



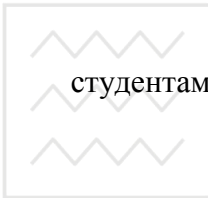
Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра геодезії та картографії

05-04-238

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни



«Основи геодезії»

студентами спеціальності 145 «Гідроенергетика»

денної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
комісією зі спеціальності 145
«Гідроенергетика»
Протокол №6 від 26.02.2018 р.

Рівне 2018



Національний університет

водного господарства

та природокористування

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни „Основи геодезії” студентами спеціальності 145 «Гідроенергетика» денної форми навчання / Панчук Ю.М., Янчук О.Є., Ревуцький В.Р. – Рівне : НУВГП, 2018. – 75 с.

Упорядники: Ю.М. Панчук, кандидат технічних наук, доцент, О.Є. Янчук, кандидат технічних наук, доцент, В.Р. Ревуцький, асистент.

Відповідальний за випуск: Р.М. Янчук, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії.



Національний університет
водного господарства
та природокористування



ЗМІСТ

Передмова.	4
<i>Робота №1.</i> Визначення положення точок на карті	5
<i>Робота №2.</i> Рішення задач за горизонталями на карті.	23
<i>Робота №3.</i> Будова і перевірки нівелірів	35
<i>Робота №4.</i> Технічне нівелювання	46
<i>Робота №5.</i> Будова теодоліта. Вимірювання кутів	54
<i>Робота №6.</i> Перевірки теодоліта 2Т30	62
<i>Робота №7.</i> Вимірювання вертикальних кутів. Тригонометричне нівелювання	68
Література	74



Національний університет
водного господарства
та природокористування



ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи геодезії» за змістом і послідовністю викладення в них матеріалу відповідають програмі навчальної дисципліни для підготовки студентів за спеціальністю 145 «Гідроенергетика».

Вказівки містять матеріали з підготовки та виконання лабораторних робіт. Наведено основні відомості і вказівки з виконання польових робіт, що дозволяє студентам використовувати методичні вказівки при вирішенні інженерно-геодезичних задач.

Методичні вказівки студенти повинні використовувати лише після вивчення теоретичного матеріалу курсу «Основи геодезії».

Суттєву увагу приділено будові, перевіркам і юстуванню геодезичних приладів. В кінці кожної лабораторної роботи наведено завдання на виконання роботи, а також контрольні запитання для самостійного опрацювання матеріалу студентами, що допомагає їм орієнтуватись в обсязі знань потрібних для успішного виконання лабораторних робіт та їх захисту.

Основне призначення методичних вказівок – закріплення теоретичних знань і активація творчої самостійної роботи студентів при виконанні лабораторних робіт. Особливу увагу звернено на рішення найбільш поширених інженерно-геодезичних завдань в галузі гідроенергетики.

Важливе місце при проведенні занять посідає організаційна частина. З цією метою після завдань до кожної роботи наведено перелік необхідних приладів і пристосувань, що дозволяє студентам ретельніше підготуватись до занять.

Методичні вказівки віддзеркалюють досвід проведення лабораторних робіт на кафедрі геодезії та картографії Національного університету водного господарства та природокористування.



Лабораторна робота 1. (2 год)

Визначення положення точок на карті

- 1.1. Ознайомлення з топографічною картою.
- 1.2. Масштаби планів і карт.
- 1.3. Визначення відстані між точками на карті.
- 1.4. Визначення прямокутних координат точки.
- 1.5. Нанесення точок на карту за прямокутними координатами.

Прилади і обладнання: топографічний план масштабу 1:2 000, калькулятор, вимірник, геодезичний транспортир (лінійка поперечного масштабу), лінійка, олівець, гумка.

1.1. За результатами геодезичних вимірів на земній поверхні виготовляють графічні зображення земельних ділянок і існуючої ситуації або всієї Землі на папері, які поділяють на топографічні карти і топографічні плани.

Картою називається зменшене, узагальнене, вимірне зображення на площині всієї поверхні Землі, або її значної частини, побудоване за певними математичними законами. Карті складаються на значні території, в межах яких рівневу поверхню не можна вважати площиною. Тому при їх складанні враховуються поправки в довжину ліній за кривину Землі.

Планом називається зменшене, узагальнене, вимірне зображення невеликої ділянки місцевості (розміром до 20×20 км) на площині, яке побудоване без врахування кривини Землі.

Картографічне зображення місцевості в масштабах 1:500-1:5 000 називають планами, а в масштабах 1:10 000 і дрібніше – картами.

Карта (план) являє собою наглядну графічну модель фізичної поверхні Землі, за якою можна виконувати різноманітні виміри і вирішувати багато геодезичних задач. Серед основних задач, які можна вирішувати на карті варто виділити такі:

- визначення віддалей (горизонтальних прокладень або похилих ліній) між точками;
- визначення прямокутних координат точки x, y ;
- визначення географічних координат точки φ, λ ;



- нанесення точки на карту за прямокутними та географічними координатами;
- визначення висоти точки H ;
- визначення крутизни схилу;
- побудова проектної лінії заданого ухилу;
- побудова профілю місцевості за заданою лінією;
- визначення площ ділянок;
- визначення кутів орієнтування ліній та горизонтальних кутів між лініями.

Класифікація карт. Географічні карти, як правило, класифікуються за змістом та масштабами.

За змістом вони поділяються на загальногеографічні та тематичні.

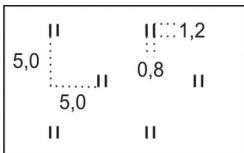
За масштабами:

- а) оглядові (дрібніші 1:1 000 000);
- б) оглядово-топографічні (1:200 000-1:500 000);
- в) топографічні (1:500-1:100 000).

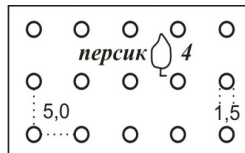
Тобто, можна дати наступне визначення: **топографічна карта** – загальногеографічна карта масштабу 1:100 000 або крупніше, виконана в проекції Гаусса-Крюгера, і яка містить елементи ситуації і рельєфу. Якщо на карті показана лише ситуація, без зображення рельєфу, то її називають **контурною** або **ситуаційною**.

Ситуація – це сукупність контурів і нерухомих предметів місцевості. Для зображення ситуації на планах і картах використовують умовні знаки. Умовні знаки поділяються на *контурні (масштабні), позамасштабні, лінійні та пояснювальні*.

Контурні (масштабні) умовні знаки (рис. 1.1) слугують для зображення предметів, які виражаються в масштабі карти (ліс, луки, будинки). При цьому на карті зберігається подібність форми контуру та його орієнтування.



трав'яна лугова рослинність



сад фруктовий



Рис. 1.1. Приклад контурних (масштабних) умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1 000

Позамасштабні умовні знаки (рис. 1.2) слугують для зображення предметів, які не виражаються в масштабі карти. Тільки окрема точка в кожному з таких умовних знаків відповідає положенню предмета на місцевості, *наприклад* середина геометричної фігури (пункти державної геодезичної мережі, оглядові колодязі), вершина прямого кута в основі нижньої геометричної фігури (бензоколонки, кілометрові стовпи), середина нижньої геометричної фігури (ліхтарі електричні на стовпах, заводи і фабрики з трубами).

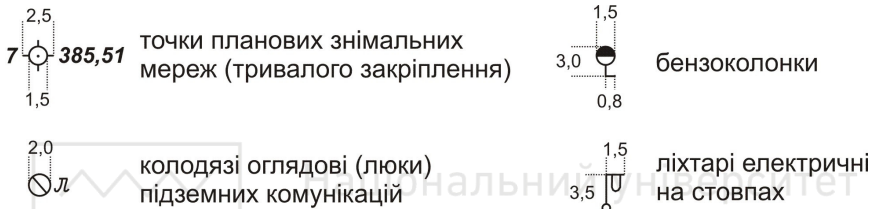


Рис. 1.2. Приклад позамасштабних умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1 000

Слід відмітити, що одні і ті ж предмети на картах крупних масштабів можуть бути виражені масштабним умовним знаком, а на картах дрібних масштабів – позамасштабним.

Лінійні умовні знаки (рис. 1.3) слугують для зображення лінійних об'єктів – річок, доріг, ліній зв'язку, ЛЕП, огорож, трубопроводів, меж. Масштаб вздовж осі лінійного умовного знаку відповідає масштабу карти, а ширина показується в декілька разів більшою.

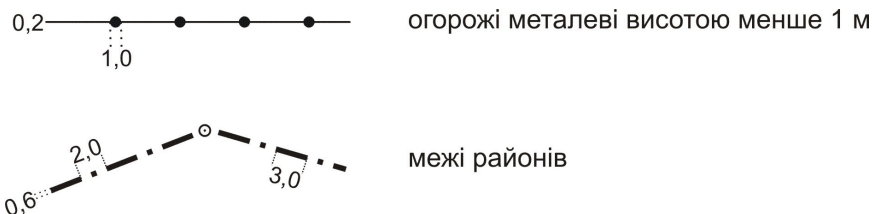


Рис. 1.3. Приклад лінійних умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1000

До пояснюючих умовних знаків належать різноманітні підписи, які слугують для додаткової характеристики об'єктів.



Схема карти. Загальна схема оформлення карти показана на рисунку 1.4.

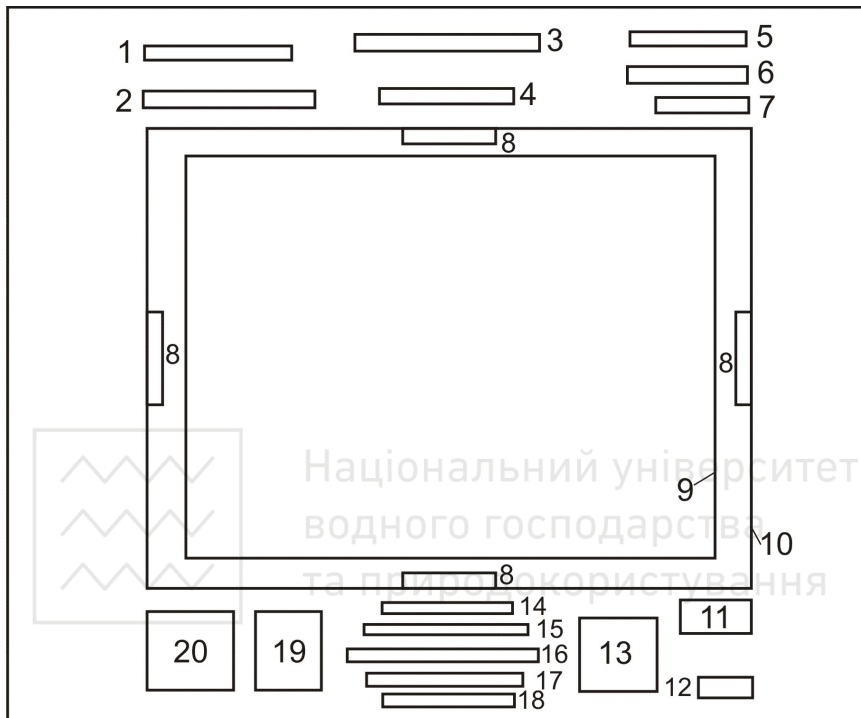


Рис. 1.4. Схема оформлення карти (плану)

- 1 – система координат;
- 2 – назва республіки й області, територія яких зображена на даному листі карти;
- 3 – назва відомства, що підготувало і видало карти;
- 4 – назва найбільш значного населеного пункту на зображеній території;
- 5 – гриф карти;
- 6 – номенклатура листа карти;
- 7 – рік видання карти;
- 8 – номенклатура сусідніх листів карти;
- 9 – внутрішня рамка;
- 10 – зовнішня рамка;



- 11 – рік і вид знімання за даними якого складена карта;
- 12 – виконавці;
- 13 – графік закладень;
- 14 – числовий масштаб;
- 15 – словесний масштаб;
- 16 – лінійний масштаб;
- 17 – висота перерізу рельєфу;
- 18 – система висот;
- 19 – схема взаємного розташування осьового, істинного та магнітного меридіанів;
- 20 – дані про схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів в будь-якій точці на даній карті.

Зональна система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера. Цю систему координат використовують при великомасштабних зображеннях значної частини земної поверхні на площині. Для крупномасштабного картографування необхідна проекція, яка забезпечувала б збереження подібного зображення фігур (*рівнокутна або конформна проекція*) при переході з поверхні земного еліпсоїда на площину. Таким вимогам відповідає прийнята в Україні (з 1928 року) *поперечно-циліндрична рівнокутна проекція Гаусса-Крюгера*.

Для зображення поверхні земної кулі на площині в проекції Гаусса-Крюгера, поверхню розмічують меридіанами на зони шириною 3° або 6° по довготі (рис. 1.5). Середній меридіан кожної зони називається **осьовим**. Осьові меридіани зон і лінія екватора є прямолінійними, а всі інші меридіани і паралелі – криві. Спотворення розмірів контурів поблизу осьових меридіанів мінімальні і збільшуються при віддаленні від них.

За вісь абсцис (Ox) приймають вісь осьового меридіана, яка має додатній напрямок на північ, а за вісь ординат (Oy) приймають лінію екватора, яка має додатній напрямок на схід. Чверті нумеруються за рухом годинникової стрілки, починаючи від додатного напрямку осі x (рис. 1.6). За початок відліку координат в кожній зоні приймається перетин осьового меридіана і екватора. Система координат в кожній зоні однакова. Для території України, яка знаходиться у північній півкулі, абсциси завжди додатні. Для



того, щоб і ординати були додатніми, початок відліку ординат зміщують на захід від осевого меридіану на 500 км (рис. 1.7).

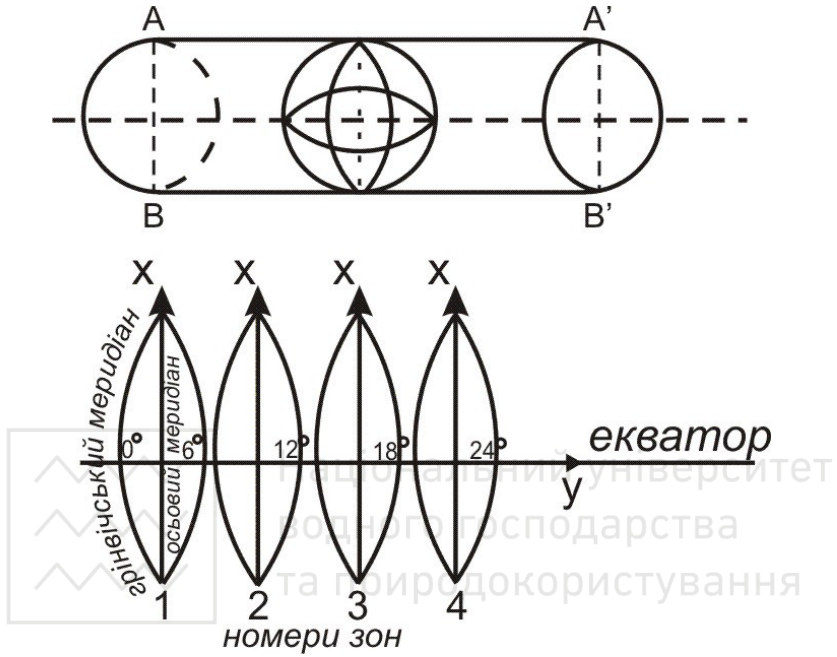


Рис. 1.5. Зональна система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера

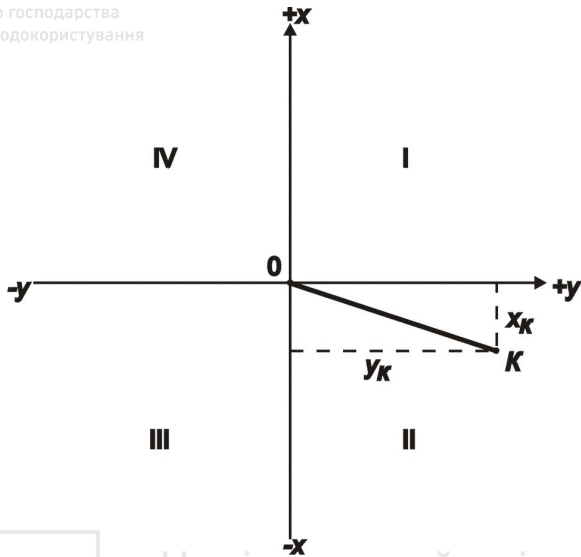


Рис. 1.6. Система прямокутних координат

Перетворена ордината починається з номера зони. *Приклад.* Якщо точка знаходиться в *12 зоні* на захід від осьового меридіану на *78 366 м*, то перетворена ордината матиме значення $y=12\ 421\ 634$ м (т. *A* на рис. 1.7). У випадку, коли точка знаходиться на схід від осьового меридіану на *78 366 м*, то її перетворена ордината матиме значення $y=12\ 078\ 366$ м (т. *B* на рис. 1.7).

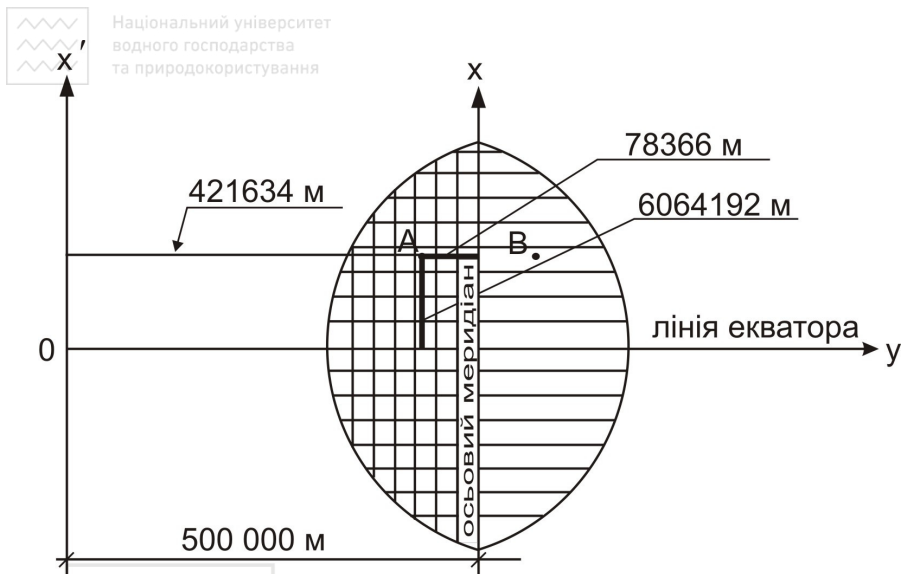


Рис. 1.7. Відлік координат в системі Гаусса-Крюгера

Для зручності користування системою координат на листах топографічних карт наноситься координатна сітка, яку називають **кілометровою**, оскільки здебільшого лінії проводять через цілу кількість кілометрів. Вона являє собою систему взаємно перпендикулярних ліній, паралельних до осьового меридіана зони (вертикальні лінії на рис. 1.7), та екватора (горизонтальні лінії на рис 1.7).

