата звертання: 02.02.2024). – Назва з екрана.
4. Калинич І. В. Топографія. Лабораторний практикум / І. В. Калинич, М. Р. Ничвид, І. І. Калинич. – Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2020. – 176 с.
5. Рева М. П. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Геодезія та землевпорядкування» / М. П. Рева, Ю. В. Орешніков. – Дніпропетровськ, 2011. – 39 с.
6. Панчук Ю. М. Лабораторний практикум з інженерної геодезії : навч. посіб. / Ю. М. Панчук, О. Є. Янчук. – Рівне, 2010. – 135 с.
7. Шаульський Д. В. Конспект лекцій з дисципліни «Основи геодезії» (для студентів 1 і 3 курсів денної форми навчання, напряму підготовки 6.060102 «Архітектура» спеціальності «Містобудування») / Д. В. Шаульський ; Харків. нац. акад. міськ. гос-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 55 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення лабораторних занять
і організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ГЕОДЕЗІЯ»
Змістовий модуль 3
Засоби і методи геодезичних вимірювань

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Укладач **КУХАР** Максим Анатолійович

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *М. А. Кухар*

План 2021, поз. 515М

Підп. до друку 31.05.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,2.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.