

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

**05-04-129М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних занять з навчальної дисципліни  
**«Інженерна геодезія (загальний курс)»**  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Охорона праці»  
спеціальності 263«Цивільна безпека»  
усіх форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою з якості  
ННІБА  
Протокол № 3 від 19 грудня 2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до лабораторних занять з навчальної дисципліни «Інженерна геодезія (загальний курс)» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» усіх форм навчання. [Електронне видання] / Панчук Ю. М., Янчук О. Є. – Рівне : НУВГП, 2023. – 102 с.

Укладачі: Панчук Ю. М., к.т.н., доцент кафедри геодезії та картографії; Янчук О. Є., к.т.н., доцент кафедри геодезії та картографії.

Відповідальний за випуск: Янчук Р. М. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії.

Керівник групи забезпечення спеціальності

Шаталов О. С.

© Ю. М. Панчук,  
О. Є. Янчук, 2023  
© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

Передмова. . . . .	4
<i>Заняття №1.</i> Визначення координат точок за топографічною картою . . . . .	5
<i>Заняття №2.</i> Рішення інженерних задач за топографічною картою . . . . .	24
<i>Заняття №3.</i> Будова і перевірки нівелірів . . . . .	36
<i>Заняття №4.</i> Побудова поздовжнього і поперечного профілів лінійної споруди . . . . .	48
<i>Заняття №5.</i> Нанесення проектної лінії на профіль . . . . .	62
<i>Заняття №6.</i> Будова теодоліта. Вимірювання кутів . . . . .	68
<i>Заняття №7.</i> Обчислення координат точок теодолітного ходу . . . . .	80
<i>Заняття №8.</i> Камеральна обробка матеріалів тахеометричного знімання. Складання топографічного плану . . . . .	89
<i>Заняття №9.</i> Тригонометричне нівелювання . . . . .	97
Література . . . . .	102

## ПЕРЕДМОВА

Лабораторні заняття, наведені в методичних вказівках, за змістом і послідовністю викладення матеріалу відповідають навчальній програмі дисципліни «Інженерна геодезія» для спеціальності 263 «Цивільна безпека».

Виконувати лабораторні заняття студенти повинні лише після вивчення теоретичного матеріалу курсу «Інженерна геодезія».

У методичних вказівках викладено вирішення основних інженерних задач за топографічною картою, будову, перевірки і юстування нівеліра, будову теодоліта, роботу з цими приладами. В кінці лабораторних занять наведені приклади типових завдань для самостійного виконання, а також контрольні запитання для опрацювання матеріалу, що дозволяє студентам набути обсяг знань, потрібних для успішного виконання лабораторних робіт та їх захисту.

Методичні вказівки сприяють закріпленню теоретичних знань і формуванню навичок самостійної роботи студентів при виконанні лабораторних занять.

До кожного лабораторного заняття наведено перелік необхідних приладів і пристосувань, що дозволяє студентам ретельніше підготуватися до пар.

При складанні методичних вказівок використаний досвід викладачів кафедри геодезії та картографії Національного університету водного господарства та природокористування.

## Лабораторне заняття 1.

### *Визначення координат точок за топографічною картою*

- 1.1. Знайомство з топографічними картами і планами.
- 1.2. Масштаби планів і карт.
- 1.3. Визначення за картою відстані між точками.
- 1.4. Визначення прямокутних координат точок.
- 1.5. Побудова точки за заданими координатами.

**Прилади і обладнання:** топографічний план масштабу 1:2000, 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 поверхні Землі, побудоване за певними математичними законами. Карти складаються на значні території, в межах яких рівневу поверхню не можна рахувати площиною. Тому при їх складанні враховуються поправки в довжини ліній за кривизну Землі.

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

Картографічне зображення місцевості в масштабах 1:500-1:5000 називають планами, а в масштабах 1:10000 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 вирішити за допомогою карти варто виділити наступні:

- визначення віддалей між точками;
- визначення прямокутних координат точки  $x, y$ ;
- визначення географічних координат точки  $\varphi, \lambda$ ;
- 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 місцевості;
- визначення кутів орієнтування ліній та горизонтальних кутів між лініями.

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

За змістом вони діляться на загальногеографічні та тематичні.

За масштабами:

- оглядові (дрібніші 1:1000000);
- оглядово-топографічні (1:200000-1:500000);
- топографічні (1:500-1:100000).

Тобто, можна дати наступне визначення: **топографічна карта** – загальногеографічна карта масштабу 1:100000 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.



Рис. 1.1. Приклад контурних (масштабних) умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1000

*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).

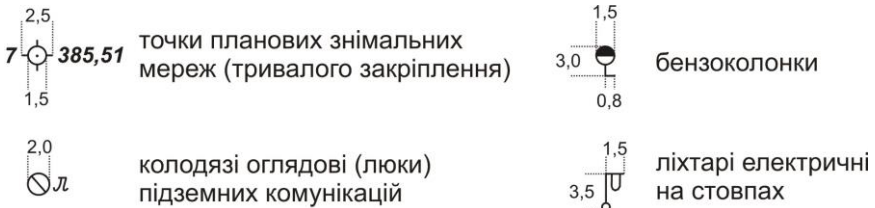


Рис. 1.2. Приклад позамасштабних умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1000

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.

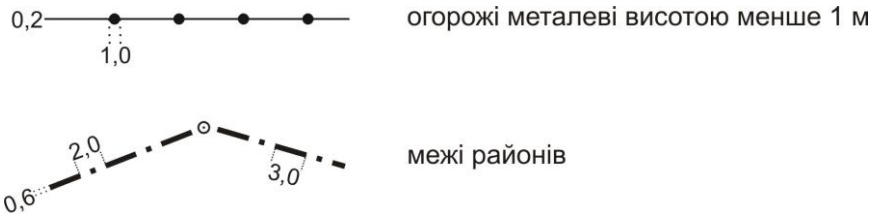


Рис. 1.3. Приклад лінійних умовних знаків для масштабу 1:500 та 1:1000

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.

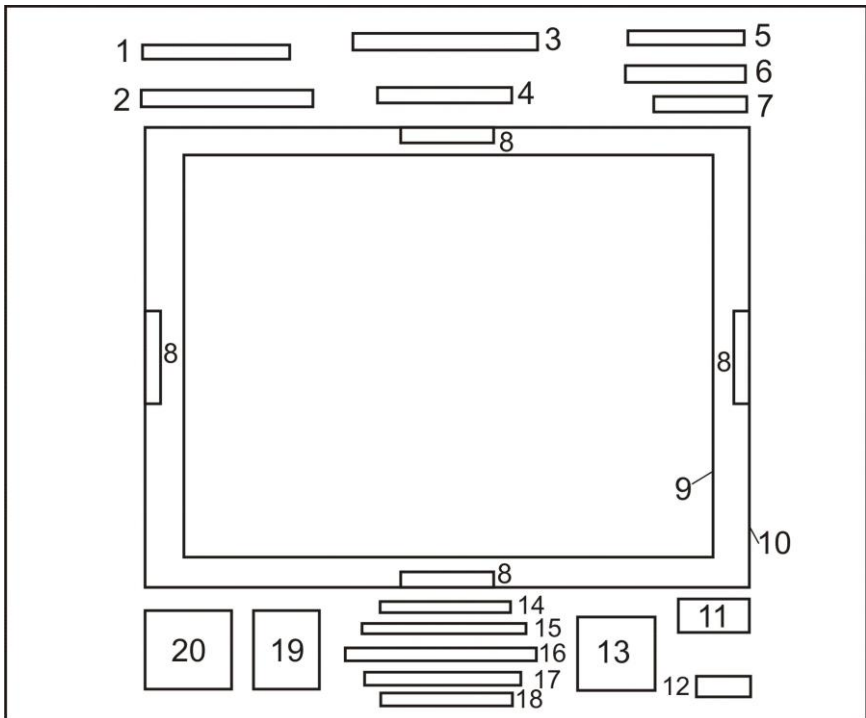


Рис. 1.4. Схема оформлення карти (плану)

- 1 - система координат;
- 2 - назва республіки й області, територія яких зображена на даному листі карти;
- 3 - назва відомства, що підготувало і видало карту;
- 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 великомасштабного картографування необхідна проекція, яка забезпечувала б збереження подібного зображення фігур (*рівнокутна або конформна проекція*) при переході з поверхні кулі 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  $3^\circ$  або  $6^\circ$  по довготі (рис. 1.5). Середній меридіан кожної зони називається **осьовим**. Осьові меридіани зон і лінія екватору є прямолінійні, а всі інші меридіани і паралелі – криві. Спотворення розмірів контурів поблизу осьових меридіанів мінімальні і збільшуються по мірі віддалення 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 осьового меридіану на 500 км (рис. 1.7).

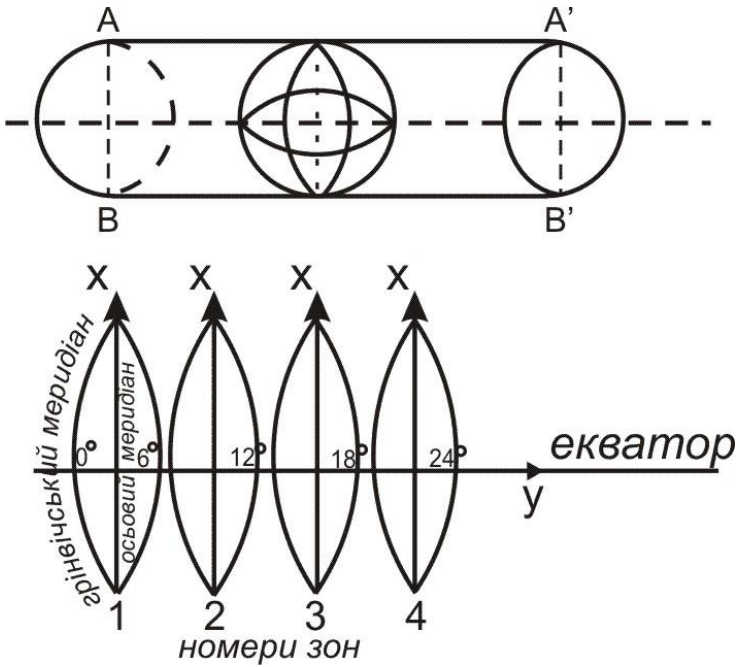


Рис. 1.5. Зональна система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера

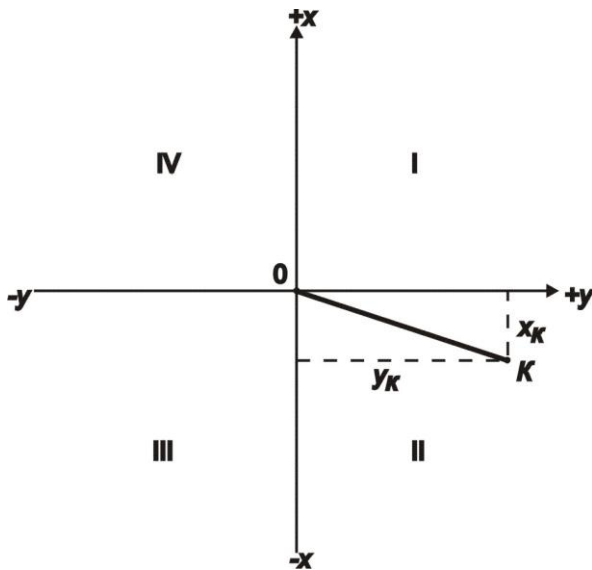


Рис. 1.6. Система прямокутних координат

Перетворена ордината починається з номера зони. *Наприклад*, якщо точка знаходиться в 12 зоні на захід від осьового меридіану на 78366 м, то перетворена ордината матиме значення  $y=12421634$  м (т.А на рис. 1.7). У випадку, коли точка знаходиться на схід від осьового меридіану на 78366 м, то її перетворена ордината матиме значення  $y=12078366$  м (т.В на рис. 1.7).

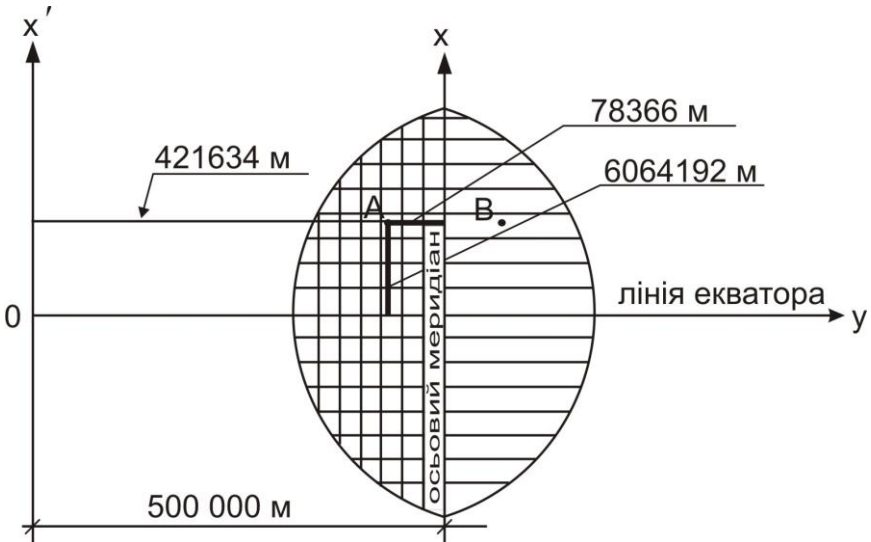


Рис. 1.7. Відлік координат в системі Гаусса-Крюгера

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), та екватора (горизонтальні лінії).

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 –  $x_{нд}=5840$  км,  $y_{сх}=2634$  км. На проміжних лініях підписують скорочені значення координат – лише десятки та одиниці кілометрів.

Лінії внутрішньої рамки карти паралельні до географічного меридіана (вертикальна лінія рамки) та паралелі (горизонтальна). В

кутах рамки підписують географічні координати (на рис. 1.8  $\varphi_{но}=52^{\circ}40'$ ,  $\lambda_{сх}=11^{\circ}00'$ ). 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 виходу за поле карти доріг розміщують назву найближчого міста чи селища, куди веде дана дорога, із зазначенням відстані в кілометрах від рамки до цього населеного пункту.

Поряд з мінутною рамкою побудована зовнішня рамка – суцільна потовщена лінія. З кожного боку листа карти, по середині ліній зовнішньої рамки, в розриві, підписується номенклатура сусіднього листа.