Поле карти обмежене внутрішньою рамкою. Лінії кілометрової сітки продовжені за поле карти, де біля них підписані значення x та y в кілометрах. Біля крайніх ліній кілометрової сітки підписують повні значення координат, *наприклад* на рис. 1.8 – $x_{no}=5840$ км, $y_{cx}=2634$ км. На проміжних лініях підписують скорочені значення координат – лише десятки та одиниці кілометрів.

Лінії внутрішньої рамки карти є географічними меридіанами (бокові лінії рамки) та паралелями (верхня та нижня лінії рамки). В кутах рамки підписують географічні координати (на рис. 1.8 $\varphi_{no}=52^{\circ}40'$, $\lambda_{cx}=11^{\circ}00'$). За полем рамки, на віддалі 7 мм від ліній внутрішньої рамки, побудована мінутна рамка, яка являє собою дві паралельні лінії розділені на мінутні інтервали (за широтою і



довготою). Кожен мінутний інтервал крапками розбито на шість частин по десять секунд кожна (рис. 1.8).

У місцях стику доріг з рамкою карти розміщують назву найближчого міста чи селища, куди веде дана дорога, із зазначенням відстані в кілометрах від рамки до даного населеного пункту.

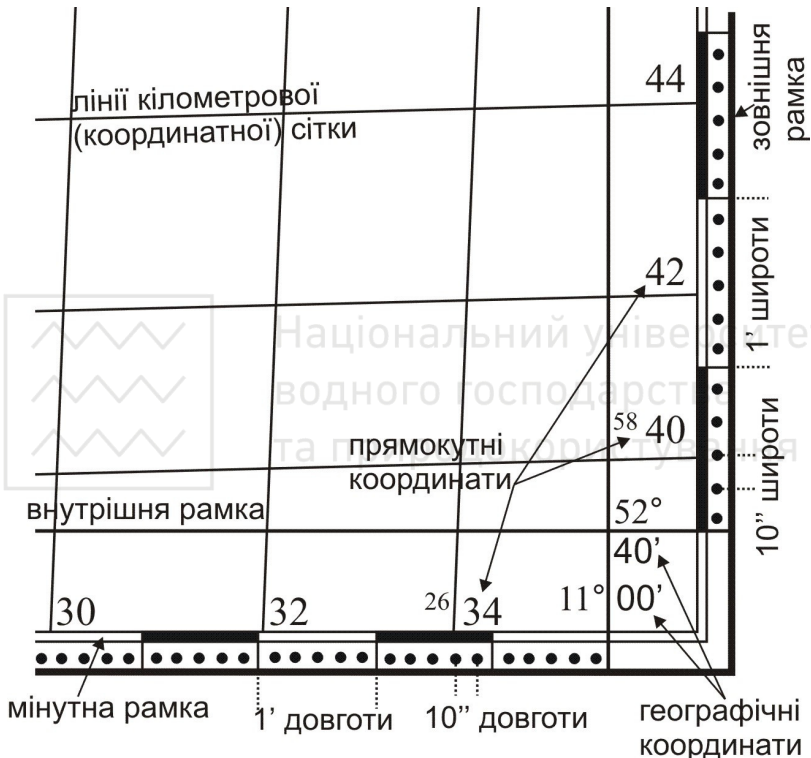


Рис. 1.8. Зображення на картах прямокутних та географічних координат

Поряд з мінутною рамкою побудована зовнішня рамка – суцільна потовщена лінія. З кожної сторони листа карти, посередині ліній зовнішньої рамки, в розриві, підписується номенклатура сусіднього листа.

Номенклатура. Топографічні карти є багатолистовими, оскільки територія країни зображується на них частинами на окремих листах.



Розміри листів вибирають таким чином, щоб ними було зручно користуватися. Листи топографічних карт різних масштабів об'єднані єдиною системою розграфки і номенклатури.

Номенклатурою називають систему позначення (нумерації) окремих листів топографічних карт різних масштабів. Система їх взаємного розташування встановлюється прийнятою розграфкою.

Основою розграфки і номенклатури топографічних карт є міжнародна розграфка листів карт масштабу 1:1 000 000. Вона утворюється шляхом умовного ділення земної поверхні паралелями, починаючи від екватора до північного і південного полюсів через 4° (пояси), та меридіанами, починаючи від меридіану з довготою 180° на схід через 6° (зони). Схема такої розграфки приведена на рис. 1.9.

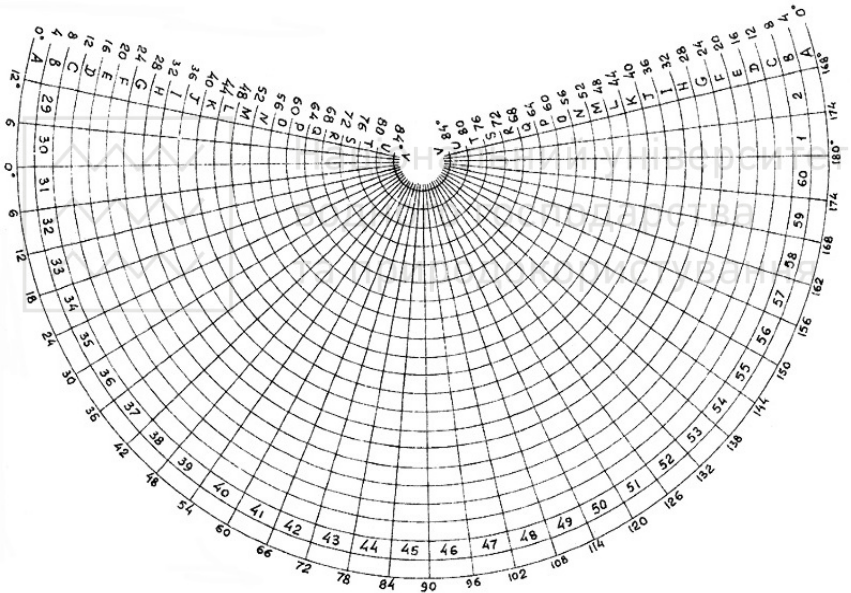


Рис. 1.9. Міжнародна розграфка листів карт масштабу 1:1 000 000

1.2. Горизонтальні проекції ліній місцевості на картах і планах зображують з деяким зменшенням. Ступінь зменшення ліній місцевості при перенесенні їх на папір називається **масштабом**. **Масштаб** – відношення довжини відрізка на карті (плані) до його горизонтального прокладення на місцевості.

Масштаб топографічної карти (плану) можна представити



ВІДНОШЕННЯМ:

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{M}, \quad (1.1)$$

де d – довжина відрізка на карті (плані),

D – горизонтальна проекція (прокладення) цього відрізка на місцевості.

Масштаби можна умовно поділити на крупні та дрібні. Чим більший знаменник масштабу, тим дрібнішим вважається масштаб, і навпаки, чим менший знаменник масштабу, тим крупнішим є масштаб.

Відстань на місцевості, яка відповідає $0,1$ мм в масштабі карти, називають **граничною точністю** цього масштабу, або просто **точністю масштабу**. Так, при масштабі 1:25 000 точність масштабу дорівнюватиме 2,5 м. Виходячи з цієї величини, можна зробити висновок: при складанні карти в масштабі 1:25 000 на місцевості треба вимірювати відрізки (або предмети) довжиною не менше 2,5 м, оскільки менші розміри при цьому масштабі на карті показати неможливо.

Маштаб виражають у числовій, словесній та графічній формі:

- *числовий масштаб* являє собою дріб, у якого чисельник є одиниця, а знаменник – число, яке показує, в скільки разів зменшений відрізок місцевості, *наприклад*: 1:500, 1:1000, 1:2000,

1:5000, $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$, $\frac{1}{5000}$ (рис. 1.10, а);

- *словесний (мовний) масштаб* – на планах і картах поряд із числовим масштабом також вказується скільком метрам на місцевості відповідає 1 см плану, *наприклад* при числовому масштабі 1:2 000, словесний матиме вигляд: в 1 сантиметрі 20 метрів (рис. 1.10, б);

- *лінійний масштаб* – являє собою шкалу у вигляді відрізка прямої, яка розділена на рівні частини (рис. 1.10, в). Такі рівні частини називають основами. Довжина основи може бути будь-якої величини, але найчастіше вона дорівнює 2 см. Першу зліва основу (її називають головою масштабу) поділяють на 10 рівних частин. Після цього лінійний масштаб підписують залежно від числового масштабу.



1:50000

б) в 1 сантиметрі 500 метрів



Рис. 1.10. Масштаби:
а) числовий; б) словесний; в) лінійний

Недоліком лінійного масштабу є його невисока точність. Вона дорівнює половині значення малої поділки головки масштабу.

Масштаб підписують знизу по центру листа карти (*позиції 14-16* на рис. 1.4). На картах вказують числовий, словесний та лінійний масштаби (в такому порядку як показано на рис. 1.10), а на планах лише числовий та словесний масштаби.

Для підвищення точності вимірювальних робіт на карті застосовують поперечний масштаб (рис. 1.11).

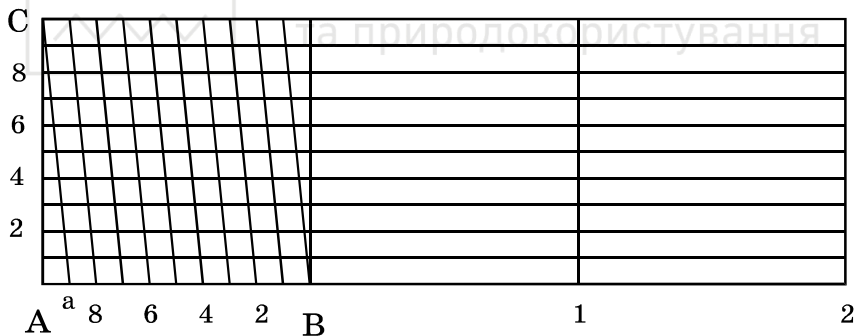


Рис. 1.11. Поперечний масштаб

1.3. Віддаль AB (горизонтальне прокладення на місцевості між точками A та B) на карті можна визначити використовуючи різні способи:

- *за числовим масштабом*: вимірюється лінійкою віддаль між точками AB на карті в **см** (l_{AB}) і обчислюється віддаль між точками на місцевості за допомогою знаменника числового масштабу M (щоб отримати віддаль на місцевості в метрах потрібно значення M



підставляти в метрах, для цього знаменник числового масштабу ділиться на 100, наприклад для масштабу 1:2 000 – $M=20$ м) за формулою:

$$L_{AB} = l_{AB} \times M . \quad (1.2)$$

Приклад. На плані масштабу 1:2 000 довжина лінії становить 3,4 см, тоді віддаль, згідно формули (1.2) $L_{AB} = 3,4 \times 20 = 68$ м.

• *за лінійним масштабом:* вимірюється вимірником віддаль між точками AB , потім встановлюється вимірник на лінійний масштаб таким чином, щоб права голка вимірника потрапляла на цілу основу, а ліва голка – на розграфлені малі поділки. Віддаль дорівнює сумі цілих основ та малих поділок. *Приклад.* В масштабі 1:50 000 (рис. 1.12) виміряна лінія рівна 1 основі праворуч від нуля та 1,5 поділкам ліворуч від нуля, тоді лінія рівна 1,15 основі і в даному масштабі $L_{AB} = 1,15 \times 500 \times 2 = 1\ 150$ м (на два домножуємо у випадку, коли одна основа лінійного масштабу рівна 2 см).

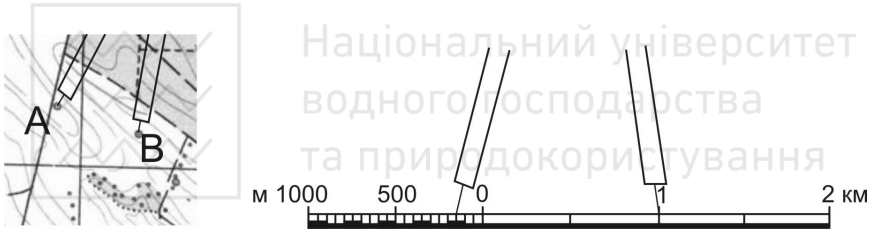


Рис. 1.12. Визначення довжини лінії за допомогою лінійного масштабу

• *за поперечним масштабом:* вимірюється вимірником віддаль між точками AB **в основах** лінійки поперечного масштабу (l_{AB}) і обчислюємо віддаль між точками на місцевості за допомогою знаменника числового масштабу (на два домножуємо у випадку, коли одна основа лінійки поперечного масштабу рівна 2 см) за формулою:

$$L_{AB} = l_{AB} \times 2 \times M . \quad (1.3)$$

Віддаль між точками AB **в основах** лінійки поперечного масштабу l_{AB} визначається наступним чином: праву голку вимірника встановлюємо на вертикальну лінію так, щоб ліва голка потрапляла на ліву (розграфлену) основу. Переміщуємо вимірник (не змінюючи розхилу) таким чином, щоб дві голки знаходились на одній горизонтальній лінії, до перетину лівої голки з похилою

лінією, яка називається **трансверсаллю**. При цьому відлік виражають в основах, який складається з трьох частин: ціле число основ праворуч від нуля (на рис. 1.13 відлік рівний *3 основам*), десяті частини беруться ліворуч від нуля по горизонталі (*рівний 2*) та соті частини – кількість вертикальних поділок (*рівний 7*), тобто весь повний відлік $l_{AB}=3,27$ осн. Підставивши цей відлік в формулу (1.3) отримаємо довжину лінії, *наприклад* для масштабу 1:2 000 $L_{AB}=3,27 \times 2 \times 20=130,8$ м.

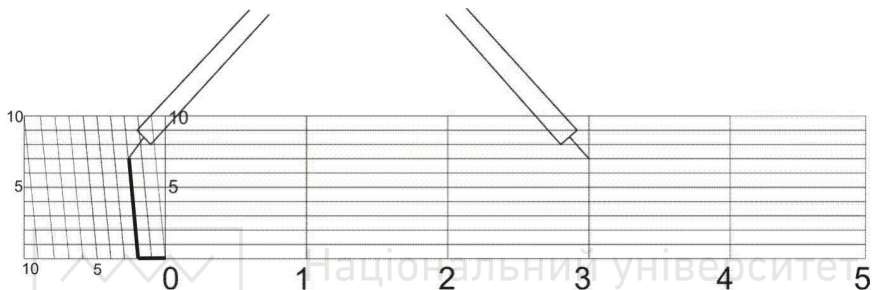


Рис. 1.13. Визначення довжини лінії за допомогою поперечного масштабу

- аналітичним способом:** цей спосіб використовують коли є відомі прямокутні координати двох точок. Віддаль обчислюється за формулою:

$$L_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} . \quad (1.4)$$

Відрізки ліній, які мають довжину більшу, ніж довжина лінійного, або поперечного масштабів, вимірюють частинами або «кроком» вимірника. Для цього розхилом вимірника відкладають довжину, яка відповідає цілому числу основ і «крокують» нею по карті, при цьому відлічуючи кількість перестановок голки вимірника. Залишок менший від довжини вибраного кроку, визначають за масштабом звичайним способом.

Обернені задачі (за відомою відстанню на місцевості необхідно відкласти віддаль на карті) вирішуються виходячи з тих самих формул:

- за числовим масштабом:** віддаль на карті в см обчислюється за формулою:



$$l_{AB} = \frac{L_{AB}}{M}; \quad (1.5)$$

• за *поперечним масштабом*: віддаль на карті в **основах** лінійки поперечного масштабу обчислюється за формулою:

$$l_{AB} = \frac{L_{AB}}{2 \times M}. \quad (1.6)$$

1.4. Для визначення прямокутних координат точки B на карті (рис. 1.14) з точки B опускають перпендикуляри на лінії координатної (кілометрової) сітки. Довжини перпендикулярів Δx та Δy вимірюють з точністю масштабу карти за допомогою поперечного масштабу. Повні координати т. B визначають за формулами:

$$x_B = x_0^B + \Delta x; \quad (1.7)$$

$$y_B = y_0^B + \Delta y,$$

де x_0^B, y_0^B – координати південно-західної вершини квадрату, в якому знаходиться точка B ;

$\Delta x, \Delta y$ – віддалі від точки до відповідно південної та західної сторін квадрату в метрах на місцевості.

Наприклад на рис. 1.14:

- координати південно-західної вершини квадрату, в якому знаходиться задана точка B : $x_0^B = 6\ 066\ 000$ м; $y_0^B = 4\ 312\ 000$ м;
- прирости Δx та Δy визначені за допомогою лінійки поперечного масштабу: $\Delta x = 3,71$ осн; $\Delta y = 2,72$ осн;
- прирости Δx та Δy на місцевості: $\Delta x = 3,71 \times 2 \times 100 = 742$ м; $\Delta y = 2,72 \times 2 \times 100 = 544$ м.
- повні координати, згідно формули (1.7), дорівнюють: $x_B = 6\ 066\ 742$ м; $y_B = 4\ 312\ 544$ м.