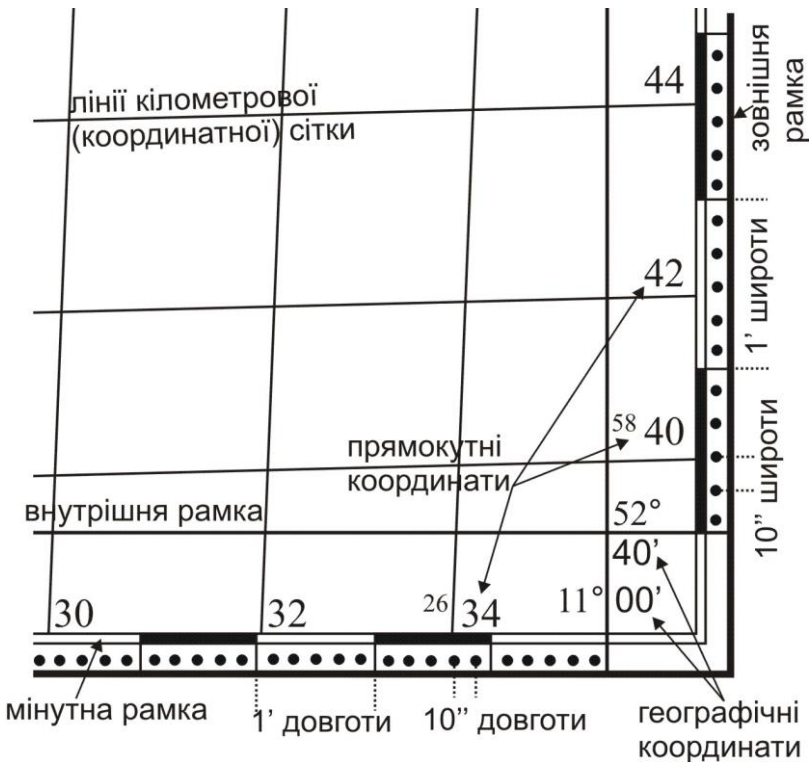


Рис. 1.8. Зображення на картах прямокутних та географічних координат

**Номенклатура.** Топографічні карти є багатолістними, оскільки територія країни зображається 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 1:1000000. Вона проводиться шляхом умовного ділення поверхні земної кулі паралелями, починаючи від екватора до північного і південного полюсів через  $4^\circ$ , та меридіанами, починаючи від меридіану з довготою  $180^\circ$  на схід через  $6^\circ$ . Схема такої розграфки приведена на рис. 1.6.

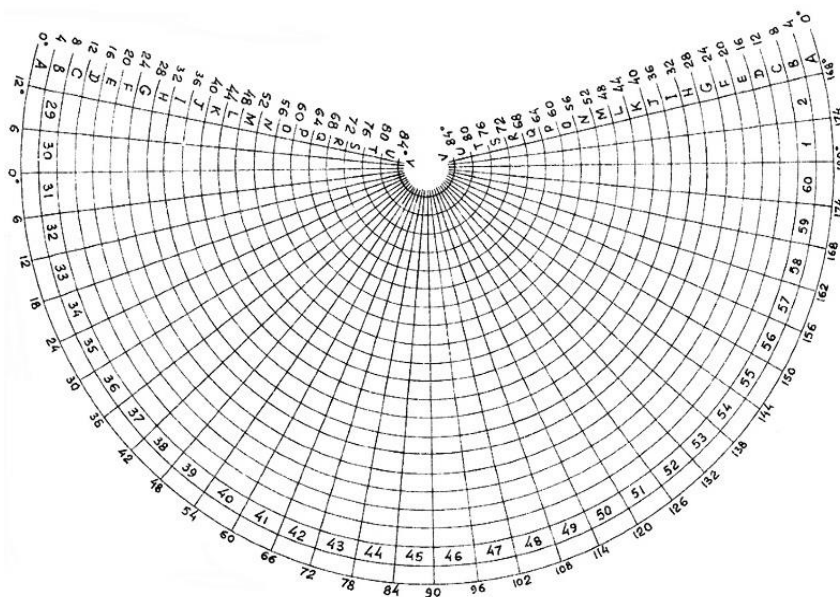


Рис. 1.9. Міжнародна розграфка листів карт масштабу 1:1000000

**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 до його горизонтального прокладення на місцевості.

Масштаб топографічної карти можна представити відношенням:

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

де  $d$  – довжина відрізка на карті,

$D$  – горизонтальна проекція 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 1:25000 точність масштабу дорівнюватиме 2,5 м. Виходячи з цієї величини, можна зробити висновок: при складанні карти в масштабі 1:25000 на місцевості треба вимірювати відрізки (або предмети) довжиною не менше 2,5 м, оскільки менші розміри при цьому масштабі на карті показати неможливо.

Масштаб 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 1:2000, 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 головкою масштабу) поділяють на 10 рівних частин. Після цього лінійний масштаб підписують залежно від числового масштабу.

а)  $1:50000$

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 робіт на карті застосовують поперечний масштаб (рис. 1.11).

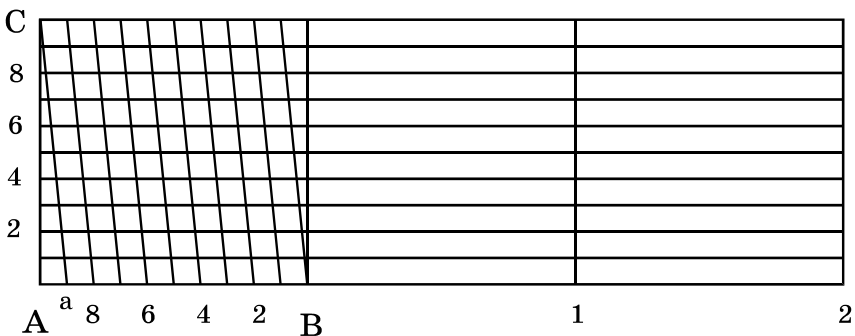


Рис. 1.11. Поперечний масштаб

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

- за числовим масштабом: міряємо лінійкою віддаль між точками

$AB$  на карті в см ( $l_{AB}$ ) і обчислюємо віддаль між точками на місцевості за допомогою знаменника числового масштабу  $M$  (щоб отримати віддаль на місцевості в метрах потрібно значення  $M$  підставити в метрах, для цього знаменник числового масштабу ділиться на 100, наприклад для масштабу 1:2000 –  $M=20$ ) за формулою:

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

*Наприклад:* на плані масштабу 1:2000 довжина лінії становить 3,4 см, тоді віддаль, згідно формули (1.2)  $L_{AB} = 3,4 \times 20 = 68$  м.

- *за лінійним масштабом:* вимірюємо вимірником віддаль між точками  $AB$ , потім встановлюємо 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. *Наприклад:* в масштабі 1:50000 (рис. 1.12) виміряна лінія рівна 1 основі праворуч від нуля та 1,5 поділкам ліворуч від нуля, тоді лінія рівна 1,15 основ і в даному масштабі  $L_{AB} = 1,15 \times 500 \times 2 = 1150$  м (на два домножуємо у випадку, коли одна основа лінійного масштабу рівна 2 см).

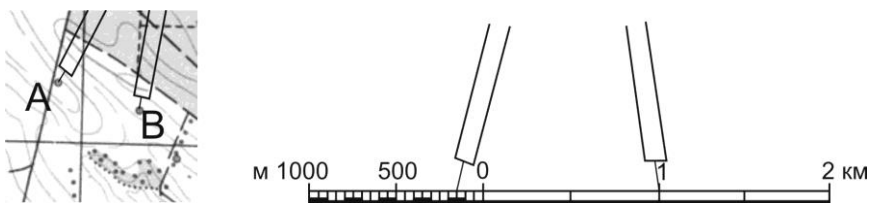


Рис. 1.12. Визначення довжини лінії за допомогою лінійного масштабу

- *за поперечним масштабом:* вимірюємо 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 таким чином, щоб дві голки знаходились на одній горизонтальній лінії, до перетину лівої голки з похилою лінією (похила лінія називається **трансверсаль**). При цьому знімають відлік 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 1:2000  $L_{AB}=3,27 \times 2 \times 20=130,8$  м.

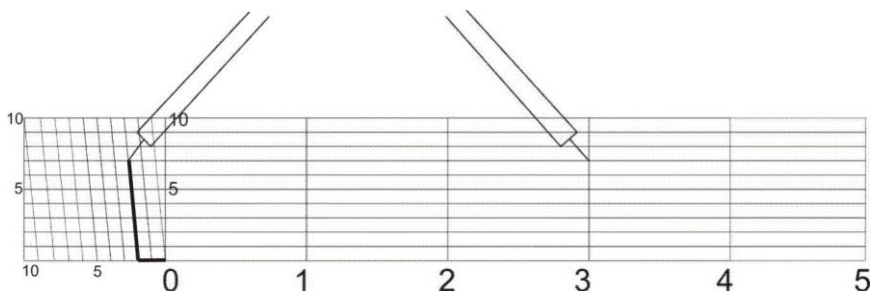


Рис. 1.13. Визначення довжини лінії за допомогою поперечного масштабу

- *аналітичним способом*: цей спосіб використовують коли є відомі 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 циркуля беруть 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, коли 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  $\Delta x$  та  $\Delta y$  вимірюють з точністю масштабу карти за допомогою лінійки поперечного масштабу. Повні координати т. $B$  визначають за формулами:

$$\begin{aligned} x_B &= x_0^B + \Delta x; \\ y_B &= y_0^B + \Delta y, \end{aligned} \quad (1.7)$$

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.

*Наприклад* на рис. 1.14:

- координати південно-західної вершини квадрату, в якому знаходиться задана точка  $B$ :  $x_0^B = 6066000$  м;  $y_0^B = 4312000$  м;
- прирости  $\Delta x$  та  $\Delta y$  визначені за допомогою лінійки поперечного масштабу:  $\Delta x = 3,71$  осн;  $\Delta y = 2,72$  осн;
- прирости  $\Delta x$  та  $\Delta y$  на місцевості:  $\Delta x = 3,71 \times 2 \times 100 = 742$  м;

$$\Delta y = 2,72 \times 2 \times 100 = 544 \text{ м.}$$

– повні координати, згідно формули (1.7), дорівнюють:  $x_B = 6066742$  м;  $y_B = 4312544$  м.

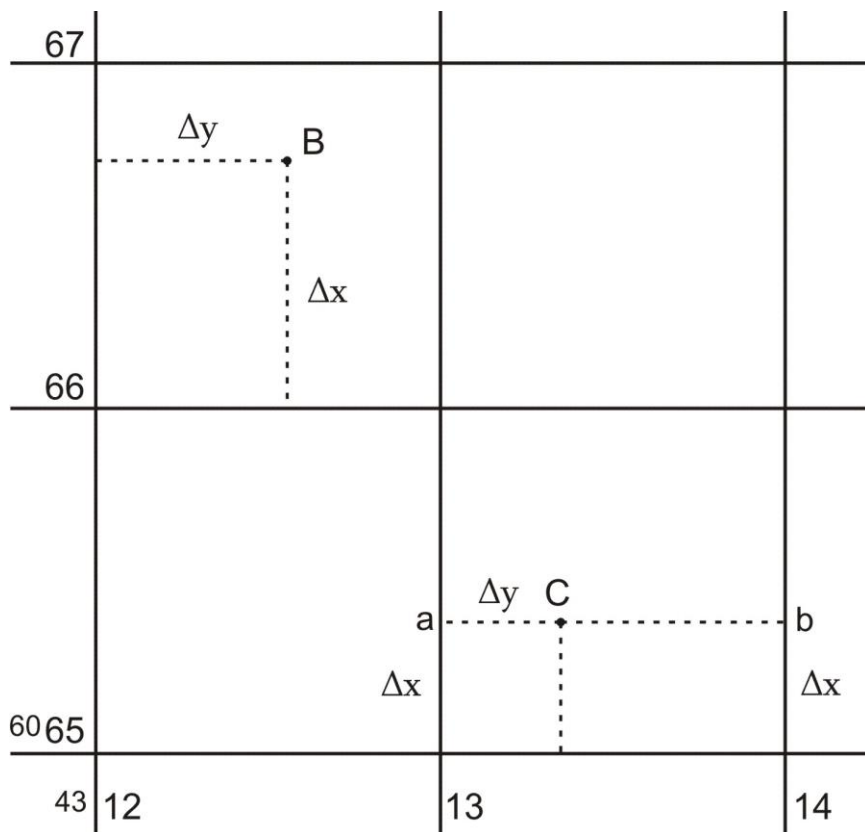


Рис. 1.14. Визначення прямокутних координат точок та нанесення точок за прямокутними координатами за топографічною картою масштабу 1:10000

**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  $\Delta x$  та  $\Delta y$ . Визначивши  $\Delta x$  та  $\Delta y$  у відрізках масштабу карти, наносять їх на координатну сітку і одержують точку  $C$ .

Наприклад:  $x_C=6065427$  м;  $y_C=4313226$  м. В масштабі 1:10000 лінії кілометрової сітки проведені через 1000 м. Шукаємо координату  $x_0^C$  південно-західної вершини квадрату, в якому знаходиться точка  $C$ . Вона має бути кратною 1000 м і меншою від  $x_C$ . Отже в нашому випадку  $x_0^C=6065000$  м, аналогічно визначаємо  $y_0^C=4313000$  м. Далі знаходимо величини  $\Delta x$  та  $\Delta y$  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  $\Delta x$  та  $\Delta y$  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 лівого і правого боку квадрату в якому знаходиться потрібна точка. В результаті отримуємо точки „а” та „b” (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  $x_C=6065427$  м;  $y_C=4313226$  м.

## Приклади типових завдань.

### Завдання 1

За топографічною картою масштабу 1:10000 визначити відстані між точками  $A$  та  $B$ . Це виконати із застосуванням числового, лінійного і поперечного масштабів. Розташування точок  $A$  та  $B$  на топографічній карті задаються.