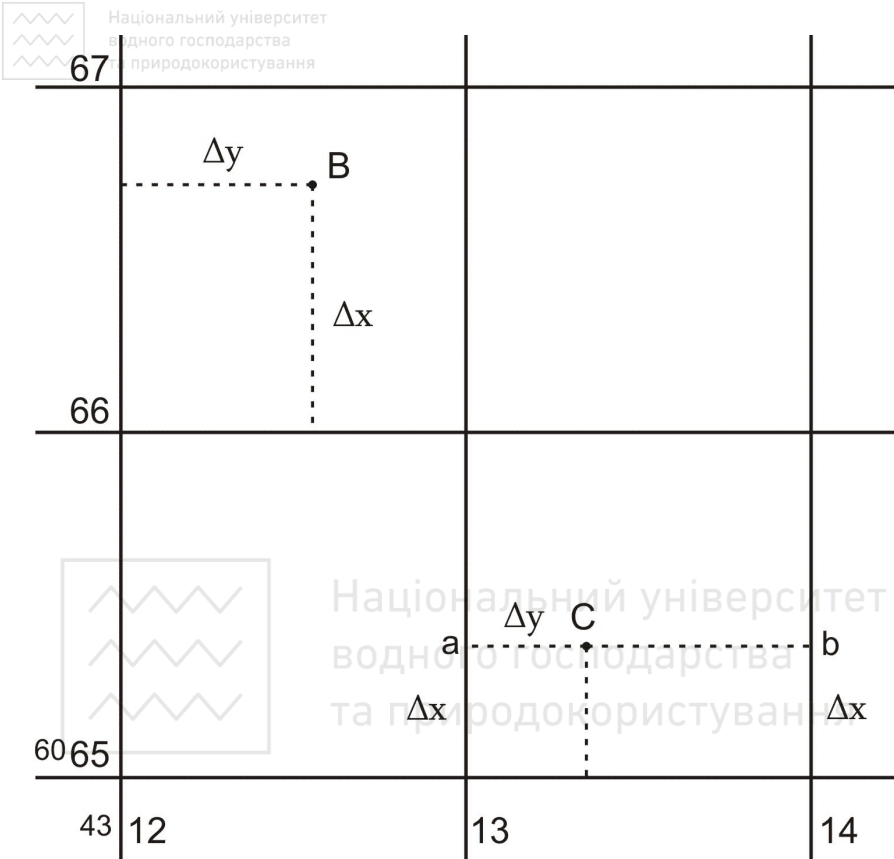


Рис. 1.14. Визначення прямокутних координат точок та нанесення точок за прямокутними координатами на топографічній карті масштабу 1:10 000

1.5. Для того, щоб побудувати точку C за її прямокутними координатами, необхідно знайти квадрат, в якому знаходиться точка C , виділити початкові координати x_0^C і y_0^C (ці значення мають бути кратними величині, через яку проведені лінії кілометрової сітки), а також прирости Δx та Δy . Визначивши Δx та Δy у відрізках масштабу карти, наносять їх на координатну сітку і одержують точку C .

Наприклад: $x_C = 6\ 065\ 427\ \text{м}$; $y_C = 4\ 313\ 226\ \text{м}$. В масштабі 1:10 000 лінії кілометрової сітки проведені через 1 000 м. Шукаємо



координату x_0^C південно-західної вершини квадрату, в якому знаходиться точка C . Вона має бути кратною $1\ 000$ м і меншою від x_C . Отже в нашому випадку $x_0^C = 6\ 065\ 000$ м, аналогічно визначаємо $y_0^C = 4\ 313\ 000$ м. Далі знаходимо величини Δx та Δy за формулами:

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_C - x_0^C; \\ \Delta y &= y_C - y_0^C.\end{aligned}\tag{1.8}$$

В нашому прикладі $\Delta x = 427$ м і $\Delta y = 226$ м. Після чого перетворюємо величини Δx та Δy у відрізки, які відповідають масштабу карти: $\Delta x = 427 / (2 \times 100) = 2,135$ осн., $\Delta y = 226 / (2 \times 100) = 1,13$ осн. Виставляємо за допомогою лінійки поперечного масштабу розхил вимірника на відлік $\Delta x = 2,135$ осн і відкладаємо цю величину по вертикалі вздовж лівої і правої сторони квадрату в якому знаходиться потрібна точка. В результаті отримуємо точки «а» та «б» (рис. 1.14), сполучаємо їх лінією і в цьому напрямку від точки «а» відкладаємо $\Delta y = 1,13$ осн. Отримана точка і буде точкою C з координатами $x_C = 6\ 065\ 427$ м; $y_C = 4\ 313\ 226$ м.

Приклади типових завдань.

Завдання 1. За топографічною картою масштабу $1:10\ 000$ визначити відстані між точками A та B . Виконати із застосуванням числового, лінійного і поперечного масштабів. Розташування точок A та B на топографічній карті задаються.

Розв'язування. За числовим масштабом: вимірюємо лінійкою відстань між точками A та B на карті: $l_{AB} = 7,4$ см; визначаємо значення знаменника числового масштабу: $M = 10\ 000$ см = 100 м; обчислюємо відстань між точками A та B на місцевості (горизонтальне прокладання), за формулою (1.2): $L_{AB} = l_{AB} \times M(m) = 7,4 \times 100 = 740$ м.

За лінійним масштабом: вимірником вимірюємо віддаль між точками A та B , після чого встановлюємо вимірник на розграфлений лінійний масштаб таким чином, щоб права голка вимірника потрапляла на цілу основу, а ліва голка – на малі поділки. Відраховуємо кількість цілих основ праворуч від нуля: $N_1 = 3$ основи; відраховуємо кількість поділок ліворуч від нуля: $N_2 = 7$ поділок; обчислюємо відстань між точками A та B на карті в основах

лінійного масштабу: $l_{AB} = N_1 + N_2/10 = 3 + 7/10 = 3,7$ осн; визначаємо значення знаменника числового масштабу: $M = 10\ 000$ см = 100 м; обчислюємо відстань між точками A та B на місцевості (горизонтальне прокладення): $L_{AB} = l_{AB} \times 2 \times M$ (м) = $3,7 \times 2 \times 100 = 740$ м.

За поперечним масштабом: вимірником вимірюємо віддаль між точками A та B , після чого встановлюємо вимірник на розграфлений поперечний масштаб, як описано в п. 1.3. Відраховуємо кількість цілих основ праворуч від нуля: $N_1 = 3$ основи; відраховуємо кількість поділок по горизонталі ліворуч від нуля: $N_2 = 7$ поділок; відраховуємо кількість поділок по вертикалі: $N_3 = 1$ поділка; обчислюємо відстань між точками A та B на карті в основах поперечного масштабу: $l_{AB} = N_1 + N_2/10 + N_3/100 = 3 + 7/10 + 1/100 = 3,71$ осн; визначаємо значення знаменника числового масштабу: $M = 10\ 000$ см = 100 м; обчислюємо відстань між точками A та B на місцевості (горизонтальне прокладення), за формулою (1.3): $L_{AB} = l_{AB} \times 2 \times M$ (м) = $3,71 \times 2 \times 100 = 742$ м.

Завдання 2. За допомогою поперечного масштабу нанести на карту, масштабу 1:10 000, лінію заданої довжини. Віддаль L_{AD} від точки A до точки D рівна 916 м, напрямок на точку D задється.

Розв'язування. Обчислюємо віддаль l_{AD} на карті, в основах лінійки поперечного масштабу, за формулою (1.6): $l_{AD} = L_{AD} / (2 \times M) = 916 / (2 \times 100) = 4,58$ осн; виставляємо за допомогою лінійки поперечного масштабу розхил вимірника на обчислений відлік 4,58 осн і відкладаємо на карті від точки A в необхідному напрямку.

Завдання 3. Визначити прямокутні координати точки A за топографічною картою масштабу 1:10 000.

Розв'язування. Визначаємо координати лівої нижньої вершини квадрату в якому знаходиться точка A :

$$x_0^A = 5\ 418 \text{ км} = 5\ 418\ 000 \text{ м};$$

$$y_0^A = 4\ 624 \text{ км} = 4\ 624\ 000 \text{ м};$$

Визначаємо прирости Δx та Δy за допомогою лінійки поперечного масштабу:

приріст $\Delta x_{осн}$ на карті, в основах поперечного масштабу (відстань від точки A до південної сторони квадрата): $\Delta x_{осн} = 2,47$ осн;

приріст Δx_m на місцевості, в метрах: $\Delta x_m = \Delta x_{осн} \times 2 \times M$ (м) =



$$=2,47 \times 2 \times 100 = 494 \text{ м};$$

приріст $\Delta y_{осн}$ на карті, в основах поперечного масштабу (відстань від точки до західної сторони квадрата): $\Delta y_{осн} = 4,15 \text{ осн}$;

приріст Δy_m на місцевості в метрах: $\Delta y_m = \Delta y_{осн} \times 2 \times M \text{ (м)} = 4,15 \times 2 \times 100 = 830 \text{ м}$.

Обчислюємо координати точки A , за формулою (1.7):

$$x_A = x_0^A + \Delta x_m = 5\,418\,000 + 494 = 5\,418\,494 \text{ м};$$

$$y_A = y_0^A + \Delta y_m = 4\,624\,000 + 830 = 4\,624\,830 \text{ м}.$$

Завдання 4. Нанести на топографічну карту масштабу 1:10 000 точку C , за відомими прямокутними координатами: $x_c = 5\,419\,136 \text{ м}$, $y_c = 4\,625\,517 \text{ м}$.

Розв'язування. Визначаємо координати південно-західної вершини квадрата в якому знаходиться точка C (мають бути кратними величині, через яку проведені лінії кілометрової сітки):

$$x_0^C = 5\,419\,000 \text{ м};$$

$$y_0^C = 4\,625\,000 \text{ м}.$$

Визначаємо прирости Δx_m та Δy_m в метрах, за формулою (1.8):

$$\Delta x_m = x_C - x_0^C = 5\,419\,136 - 5\,419\,000 = 136 \text{ м};$$

$$\Delta y_m = y_C - y_0^C = 4\,625\,517 - 4\,625\,000 = 517 \text{ м}.$$

Визначаємо прирости $\Delta x_{осн}$ і $\Delta y_{осн}$ на карті, в основах поперечного масштабу:

$$\Delta x_{осн} = \Delta x_m / (2 \times M) = 136 / (2 \times 100) = 0,68 \text{ осн};$$

$$\Delta y_{осн} = \Delta y_m / (2 \times M) = 517 / (2 \times 100) = 2,58 \text{ осн}.$$

Відкладаємо обчислене значення $\Delta x_{осн}$ по вертикалі вздовж лівої і правої сторони квадрату, в якому знаходиться потрібна точка. За напрямком двох отриманих точок відкладаємо $\Delta y_{осн}$ (від лівої отриманої точки). В результаті отримуємо точку C з координатами $x_c = 5\,419\,136 \text{ м}$, $y_c = 4\,625\,517 \text{ м}$.

Завдання 5. Визначити віддаль між точками A та C графічним (поперечний масштаб) та аналітичним способами. Для обчислення відстані аналітичним способом необхідно знати прямокутні координати точок A та C . Тому використаємо координати точки A визначені в завданні 3 та координати точки C задані в завданні 4.



Розв'язування. За поперечним масштабом: вимірюємо відстань

між точками A та C на карті в основах поперечного масштабу: $l_{AC} = 4,70$ см; обчислюємо відстань між точками A та C на місцевості, за формулою (1.3): $L_{AC} = l_{AC} \times 2 \times M$ (м) = $4,70 \times 2 \times 100 = 940$ м.

Аналітичним способом: обчислюємо віддаль між точками A та C , в метрах, за формулою (1.4) (координати підставляються в метрах):

$$\begin{aligned} L_{AC} &= \sqrt{(x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2} = \\ &= \sqrt{(5419136 - 5418494)^2 + (4625517 - 4624830)^2} = \sqrt{642^2 + 687^2} = \\ &= \sqrt{412164 + 471969} = \sqrt{884133} = 940,28 \text{ м.} \end{aligned}$$

Контрольні запитання:

1. Що називають планом і картою?
2. Умовні знаки планів і карт.
3. Масштаби планів і карт.
4. Вимірювання відстаней за планом і картою.
5. Прямокутна система координат.
6. Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера.
7. Визначення прямокутних координат точки на плані чи карті.
8. Побудова точки на плані чи карті за її прямокутними координатами.

Лабораторна робота 2. (2 год)

Рішення задач за горизонталями на карті

- 2.1. Визначення висот точок.
- 2.2. Визначення ухилу поверхні та крутизни схилу.
- 2.3. Побудова масштабу закладень.
- 2.4. Побудова лінії заданого ухилу.
- 2.5. Побудова профілю за заданим напрямком.

Прилади і обладнання: топографічна карта, калькулятор, вимірник, лінійка, олівець, гумка.

2.1. Висотою точки називається віддаль, визначена за прямовисною лінією, від точки на поверхні Землі до певної рівневої поверхні, прийнятої за початок відліку. Якщо висоти точок визначені відносно основної рівневої поверхні, то такі висоти називаються **абсолютними** (рис. 2.1). На території України за основну рівневу поверхню прийнято середній рівень Балтійського моря і відлік висот ведеться від нуля Кронштадського футштоку (Балтійська система висот). Висоти точок обчислені відносно деякої умовної рівневої поверхні називаються **відносними** або **умовними**. Вертикальна проекція відстані однієї точки відносно іншої називається **перевищенням** і обчислюється за формулою:

$$h_{AB} = H_B - H_A. \quad (2.1)$$

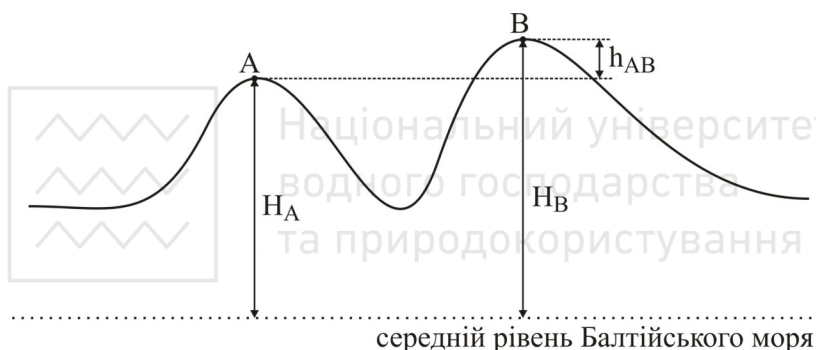


Рис. 2.1. Висоти точок та перевищення

Рельєф місцевості це сукупність нерівностей земної поверхні. В даний час рельєф на топографічних картах зображують горизонталями в поєднанні зі способом висот, причому на одному квадратному дециметрі карти підписують, як правило, не менше п'яти висот. **Горизонталь** – це крива лінія, яка з'єднає точки з однаковими висотами. *Основні властивості горизонталей* такі:

- 1) горизонталі є кривими і замкнутими лініями;
- 2) горизонталі ніколи не перетинаються (за винятком нависаючих схилів, які показано на рис. 2.2);
- 3) чим ближча віддаль між горизонталями, тим крутіший схил.

Побудову горизонталей на карті виконують за висотами характерних точок рельєфу місцевості.

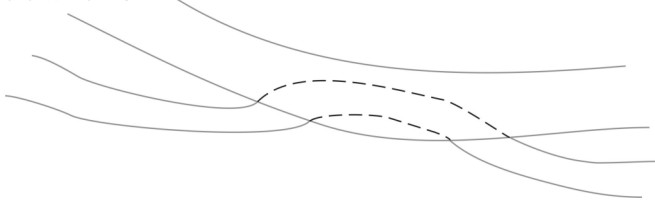


Рис. 2.2. Приклад нависаючих схилів

Для того, щоб зобразити горизонталями рельєф ділянки місцевості, потрібно перетнути його декількома горизонтальними площинами, розташованими на однаковій відстані по висоті одна від одної (рис. 2.3). Ця відстань, між сусідніми січними площинами по висоті, називається **висотою перерізу рельєфу** і позначається літерою h . Висоту перерізу рельєфу підписують на картах під лінійним масштабом (позиція 17 на рис. 1.4). Віддаль на плані між сусідніми горизонталями називається **закладенням** горизонталей і позначається літерою a . Для визначення напрямку схилу за горизонталями на них показують **бергштрихи** – короткі штрихи, перпендикулярні до горизонталей і направлені за схилом вниз.

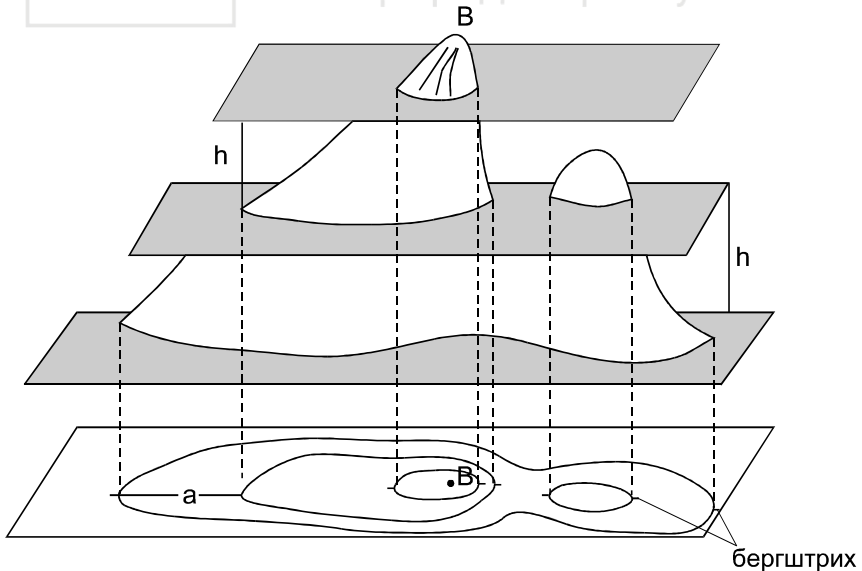


Рис. 2.3. Принцип побудови горизонталей



Основні горизонталі мають висоти, кратні висоті перерізу рельєфу h . Для вираження характерних особливостей рельєфу, а також на рівнинних територіях, рекомендується проводити напівгоризонталі – вони проводяться штриховими лініями через половину перерізу рельєфу на окремих ділянках карти (де відстань між основними горизонталями є дуже великою). Кожну п'яту основну горизонталь при $h = 1, 2, 5, 10$ м і кожну четверту при $h = 0,5$ і $2,5$ м зображують потовщеною і підписують, орієнтуючи основи цифр вниз за схилом.

Визначення висот точок за горизонталями:

а) точка A (рис. 2.4) знаходиться на горизонталі.

Як видно з рисунку, висота точки A дорівнює висоті горизонталі, тобто $H_A = 150,00$ м.

б) точка B (рис. 2.4) знаходиться між горизонталями.

Висоту обчислюємо за формулою:

$$H_B = H_0 + \frac{a}{d}h, \quad (2.2)$$

де H_0 – висота меншої горизонталі, м;

a – відстань від меншої горизонталі до точки B , мм;

d – закладення горизонталей, мм;

h – висота перерізу рельєфу, м.

Приклад. На рис. 2.4 висота меншої горизонталі $H_0 = 150$ м, відстань від меншої горизонталі до точки B $a = 5$ мм, закладення горизонталей $d = 10$ мм, висота перерізу рельєфу $h = 2,5$ м. Тоді висота точки B , згідно формули (2.2) рівна

$$H_B = 150,00 + \frac{5}{10}2,5 = 151,25 \text{ м.}$$

в) точка C (рис. 2.4) знаходиться в середині замкненої горизонталі.

Висоту обчислюємо за формулою:

$$H_C = H_0 \pm \frac{1}{2}h. \quad (2.3)$$

Знак «+» береться якщо точка C знаходиться всередині підвищення, знак «-» – якщо всередині пониження.