### Розв’язок:

За числовим масштабом: вимірюємо лінійкою відстань між точками  $A$  та  $B$  на карті:  $l_{AB}=7,4$  см; визначаємо значення знаменника числового масштабу:  $M=10000$  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:  $M=10000$  см=100 м; обчислюємо відстань між точками  $A$  та  $B$  на місцевості (горизонтальне прокладання):  $L_{AB} = l_{AB} \times 2 \times M$  (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 питанні 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:  $M=10000$  см=100 м; обчислюємо відстань між точками  $A$  та  $B$  на місцевості (горизонтальне прокладання), 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 1:10000, лінію заданої довжини. Віддаль  $L_{AD}$  від точки  $A$  до точки  $D$  рівна 916 м, напрямком на точку  $D$  задається.

### **Розв'язок:**

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 1:10000.

### **Розв'язок:**

Визначаємо координати лівої нижньої вершини квадрату в якому

знаходиться точка  $A$ :

$$x_0^A = 5418 \text{ км} = 5418000 \text{ м};$$

$$y_0^A = 4624 \text{ км} = 4624000 \text{ м};$$

Визначаємо прирости  $\Delta x$  та  $\Delta y$  за допомогою лінійки поперечного масштабу:

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

приріст  $\Delta x_m$  на місцевості, в метрах:  $\Delta x_m = \Delta x_{осн} \times 2 \times M \text{ (м)} = 2,47 \times 2 \times 100 = 494 \text{ м}$ ;

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  $\Delta y_m$  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):

$$x_A = x_0^A + \Delta x_m = 5418000 + 494 = 5418494 \text{ м};$$

$$y_A = y_0^A + \Delta y_m = 4624000 + 830 = 4624830 \text{ м}.$$

#### Завдання 4

Нанести на топографічну карту масштабу 1:10000 точку  $C$ , за відомими прямокутними координатами:  $x_c = 5419136 \text{ м}$ ,  $y_c = 4625517 \text{ м}$ .

#### Розв'язок:

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

$$x_0^C = 5419000 \text{ м};$$

$$y_0^C = 4625000 \text{ м}.$$

Визначаємо прирости  $\Delta x_m$  та  $\Delta y_m$  в метрах, за формулою (1.8):

$$\Delta x_m = x_C - x_0^C = 5419136 - 5419000 = 136 \text{ м};$$

$$\Delta y_m = y_C - y_0^C = 4625517 - 4625000 = 517 \text{ м}.$$

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 лівого і правого боку 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  $x_c=5419136$  м,  $y_c=4625517$  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'язок:

*За поперечним масштабом:* вимірюємо відстань між точками  $A$  та  $C$  на карті в основах поперечного масштабу:  $l_{AC} = 4,70$  осн; 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.

## Лабораторне заняття 2.

### *Рішення інженерних задач за топографічною картою*

- 2.1. Визначення висот точок на топографічній карті за горизонталями.
- 2.2. Визначення крутизни схилу на топографічній карті за горизонталями.
- 2.3. Побудова лінії із заданим ухилом на топографічній карті.
- 2.4. Побудова профілю за заданим напрямком.

**Приклади 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 рахунок висот ведеться від нуля Кронштадського футштоку (Балтійська система висот). Висоти точок обчислені відносно деякої умовної рівневої поверхні називаються **відносними** або **умовними**. Висота однієї точки відносно іншої називається **перевищенням** і обчислюється за формулою:

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

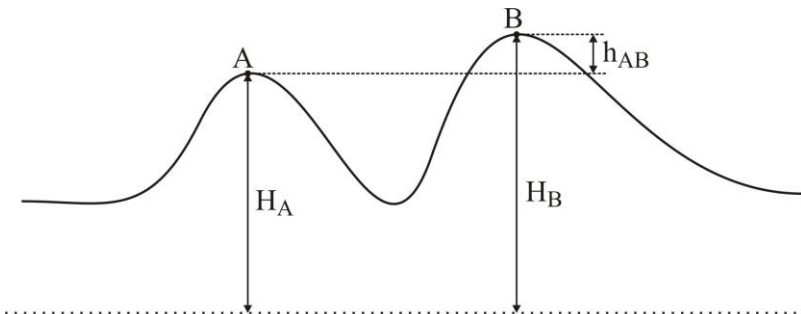


Рис. 2.1. Висоти точок



**Рельєф місцевості** це сукупність нерівностей земної поверхні. В даний час рельєф на топографічних картах зображують за допомогою горизонталей 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'єднує точки з однаковими висотами. *Основні властивості горизонталей* наступні:

- 1) горизонталі є кривими і замкненими лініями;
- 2) горизонталі ніколи не перетинаються;
- 3) чим ближча віддаль між горизонталями, тим крутіший схил місцевості.

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

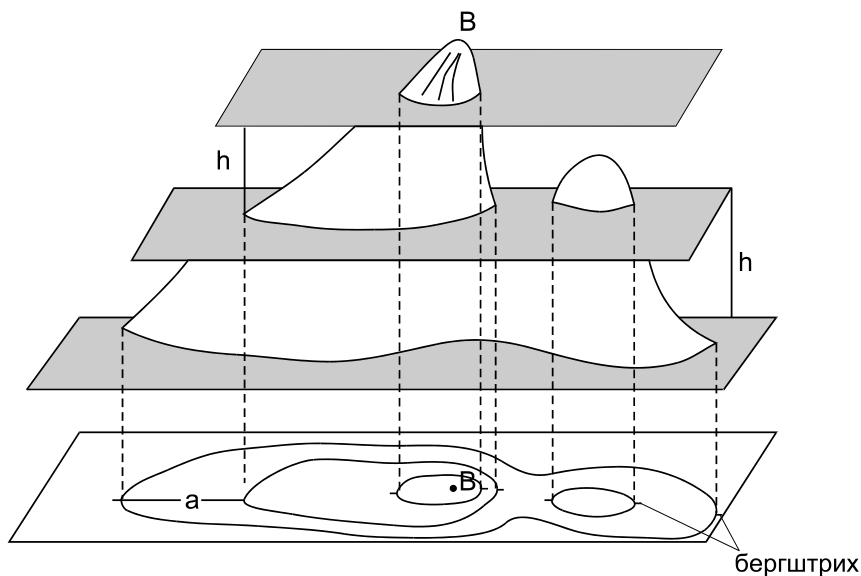


Рис. 2.2. Принцип побудови горизонталей

Для того, щоб зобразити горизонталями рельєф ділянки місцевості, потрібно перетнути його декількома горизонтальними площинами, розташованими на однаковій відстані по висоті одна від одної (рис. 2.2). 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  $d$ . Для визначення напрямку схилу за горизонталями на них показують **бергштрихи** – короткі штрихи, перпендикулярні до горизонталей і направлені за схилом вниз.

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. 2.3) знаходиться на *горизонталі*.

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

б) точка  $B$  (рис. 2.3) 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.

*Наприклад* на рис. 2.3 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

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

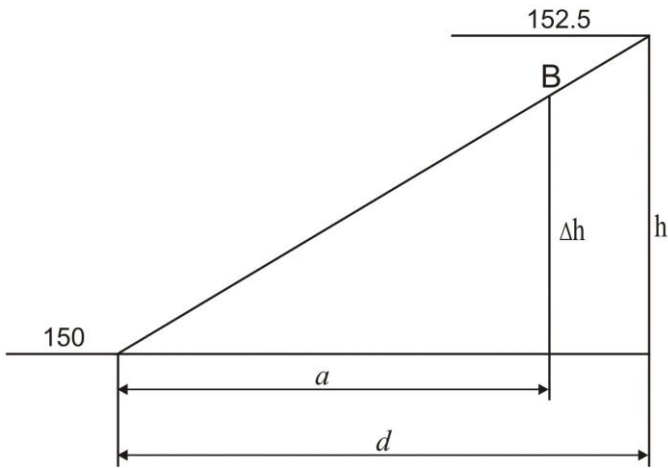
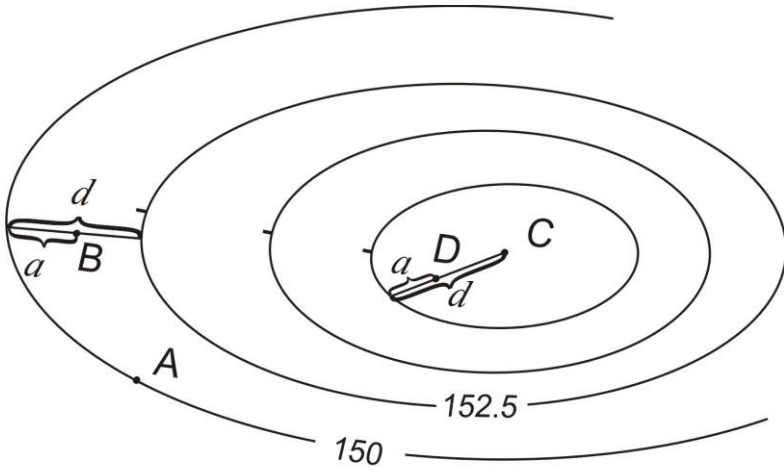


Рис. 2.3. Визначення висот точок за горизонталями

в) точка  $C$  (рис.2.3) 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.

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

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

г) точка  $D$  (рис.2.3) знаходиться *не в центрі замкненої 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. Тобто, в даному прикладі, спочатку необхідно знайти висоту точки  $C$  ( $H_C=158,75$  м – див. пункт в). 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. Після цього

$$\begin{aligned} \text{обчислюємо висоту точки } D: \quad H_D &= H_0 + \frac{a}{d}(H_C - H_0) = \\ &= 157,50 + \frac{4}{9}(158,75 - 157,50) = 158,06 \text{ м} . \end{aligned}$$

**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;

$\nu$  – кут нахилу;

$h$  – перевищення між точками, м;

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

Перетнемо схил гори горизонтальними площинами при висоті перетину  $h$  (рис. 2.4). На ділянці  $BC$  схил має кут нахилу  $\nu_1$ , на ділянці  $CD$  – кут нахилу  $\nu_2$ . Відстань  $d_1$  – це горизонтальне закладення 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  $D$ . Наприклад на рис. 2.4 перевищення  $h_{BC} = h_{CD} = 2,5$  м, закладення  $d_1 = 1,8$  см = 36 м (в масштабі 1:2000),  $d_2 = 0,9$  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 формулою (2.4) виражаються в тисячних частках. Крім того ухили ліній можна виражати у відсотках (%) або у проміле (‰). Наприклад:  $i_{CD} = 0,1389 = 13,89\% = 138,9\text{‰}$ . Для отримання ухилу у відсотках результат обчислений за формулою (2.4) домножується на 100, а у проміле – домножується на 1000.

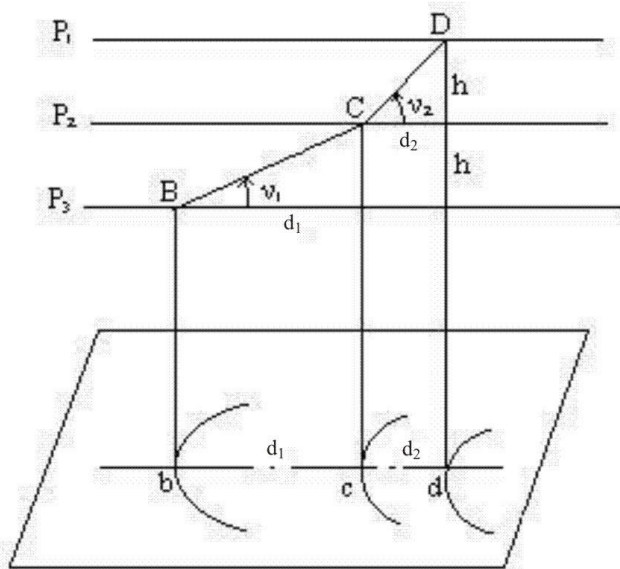


Рис. 2.4. Визначення ухилу

У випадку, коли необхідно визначити ухил за лінією, крайні точки якої не лежать на горизонталях, спочатку необхідно визначити висоти цих точок. Наприклад необхідно визначити ухил за лінією  $BC$  (рис. 2.3). Висоти точок  $B$  та  $C$  визначені у питанні №1 (пункти  $b$ ,  $v$ ) та становлять відповідно 151,25 м та 158,75 м.

Відстань між точками  $d_{BC} = 3,8 \text{ см}$ , що в масштабі 1:2000 становить 76 м. Тоді ухил:

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

Для практичних цілей, для визначення ухилу  $i$  будують спеціальний графік, який називають **масштабом закладень** (рис.2.5). Він будується наступним чином:

- задаються значеннями ухилів;
- обчислюють закладення (на місцевості) в метрах, для заданих ухилів  $i$  за формулою:

$$d = \frac{h}{i} , \tag{2.5}$$

де  $h$  зазвичай береться рівним висоті перерізу рельєфу;

- вздовж горизонтальної осі відкладають обрані значення ухилів в довільному масштабі;
- перпендикулярно до горизонтальної осі відкладають, в масштабі карти, закладення обчислені для кожного значення ухилу;
- сполучають отримані точки плавною кривою.

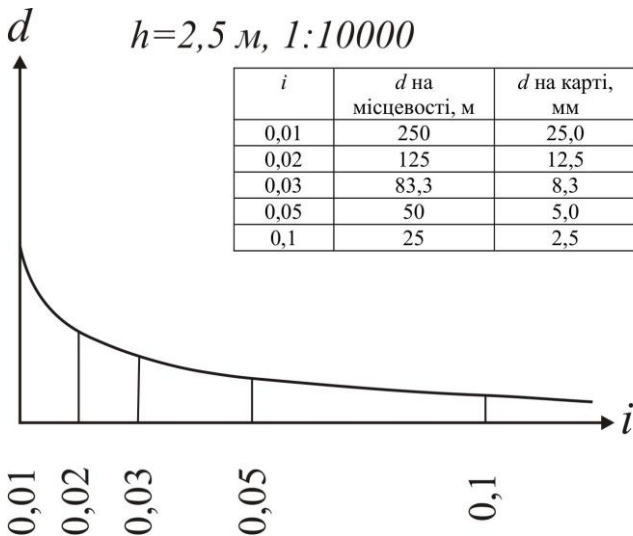


Рис. 2.5. Масштаб закладень для ухилів

Якщо тепер потрібно визначити ухил для конкретного закладення  $d$ , розхилом вимірника, рівним  $d$ , знаходять відповідне місце на графіку і прочитують значення ухилу (рис. 2.6). Знак ухилу беруть „+”, якщо висоти за напрямком лінії зростають та „-” – якщо спадають.

Масштабом закладень користуються лише коли необхідно визначити ухил між точками з перевищенням рівним висоті перерізу рельєфу (тобто між точками, які знаходяться на сусідніх горизонталях).