Приклад. Як видно з рис. 2.3, точка C знаходиться в середині підвищення, а висота меншої горизонталі $H_0 = 157,5$ м. Отже



$$H_C = 157,50 + \frac{1}{2} 2,5 = 158,75 \text{ м.}$$

г) точка D (рис.2.4) знаходиться *не в центрі замкнutoї горизонталі*.

Висоту точки обчислюємо за формулою (2.2), з тією різницею, що замість висоти перерізу рельєфу h підставляємо перевищення вершини (в даному випадку точки C) над меншою горизонталлю.

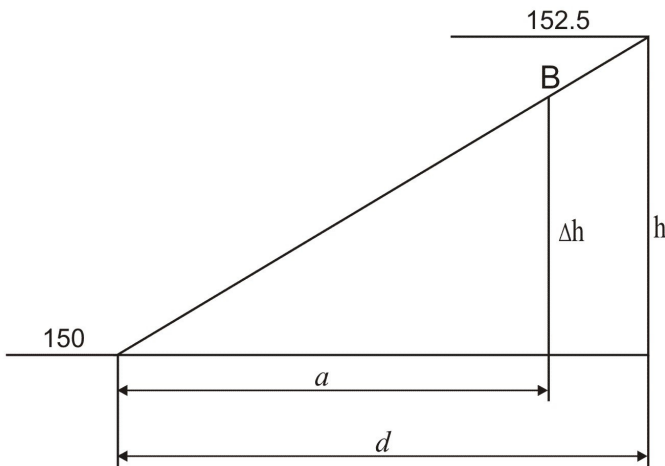
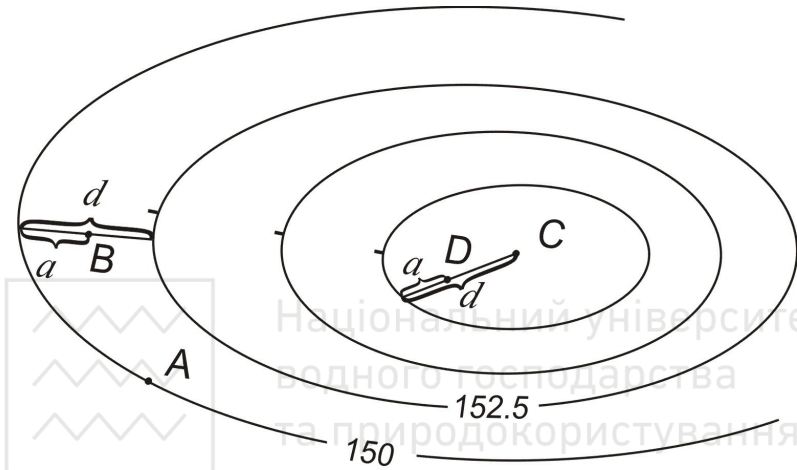


Рис. 2.4. Визначення висот точок за горизонталями



Тобто, спочатку необхідно знайти висоту точки C ($H_C=158,75$ м – див. пункт ϵ). Далі знаходимо висоту меншої горизонталі $H_0=157,5$ м, відстань від меншої горизонталі до точки D $a=4$ мм та відстань від горизонталі до точки C $d=9$ мм. Потім обчислюємо висоту т. D :

$$H_D = H_0 + \frac{a}{d}(H_C - H_0) = 157,50 + \frac{4}{9}(158,75 - 157,50) = 158,06 \text{ м.}$$

2.2. Крутизна схилу – це ступінь пониження або підвищення місцевості. Мірою крутизни схилу є ухил, який визначають за формулою:

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}, \quad (2.4)$$

де i – ухил (безрозмірна величина);

ν – кут нахилу;

h – перевищення між точками, м;

d – закладення (горизонтальна відстань між точками на місцевості), м.

Перетнемо схил гори горизонтальними площинами при висоті перетину h (рис. 2.5). На ділянці BC схил має кут нахилу ν_1 , на ділянці CD – кут нахилу ν_2 . Відстань d_1 – це горизонтальне прокладення лінії схилу BC (закладення). Для визначення ухилу між точками B і C , які знаходяться на сусідніх горизонталях, визначають закладення d_1 на топографічній карті і перевищення h_{BC} між точками. Використовуючи формулу (2.4), знаходять ухил i_{BC} . Аналогічно визначають ухил i_{CD} – за закладенням d_2 та перевищенням h_{CD} між точками C і D . *Приклад.* На рис. 2.5 висота перерізу рельєфу $h_{BC} = h_{CD} = 2,5$ м, закладення $d_1 = 1,8$ см = 36 м (в масштабі 1:2 000), $d_2 = 0,9$ см = 18 м. Тоді ухили, згідно формули (2.4) рівні $i_{BC} = 2,5 \text{ м} / 36 \text{ м} = 0,0694$, $i_{CD} = 2,5 \text{ м} / 18 \text{ м} = 0,1389$. Ухили отримані за (2.4) є безрозмірними величинами. Крім того, ухили ліній можна виражати у відсотках (%) або у проміле (‰). *Приклад.* $i_{CD} = 0,1389 = 13,89\% = 138,9\%$. Для отримання ухилу у відсотках результат обчислений за (2.4) домножується на 100, а у проміле – на 1000.

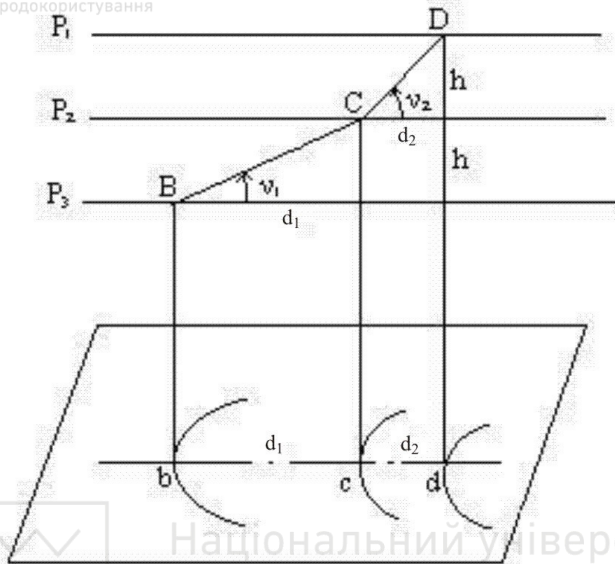


Рис. 2.5. Визначення ухилу

У випадку, коли необхідно визначити ухил вздовж лінії, крайні точки якої не лежать на горизонталях, спочатку необхідно визначити висоти цих точок. *Приклад.* Необхідно визначити ухил вздовж лінії BC (рис. 2.4). Висоти точок B та C визначені у п. 2.1 (пункти b , c) та становлять відповідно $151,25$ м та $158,75$ м. Відстань між точками $d_{BC} = 3,8$ см, що в масштабі $1:2\,000$ становить 76 м. Тоді ухил:

$$i_{BC} = \frac{H_C - H_B}{d_{BC}} = \frac{158,75 - 151,25}{76} = 0,0987.$$

2.3. На практиці, для визначення ухилу i будують спеціальний графік, який називають **масштабом закладень** (рис. 2.6). Він будується так:

- задаються значеннями ухилів на горизонтальній осі, які відкладають в довільному масштабі;
- обчислюють закладення (на місцевості) в метрах, для заданих ухилів i за формулою:



$$d = \frac{h}{i}, \quad (2.5)$$

де h зазвичай береться рівним висоті перерізу рельєфу;

- перпендикулярно до горизонтальної осі відкладають, в масштабі карти, закладення обчислені за (2.5) для кожного значення ухилу;
- сполучають отримані точки плавною кривою.

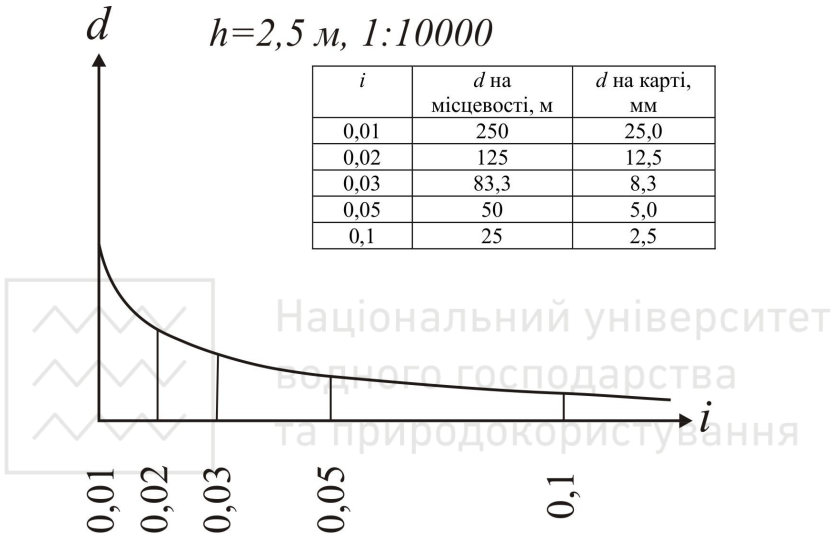


Рис. 2.6. Масштаб закладень для ухилів

Якщо тепер потрібно визначити ухил для конкретного закладення d , розхилом вимірника, рівним d , знаходять відповідне місце на графіку і прочитують значення ухилу (рис. 2.7). Знак ухилу беруть «+», якщо висоти за напрямком лінії зростають та «-» – якщо спадають.

Масштабом закладень користуються для визначення ухилу між точками з перевищенням рівним висоті перерізу рельєфу (тобто між точками, які знаходяться на сусідніх горизонталях).

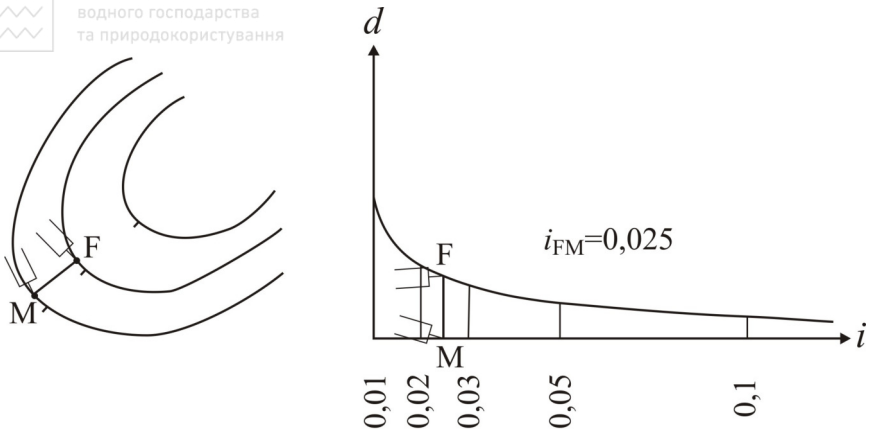


Рис. 2.7. Визначення ухилів за масштабом закладень

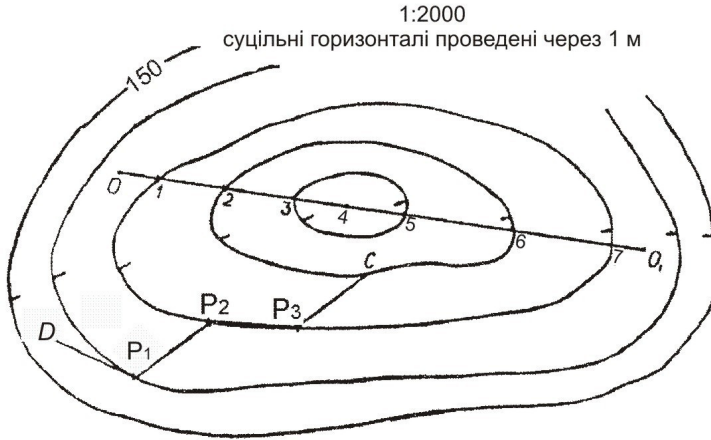
2.4. Нехай на карті (рис. 2.8, а) задано точки D і C , між якими необхідно провести лінію так, щоб жоден відрізок не мав ухилу більшого, ніж заданий.

Розрахуємо величину закладення $d_{гран}$, для заданого ухилу і перерізу рельєфу, за (2.5). Якщо початкова (кінцева) точка лежить між горизонталями, то необхідно знайти закладення $d'_{гран}$. Для цього визначають перевищення між початковою (кінцевою) точкою і горизонталлю та обчислюють закладення $d'_{гран}$, за (2.5) Значення необхідного закладення беремо в розхил вимірника i з точки D засікаємо на сусідній горизонталі точку P_1 , потім переставляємо вимірник в точку P_1 і так само засікаємо на наступній горизонталі точку P_2 , і т.д. Якщо розхил вимірника менший ніж відстань між горизонталями, то засічку роблять у найбільш вигідному напрямку (як правило, в перпендикулярному до горизонталей). З'єднавши всі точки, одержуємо ламану лінію із ухилом, який не перевищує заданого. Дана задача має декілька варіантів розв'язання, з яких вибираємо найкращий.

2.5. Профіль місцевості – зменшене зображення вертикального розрізу земної поверхні за заданим напрямком. Як правило профіль будується у двох масштабах – горизонтальному і вертикальному. Горизонтальний масштаб, зазвичай, приймається рівним масштабу карти чи плану, а вертикальний – в 10 разів крупнішим.



а)



б)

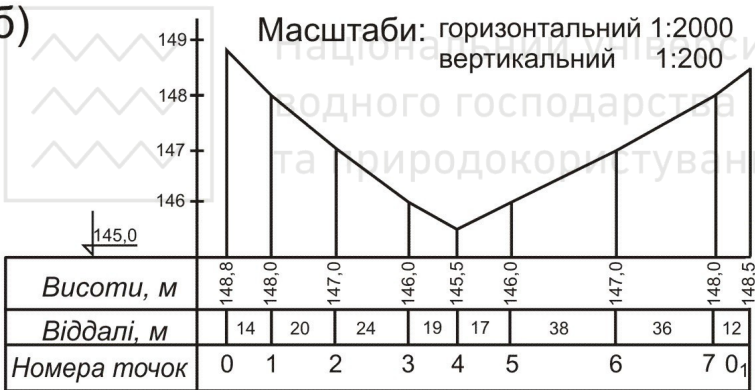


Рис. 2.8. Побудова профілю і лінії з заданим ухилом:

а) побудова лінії із заданим ухилом; б) побудова профілю місцевості в заданому напрямку

Побудова профілю місцевості в заданому напрямку виконується таким чином: на топографічній карті (рис. 2.8, а) даного масштабу (1:2 000) задають напрямок 00_1 , за яким необхідно побудувати профіль. Точки перетину лінії з горизонталями (1, 2, 3, 5, 6, 7) і характерними точками рельєфу (4) нумерують. На аркуші міліметрового паперу будують графи віддалей, висот і номерів точок (рис. 2.8, б). В графу віддалей переносять з карти точки



перетину і записують довжини інтервалів між ними на місцевості (в метрах). В графу *висот* записують значення висот у точках перетину і від лінії умовного горизонту будують перпендикуляри, відкладаючи на них висоти у вертикальному масштабі. Кінці перпендикулярів з'єднують ламаною лінією і одержують профіль місцевості у заданому масштабі.

Приклади типових завдань:

Завдання 1. За топографічним планом визначити висоти точок D та P_1 (рис. 2.8, а) (P_1 – на горизонталі, D – між горизонталями).

Розв'язування.

а) визначаємо січення горизонталей на плані: $h=1$ м; знаходимо найближчу підписану горизонталь, її висота $H=150,00$ м; за бергштрихами визначаємо в який бік висоти зростають; визначаємо висоту горизонталі на якій знаходиться точка P_1 , а отже й висоту точки P_1 : $H_{P_1}=H_{гор}=149,00$ м.

б) відповідно до рис. 2.4 проводимо через точку D найкоротшу лінію між сусідніми горизонталями і вимірюємо її довжину $d=7$ мм; вимірюємо на плані відстань від горизонталі з меншою висотою до точки D : $a=3$ мм; визначаємо січення горизонталей на плані: $h=1$ м; визначаємо висоту меншої горизонталі $H_{гор}=149,00$ м; обчислюємо висоту точки D :

$$H_D = H_{гор} + \frac{a}{d} h = 149,00 + \frac{3}{7} 1 = 149,43 \text{ м.}$$

Завдання 2. Визначити крутизну схилу між точками за лінією OO_1 (рис. 2.8, а) (між точками $O-O_1$, $O-1$, $7-O_1$ за (2.4), а між відрізками лінії 1-2, 2-3, ... – за масштабом закладень).

Розв'язування.

Сполучаємо точки O та O_1 прямою лінією. Точки перетину лінії OO_1 з горизонталями нумеруємо 1, 2, 3, ..., 7.

Примітка: у випадку, коли лінія OO_1 перетинає лінію водорозділу (водозбору), то в найвищій (найнижчій) точці ставиться додаткова точка, яка також нумерується. В даному випадку лінія OO_1 перетинає котловину в найнижчій точці, яку позначимо 4.

Визначаємо загальний ухил відрізка OO_1 , за (2.4):

$$i_{OO_1} = \frac{H_{O_1} - H_O}{d_{OO_1}} = \frac{148,5 - 148,8}{180,0} = -0,0017,$$



де H_O, H_{O_I} – висоти точок O та O_I , м;

$d_{O O_I}$ – відстань між точками O та O_I : $d_{O O_I} = 180,0$ м.

Аналогічно визначаємо ухил за всіма відрізками, перевищення між якими не дорівнює висоті перерізу рельєфу:

$$i_{O-1} = \frac{H_1 - H_O}{d_{O-1}} = \frac{148,0 - 148,8}{14} = -0,0571;$$

$$i_{3-4} = \frac{H_4 - H_3}{d_{3-4}} = \frac{145,5 - 146,0}{19} = -0,0263;$$

$$i_{4-5} = \frac{H_5 - H_4}{d_{4-5}} = \frac{146,0 - 145,5}{17} = +0,0294;$$

$$i_{7-O_I} = \frac{H_{O_I} - H_7}{d_{7-O_I}} = \frac{148,5 - 148,0}{12} = +0,0417.$$

Ухил між точками, що знаходяться на горизонталях визначається за допомогою масштабу закладень, який необхідно побудувати. За (2.5) обчислюємо закладення для заданих ухилів:

i	d на місцевості, м	d на карті, мм
0,005	200	100
0,01	100	50
0,02	50	25
0,03	33,3	16,6
0,05	20	10
0,1	10	5
0,2	5	2,5
0,3	3,3	1,6
0,5	2	1

За обчисленими значеннями закладень на карті будуюмо масштаб закладень.

Для визначення ухилів, за побудованим масштабом закладень, беремо в розхил вимірника відстань між точками O та I і прикладаємо до перетину з масштабом закладень (як показано на рис. 2.7). Знак перед ухилом ставимо «+» – якщо кінцева точка лінії вище за початкову, та «-» – якщо кінцева точка нижче ніж початкова. Аналогічно визначаємо ухили між всіма точками, перевищення між якими рівне перерізу рельєфу:



Національний університет
водного господарства
та природокористування
 $i_{1-2} = -0,050;$
 $i_{5-6} = +0,026;$

$i_{2-3} = -0,042;$
 $i_{6-7} = +0,028;$

Завдання 3. Побудувати лінію AB з ухилом, що не перевищує 0,03.

Розв'язування. Обчислюємо величину закладення на місцевості:

$$d_{\text{гран}} = \frac{h}{i} = \frac{1}{0,03} = 33,33 \text{ м,}$$

де h – висота перерізу рельєфу, м;

$i = 0,03$ – заданий ухил.

Обчислюємо величину закладення на плані масштабу 1:2 000:

$$d_{\text{гран}} = 33,33 / 20 = 1,67 \text{ см.}$$

Подальший принцип побудови описаний в п. 2.3.

Завдання 4. Побудувати профіль вздовж лінії AB .

Розв'язування. Принцип побудови описаний в п. 2.4.

Контрольні запитання:

1. Абсолютні і відносні висоти точок.
2. Рельєф місцевості, горизонталь, висота перерізу рельєфу, закладення.
3. Крутизна схилу місцевості.
4. Побудова масштабу закладень, визначення ухилів за ним.
5. Побудова профілю за заданим напрямком.

Лабораторна робота 3. (2 год)

Будова і перевірки нівелірів

- 3.1. Будова нівелірів Н-3, Н-3К і нівелірних рейок.
- 3.2. Знімання відліків з рейки. Визначення п'ятки рейки.
- 3.3. Перевірки нівелірів.

Прилади і обладнання: нівелір НЗ (Н-3К), штатив, комплект рейок, висок.



3.1. Нівелір – це оптико-механічний прилад, призначений для побудови в просторі горизонтального променя. В перекладі слово нівелір означає *рівень*. Нівелірами виконують геометричне нівелювання для визначення перевищення між двома точками.

За точністю нівеліри поділяють на високоточні (призначені для нівелювання I та II класів – Н-05, Ni002), точні (застосовуються для нівелювання III та IV класів – Н-3, Н-3К, Н-3КЛ) та технічної точності (використовуються при виконанні технічного нівелювання – Н-10, Н-10К). За способом установки візирного променя в горизонтальне положення – поділяються на нівеліри з циліндричним рівнем при зоровій трубі (Н-3, Н-10) та на нівеліри з компенсатором (Н-3К, Н-10К).

У назві нівеліра літера «Н» означає нівелір, «К» – наявність компенсатора нахилу, «Л» – наявність лімба горизонтального круга. Цифра в шифрі нівеліра означає середню квадратичну похибку (в міліметрах) на 1 кілометр подвійного нівелірного ходу.

Нівелір Н-3 (Н-3К) призначений для нівелювання III і IV класів, але його застосовують і при технічному нівелюванні. Загальний вигляд нівелірів Н-3 та Н-3К показаний на рис. 3.1 та 3.2.

Будова нівеліра Н-3. Основними частинами нівеліра Н-3 (рис. 3.1) є наступні:

1 – піднімальні гвинти – для приведення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт;

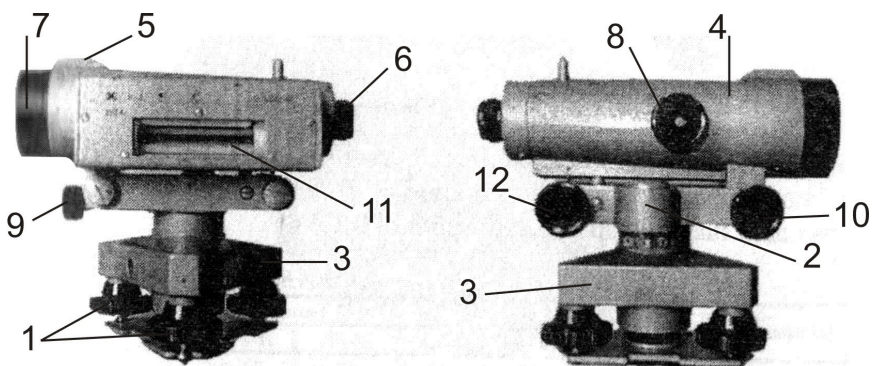


Рис. 3.1. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3



- 2 – *круглий рівень* – для встановлення осі обертання нівеліра в прямовисне положення;
- 3 – *підставка нівеліра*;
- 4 – *зорова труба*;
- 5 – *візир* – для швидкого, приблизного наведення на рейку;
- 6 – *окуляр* – для наведення чіткості сітки ниток;
- 7 – *об'єктив*;
- 8 – *фокусуєчий гвинт (кремальєра)* – для отримання чіткого зображення рейки в полі зору зорової труби;
- 9 – *затискний (закріпний) гвинт* – для закріплення зорової труби в нерухомому положенні;
- 10 – *навідний (мікрометричний) гвинт* – для точного наведення зорової труби на рейку в горизонтальній площині (працює при загвинченому затискному гвинті);
- 11 – *циліндричний рівень* – для встановлення лінії візування (візирної осі) в горизонтальне положення;
- 12 – *елеваційний гвинт* – для приведення кінців бульбашки циліндричного рівня в контакт (нуль-пункт).

Над циліндричним рівнем розташований призмовий пристрій, який передає зображення положення бульбашки в поле зору труби. Таким чином, спостерігачу в полі зору труби видно кінці бульбашки рівня і рейку, з якої знімають відлік (рис. 5.4). Якщо бульбашка рівня знаходиться в нуль-пункті, то зображення її в полі зору труби утворює в верхній частині один загальний напівовал («параболу»).

Будова нівеліра Н-3К. Основними частинами нівеліра Н-3К (рис. 3.2) є такі:

- 1 – *піднімальні гвинти*;
- 2 – *круглий рівень*;
- 3 – *дзеркало* – для підсвічування круглого рівня;
- 4 – *підставка нівеліра*;
- 5 – *зорова труба*;
- 6 – *окуляр*;
- 7 – *об'єктив*;
- 8 – *фокусуєчий гвинт (кремальєра)*;
- 9 – *навідний (мікрометричний) гвинт*.

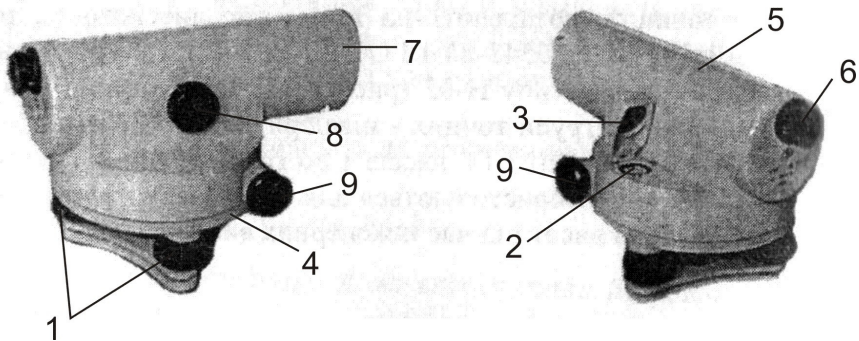


Рис. 3.2. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-ЗК

У нівелірі Н-ЗК відсутні циліндричний рівень і елеваційний гвинт, тому що візирна вісь встановлюється автоматично в горизонтальне положення призмовим компенсатором (при кутах нахилу до 15°). **Компенсатор** – це пристрій, який автоматично встановлює промінь візування (візирну вісь) у горизонтальне положення при невеликих нахилах зорової труби.

Нівелірні рейки. Нівелірна рейка служить робочою мірою вимірювання перевишень. *За точністю* вони поділяються на високоточні (РН-05), точні (РН-3) та технічні (РН-10). Літери означають – «Р» – рейка, «Н» – нівелірна, *цифри* – вказують середню квадратичну похибку (в міліметрах) на 1 кілометр подвійного нівелірного ходу. Для нівелювання I, II та III класів використовуються суцільні рейки з круглим рівнем, причому для I та II класів – інварні. У складних рейках після цифр додається літера «С» (РН-10С).

Рейка РН-10 (рис. 3.3) – двостороння, шашкова, ціна поділки (шашки) 10 мм . Це дерев'яний брусок шириною $8\text{--}10\text{ см}$, товщиною $2\text{--}3\text{ см}$, виготовлений з сухої деревини. З боків рейки закріплені дві ручки (2). Кінці рейки для міцності оковують металевими пластинами (1). На одній стороні нанесені чорні і білі поділки (*чорна сторона*), на іншій – червоні і білі (*червона сторона*). Поділ виконаний у вигляді дециметрів, розділених на 10 частин . Кожен дециметр підписаний двозначним числом (3). Початок кожного дециметра фіксується тонким горизонтальним штрихом (4), від



якого будується п'ятисантиметрова фігура у вигляді літери «Е» (5). На чорній стороні поділки починаються від нуля, який суміщений з нижнім кінцем (фізичною п'яткою) рейки. На червоній стороні поділки зміщені і починаються *наприклад* з 4683, 4783, 4883. Число з якого починаються відліки на червоному боці рейки називається **п'яткою рейки**. П'ятка рейки обчислюється як різниця відліків знятих з червоної і чорної сторін рейки. Залежно від того, яке зображення буде зорова труба нівеліра дециметрові підписи можуть бути *прямими* або *оберненими* (перевернутими). Як правило виготовляють рейки три- і чотириметрові. Рейка РН-3 має аналогічну конструкцію, але є суцільною і обладнана круглим рівнем.

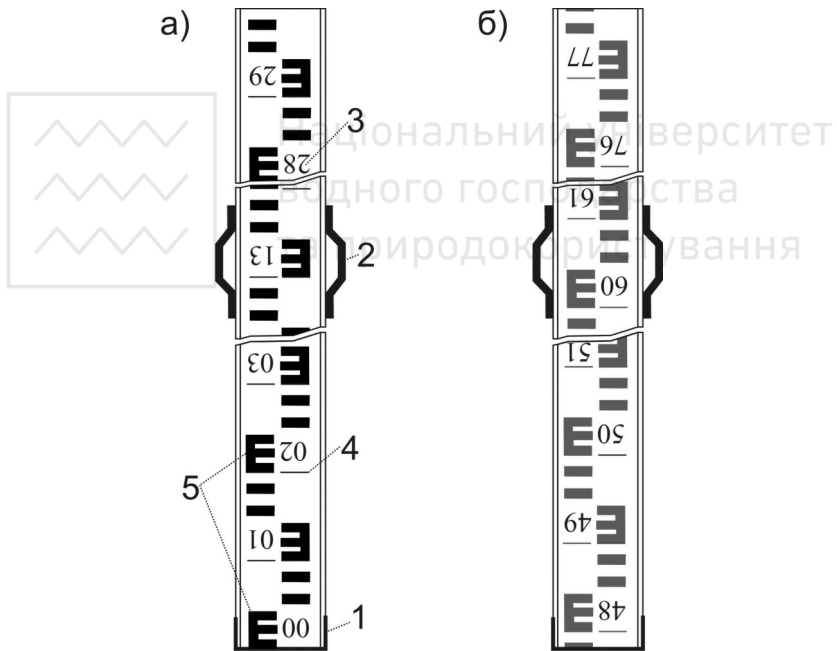


Рис. 3.3. Рейка РН-10 для нівеліра з оберненим зображенням:
а) чорний бік; б) червоний бік

3.2. В полі зору труби (рис. 3.4) видно: вертикальний штрих (1) сітки ниток; середній (2), верхній (3) і нижній (4) – горизонтальні



штрихи сітки ниток, а також кінці бульбашки циліндричного рівня (5) і рейку з поділками (6).

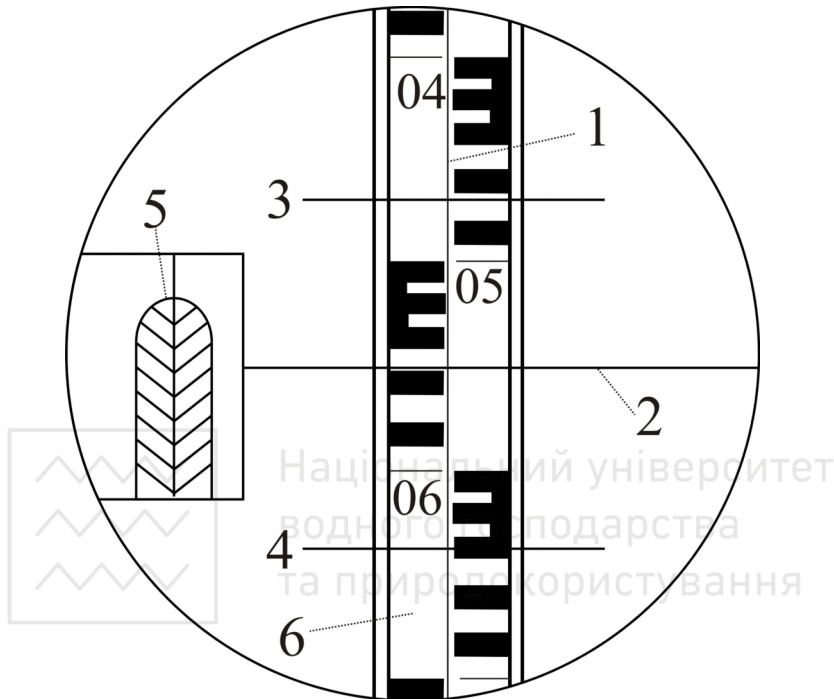


Рис. 3.4. Поле зору труби нівеліра Н-3

Перед зніманням відліку з рейки необхідно:

- 1) встановити нівелір на штатив і піднімальними гвинтами вивести бульбашку круглого рівня на середину (в нуль-пункт);
- 2) приблизно навести зорову трубу на рейку за допомогою візир та зафіксувати напрям наведення закріпним гвинтом;
- 3) досягнути чіткого зображення рейки в полі зору труби фокусуючим гвинтом (кремальєрою);
- 4) досягнути чіткого зображення сітки ниток в полі зору труби діоптрійним кільцем окуляра;
- 5) точно навести зорову трубу на рейку (сумістити вертикальний штрих сітки ниток з центром рейки) за допомогою навідного гвинта;



6) привести бульбашку циліндричного рівня на середину за допомогою елеваційного гвинта. При цьому зображення кінців бульбашки циліндричного рівня в полі зору труби повинні утворити «параболу» – (5) (рис. 3.4).

Відлік з рейки знімається в міліметрах і складається з *чотирьох значащих цифр*. Відлік – відстань від нуля шкали рейки до променя даного штриха сітки. *Перші дві цифри* – номер дециметра, *третья* – число повних сантиметрових поділок від початку дециметра до даного штриха, *четверта* – десяті долі наступної сантиметрової поділки (інтерполюються на око). В нашому випадку маємо на рис. 5.4 – за верхнім штрихом – 0472, за середнім – 0559, за нижнім – 0646 мм.

За допомогою віддалемірних штрихів сітки ниток можна визначити віддаль від нівеліра до рейки. Віддалемірні відстані вираховують як *різниці між відліками за нижнім та верхнім штрихами* (в нівелірів з прямим зображенням навпаки – верхній мінус нижній), помножених на коефіцієнт віддалеміра ($K=100$). В нашому випадку на рис. 3.4: $D=(646-472) \times 100=17400 \text{ мм} = 17,4 \text{ м}$.

Геометричне нівелювання для визначення перевищень між точками може виконуватись двома способами: *нівелюванням з середини* (при рівності плеч) та *нівелюванням вперед* (при нерівності плеч). *Перевищення* між точками визначається як різниця між відліками на задню та на передню рейки (детальніше геометричне нівелювання розглянуто в лабораторній роботі 4).

3.3. Під перевірками розуміють контроль правильності взаємного положення осей і частин приладу. У випадку виявлення невідповідності, її усувають шляхом *юстування (виправлення)*. Схема основних осей нівеліра показана на рис. 3.5.

Основні геометричні осі нівеліра наступні:

Візна вісь зорової труби VV_1 – уявна пряма, що проходить через центр сітки ниток і оптичний центр об'єктива.

Вертикальна вісь обертання нівеліра ZZ_1 – уявна пряма, що проходить через центр обертання зорової труби та підставки.

Вісь циліндричного рівня UU_1 – уявна пряма, що є дотичною до внутрішньої поверхні ампули рівня в точці нуль-пункту.



водного господарства
та природокористування

Вісь круглого рівня KK_1 – уявна пряма, що з'єднує центр сферичної поверхні рівня і точку нуль-пункту.

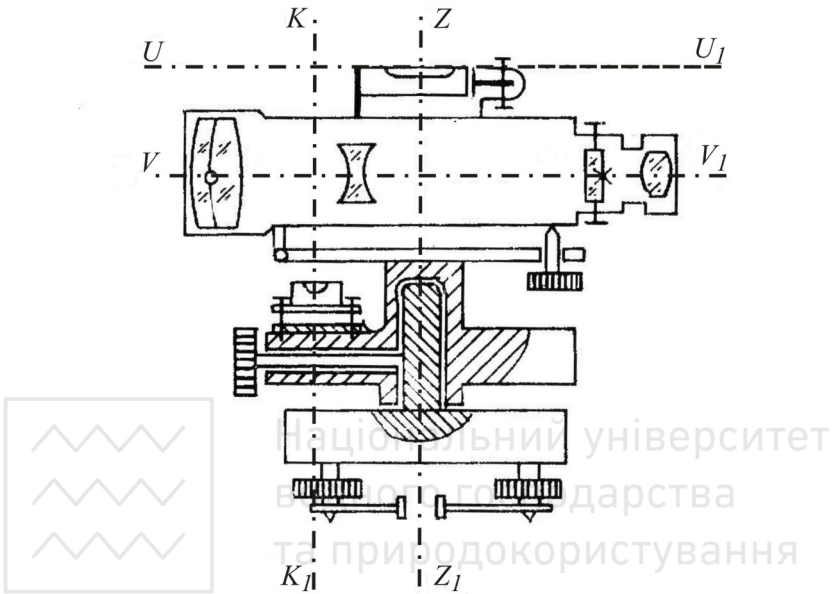


Рис. 3.5. Схема основних осей нівеліра з циліндричним рівнем і елевaційним гвинтом

Перевірки нівеліра Н-3

Перевірка круглого (сферичного) рівня. Вісь круглого рівня KK_1 повинна бути паралельною осі обертання нівеліра ZZ_1 .