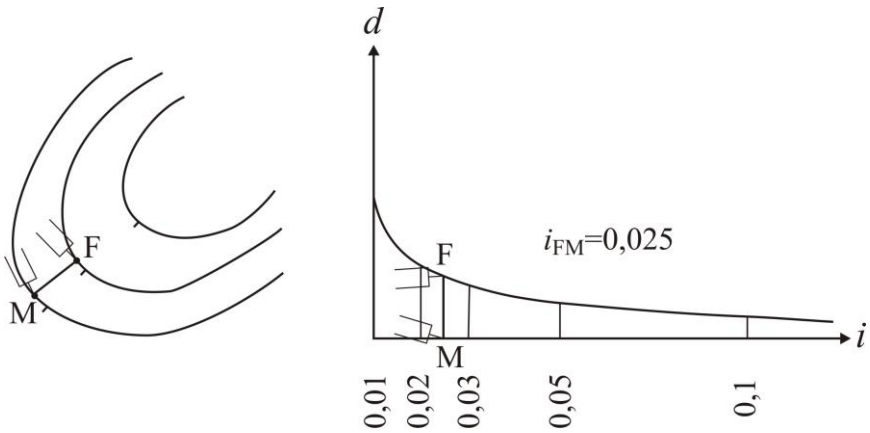


Рис. 2.6. Визначення ухилів за масштабом закладень

**2.3.** Нехай на карті (рис. 2.7, а) задано точки  $D$  і  $C$ , між якими необхідно провести лінію так, щоб жоден відрізок не мав ухилу більшого, ніж заданий.

Розраховуємо величину закладення  $d_{гран}$ , для заданого ухилу і перерізу рельєфу, за формулою (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 формулою (2.5) Значення необхідного закладення беремо в розхил вимірника і 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. З'єднавши всі точки,

одержуємо ламану лінію із ухилом, який не перевищує заданого. Дана задача має декілька варіантів розв'язання, з яких вибираємо найкращий.

**2.4. 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.

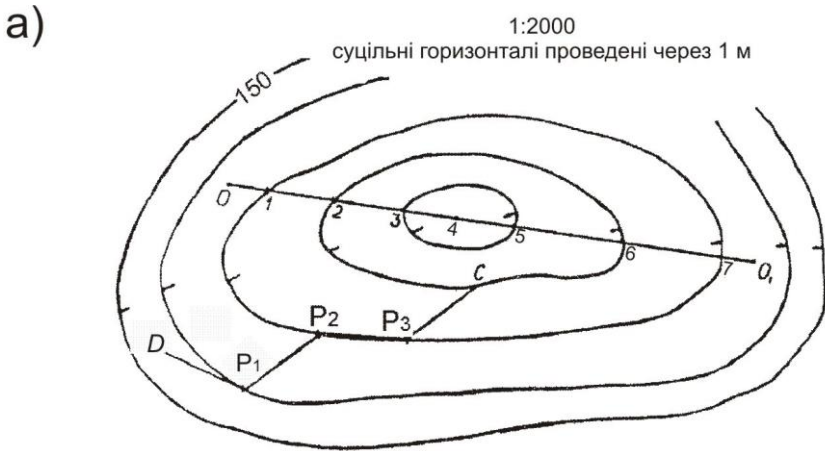


Рис. 2.7. Побудова профілю і лінії з заданим ухилом:  
а) побудова лінії з ухилом не більшим заданого; б) побудова профілю місцевості за заданим напрямком



Побудова профілю місцевості за заданим напрямком виконується таким чином: на топографічній карті (рис. 2.7, а) даного масштабу (1:2000) задають напрямок  $OO_1$ , за яким необхідно побудувати профіль. Точки перетину ліній з горизонталями (1, 2, 3, 5, 6, 7) і характерними точками рельєфу (4) нумерують. На аркуші міліметрового паперу будують графі *віддалей*, *висот* і *номерів точок* (рис. 2.7, 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. 2.7, а) ( $P_1$  – на горизонталі,  $D$  – між горизонталями).

#### Розв'язок:

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. 2.3 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. 2.7, а) (між точками  $O-O_1$ ,  $O-1$ ,  $7-O_1$  за формулою (2.4), а між відрізками лінії 1-2, 2-3, ... – за масштабом закладень).

#### Розв'язок:

Сполучаємо точки  $O$  та  $O_I$  прямою лінією. Точки перетину лінії  $OO_I$  з горизонталями нумеруємо  $1, 2, 3, \dots, 7$ .

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

Визначаємо загальний ухил по лінії  $OO_I$ , за формулою (2.4):

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

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

$d_{OO_I}$  – відстань між точками  $O$  та  $O_I$ :  $d_{OO_I} = 180,0$  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 формулою (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 будуємо 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. 2.6). 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:

$$i_{1-2} = -0,050;$$

$$i_{2-3} = -0,042;$$

$$i_{5-6} = +0,026;$$

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

### Завдання 3

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

#### Розв'язок:

Обчислюємо величину закладення на місцевості:

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

де  $h$  – висота перерізу рельєфу, м;

$i = 0,03$  – заданий ухил.

Обчислюємо величину закладення на плані масштабу 1:2000:

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

Подальший принцип побудови описаний в питанні 3.

### Завдання 4

Побудувати профіль за лінією  $AB$ .

#### Розв'язок:

Принцип побудови описаний в питанні 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.

## Лабораторне заняття 3.

### Будова і перевірки нівелірів

- 3.1. Будова нівелірів Н-3, Н-3К і нівелірних рейок.
- 3.2. Знімання відліків з 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*. За допомогою нівелірів 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 кутів 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* – призначені для приведення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт;
- 2 - *круглий рівень* – призначений для встановлення осі обертання нівеліра в прямокутне положення;
- 3 - *підставка нівеліра*;

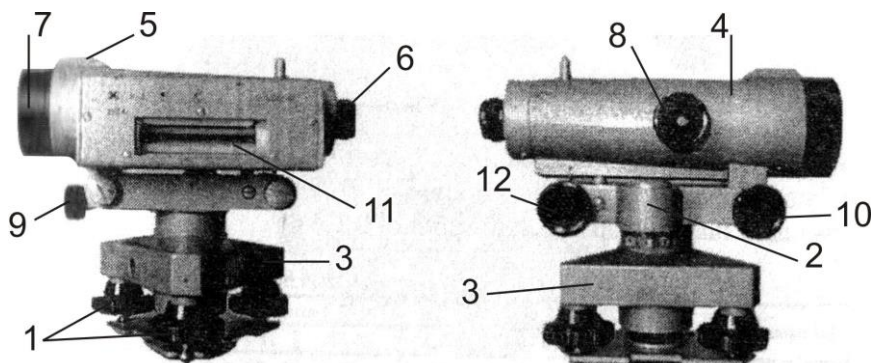


Рис. 3.1. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3

- 4 - зорова труба;
- 5 - візир – призначений для швидкого, приблизного наведення на рейку;
- 6 - окуляр;
- 7 - об'єктив;
- 8 - фокусуєчий гвинт (кремальєра) – призначений для отримання чіткого зображення рейки в полі зору зорової труби;
- 9 - затискний (закріпний) гвинт – призначений для закріплення зорової труби в нерухомому положенні;
- 10 - навідний (мікрометричний) гвинт – призначений для точного наведення зорової труби на рейку в горизонтальній площині (працює при загвинченому затискному гвинті);
- 11 - циліндричний рівень – призначений для встановлення лінії візування в горизонтальне положення;
- 12 - елеваційний гвинт – призначений 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.3.4). Якщо бульбашка рівня знаходиться в нуль-пункті, то зображення її в полі зору труби утворює в верхній частині один загальний овал.

### **Будова нівеліра Н-3К.** Основними частинами нівеліра Н-3К

(рис. 3.2) є наступні:

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

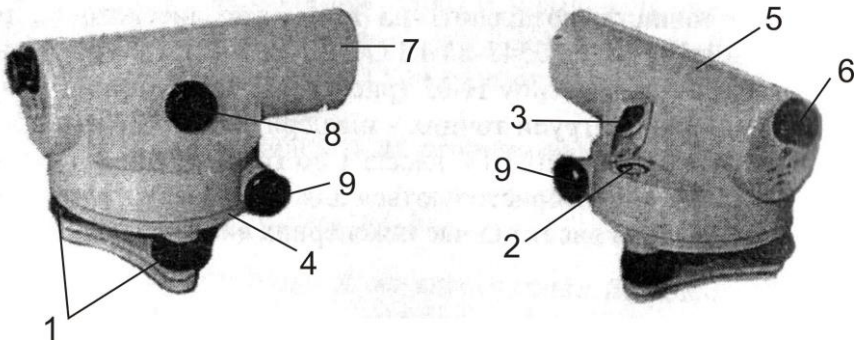


Рис. 3.2. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3К

У нівелірі Н-3К відсутні циліндричний рівень і елеваційний гвинт, тому що візирна вісь встановлюється автоматично в горизонтальне положення призмовим компенсатором (при кутах нахилу до  $15^\circ$ ). **Компенсатор** – це пристрій, який автоматично встановлює промінь візування у горизонтальне положення при невеликих нахилах зорової труби.

**Нівелірні рейки.** Нівелірна рейка служить робочою мірою вимірювання перевищень. *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. У складних рейках після цифр додається літера „С” (РН-10С).

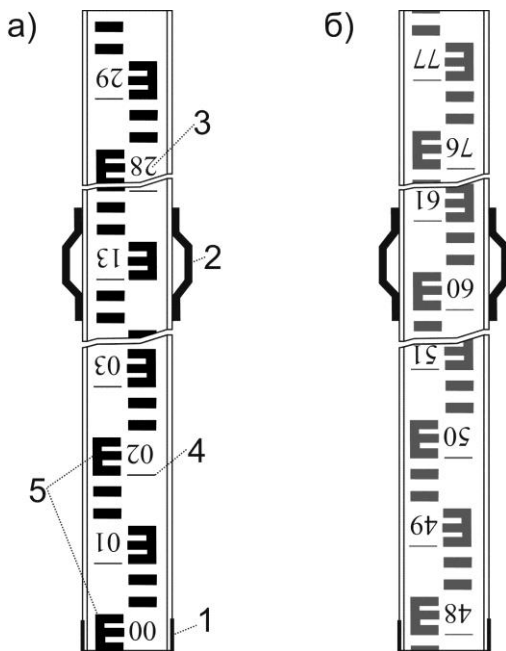


Рис. 3.3. Рейка РН-10 для нівеліра з оберненим зображенням:  
а) чорний бік; б) червоний бік

Рейка РН-10 (рис. 3.3) – двостороння, шашкова, ціна поділки 10 мм. Являє собою дерев’яний брусок шириною 8-10 см, товщиною 2-3 см, виготовлений з сухої деревини. З боків рейки закріплені дві ручки (2). Кінці рейки для міцності оковують металевими пластинами (1). На одному боці нанесені чорні і білі поділки (чорний бік), на іншому – червоні і білі (червоний бік). Поділ виконаний у вигляді дециметрів, розділених на 10 частин. Кожний 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 чорному боці поділки починаються від нуля, який суміщений з нижнім кінцем рейки. На червоному боці 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 червоного і чорного боків рейки. В залежності від того, яке зображення буде зорова труба нівеліра дециметрові підписи можуть бути *прямими* або *оберненими* (перевернутими). Як правило виготовляють рейки три- і чотирьохметрові. Рейка РН-3 має аналогічну конструкцію і додатково обладнана круглим рівнем.

**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).

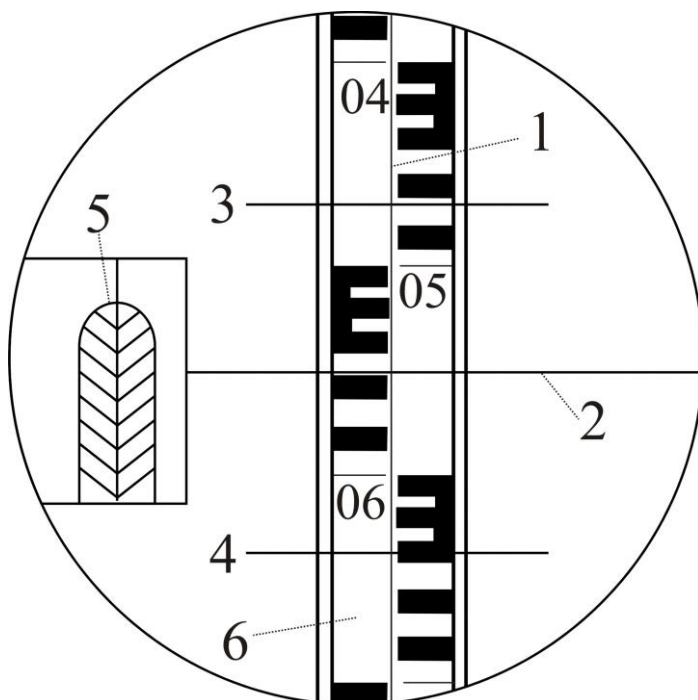


Рис. 3.4. Поле зору труби нівеліра Н-3

*Перед зніманням відліку з рейки необхідно:*

- 1) встановити нівелір на штатив і за допомогою піднімальних гвинтів вивести бульбашку круглого рівня на середину (в нуль-пункт);



- 2) приблизно навести зорову трубу на рейку за допомогою візиру та зафіксувати напрям наведення закріпним гвинтом;
- 3) досягнути чіткого зображення рейки в полі зору труби за допомогою фокусуєчого гвинта;
- 4) досягнути чіткого зображення сітки ниток в полі зору труби за допомогою діоптрійного кільця 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 значущих цифр*. Відлік являє собою 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 (знімаються на око). В нашому випадку маємо на рис. 3.4 – за верхнім штрихом – 0472, за середнім – 0559, за нижнім – 0646 мм.

За допомогою віддалемірних штрихів сітки ниток можна визначати віддалі від нівеліра до рейки. Віддалемірні відстані вираховують як *різниця 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.