Виконання перевірки. За допомогою трьох піднімальних гвинтів бульбашку круглого рівня приводять в нуль-пункт і повертають нівелір на 180° . Якщо бульбашка залишилась на середині (в нуль-пункті), то умова виконана, а якщо вийшла за межу круга рівня, то виконують виправлення.

Юстування. На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуль-пункта виправними гвинтами рівня. Після виправлення перевірку виконують повторно.



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

Виконання. Приводять нівелір в робоче положення і на відстані близько 10 м наводять край середньої нитки на добре видиму чітку точку, наприклад, край шашки рейки. Навідним гвинтом зміщують трубу так, щоб на вибрану точку потрапив інший край середньої нитки. Якщо край нитки відхиляється по вертикалі на 2 мм і більше, то виконують юстування.

Юстування. Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають гвинти, якими кріпиться окуляр до труби. Потім повертають сітку ниток так, щоб горизонтальна нитка співпала з вибраною точкою. Далі закріплюють гвинти. Після вправлення перевірку повторюють.

Перевірка головної умови нівеліра. Вісь циліндричного рівня UU_1 повинна бути паралельною візирній осі зорової труби VV_1 .

Виконання. Перевірка виконується подвійним нівелюванням: з середини та вперед. На місцевості закріплюють дві точки A та B на відстані одна від одної приблизно $70\text{--}80\text{ м}$ (рис. 3.6, а). Нівелір встановлюють строго посередині між точкам A і B та знімають відліки з чорних сторін рейок встановлених на цих точках – $a_1^{чор}$ і $b_1^{чор}$ за середнім штрихом сітки ниток. Потім рейки на точках повертають навколо своєї осі та знімають відліки з червоних сторін рейок – $a_1^{чер}$ і $b_1^{чер}$. За знятими відліками обчислюють перевищення за чорними та червоними сторонами: від відліку на задній рейці віднімають відлік на передній рейці, тобто:

$$\begin{aligned} h_1^{чор} &= a_1^{чор} - b_1^{чор}; \\ h_1^{чер} &= a_1^{чер} - b_1^{чер}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

За остаточне значення перевищення h_1 беруть середнє з обчислених перевищень за чорними та червоними сторонами.

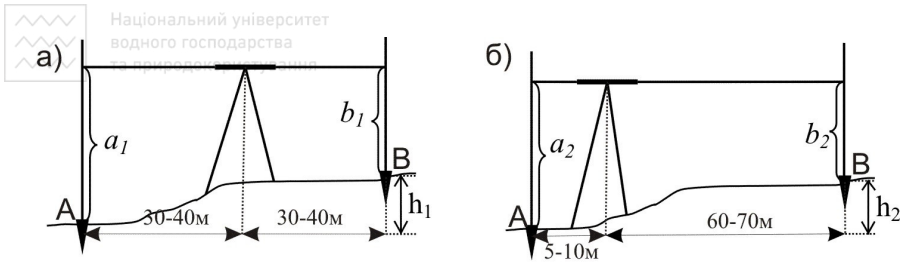


Рис. 3.6. Перевірка головної умови нівеліра:
а) нівелювання при рівності плеч; б) нівелювання при нерівності плеч

Далі нівелір переносять та встановлюють ближче до задньої рейки так, щоб відстань до неї була приблизно 5...10 м (рис. 3.6, б). Знімають відліки на задній і передній рейках на чорній – $a_2^{чор}$, $b_2^{чор}$ та червоній – $a_2^{чер}$, $b_2^{чер}$ сторонах. Після чого обчислюють *перевищення* за формулами:

$$h_2^{чор} = a_2^{чор} - b_2^{чор}; \quad (3.2)$$

$$h_2^{чер} = a_2^{чер} - b_2^{чер}.$$

За остаточне значення перевищення h_2 беруть середнє з обчислених перевищень за чорними та червоними сторонами.

Перевищення h_1 визначене за нівелюванням з середини буде правильним, оскільки в такому випадку компенсується похибка за непаралельність осі циліндричного рівня до візирної осі. Тому обчислюють похибку за формулою:

$$x = h_2 - h_1. \quad (3.3)$$

Якщо $|x| \leq 4$ мм, то умова перевірки виконана, якщо $|x| > 4$ мм, то виконують юстування.

Ююстування. Безпомилковий відлік $b_0^{чор}$ обчислюють за формулою:

$$b_0^{чор} = a_2^{чор} - h_1. \quad (3.4)$$

За допомогою елеваційного гвинта середню нитку сітки встановлюють на обчислений відлік $b_0^{чор}$. В цьому випадку бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля-пункту. Повертають виправні гвинти циліндричного рівня так, щоб бульбашка знову стала в нуля-пункт (в полі зору має бути «парабола»). Після виправлення перевірку повторюють.



Приклади типових завдань:

Завдання 1. Вивчити будову нівеліра. Привести його в робоче положення. Взяти відліки з рейки.

Розв'язування. Вивчити розміщення і призначення основних частин нівеліра. Привести нівелір в робоче положення, як описано в п. 3.2, та зняти відлік з рейки. Замалювати в зошит поле зору зорової труби та знятий відлік.

Завдання 2. Виконати перевірки нівеліра.

Розв'язування. Виконати перевірки приладу, як описано в п. 3.3. Перевірку головної умови нівеліра оформити так, як в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Перевірка головної умови нівеліра Н-3 №15354

Сторона рейки	Відліки з рейки		Перевищення h , мм	Середнє перевищення $h_1^{сер}$, мм
	задня	передня		
Нівелювання з середини				
чорна	1381 (1)	0858 (2)	+523 (5)	+524 (7)
червона	6165 (3)	5640 (4)	+525 (6)	
Нівелювання вперед				
	1764 (8)	1238 (9)	+526 (12)	+526 (14)
	6545 (10)	6019 (11)	+526 (13)	

(1)-(14) – послідовність запису відліків та обчислень.

Похибка за непаралельність осі циліндричного рівня до візирної осі становить: $x = h_2^{сер} - h_1^{сер} = 526 - 254 = 2 \text{ мм} < 4 \text{ мм}$. Отже перевірка головної умови нівеліра виконується.

Контрольні запитання:

1. Класифікація нівелірів.
2. Будова нівелірів Н-3 та Н-3К.
3. Будова нівелірних рейок.
4. Знімання відліків з нівелірних рейок.
5. Перевірки нівелірів. Основні осі нівеліра.
6. Перевірка сферичного рівня.
7. Перевірка сітки ниток.
8. Головна умова нівеліра.



Технічне нівелювання

- 4.1. Робота на станції технічного нівелювання.
- 4.2. Обробка журналу технічного нівелювання.
- 4.3. Зрівноваження нівелірного ходу.

Прилади і обладнання: нівелір Н-3, штатив, комплект рейок.

4.1. При визначенні висот точок місцевості необхідно виконати комплекс геодезичних вимірювань, який називають **нівелюванням**. В 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 сполучених посудин, де рідина завжди знаходиться на однаковому рівні; **барометричне** – перевищення визначають за різницею атмосферного тиску в точках; **механічне** – виконується за допомогою приладів, які автоматично записують профіль місцевості.

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

Хід технічного нівелювання починають та закінчують передачею висот від реперів державної геодезичної мережі на початковий або кінцевий пункт об'єкта. Таку операцію називають **прив'язкою** об'єкта до репера. **Репер** – це пункт з відомою висотою. Розрізняють *замкнуті* та *розімкнуті* нівелірні ходи (рис. 4.1). *Розімкнутий нівелірний хід* розпочинається на одному репері,



а закінчується на іншому. **Замкнутий нівелірний хід** розпочинається і закінчується на одному репері.

Нівелювання виконують на станціях. **Станцією** називають одноразове встановлення нівеліра з наступним зніманням відліків з рейок, 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 чорної та червоної сторін задньої і передньої рейок допускається $\pm 5\text{ мм}$. 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 називаються **проміжними**.



Рис. 4.1. Схема нівелірного ходу:

а) розімкнутого; б) замкнутого

Відомі такі способи геометричного нівелювання: *нівелювання із середини* та *нівелювання вперед* (рис. 4.2). При нівелюванні із середини в точках 1 і 2 встановлюють нівелірні рейки, а посередині між точками – нівелір. Коли нівелювання виконують в 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.

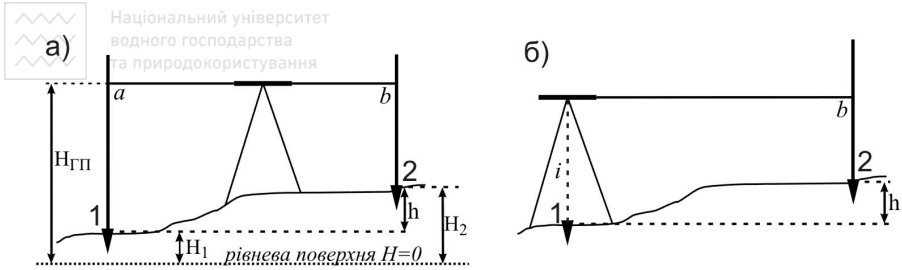


Рис. 4.2. Способи геометричного нівелювання:
а) нівелювання зсередини; б) нівелювання вперед

Підготовчі роботи на станції при *нівелюванні зсередини* (рис. 4.2, а):

- 1) на точках 1 та 2 встановити нівелірні рейки;
- 2) встановити нівелір посередині між точками 1 та 2 (визначити відстані до рейок можна нитковим далекоміром);
- 3) привести нівелір в **робоче положення**:
 - бульбашку круглого рівня необхідно вивести в нуль-пункт за допомогою піднімальних гвинтів;
 - навести зорову трубу на задню рейку і кремальєрою добитися чіткого зображення поділок на рейці та сітки ниток (за допомогою окуляра);
 - привести бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт при допомозі елеваційного гвинта;
- 4) зняти відліки з рейок.

Послідовність знімання відліків описана в п. 3.2.

Послідовність зняття відліків на станції є такою:

- а) виконують підготовчі роботи, описані вище;
- б) наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з чорної сторони рейки;
- в) наводять зорову трубу на передню рейку і знімають відліки з чорної та червоної сторін рейки;
- г) наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з червоної сторони рейки;
- д) якщо на станції є проміжні точки, то задню рейку послідовно встановлюють на ці точки і знімають відліки лише з чорної сторони.



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

Всі результати спостережень записують у журналі технічного нівелювання (табл. 4.1) і **відразу на станції** для контролю правильності знімання відліків *обчислюють перевищення та п'ятки*. Схема нівелірного ходу до табл. 4.1 показана на рис. 4.3.

Таблиця 4.1

Журнал технічного нівелювання

Дата: 26.10.13 р. Нівелір Н-3 №4675 Спостерігав: Р. Одинець

№ ст	№№ точок	Відліки з рейок			Перевищення h , мм	Середнє перевищ. h_c , мм	Горизонт приладу ГП, м	Висоти точок H , 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)					
	2	1384						165,706
		6169			+211	+1		
2	3	4785	1173			+212		165,919
			5956		+213	+213		
			4783					
	3	1854					167,773	165,919
		6638			+237	+2		
3	4	4784		1848		+238		165,925
	Рп 1		1617			+240		166,159
			6398		+240			
			4781					
Посторінковий контроль		24122(Σz) 24131(Σh) -9 ($\Sigma 2h$) -4,5	24131(Σh)		-9 ($\Sigma 2h$)	$\Sigma h_{вим} = -5$ $\Sigma h_{теор} = 0$ $f_h = -5$ $f_h_{дон} = \pm 35$		

(1)-(9) – послідовність запису відліків та обчислень.

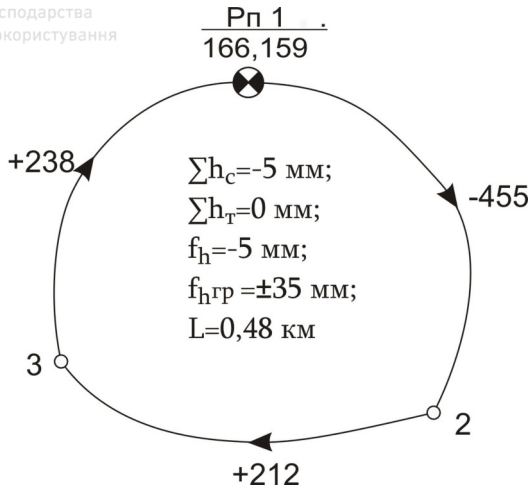


Рис. 4.3. Схема нівелірного ходу до табл. 4.1

4.3. Записавши в журналі відліки (1), (2), (3), (4), обчислюють «п'ятки» рейок (5) і (6), для чого від відліку з червоної сторони рейки віднімають відлік з чорної:

$$(5) = (4) - (1) \quad \text{і} \quad (6) = (3) - (2). \quad (4.1)$$

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 так (див. табл. 4.1):

$$(7) = (1) - (2) \quad \text{і} \quad (8) = (4) - (3). \quad (4.2)$$

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 на станції закреслюють однією похилою лінією, а вимірювання повторюють. На наступних станціях записи і їх контроль виконують в такій самій послідовності.

Далі виконують посторінковий контроль та зрівноваження нівелірного ходу.

Посторінковий контроль обчислень виконують в журналі технічного нівелювання. Для цього в кінці кожної сторінки журналу підбивають суми: ΣZ – сума відліків на задній рейці; $\Sigma П$ –



сума відліків на передній рейці; $\Sigma 2h$ – сума перевищень; $\Sigma h_{сер}$ – сума середніх перевищень. Якщо обчислення зроблені правильно, то мають виконуватись такі рівності:

$$\begin{aligned}\Sigma 3 - \Sigma \Pi &= \Sigma 2h; \\ \frac{1}{2} \Sigma 2h &= \Sigma h_{сер}.\end{aligned}\quad (4.3)$$

Розбіжність допускається на 1-2 мм за рахунок заокруглень при обчисленні середніх перевищень.

4.3. Зрівноваження нівелірного ходу виконується в журналі в такій послідовності:

1) обчислюють суму виміряних перевищень між зв'язуючими точками ходу за формулою:

$$\Sigma h_{вим} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_i, \quad (4.4)$$

де $h_1, h_2, h_3, \dots, h_i$ – виміряні перевищення між зв'язуючими точками;

4) обчислюють теоретичну суму перевищень в ході:

а) для розімкнутого нівелірного ходу:

$$\Sigma h_{теор} = H_K - H_{\Pi}, \quad (4.5)$$

де H_K і H_{Π} – відомі висоти відповідно кінцевого і початкового реперів ходу;

б) для замкнутого нівелірного ходу маємо:

$$\Sigma h_{теор} = H_K - H_{\Pi} = 0; \quad (4.6)$$

5) **нев'язка** обчислюється за формулою:

$$f_h = \Sigma h_{вим} - \Sigma h_{теор}; \quad (4.7)$$

6) допустима (гранична) невязка при технічному нівелюванні вираховується так:

$$f_{h\ доп} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (4.8)$$

де L – довжина ходу в км;

7) перевіряють чи виконується нерівність:

$$f_h \leq f_{h\ доп}. \quad (4.9)$$

Виконання умови (4.9) означає, що вимірювання виконані з достатньою точністю і нівелірний хід можна зрівноважувати. В протилежному випадку необхідно перевірити всі обчислення і в разі потреби виконати повторні вимірювання;



- 8) зрівноваження перевищень полягає в розподіленні отриманої нев'язки з протилежним знаком порівну у кожне виміряне перевищення. Така величина називається **поправкою** \mathcal{G} і обчислюється за формулою:

$$\mathcal{G}_h = -\frac{f_h}{n}, \quad (4.10)$$

де n – кількість перевищень (станцій) в ході.

Поправки обчислюють в мм і записують червоним кольором в колонку «середнє перевищення» над значеннями перевищень. *Контроль*: сума обчислених поправок має бути рівною нев'язці з протилежним знаком:

$$\sum \mathcal{G}_h = -f_h; \quad (4.11)$$

- 9) виправлене перевищення h' отримується шляхом додавання зі своїм знаком до поправки виміряного перевищення, тобто:

$$h'_i = h_i + \mathcal{G}_h; \quad (4.12)$$

Виправлені перевищення записують червоним кольором під значеннями виміряних перевищень. *Контролем* обчислень є виконання рівності:

$$\sum h'_i = \sum h_{теор}; \quad (4.13)$$

- 10) висоти передніх зв'язуючих точок обчислюють шляхом алгебраїчного складання висоти задньої точки з виправленим перевищенням:

$$H_{i+1} = H_i + h'_{i,i+1}. \quad (4.14)$$

Обчислення починають від репера з відомою початковою висотою $H_{п.}$ *Контролем* обчислень є безпомилкове отримання висоти кінцевого репера ходу $H_{к.}$;

- 11) висоти проміжних точок, обчислюють через горизонт приладу.

Горизонт приладу (ГП) – це віддаль, визначена за прямовисною лінією, від рівневої поверхні до горизонтального променя візування нівеліра, яка обчислюється за формулою:

$$ГП = H_0 + a, \quad (4.15)$$

де H_0 – висота зв'язуючої точки на станції;

a – відлік на чорній стороні рейки, встановленій на цій точці.

Тоді висота проміжної точки обчислюється за формулою:

$$H_{пром} = ГП - c, \quad (4.16)$$



де s – відлік на чорній стороні рейки, яка встановлена на проміжній точці.

Приклади типових завдань:

Завдання 1. Виконати технічне нівелювання заданого замкнутого полігону.

Розв'язування. Встановити нівелір посередині між першою і другою заданими точками та привести його в робоче положення. Встановити вертикально рейку на задню точку і навести на неї зорову трубу. Зняти відлік з чорної сторони рейки. Отриманий відлік записати в журнал (див. табл. 4.1) у графу «задня» в позицію (1). Зняти відліки з чорної та червоної сторін рейки на передній точці, (графа «передня», позиції (2) та (3)). Зняти відлік з червоної сторони задньої рейки і записати в журналі – (4). Якщо на станції є проміжні точки, то встановлюють на них рейки і також знімають відліки з чорної сторони та записують в журнал у графу «проміжна». Виконати обчислення на станції та контроль вимірювань за розбіжностями «п'яток» і перевищень. В такій самій послідовності виконати нівелювання на інших станціях.

Завдання 2. Виконати камеральну обробку журналу технічного нівелювання.

Розв'язування. Обчислити посторінковий контроль в журналі нівелювання та виконати зрівноваження нівелірного ходу в послідовності, описаній в п. 4.2-4.3.

Контрольні запитання:

1. Способи геометричного нівелювання.
2. Послідовність роботи на станції при технічному нівелюванні.
3. Як знайти нев'язку відповідно у замкнутому та розімкнутому ходах?
4. Формула для обчислення граничної невязки нівелірного ходу.
5. Як виконати зрівноваження перевищень нівелірного ходу?
6. Обчислення висот зв'язуючих і проміжних точок.
7. При обчисленні висот яких точок використовується горизонт приладу?



Будова теодоліта. Вимірювання кутів

- 5.1. Будова теодоліта 2Т30.
- 5.2. Приведення теодоліта в робоче положення.
- 5.3. Знімання відліків з горизонтального і вертикального кругів.
- 5.4. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.

Прилади і обладнання: теодоліт 2Т30, штатив, висок, віха.

5.1. 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, фототеодоліти...;
- 2) *за точністю* (відповідно до середньо-квадратичної 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, із оптичним мікрометром, із електронною цифровою індикацією;
- 4) *за конструкцією вертикальної осі:* повторювальні, неповторювальні або прості;
- 5) *за конструкцією оптичної відлікової системи:* з двостороннім відліком з кругів і одностороннім;
- 6) *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, «Л» – 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, з шкаловим мікроскопом. Призначений для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних геодезичних мережах, при перенесенні в натуру споруд та інженерно-технічних вишукувань трас. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30 показана на рис. 5.1.

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 (трегером)* (13). Призначення піднімальних гвинтів – 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)) і *аліади* (*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 аліади суміщується з віссю лімба. На аліаді нанесено відліковий пристрій у вигляді *шкали*, за допомогою якої знімається відлік з лімба.

Закріпний і навідний гвинти мають також лімба і аліада *ГК*: (3) – *закріпний гвинт аліади ГК*, (4) – *навідний гвинт аліади ГК*, (14) – *закріпний гвинт лімба ГК*, (20) – *навідний гвинт лімба ГК*.

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

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

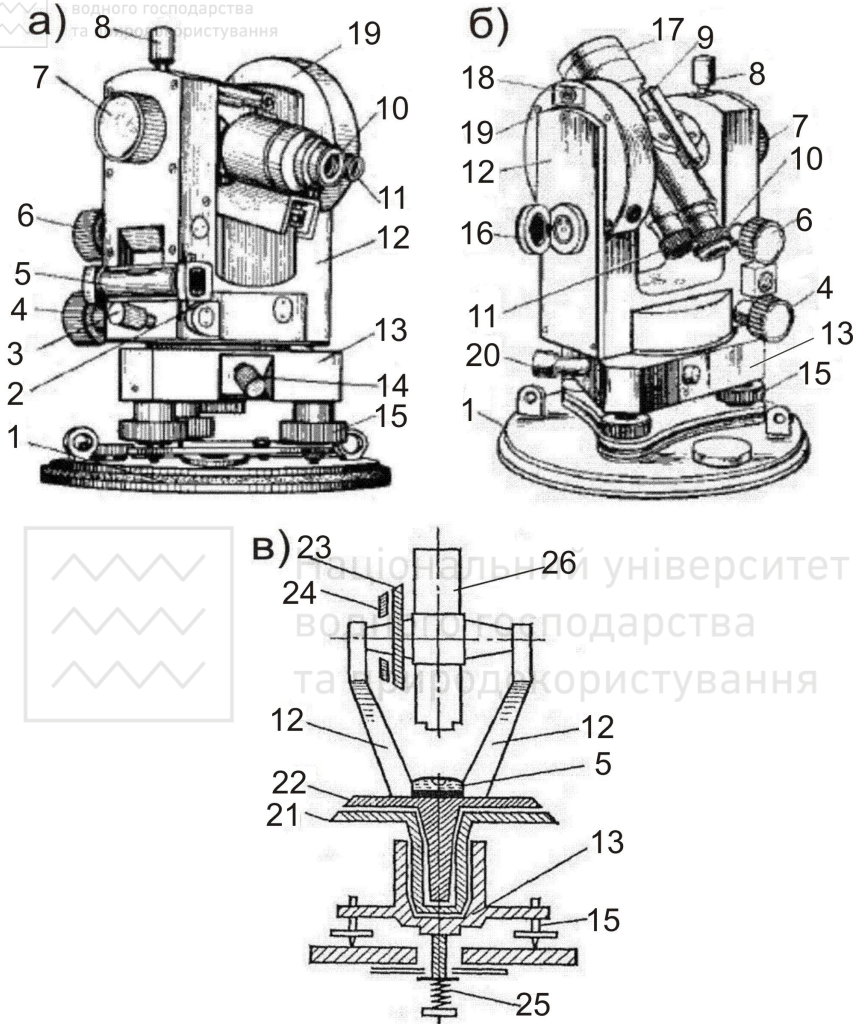


Рис. 5.1. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30:
 а) вигляд при крузі праворуч; б) вигляд при крузі праворуч; в) схематичний розріз

5.2. 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. Теодоліт 2Т30 має центруватись нитковим виском (рис. 5.2).

Для центрування теодоліт встановлюють над вершиною кута так, щоб головка штатива була наближено горизонтальною, а висок знаходився над кілочком, який позначає вершину кута. Ніжки штатива всаджують в ґрунт, натиснувши ногою на башмаки. Переконавшись у стійкості приладу, необхідно послабити становий гвинт і виконати більш точне центрування, переміщуючи теодоліт на головці штатива, щоб висок сумістився з точкою на місцевості. Після закінчення центрування становий гвинт закріплюють.

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



Рис. 5.2. Центрування нитковим виском

Для горизонтування спочатку встановлюють циліндричний рівень ГК паралельно до двох піднімальних гвинтів і приводять його бульбашку на середину (рис. 5.3, а). Потім, повертають аліада на 90° у напрямку третього гвинта (рис. 5.3, б). Обертаючи лише третій піднімальний гвинт знову приводять бульбашку в нуль-пункт. Ці дії повторюють **декілька разів**, поки бульбашка рівня не залишатиметься на середині у всіх положеннях.

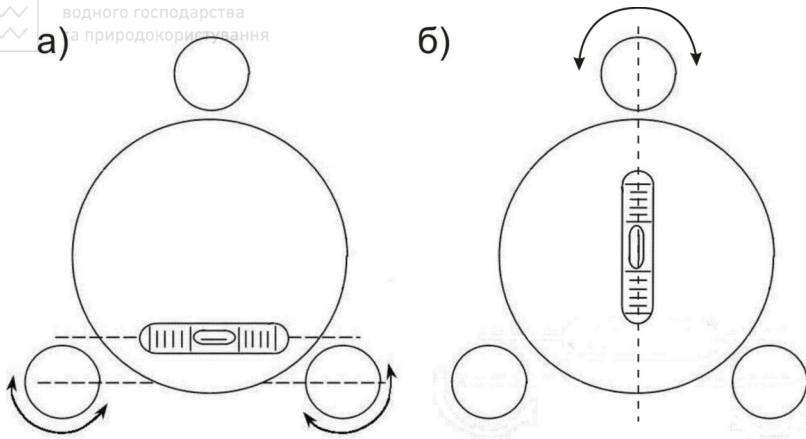


Рис. 5.3. Горизонтування теодоліта за допомогою циліндричного рівня:
 а) циліндричний рівень встановлений в напрямку двох піднімальних гвинтів;
 б) циліндричний рівень встановлений в напрямку третього піднімального гвинта

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

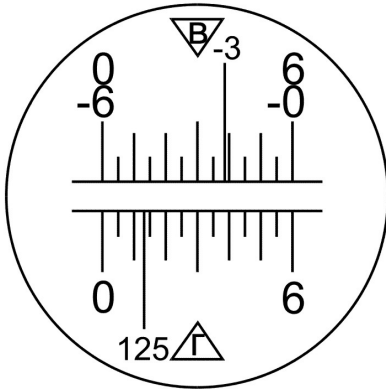
5.3. При вимірюванні кутів теодолітом треба вміти правильно прочитати відлік на лімбі. У теодоліта 2Т30 круг лімба поділений на 360 поділок, кожна з яких відповідає 1° . Градусна величина однієї поділки лімба називається **ціною поділки лімба**. Відліки в теодоліті 2Т30 знімають за допомогою *відлікового шкалового мікроскопу*, в поле зору якого передаються зображення відліків з лімбів ГК і ВК. Окуляр відлікового мікроскопу знаходиться поряд з окуляром зорової труби. Верхня частина поля зору передає зображення вертикального круга (позначено літерою *B*), а нижня – горизонтального (позначено літерою *Г*). Поле зору відлікового мікроскопу теодоліту 2Т30 при крузі праворуч (*КП*) та крузі ліворуч (*КЛ*) показано на рис. 5.4.

Відліки в теодоліті 2Т30 складаються з двох частин – *градуси* (підписаний штрих на лімбі) та *хвилини* (знімаються за шкалою від «0» до підписаного штриха лімба). Ціна найменшої нанесеної поділки шкали – $5'$. Відліки хвилин зі шкали знімають на око, з точністю до $1'$. Отже, на рис. 5.4 відлік за *ГК* при *КП* = $125^\circ 13'$; відлік за *ГК* при *КЛ* = $305^\circ 13'$.



а)

КП



б)

КЛ

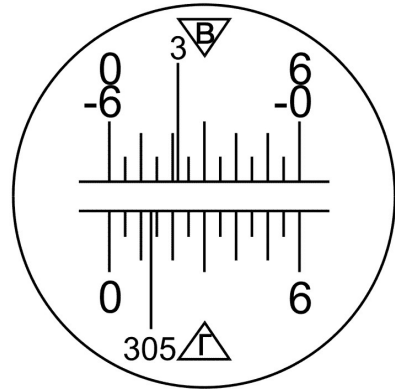


Рис. 5.4. Поле зору відлікового мікроскопу теодоліта 2Т30:

а) при крузі праворуч; б) при крузі ліворуч

Слід зауважити, що відліки з ВК знімаються за таким же принципом, але залежно від знаку кута нахилу необхідно використовувати різні шкали, які мають відповідне оцифрування. *Наприклад* на рис. 5.4,а – відлік на лімбі = -3° , тому використовуємо шкалу від «-0» до «-6» відраховуючи кількість мінут з *права на ліво*. Отже, остаточні відліки на рис. 5.4: за ВК при КП = $-3^{\circ}22'$; за ВК при КЛ = $+3^{\circ}22'$.

5.4. Горизонтальні кути можна вимірювати такими способами:

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

Спосіб прийомів використовується, коли необхідно виміряти один кут на точці (рис. 5.5, а), а *спосіб кругових прийомів* – коли необхідно виміряти два або більше кутів на одній точці (рис. 5.5, б).

Кути *способом прийомів* вимірюють дотримуючись такої послідовності:

- 1) теодоліт центрують 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 – справа буде *права точка*, зліва – *ліва*;

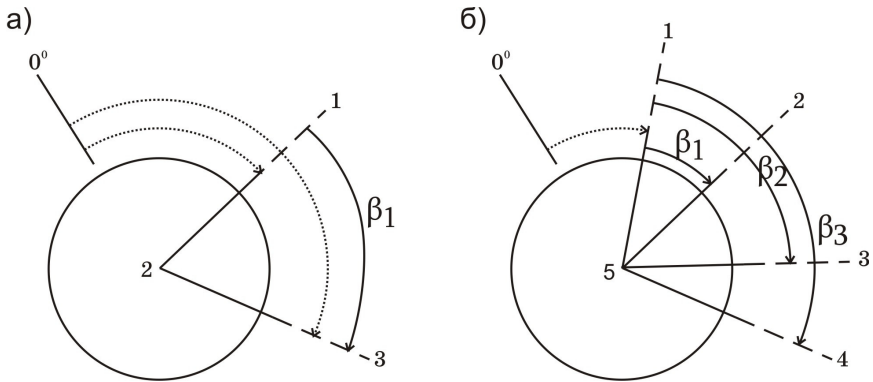


Рис. 5.5. Способи вимірювання горизонтальних кутів:
а) спосіб прийомів; б) спосіб кругових прийомів

- 3) закріплюють лімб у положенні (*КП*) і повертаючи алідадну частину, наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *правій точці* 3 (рис. 5.5, а). Наведення здійснюють спочатку приблизно – за допомогою візиру, а потім точно – за допомогою навідних гвинтів. Після точного наведення труби на точку візування знімають відлік з *ГК*. Відліки записують у «Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів» у відповідну графу (позиція (1) у табл. 5.1);
- 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 з *ГК* (2);
- 5) величину вимірюваного кута (3) знаходять як різницю відліків на праву та на ліву точки, 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° ;
- 6) переводять зорову трубу через зеніт, тобто повертають теодоліт на 180° . Положення *ВК* буде круг ліворуч *КЛ*. Після цього всі дії вказані у *пунктах* 3-5 повторюють при положенні *КЛ* і вдруге обчислюють величину вимірюваного кута $(6)=(4)-(5)$.



Вимірювання одного й того ж кута при двох положеннях ВК *КП* і *КЛ* складає один повний **прийом**. Вимірювання кута при якомусь одному положенні ВК 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 вищевказана різниця більша від подвійної точності теодоліта, вимірювання кута треба провести ще раз.

Приклад заповнення журналу вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів
Дата: 27.10.13 р. Теодоліт 2Т30 №7644 Спостерігав: Р. Одинець

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

(1)-(6) – послідовність запису відліків та обчислень.

Приклади типових завдань:

Завдання 1. Вивчити будову теодоліта. Привести його в робоче положення. Зняти відліки з горизонтального і вертикального кругів.

Розв'язування. Вивчити розміщення і призначення основних частин теодоліта. Привести бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт. Навести зорову трубу на віху і зняти відліки з ГК і ВК. Замалювати в зошит поле зору відлікового окуляра і зняті відліки.



Завдання 2. Виконати вимірювання горизонтального кута способом прийомів.

Розв'язування. Виміряти горизонтальний кут між заданими точками, як описано в п. 9.4.

Контрольні запитання:

1. Класифікація теодолітів.
2. Будова теодолітів.
3. Приведення теодоліта в робоче положення.
4. Для чого використовується нитковий висок?
5. Знімання відліків з ГК і ВК теодоліта.
6. Якою має бути різниця відліків на одну і ту ж точку при КЛ та КП?
7. Вимірювання горизонтального кута способом прийомів.
8. Вимірювання вертикальних кутів. Визначення *МО*.



Лабораторна робота 6. (2 год)

Перевірки теодоліта 2Т30

- 6.1. Перевірка осі циліндричного рівня алідади ГК.
- 6.2. Перевірка сітки ниток.
- 6.3. Перевірка перпендикулярності візирної осі до осі обертання труби.
- 6.4. Перевірка перпендикулярності осі обертання труби до вертикальної осі теодоліта.

Прилади і обладнання: теодоліт 2Т30, штатив, висок, віха.

6.1. Перевірка – контроль правильності взаємного положення осей і частин приладу. Схема основних осей теодоліта показана на рис. 6.1.

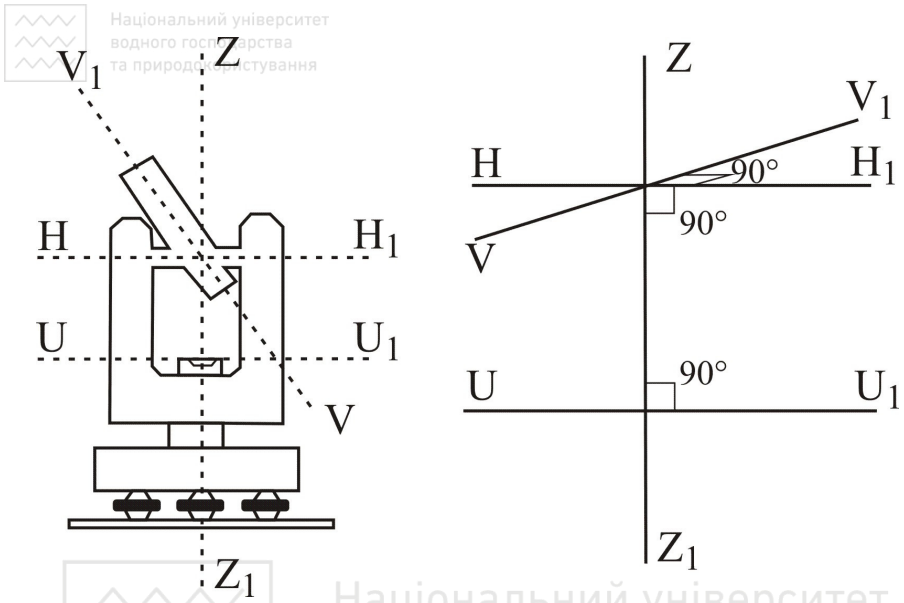


Рис. 6.1. Основні геометричні осі теодоліта

Основні геометричні осі теодоліта наступні:

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

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

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

Вісь циліндричного рівня UU_1 – уявна пряма лінія, є дотичною до внутрішньої поверхні ампули рівня в точці нуль-пункту (рис. 6.2).

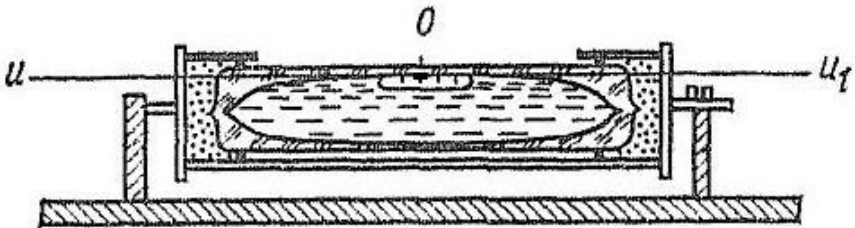


Рис. 6.2. Вісь циліндричного рівня



Перевірка осі циліндричного рівня при алідаді ГК (перевірка циліндричного рівня). Вісь циліндричного рівня UU_1 при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта ZZ_1 .

Виконання. Приводять теодоліт в робоче положення. Розташовують циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів (рис. 6.3, 1 положення). Оскільки теодоліт приведений в робоче положення бульбашка рівня має знаходитись на середині. Далі повертають алідадну частину теодоліта на 180° . Якщо бульбашка рівня змістилась з нуля-пункта не більше однієї поділки, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстування (рис. 6.3, 2 положення).

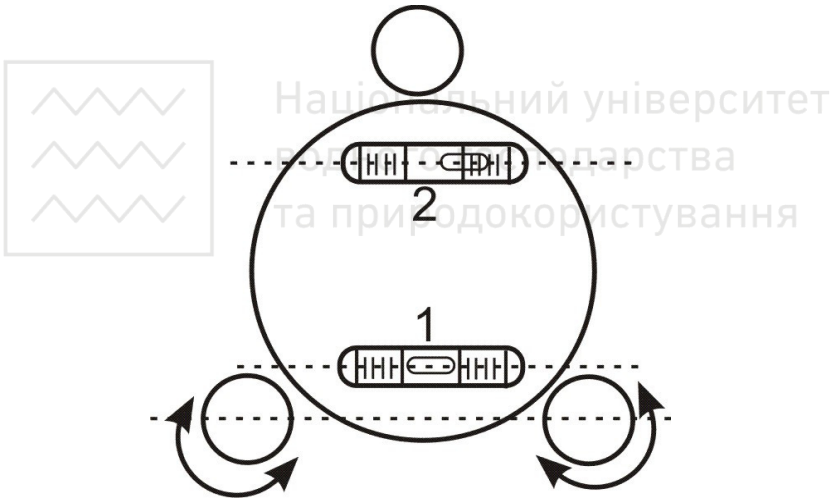


Рис. 6.3. Перевірка циліндричного рівня

Юстування. На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуля-пункта виправними гвинтами рівня. Після виправлення перевірку повторюють.