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

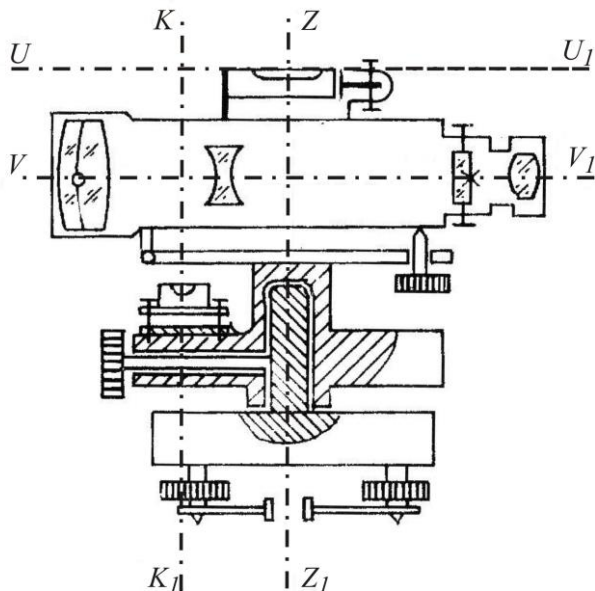


Рис. 3.5. Схема основних осей нівеліра з циліндричним рівнем і елеваційним гвинтом

*Основні геометричні осі нівеліра наступні:*

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

**Вертикальна вісь обертання нівеліра  $ZZ_1$**  – уявна пряма лінія, яка проходить через центр обертання зорової труби та підставки.

**Вісь циліндричного рівня  $UU_1$**  – уявна пряма лінія, яка проходить за дотичною до внутрішньої поверхні ампули рівня в точці нуль-пункту.

**Вісь круглого рівня  $KK_1$**  – уявна пряма лінія, яка з’єднує центр сферичної поверхні і точку нуль-пункту.

### **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  $180^{\circ}$ . Якщо бульбашка залишилась на середині, то умова виконана, а якщо бульбашка виходить за межу круга рівня, то виконують виправлення.

**Виправлення.** На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуль-пункта виправними гвинтами рівня. Після виправлення перевірку повторюють знову.

**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 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.

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

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

**Виконання перевірки.** Перевірка виконується подвійним нівелюванням: з середини та вперед. На місцевості закріплюють дві точки  $A$  та  $B$  на відстані одна від одної приблизно 70-80 м (рис. 3.б, а). Нівелір встановлюють строго посередині між точкам  $A$  і  $B$  та знімають відліки з чорних боків рейок встановлених на цих точках –  $a_1^{чор}$  і  $b_1^{чор}$  за середнім штрихом сітки ниток. Після цього рейки на точках повертають навколо своєї осі та знімають відліки за червоними боками рейок –  $a_1^{чер}$  і  $b_1^{чер}$ . За знятими відліками обчислюють *перевищення* за чорним та червоним боками: від відліку за задньою рейкою віднімають відлік за передньою рейкою, тобто:

$$h_1^{чор} = a_1^{чор} - b_1^{чор};$$

$$h_1^{чер} = a_1^{чер} - b_1^{чер}.$$
(3.1)

За остаточне значення перевищення  $h_1$  беруть середнє з обчислених перевищень за чорним та червоним боками.

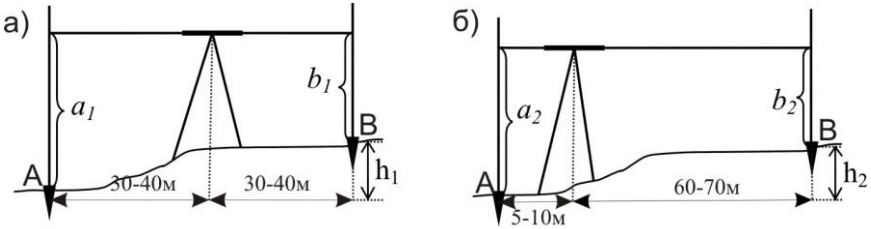


Рис. 3.6. Перевірка головної умови нівеліра:  
а) нівелювання при рівності плеч; б) нівелювання при нерівності плеч

Після цього 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 за чорним –  $a_2^{чор}$  та  $b_2^{чор}$  та червоним –  $a_2^{чер}$  та  $b_2^{чер}$  боками. Після чого обчислюють *перевищення* за чорним та червоним боками:

$$h_2^{чор} = a_2^{чор} - b_2^{чор};$$

$$h_2^{чер} = a_2^{чер} - b_2^{чер}.$$
(3.2)

За остаточне значення перевищення  $h_2$  беруть середнє з обчислених перевищень за чорним та червоним боками.

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:

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

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

**Виправлення.** 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. Після виправлення перевірку повторюють.

### Перевірки нівеліра Н-3К

**Перевірки круглого рівня і сітки ниток нівеліра Н-3К** виконують і виправляють так само, як нівеліра Н-3.

**Перевірка головної умови для нівеліра з компенсатором** формулюється так: *візирна вісь нівеліра, встановленого в робоче положення, повинна бути горизонтальною*. Виконується перевірка головної умови як і для нівеліра Н-3. Виправлення негоризонтальності виконується верхнім та нижнім виправними гвинтами сітки ниток шляхом переміщенням її середнього штриха на правильний відлік  $b_0$ .

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

**Виконання перевірки.** Встановлюють нівелір посередині створу між рейками, що розміщені на відстані 80-100м. Визначають перевищення між ними п'ятьма прийомами, при положеннях бульбашки круглого рівня, як показано на рис. 3.7.

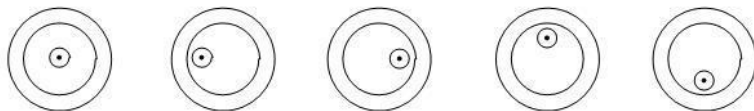


Рис. 3.7. Положення бульбашки круглого рівня при визначенні похибки компенсації

- 1 прийом – бульбашка круглого рівня знаходиться в нуль-пункті;
- 2 прийом – бульбашка відхиляється до об'єктива (при наведенні на задню рейку);
- 3 прийом – бульбашка відхиляється до окуляра (при наведенні на задню рейку);
- 4 прийом – бульбашка відхиляється праворуч (при наведенні на задню рейку);
- 5 прийом – бульбашка відхиляється ліворуч (при наведенні на задню рейку).

Перевищення  $h_1$  визначене в *першому прийомі* (бульбашка у нуль-пункті) вважається правильним. З перевищень визначених у 2, 3, 4, 5 *прийомах* (при положеннях бульбашки рівня не в середині) знаходять середнє:

$$h_{сер} = (h_2 + h_3 + h_4 + h_5) / 4. \quad (3.5)$$

Після чого знаходять різницю:

$$\Delta h = h_{сер} - h_1. \quad (3.6)$$

Якщо  $\Delta h \leq 5$  мм, то умова перевірки виконана.

**Виправлення.** В разі невиконання даної умови виправлення виконують в оптичній майстерні.

### **Приклади типових завдань:**

#### **Завдання 1.**

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

#### **Розв'язок:**

Вивчити розміщення і призначення основних частин нівеліра. Привести нівелір в робоче положення, як описано в питанні 2, та зняти відлік з рейки. Замалювати в зошит поле зору зорової труби та знятий відлік.

#### **Завдання 2.**

Виконати перевірки нівеліра.

### Розв'язок:

Виконати перевірки приладу, як описано в питанні 3. Виконання перевірки головної умови нівеліра оформити як показано в таблицях 3.1 та 3.2.

### Перевірка головної умови нівеліра Н-3 №153545

Таблиця 3.1

Визначення перевищення нівелюванням з середини

	Відліки		Перевищення $h$ , мм	Середнє перевищення $h_1^{сер}$ , мм
	задня рейка	передня рейка		
чорний бік	1381 (1)	0858 (2)	+523 (5)	+524 (7)
червоний бік	6165 (3)	5640 (4)	+525 (6)	

Таблиця 3.2

Визначення перевищення нівелюванням вперед

	Відліки		Перевищення $h$ , мм	Середнє перевищення $h_2^{сер}$ , мм
	задня рейка	передня рейка		
чорний бік	1764 (8)	1238 (9)	+526 (12)	+526 (14)
червоний бік	6545 (10)	6019 (11)	+526 (13)	

Позначеннями (1)-(14) показана 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-ЗК.
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.

## Лабораторне заняття 4.

### *Побудова поздовжнього і поперечного профілів лінійної споруди*

4.1. Камеральна обробка журналу технічного нівелювання траси.

4.2. Камеральна обробка пікетажного журналу.

4.3. Побудова поздовжнього і поперечного профілів траси.

**Прилади і обладнання:** журнал технічного нівелювання, пікетажний журнал, калькулятор, міліметровий папір, кольорові ручки (чорна, червона), олівець, лінійка.

**4.1.** Геометричне нівелювання, яке виконується для вирішення будь-яких інженерно-технічних задач, називається **технічним нівелюванням**. Часто технічне нівелювання виконують при побудові поздовжніх профілів осей лінійних об'єктів: автодоріг, ліній електропередач і зв'язку, каналів, траншей і т. ін. В цьому випадку вирішується питання визначення висотного і планового положення точок, розташованих вздовж осі споруди через певні інтервали (50-100 м) і додаткових точок, які відтворюють особливості рельєфу місцевості.

*Полюві роботи* при технічному нівелюванні осі лінійної споруди складаються із: *підготовчих робіт, рекогностування місцевості, розмічування пікетажу та знімання ситуації вздовж траси, розмічування кривих, перенесення пікетів на криві, нівелювання пікетів.*

**Нівелювання пікетів.** Всі точки, які закріплені на місцевості по осі споруди, при технічному нівелюванні ділять на зв'язуючі і проміжні. *Зв'язуючі* точки є загальними для всіх суміжних *станцій* і використовуються для передачі висот на точки ходу. Всі інші точки нівелірного ходу називаються *проміжними*. Нівелювання зв'язуючих точок, виконують із середини. Для передачі абсолютних висот від найближчого репера на нульовий пікет прокладають нівелірний хід. Такий вид робіт називають **прив'язкою** осі траси до висотної мережі старших класів.

*Камеральна обробка* результатів технічного нівелювання полягає в тому, що виконують перевірку правильності запису чисел,



польових обчислень, урівнювання нівелірного ходу в наступній послідовності:

- 1) *контролюють правильність знімання відліків* на станціях вираховуючи п'ятку рейки (різниця відліків з червоного та чорного боків рейки) та перевищення  $h$  між зв'язуючими точками (різниця відліків задньої і передньої рейок). *Контроль обчислення п'ятки рейки:* значення п'ятки обчислені на станції не повинні відрізнитись більше ніж на 5 мм. *Контроль обчислення перевищень:* перевищення обчислюють два рази – за чорним і червоним боками рейок. Якщо різниця отриманих значень перевищень менше 5 мм, то обчислюють середнє перевищення  $h_{сер}$ . У випадку якщо різниця п'яток або перевищень обчислених за чорним і червоним боками більше 5 мм, то всі обчислення в журналі закреслюють, а вимірювання повторюють. Обчислені значення п'яток та перевищень записують у відповідні графи журналу технічного нівелювання.
- 2) виконують **посторінковий контроль** обчислень в журналі технічного нівелювання. Для цього *на кожній сторінці журналу* знаходять наступні суми:  $\sum Z$  – сума відліків за задньою рейкою;  $\sum П$  – сума відліків за передньою рейкою;  $\sum 2h$  – сума перевищень за чорними і червоними боками;  $\sum h_{сер}$  – сума середніх перевищень. Якщо обчислення виконані правильно, то повинні задовольнятися рівності:

$$\begin{aligned}\sum Z - \sum П &= \sum 2h; \\ \frac{1}{2} \sum 2h &= \sum h_{сер}.\end{aligned}\tag{4.1}$$

Розбіжність допускається на 1-2 мм за рахунок округлень при обчисленні середніх перевищень;

- 3) обчислюють *суму вимірних перевищень* між зв'язуючими точками ходу за формулою:

$$\sum h_{вим} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_i ,\tag{4.2}$$

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

- 4) обчислюють *теоретичну суму перевищень* в ході:  
а) коли нівелірний хід розімкнений за формулою:

$$\sum h_{теор} = H_K - H_{II} , \quad (4.3)$$

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

- б) коли нівелірний хід замкнений за цією ж формулою отримуємо:

$$\sum h_{теор} = H_K - H_{II} = 0 ; \quad (4.4)$$

- 5) знаходять *нев'язку* в нівелірному ході за формулою:

$$f_h = \sum h_{вим} - \sum h_{теор} ; \quad (4.5)$$

- 6) обчислюють *допустиму невязку* в нівелірному ході технічного нівелювання за формулою:

$$f_{h\ доп} = \pm 50\text{мм}\sqrt{L} , \quad (4.6)$$

де  $L$  – довжина ходу в км;

- 7) перевіряють чи виконується нерівність:

$$f_h \leq f_{h\ доп} . \quad (4.7)$$

Виконання умови (4.7) означає, що вимірювання виконані з достатньою точністю і нівелірний хід можна урівнювати. В протилежному випадку необхідно перевірити всі обчислення і в разі потреби виконати повторні вимірювання;

- 8) урівнювання перевищень полягає в розподіленні отриманої невязки з протилежним знаком порівну у кожне виміряне перевищення. Ця величина називається **поправкою**  $\mathcal{Q}$  і обчислюється за формулою:

$$g_h = -\frac{f_h}{n}, \quad (4.8)$$

де  $n$  – кількість перевищень в ході.

Поправки обчислюють з точністю до 1 мм і записують червоним кольором в колонку „середнє перевищення” над значеннями перевищень. *Контроль*: сума обчислених поправок повинна дорівнювати нев’язці з протилежним знаком:

$$\sum g_h = -f_h; \quad (4.9)$$

9) для того, щоб отримати *виправлене перевищення*  $h'$ , необхідно до виміряного перевищення додати поправку, обчислену за формулою (4.8), тобто:

$$\begin{aligned} h'_1 &= h_1 + g_h; \\ h'_2 &= h_2 + g_h; \\ &\dots\dots\dots \\ h'_i &= h_i + g_h; \end{aligned} \quad (4.10)$$

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

$$\sum h'_i = \sum h_{теор}; \quad (4.11)$$

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

$$H_{i+1} = H_i + h'_{i,i+1}. \quad (4.12)$$

Обчислення починають від репера з відомою початковою висотою  $H_{п.}$  *Контролем* обчислень є 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:

$$ГП = H_0 + a, \quad (4.13)$$

де  $H_0$  – висота задньої або передньої зв'язуючої точки на станції;  
 $a$  – відлік за чорним боком рейки, встановленій на цій точці.

Тоді висота проміжної точки обчислюється за формулою:

$$H_{пром} = ГП - c, \quad (4.14)$$

де  $c$  – відлік за чорним боком рейки, встановленої на проміжній точці.

**4.2. Трасою** називається вісь проектної лінійної споруди, яка закріплена на місцевості, або нанесена на топографічну карту чи матеріали аерофотознімання. Основними елементами траси є: **план** – її проекція на горизонтальну площину і **поздовжній профіль** – вертикальний розріз за проектною лінією.

В плані траса складається із прямих ділянок різного напрямку, сполучених між собою горизонтальними кривими. В поздовжньому профілі траса складається з ліній різноманітних ухилів, при необхідності з'єднаних між собою вертикальними коловими кривими. Оскільки ухили трас зазвичай невеликі, то для наочності їх зображення на профілі вертикальний масштаб приймають в десять разів крупнішим, ніж горизонтальний, *наприклад* горизонтальний масштаб  $1:5000$ , вертикальний –  $1:500$ .

Для характеристики місцевості і проектної лінійної споруди, в характерних точках місцевості в напрямках перпендикулярних до траси, будують *поперечні профілі* в однаковому горизонтальному і вертикальному масштабах.

**Трасуванням** називається комплекс інженерно-вишукувальних робіт, призначений для визначення положення лінійної смуги місцевості, яка відповідає всім технічним і економічним вимогам

для побудови будь-якої лінійної споруди. Трасування поділяють на камеральне і польове.

Коли траса проектується за топографічним планом або картою та матеріалами аерофотознімання місцевості – трасування називають **камеральним**; якщо трасу визначають на місцевості – **польовим**.

*Польові роботи* розпочинають з розмічування на місцевості початку траси (ПТ), вершин кутів повороту траси (ВК-1, ВК-2, ...) та кінця траси (КТ). Після чого виконують кутові та лінійні вимірювання за віссю траси. *Кутові вимірювання* полягають у вимірюванні кутів  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  в вершинах кутів повороту. На їх основі обчислюють кути повороту траси:

– при повороті осі траси праворуч, за формулою:

$$\theta_{np} = 180^\circ - \beta_1; \quad (4.15)$$

– при повороті осі траси ліворуч, за формулою:

$$\theta_{лів} = \beta_2 - 180^\circ. \quad (4.16)$$

Ці формули наведені для правих кутів  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  (рис. 4.1). У випадку вимірювання лівих кутів  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  за ходом траси, кути повороту обчислюються:

– при повороті осі траси праворуч, за формулою:

$$\theta_{np} = \beta_1 - 180^\circ, \quad (4.17)$$

– при повороті осі траси ліворуч, за формулою:

$$\theta_{лів} = 180^\circ - \beta_2. \quad (4.18)$$

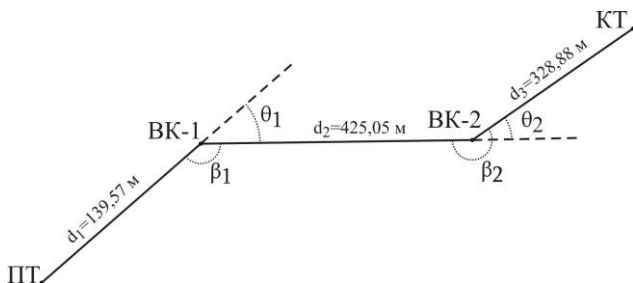


Рис. 4.1. Вимірювання кутів повороту за віссю траси

При трасуванні паралельно з кутовими вимірюваннями виконують два види *лінійних вимірювань*:

Перший вид вимірювань – визначення віддалей між вершинами кутів повороту, виконується разом з вимірюванням кутів повороту. При ухилах місцевості більше  $2^\circ$  в довжини ліній вводять поправки за ухил. За результатами цих вимірювань та прив'язки до геодезичної мережі обчислюють координати вершин кутів повороту.

Другий вид вимірювання – служить для розмічування пікетажу. **Пікетаж** – система відлічування віддалей у сотнях метрів від початку траси до інших пікетів за трасою, *наприклад* ПК-5 означає, що точка знаходиться на відстані 500 м від початку траси. Перед розмічуванням пікетажу необхідно розрахувати елементи колових кривих, пікетажні значення основних точок траси та основних точок кривих у *пікетажному журналі* (рис. 4.2). Спочатку виконують розмічування від початку траси до першої вершини кута повороту. Після вершини кута повороту відкладають *домір* та переносять пікетажне значення вершини кута на закінчення доміру (рис. 4.3). Подальше розмічування пікетажу виконують від закінчення доміру. *Геометричний зміст доміру* полягає в тому, що лінійна споруда будується за віссю кривої  $K$ , а не за ламаною  $ПК-ВК-КК$ , яка довша за криву на величину доміру  $D$ . Тому для збереження правильного пікетажу після повороту осі траси, необхідно відкладати домір після кожної вершини кута повороту.

Крім цілих пікетів розмічають в натурі основні точки кривих та *плюсові точки*: *рельєфні* – характерні перегини рельєфу місцевості та *контурні* – об'єкти, що перетинаються трасою споруди (з точністю до 1 см).

Одночасно з розмічуванням пікетажу ведеться **пікетажний журнал**. В журналі показують вісь траси у вигляді прямої лінії посередині сторінки, на якій в наближеному масштабі наносять всі пікетні і плюсові точки, кути повороту, поперечники, границі перешкод і ситуацію смугою приблизно по *50 метрів* в обидва боки від осі.

Запис в пікетажному журналі ведеться знизу вверху так, щоб правий і лівий бік сторінки відповідали правому і лівому боку траси за ходом розмічування пікетажу. Кути повороту в журналі показують у вигляді стрілок, направлених праворуч чи ліворуч від осьової лінії, в залежності від того, в який бік повертає траса.

## ПІКЕТАЖНИЙ ЖУРНАЛ

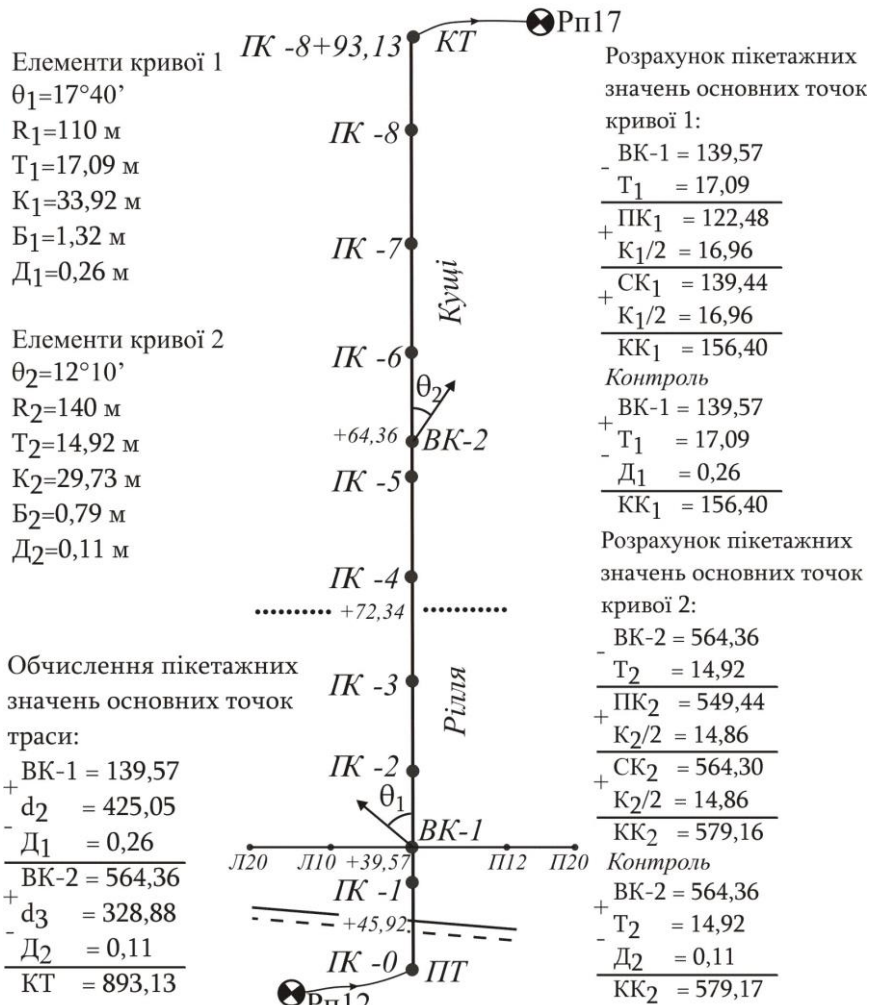


Рис. 4.2. Пікетажний журнал

В пікетажний журнал виписують обчислені елементи кривих – кут повороту  $\theta$ , радіус  $R$ , тангенс  $T$ , криву  $K$ , бісектрису  $B$ , домір  $D$  (рис. 6.3). Кути повороту траси обчислюють за формулами (4.15)-(4.18), радіусом повороту задаються залежно від виду лінійної споруди, а решту елементів обчислюють за формулами:



$$\begin{aligned}
 T &= R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \\
 K &= \frac{\pi R \theta}{180}; \\
 B &= R \left( \frac{1}{\cos \theta / 2} - 1 \right); \\
 D &= 2T - K.
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

Крім того, одночасно з веденням пікетажного журналу, виконують розрахунок пікетажних значень основних точок траси та пікетажних значень основних точок кривих:

- 1) пікетажні значення *основних точок траси* обчислюють за формулами (для схеми зображеної на рис. 4.1):

$$\begin{aligned}
 \text{вершина кута 1: } BK_1 &= d_1; \\
 \text{вершина кута 2: } BK_2 &= BK_1 + d_2 - D_1; \\
 \text{кінець траси: } KT &= BK_2 + d_3 - D_2;
 \end{aligned}
 \tag{4.20}$$

- 2) розрахунок пікетажних значень *основних точок кривої* виконують за формулами:

$$\begin{aligned}
 \text{початок кривої: } ПК &= BK - T; \\
 \text{середина кривої: } СК &= ПК + K / 2; \\
 \text{кінець кривої: } КК &= СК + K / 2.
 \end{aligned}
 \tag{4.21}$$

*Контроль* обчислень виконують за формулою:

$$КК = BK + T - D.
 \tag{4.22}$$

Допустиме розходження допускається не більше 0,01 м за рахунок заокруглення числа.

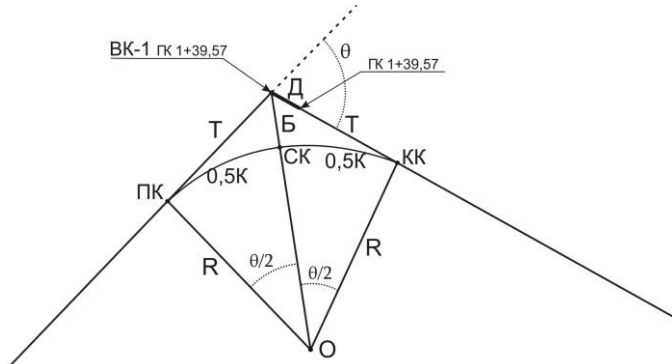


Рис. 4.3. Елементи колової кривої

**4.3.** Після завершення обчислень приступають до побудови поздовжнього і поперечного профілів. Побудову **ПОЗДОВЖНЬОГО профілю** починають з нанесення на міліметровий папір профільної сітки, згідно встановленого взірця (рис. 4.4). Розміри листа підбирають в залежності від довжини траси та перепаду висот по осі траси в обраних горизонтальному та вертикальному масштабах. Даними для побудови профілю служать пікетажний журнал та журнал нівелювання траси. Умовний горизонт за верхньою лінією профілю приймають кратним  $1.0\text{ м}$  і підписують так, щоб ординати точок профілю були в межах  $10\text{--}15\text{ см}$ . Оскільки профілі викреслюють в різних горизонтальному та вертикальному масштабах, то профіль не буде подібний натурі, але рельєф місцевості на ньому буде відтворюватися більш різко, що забезпечує кращу його наочність. Викреслювати профіль слід зліва на право.

В рядку „Віддали” в заданому горизонтальному масштабі, з пікетажного журналу, наносять всі пікетні і плюсові точки. Між усіма сусідніми точками записують віддали з точністю до  $0,01\text{ м}$ .

В рядку „Пікети” підписують назви всіх нанесених точок. Пікети позначаються символом ПК з номером пікета, плюсові точки – знаком „+” та кількістю метрів до попереднього пікету.

В рядку „Висоти поверхні землі” виписують висоти всіх нанесених точок з журналу нівелювання, заокруглюючи їх до  $0,01\text{ м}$ . З цих точок, в заданому вертикальному масштабі, від умовного горизонту, відкладають ординати, які відповідають висотам точок. Кінці ординат з’єднують ламаною лінією.

**Поздовжній профіль по осі лінійної споруди  
від ІК-0 до ІК-8+93,13**

Масштаби: горизонтальний 1:1000  
вертикальний 1:100

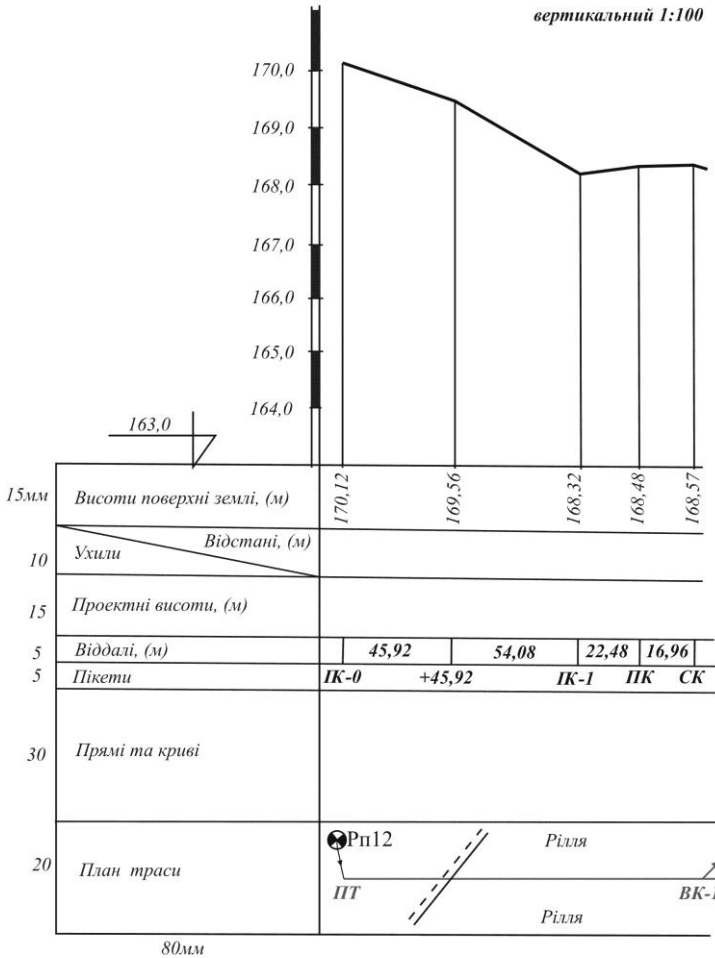


Рис. 4.4. Сітка поздовжнього профілю

В рядку „План траси” викреслюють посередині прямою лінією, товщиною 0,7-0,8 мм, вісь лінійної споруди червоним кольором. За пікетажним журналом умовними знаками наносять ситуацію, у відповідних місцях згідно пікетажного журналу стрілками показують напрямок повороту траси.