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



Виконання. 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. 6.4)

Юстування. 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. Перевірку повторюють.

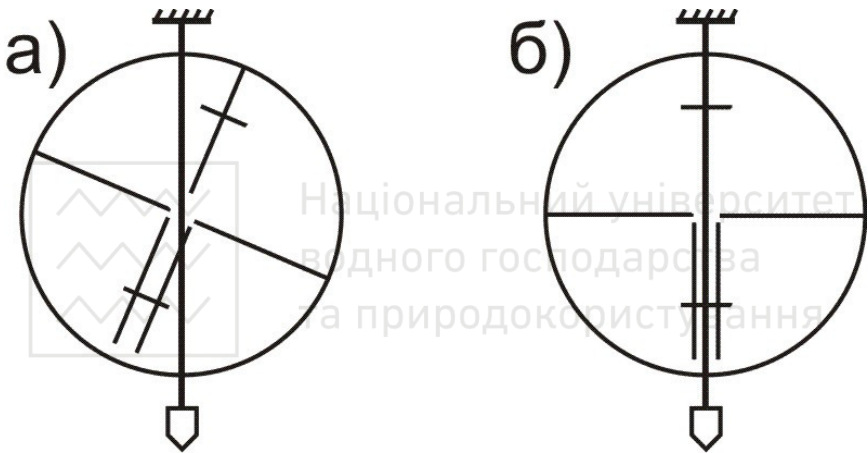


Рис. 6.4. Перевірка сітки ниток:

а) перевірка не виконується; б) перевірка виконується

6.3. 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 HH_1 .

Виконання. Приводять теодоліт в робоче положення. На місцевості вибирають віддалену, добре видиму точку і наводять на неї зорову трубу при $KП$. Знімають відлік з $ГК KП_1$. Після цього відкріплюють закріпні гвинти алідади $ГК$ та труби, переводять трубу через зеніт і при $KЛ$ наводять її на ту ж саму точку, що і при $KП$. З $ГК$ знімають відлік $KЛ_1$. Для теодоліта 2Т30, для виключення ексцентриситету алідади, необхідно повернути лімб 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 ГК обчислюють *колімаційну похибку* c за формулою:

$$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (6.1)$$

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

Юстування. Обчислюють відлік з ГК, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до осі її обертання, за однією з формул:

$$\begin{aligned} КЛ_0 &= КЛ_2 - c; \\ КП_0 &= КП_2 + c. \end{aligned} \quad (6.2)$$

Обертаючи навідний гвинт аліади ГК встановлюють вирахований відлік $КЛ_0$ (або $КП_0$). При цьому центр сітки ниток зміститься з спостережуваної точки. Потім 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. Перевірку повторюють.

6.4. Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі обертання теодоліта. *Горизонтальна вісь обертання зорової труби $НН_1$ повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта ZZ_1 .*

Виконання. Встановлюють теодоліт на відстані 20-30 м від стіни будинку. Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку, яка розташована в верхній частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта проектують точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її проекцію m_1 (рис. 6.5). 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.

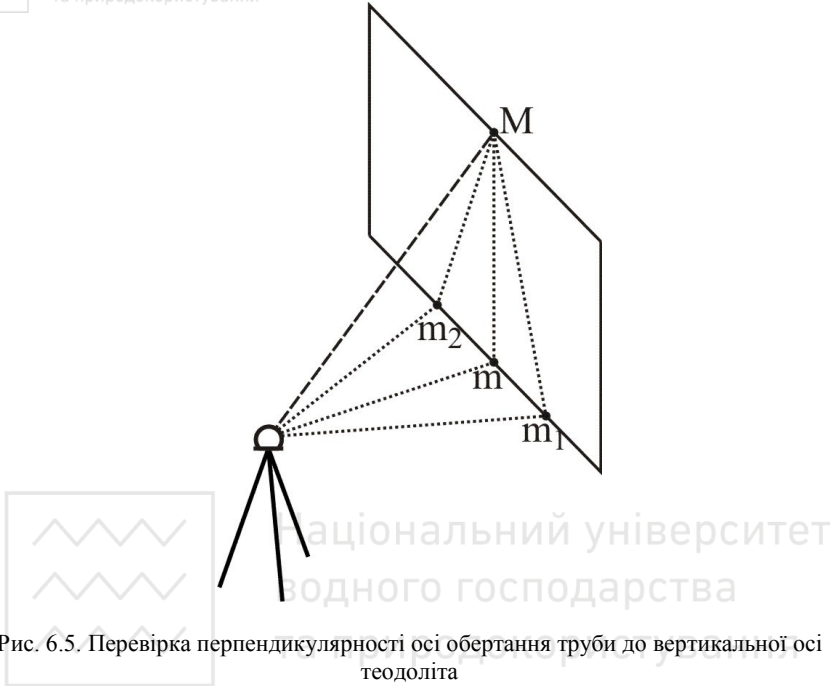


Рис. 6.5. Перевірка перпендикулярності осі обертання труби до вертикальної осі теодоліта

Приклади типових завдань:

Завдання 1. Виконати перевірки теодоліта 2Т30.

Розв'язування. Виконати перевірки приладу, як описано в п. 6.1-6.4.

Контрольні запитання:

1. Перевірки теодоліта. Основні осі теодоліта.
2. Перевірка осі циліндричного рівня при алідаді ГК.
3. Перевірка сітки ниток.
4. Перевірка перпендикулярності візирної осі до осі обертання зорової труби.
5. Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі обертання теодоліта.
6. Що таке юстування?



Вимірювання вертикальних кутів. Тригонометричне нівелювання

- 7.1. Вимірювання вертикальних кутів. Визначення MO .
- 7.2. Визначення відстаней за допомогою ниткового віддалеміра.
- 7.3. Визначення перевищень і висот.
- 7.4. Обчислення горизонтальних прокладень.

Прилади і обладнання: теодоліт 2Т30, комплект рейок, висок, калькулятор.

7.1. Кут нахилу ν – кут між горизонтальною площиною і напрямком на точку (рис. 7.1). Прийнято називати кути нахилу **вертикальними**. Якщо точка розміщена вище від горизонтальної площини, то кут нахилу буде із знаком плюс, а якщо нижче – мінус.

В процесі вимірювання кутів нахилу спочатку визначають *місце нуля вертикального круга* (MO BK). MO BK – відлік з вертикального круга, при якому візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка рівня при алідаді знаходиться в нуль-пункті.

Для визначення MO приводять теодоліт в робоче положення, наводять центр сітки ниток на добре видиму віддалену точку і знімають відлік з BK при KL . Далі переводять трубу через зеніт і проводять такі ж операції при другому положенні BK , отримуючи відлік при $KП$.

MO вертикального круга визначають за відповідними формулами залежно від конструкції теодоліта. Зокрема, для теодоліта 2Т30:

$$MO = \frac{KL + KP}{2}. \quad (7.1)$$

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

Визначивши MO переходять до *вимірювання вертикальних кутів* в наступній послідовності (рис. 7.1):

- 1) теодоліт встановлюють над точкою і приводять в робоче положення;

- 2) вимірюють висоту приладу i (від верха кілочка до осі обертання труби) рейкою чи рулеткою;
- 3) зорову трубу при $КП$ наводять на віху встановлену в кінцевій точці лінії, причому перехрестя сітки ниток наводять на висоту приладу відмічену на вісі;
- 4) знімають відлік з ВК. Відліки записують у «Журнал вимірювання вертикальних кутів» у відповідну графу (табл. 7.1);
- 5) переводять трубу через зеніт і повторюють дії зазначені у пунктах 3-4 при крузі ліворуч ($КЛ$);
- 6) обчислюють кут нахилу ν за формулами:

$$\nu = КЛ - МО = МО - КП = \frac{КЛ - КП}{2}. \quad (7.2)$$



Рис. 7.1. 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.



Журнал вимірювання вертикальних кутів

Дата: 27.10.13 р. Теодоліт 2Т30 №7644 Спостерігав: Р. Одинець

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'

7.2. Нитковий віддалемір являє собою два додаткових віддалемірних штрихи сітки ниток, які нанесені зверху і знизу симетрично до її центру. Від відстані між ними залежить величина *коефіцієнта віддалеміра*, який використовується для обчислення відстаней.

Для визначення віддалі нитковим віддалеміром встановлюємо прилад (теодоліт, нівелір) над одним кінцем лінії. На іншому – ставимо рейку і знімаємо за нею відліки за верхнім (v) і нижнім (n) штрихами сітки ниток. Тоді відстань між точками обчислюється за формулами:

– для зорової труби з прямим зображенням:

$$D = (v - n) \times k; \quad (7.3)$$

– для зорової труби з оберненим зображенням:

$$D = (n - v) \times k, \quad (7.4)$$

де v і n – відліки за верхнім і нижнім віддалемірними штрихами сітки ниток за рейкою;

k – коефіцієнт віддалеміра, який для теодоліта 2Т30 і нівеліра Н-3 дорівнює 100.

Щоб отримати віддаль D в метрах, відліки v і n у формулах (7.3) та (7.4) необхідно підставляти також в метрах або отримані значення в мм поділити на 1000.

7.3. Тригонометричне нівелювання – це визначення перевищення похилим променем візування. Воно виконується за допомогою теодоліта. Для визначення перевищення необхідно виміряти кут нахилу лінії v та відстань D (рис. 7.2).



Тригонометричне нівелювання є менш точним, ніж геометричне, але широко застосовується при топографічних зніманнях місцевості і при вирішенні різних інженерних задач, оскільки дозволяє швидко визначити перевищення довільних точок на значній відстані.

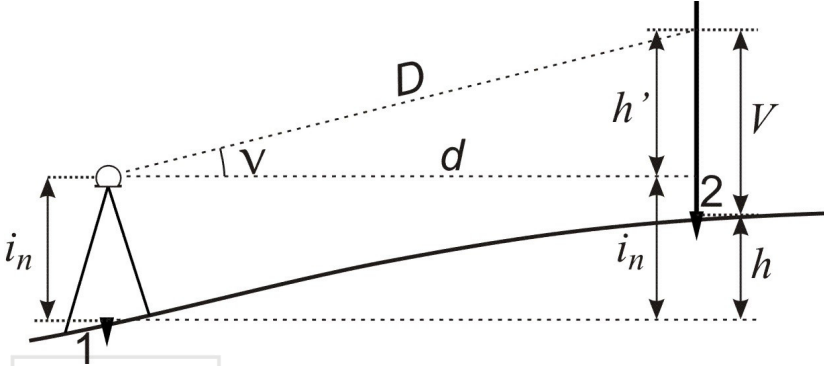


Рис. 7.2. Тригонометричне нівелювання

Як видно з рисунка 7.2:

$$h + V = h' + i_n, \quad (7.5)$$

звідки:

$$h = h' + i_n - V, \quad (7.6)$$

де i – висота приладу;

V – висота наведення на рейку;

h' та h – відповідно попереднє та кінцеве перевищення.

Оскільки попереднє перевищення h' можна обчислити за формулами $h' = d \times \operatorname{tg} \nu$ або $h' = \frac{1}{2} D \times \sin 2\nu$, то потрібне нам кінцеве перевищення h дорівнюватиме:

– з використанням горизонтального прокладання d :

$$h = d \times \operatorname{tg} \nu + i - V; \quad (7.7)$$

– з використанням похилої віддалі D визначеної нитковим віддалеміром:

$$h = \frac{1}{2} D \times \sin 2\nu + i - V. \quad (7.8)$$

Формули (7.7) та (7.8) можна спростити якщо середню лінію сітки ниток наводити на висоту приладу i , тобто $V=i$, тоді:



$$h = h' = d \times \operatorname{tg} v \quad \text{або} \quad h = h' = \frac{1}{2} D \times \sin 2v \quad (7.9)$$

Висоти H рейкових точок обчислюють так:

$$H = H_{cm} + h, \quad (7.10)$$

де H_{cm} – висота точки (станції), над якою зцентрований теодоліт.

7.4. Горизонтальне прокладення обчислюється на основі віддалемірної віддалі D та кута нахилу v за формулою:

$$d_i = D_i \times \cos^2 v_i. \quad (7.10)$$

У формулі (7.10) з'являється додатковий косинус кута нахилу в порівнянні з формулою $d_i = D_i \times \cos v_i$, яка використовується для обчислення горизонтального прокладення при вимірюванні довжини мірною стрічкою. Це пояснюється тим, що при вимірюванні похилих довжин ліній нитковим віддалеміром, з'являється додатковий кут за неперпендикулярність візирної осі до рейки, який рівний куту нахилу лінії. Тому у формулі приведення до горизонту ліній виміряних нитковим віддалеміром один косинус компенсує вертикальний кут нахилу лінії, а інший – неперпендикулярність візирної осі приладу до рейки.

Приклади типових завдань:

Завдання 1. Виконати вимірювання вертикального кута.

Розв'язування. Визначити MO BK теодоліта. Виміряти вертикальний кут на задані точки, як описано в п. 7.1.

Завдання 2. Визначити тригонометричним нівелюванням перевищення точки B над станцією A при двох різних висотах наведення на рейку.

Розв'язування. Встановити теодоліт в робоче положення в заданій точці A . Виміряти висоту приладу i . Навести зорову трубу при КЛ на рейку середнім штрихом сітки ниток на задану висоту наведення і зняти відліки за віддалемірними (нижнім і верхнім) штрихами сітки, а також відлік з вертикального круга KL і записати їх в журнал (табл. 7.2). Виконати такі ж вимірювання при КП. Після цього повторити всі вимірювання при іншій висоті наведення на рейку. Виконати обробку журналу за наведеними формулами.



Журнал тригонометричного нівелювання

Дата: 28.10.13 р. Теодоліт 2Т30 №4546 Спостерігав: Р. Одинець

Станція		A	
Точка візування		B	
Відліки з ВК	КЛ	+3°10'	+5°05'
	КП	-3°14'	-5°09'
$MO = \frac{КЛ + КП}{2}$		-0°02'	-0°02'
MO _{сер}		-0°02'	
Кут нахилу ν	КЛ-МО	+3°12'	+5°07'
	МО-КП	+3°12'	+5°07'
$\nu_{сер}$		+3°12'	+5°07'
Висота приладу i		1,64 м	
Висота наведення V		1640	1900
Відліки за віддалеміром		1680 (в)	1940 (в)
		1601 (н)	1860 (н)
Віддаль $D = (\mathbf{в} - \mathbf{н}) \times k$		7,9 м	8,0 м
$h' = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2\nu$		+0,44 м	+0,71 м
$h = h' + i - V$		+0,44 м	+0,45 м

Контрольні запитання:

1. Що таке кут нахилу?
2. Визначення MO .
3. Вимірювання вертикальних кутів.
4. Визначення відстаней нитковим віддалеміром теодоліта.
5. Тригонометричне нівелювання.
6. Обчислення перевищень і висот рейкових точок.
7. Визначення горизонтальних прокладень за віддалемірними віддалями.
8. Заповнення журналу тригонометричного нівелювання.



ЛІТЕРАТУРА

1. Геодезія. Частина перша. Під ред. Могильного С.Г., Войтенка С.П. – Чернігів, 2002. – 408 с.
2. Войтенко С.П. Інженерна геодезія. Підручник. – Київ, 2012. – 576 с.
3. Островський А.Л. та ін. Геодезія, частина II. Підручник. – Львів, 2007. – 508 с.
4. Селиханович В.Г., Козлов В.П., Логинова Г.П. Практикум по геодезії. Учебное пособие, 2-е издание стереотипное. – М., ООО ИД "Альянс", 2006. – 382 с.
5. Геодезичні прилади. О.І.Мороз, І.С. Тревого, Т.Г.Шевченко. Львів, 2005р.
6. Дьяков Б.Н. Геодезия. Общий курс: Электронная версия учебного пособия.
7. Інженерна геодезія: Учебник для ВУЗов. Под ред. Д.Ш. Михелева. – М.: Академия, 2008. – 480 с.
8. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві: Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2006. – 278 с.
9. Курс инженерной геодезии: Учебник для ВУЗов. Под ред. В.Е. Новака. – М.: Недра, 1989. – 430 с.
10. Куштин И.Ф., Куштин В.И. Инженерная геодезия: Учебник. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 416 с.
11. Лукьянов В.Ф., Новак В.Е., Борисов Н.Н. и др. Лабораторный практикум по инженерной геодезии: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1990. – 334 с.
12. Ратушняк Г.С. Топографія з основами картографії: Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 179 с.
13. Усова Н.В. Геодезия: Учебник. – М.:Архитектура-С, 2006. – 224 с.
14. Федотов Г.А. Инженерная геодезия: Учебник. – М.: Высшая школа, 2009. – 463 с.
15. Черняга П.Г., Лебідь Г.Г., Мальчук М.П., Мануйлик А.Т., Романчук С.В., Тадсєв О.А. Інженерна геодезія. Лабораторні роботи. Частина 1: Навчальний посібник для студентів технічних вищих закладів освіти. – Рівне, 1999. – 138 с.
16. Черняга П.Г. Топографія: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. – Рівне, 2000. – 160 с.

17. Панчук Ю.М., Бялик І.М., Янчук О.Є. Інженерна геодезія. НУВГП, Рівне, 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2185/>
18. Панчук Ю.М., Янчук О.Є. Лабораторний практикум з інженерної геодезії. НУВГП. Рівне, 2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1850/>
19. Панчук Ю.М., Янчук О.Є., Шульган Р.Б. Навчальна геодезична практика: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП. 2014. – 133с.
20. Панчук Ю.М., Янчук О.Є., Німкович Р.С. Лабораторний практикум з основ геодезії. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2016. – 83 с.
21. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Складання топографічного плану за результатами тахеометричного знімання місцевості» з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» денної та заочної форми навчання. 076-104/ Панчук Ю.М. Рівне: НУВГП, 2009, -28 с.
22. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Складання поздовжнього та поперечного профілів лінійної споруди» з дисципліни «Інженерна геодезія» для студентів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» денної та заочної форми навчання. 076-131/ Панчук Ю.М., Янчук О.Є., Рівне: НУВГП, 2010. -40 с.