**Поперечні профілі** земної поверхні будують в характерних місцях траси в однакових масштабах, як для горизонтальних відстаней, так і для вертикальних. Сітка поперечного профілю показана на рис. 4.5.

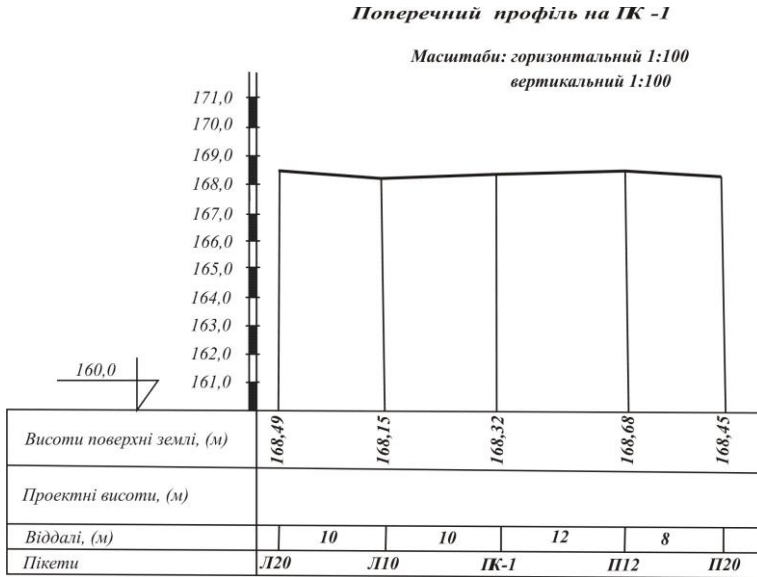


Рис. 4.5. Сітка поперечного профілю

В рядку „Віддалі” на необхідній відстані спочатку наносять пікетну, або плюсову точку, яка одночасно відноситься до поздовжнього і поперечного профілів (в нашому прикладі це ІК-1) . Після чого, в масштабі, відкладають точки праворуч і ліворуч. Позначення виду Л10 та П12 означають, що точки знаходяться відповідно ліворуч на відстані 10 м від осі траси та праворуч на відстані 12 м.

В рядку „Пікети” підписують назви нанесених точок.

В рядку „Висоти поверхні землі” підписують висоти нанесених точок з журналу технічного нівелювання.

Побудова існуючого рельєфу на поперечному профілі виконується так само, як і на поздовжньому.

### Приклади типових завдань:

#### Завдання 1.

Виконати камеральну обробку журналу технічного нівелювання траси.

**Розв'язок:**

Завдання виконується у журналі технічного нівелювання з результатами вимірювань в послідовності, описаній в питанні 1.

**Завдання 2.**

Виконати камеральну обробку пікетажного журналу.

**Розв'язок:**

Завдання виконується у пікетажному журналі в послідовності, описаній в питанні 2.

**Завдання 3.**

Виконати побудову поздовжнього і поперечного профілів траси.

**Розв'язок:**

Розграфити сітки під поздовжній і поперечний профілі на міліметровому папері. Заповнити графи „Віддалі”, „Пікети”, „Висоти поверхні землі” та „План траси”. Нанести на профілі існуючий рельєф.

**Контрольні запитання:**

1. Геометричне нівелювання. Нівелювання пікетів траси.
2. Посторінковий контроль журналу технічного нівелювання.
3. Урівнювання нівелірних ходів і визначення висот зв'язуючих точок.
4. Обчислення висот проміжних точок.
5. Поняття про трасу. Камеральне трасування лінійних споруд.
6. Польове трасування лінійних споруд.
7. Розмічування пікетажу траси.
8. Розрахунок пікетажних значень головних точок кривої.
9. Основні елементи колової кривої.
10. Обчислення пікетажних значень вершин повороту траси.
11. Складання пікетажного журналу.
12. Побудова поздовжнього і поперечного профілів лінійної споруди.

## Лабораторне заняття 5.

### *Нанесення проектної лінії на профіль*

- 5.1. Нанесення проектної лінії на профіль.
- 5.2. Обчислення ухилів на ділянках з однаковим ухилом.
- 5.3. Обчислення проектних висот траси.
- 5.4. Викреслення прямих і кривих на профілі.

**Прилади і обладнання:** червона, чорна, синя ручки, лінійка, калькулятор.

**5.1.** На *поздовжній профіль* наносять проектну лінію, яка відповідає положенню майбутньої споруди і задовольняє наступним умовам:

- 1) об'єм земляних робіт при побудові споруди повинен бути мінімальним;
- 2) проектна лінія не повинна перевищувати максимальний ухил;
- 3) об'єми земляних робіт по насипах і виїмках повинні бути приблизно рівними, тобто, щоб ґрунт із виїмки можна було використати для сусіднього насипу.

Проектна лінія наноситься на профіль червоним кольором. Вона може складатись з декількох відрізків, на кожному з яких ухил є постійним (рис. 5.1).

Проектну лінію *на поперечний профіль* наносять після завершення викреслювання поздовжнього профілю, оскільки для проектування поперечного профілю необхідні проектні висоти з осі лінійної споруди. Послідовність побудови поперечного профілю залежить від характеру проектної споруди. *Наприклад*, на рис. 5.2 показаний зразок поперечного профілю автомобільної дороги.

Побудова *проектної лінії поперечного профілю* автомобільної дороги виконується в наступній послідовності:

- 1) з рядка „*Проектні висоти*” поздовжнього профілю випикуємо запроєктовану висоту спільної точки поздовжнього і поперечного профілю (в даному випадку спільним є ПК-1);
- 2) задавши ширину смуг руху (*по б м*) та ухилом від центру до краю дороги (*-0,02*) обчислюємо висоти крайніх точок дорожнього полотна;

**Поздовжній профіль по осі лінійної споруди**

від ІК-0 до ІК-8+93,13

Масштаби: горизонтальний 1:1000

вертикальний 1:100

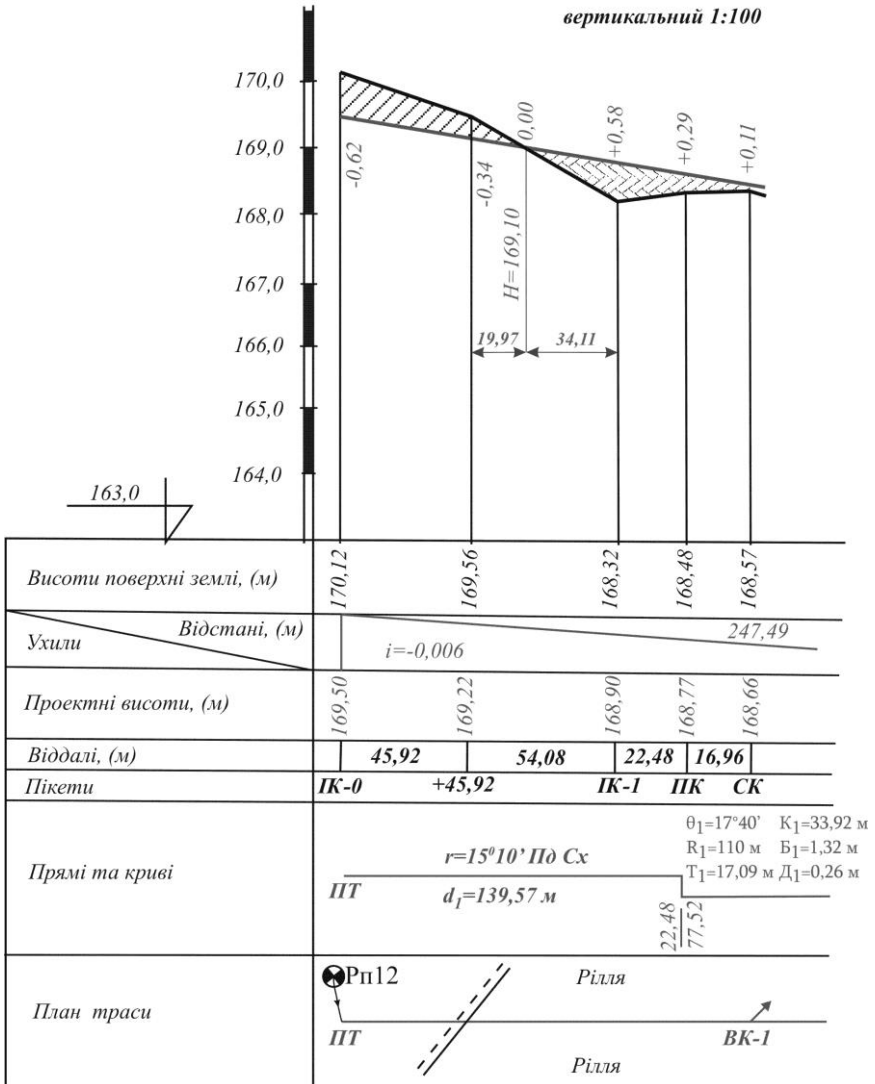


Рис. 5.1. Поздовжній профіль

### Поперечний профіль на ПК -1

Масштаби: горизонтальний 1:100  
вертикальний 1:100

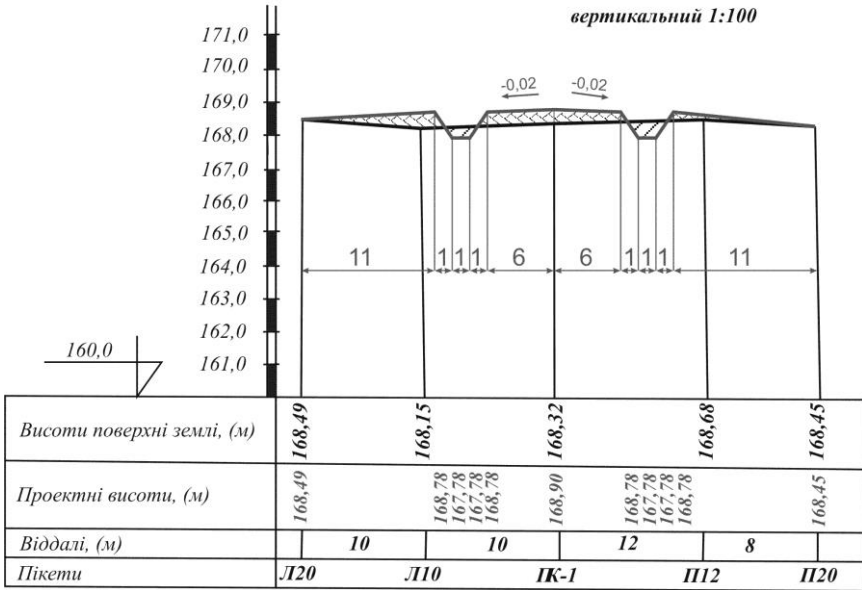


Рис. 5.2. Поперечний профіль

- 3) вздовж дорожнього полотна проектуємо канави для стічних вод – за заданими шириною та глибиною обчислюємо проектні висоти;
- 4) в заданому вертикальному масштабі відкладаємо обчислені проектні висоти від умовного горизонту та сполучаємо їх ламаною лінією.

**5.2.** В рядку „Ухили\Відстані” поздовжнього профілю необхідно позначити кожен відрізок з однаковим ухилом та підписати значення ухилу та відстані для нього (рис. 5.1). Причому похила лінія в цьому рядку повинна передавати характер запроєктованої споруди – підйом чи спуск. Проектні висоти початкової і кінцевої точок кожної прямої ділянки та її довжину визначають графічно за масштабом профілю. Після цього обчислюють ухили кожного проектного відрізка за формулою:



$$i = \frac{H_K - H_{II}}{d}, \quad (5.1)$$

де  $H_K, H_{II}$  – висоти відповідно кінцевої та початкової точок відрізка, визначені графічно за профілем;  
 $d$  – віддаль між цими точками.

**5.3.** Визначені графічно висоти початкової і кінцевої точок кожної прямої ділянки записуються в рядку „*Проектні висоти*”. В інших точках споруди проектні висоти обчислюють за формулою:

$$H_i = H_0 + i \times d, \quad (5.2)$$

де  $H_0$  – проектна висота початкової точки прямого відрізка;

$i$  – ухил даного відрізка;

$d$  – віддаль від початкової точки відрізка до точки висота якої визначається.

Тобто, *проектна висота будь-якої точки дорівнює висоті початкової точки проектного відрізка плюс добуток ухилу на горизонтальне прокладання між початковою точкою і точкою висота якої визначається.*

Після цього обчислюють *робочі висоти*  $h_i$ , як різницю між проектними  $H_{np}$  і фактичними  $H_{\phi}$  висотами:

$$h_i = H_{np} - H_{\phi}. \quad (5.3)$$

**Робочі висоти** показують висоту насипу або глибину виїмки в обчислених точках профілю. При насипі їх виписують на профілі вище (зі знаком плюс), а при виїмках – нижче проектної лінії (зі знаком мінус) *червоним кольором*.

Точка  $O$  утворена перетином проектної лінії  $CD$  з лінією  $AB$  фізичної поверхні землі, називається **точкою нульових робіт** (рис. 5.3). Тобто це точка в якій ґрунт не потрібно ні знімати, ні насипати.

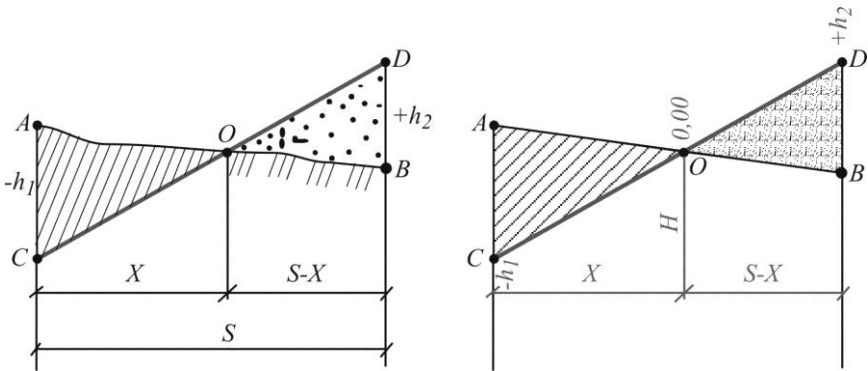


Рис. 5.3. Визначення відстані до точки нульових робіт

Віддаль  $X$  від пікету до точки нульових робіт визначають на основі подібності трикутників. Для цього складають відношення:

$$\frac{X}{|-h_1|} = \frac{S}{|-h_1| + |h_2|}, \quad (5.4)$$

звідки:

$$X = S \frac{|h_1|}{|h_1| + |h_2|}, \quad (5.5)$$

де  $|h_1|$  і  $|h_2|$  – робочі висоти, взяті за модулем, в точках, відповідно  $A$  та  $B$ ;

$S$  – віддаль між точками  $A$  та  $B$ .

Висоти точок нульових робіт  $H$  обчислюють з врахуванням віддалі  $X$  за формулою (5.2).

*Всі елементи, що стосуються точок нульових робіт показують на профілі синім кольором.*

**5.4.** В рядку „Прямі і криві” відкладають в масштабі початок і кінець кривих та викреслюють умовний план споруди у вигляді прямих і кривих товщиною  $0,7-0,8$  мм. Криві позначають дугами, які повернуті догори, або до низу, в залежності від того, в який бік повертає траса. Дуга зверху вказує на поворот праворуч, а знизу –

*ліворуч.* Початок і кінець кожної кривої відмічають перпендикуляром. З лівого боку вздовж перпендикуляра підписують відстань до найближчого меншого пікету, з правого боку – відстань до найближчого більшого пікету. Біля кожної дуги вписують числове значення основних елементів кривої:  $\theta$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $K$ ,  $B$  і  $D$ . На кожному прямому відрізку траси вказують *румб* (зверху) та *довжину* (знизу).

Профіль оформлюють в туші. При цьому *всі проектні елементи показують червоним кольором* (рядки „Ухили\Відстані”, „Проектні висоти”, „Прямі і криві” та вісь споруди в рядку „План траси”).

### **Приклади типових завдань:**

#### **Завдання 1.**

Завершити побудову поздовжнього і поперечного профілів.

#### **Розв’язок:**

Нанести на поздовжній профіль проектну лінію. Заповнити графі „Ухили\Відстані”, „Проектні висоти”, „Прямі та криві”. Нанести на поперечний профіль проектну лінію та заповнити графу „Проектні висоти”.

### **Контрольні запитання:**

1. Нанесення проектної лінії на профіль. Визначення проектного ухилу.
2. Обчислення проектних висот точок профілю.
3. Розрахунок робочих висот. Точки нульових робіт.
4. Прив’язування точок нульових робіт до найближчих пікетів або плюсових точок. Визначення їх висот.

## Лабораторне заняття 6.

### *Будова теодоліта. Вимірювання кутів*

- 6.1. Будова теодоліта 2Т30.
- 6.2. Приведення теодоліта в робоче положення.
- 6.3. Знімання відліків з горизонтального і вертикального кругів.
- 6.4. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.
- 6.5. Вимірювання вертикальних кутів.

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

**6.1. 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 двохстороннім відліком за кругами 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 і інженерно-технічних вишукувань трас. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30 показана на рис. 6.1.

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

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

Для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів слугують *кутомірні круги теодоліта* – відповідно *горизонтальний* (позначається *ГК*) і *вертикальний* (*ВК*) (19). Круги складаються із *лімба* (*ГК* – (21), *ВК* – (23)) і *алідади* (*ГК* – (22), *ВК* – (24)). **Лімба** – це скляний круг, який розмічений поділками від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  за рухом годинникової стрілки. При вимірюванні кута лімба є нерухомим і горизонтальним. Вісь алідади вміщується у вісь лімба. На алідаді нанесено відліковий пристрій у вигляді *шкали*, за допомогою якої знімається відлік за лімбом.

Над *трегером* (13) розміщена верхня частина теодоліта, яка називається **алідадною**. Вона обертається навколо вертикальної осі теодоліта і складається з *алідади* *ГК* (22), *колонок* (12) на яких кріпиться *зорова труба* (26) та *вертикального круга* (19). Зорова труба може обертатися навколо своєї осі обертання від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . На одному з кінців осі обертання труби закріплений вертикальний

круг. Під час вимірювань вертикальний круг може розміщуватись від зорової труби ліворуч (*круг ліворуч – КЛ*) або праворуч (*круг праворуч – КП*). Лімб (23) вертикального круга наглухо скріплений з зоровою трубою і обертається разом з нею, а алідада (24) вертикального круга – нерухома.

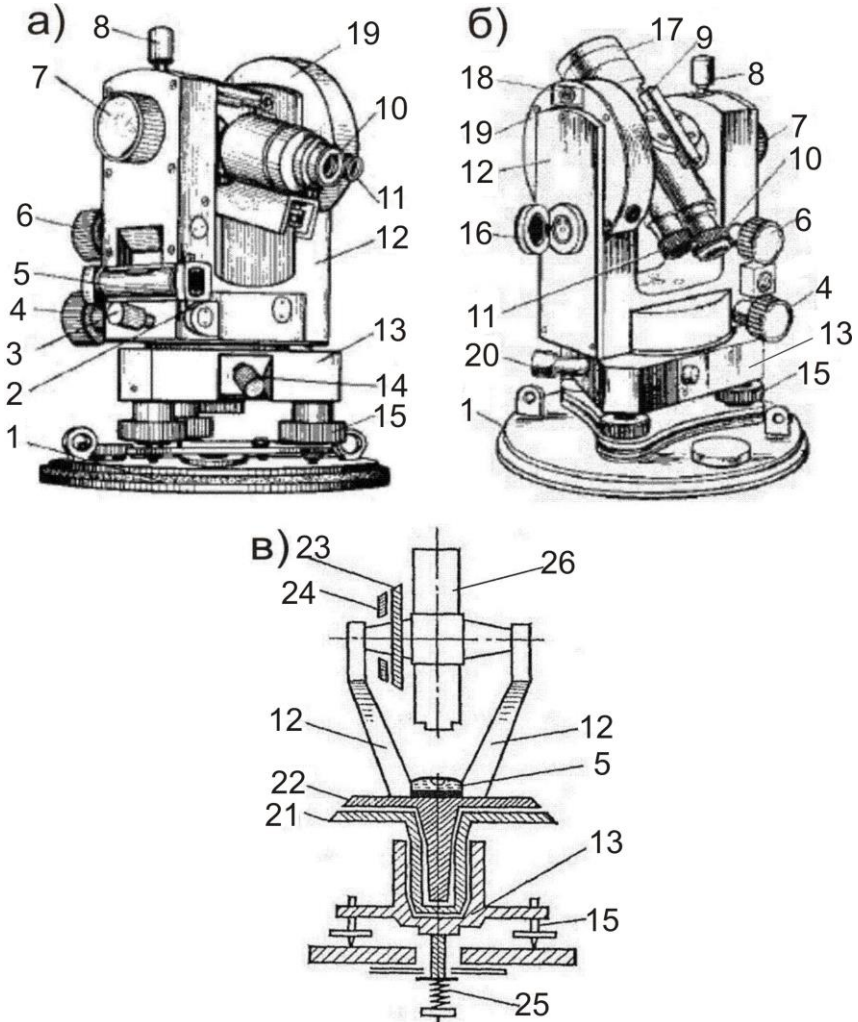


Рис. 6.1. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30:  
 а) вигляд при крузі праворуч; б) вигляд при крузі ліворуч;  
 в) схематичний розріз

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

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

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

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

**6.2.** 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. Оскільки теодоліт 2Т30 не має оптичного центриру, ми будемо користуватись виском (рис. 6.2).

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 встановлюють в ґрунт, натиснувши ногою на металеві наконечники. Переконавшись у стійкості приладу, необхідно послабити становий гвинт і виконати більш точне центрування, переміщуючи теодоліт на головці штатива, поки висок не

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

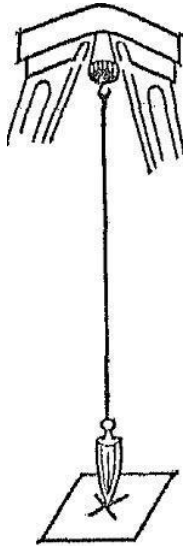


Рис. 6.2. Центрування за допомогою виска

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

Для горизонтування спочатку встановлюють циліндричний рівень горизонтального круга паралельно до двох піднімальних гвинтів і приводять його бульбашку на середину (рис. 6.3, а). Потім, повертають алідаду на  $90^\circ$  у напрямку третього гвинта (рис. 6.3, б). Обертаючи лише третій піднімальний гвинт знову приводять бульбашку в нуль-пункт. Ці дії повторюють декілька разів, поки бульбашка рівня не залишатиметься на середині.

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

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



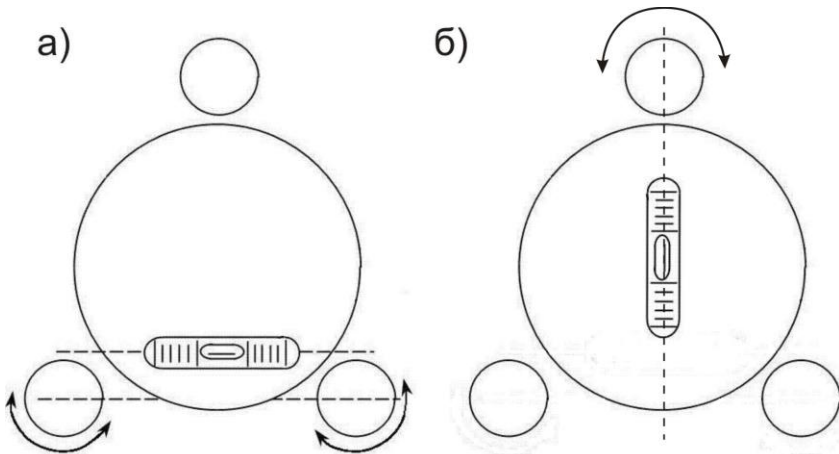


Рис. 6.3. Горизонтування теодоліта за допомогою циліндричного рівня:  
 а) циліндричний рівень встановлений за напрямком двох піднімальних гвинтів; б)  
 циліндричний рівень встановлений за напрямком третього піднімального гвинта

**6.3.** При вимірюванні кутів теодолітом треба вміти правильно прочитати відлік на лімбі. У теодоліта 2Т30 коло лімба поділене на *360 поділок*, кожна з яких відповідає  $1^\circ$ . 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 горизонтального і вертикального кругів. Окуляр відлікового мікроскопу знаходиться поряд з окуляром зорової труби. Верхня частина поля зору передає зображення вертикального круга (позначено літерою *В*), а нижня – горизонтального (позначено літерою *Г*). Поле зору відлікового мікроскопу теодоліту 2Т30 при крузі праворуч (*КП*) та крузі ліворуч (*КЛ*) показане на рис. 6.4.

Відліки в теодоліті 2Т30 складаються з двох частин – *градуси* (знімаються за підписаним штрихом лімба) та *мінута* (знімаються за шкалою від „0” до підписаного штриха лімба). Ціна найменшої нанесеної поділки шкали –  $5'$ . Відліки мінут за шкалами знімають на око, з точністю до  $1'$ . Отже, на рис. 6.4 відлік за *ГК* при *КП* =  $125^\circ 13'$ ; відлік за *ГК* при *КЛ* =  $305^\circ 13'$ .

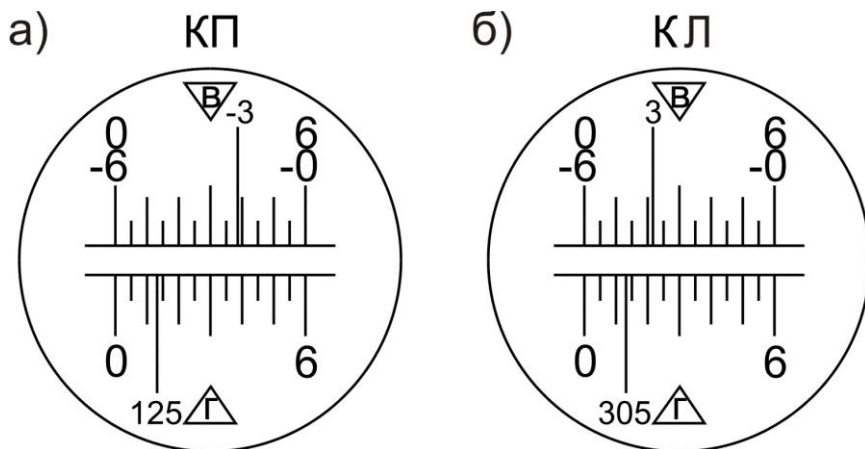


Рис. 6.4. Поле зору відлікового мікроскопу теодоліта 2Т30:  
а) при крузі праворуч; б) при крузі ліворуч

Слід зауважити, що відліки за вертикальним кругом знімаються за таким же принципом, але залежності від знаку кута нахилу необхідно використовувати різні шкали, які мають відповідне оцифрування. *Наприклад* на рис. 6.4, а – відлік на лімбі =  $-3^\circ$ , тому використовуємо шкалу від „-0” до „-6” відраховуючи кількість мінут з *права на ліво*. Отже остаточні відліки на рис. 6.4: за *ВК* при *КП* =  $-3^\circ 22'$ ; за *ВК* при *КЛ* =  $+3^\circ 22'$ .

**6.4.** Горизонтальні кути можна вимірювати наступними способами:

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

*Спосіб прийомів* використовується, коли необхідно виміряти один кут на точці (рис. 6.5, а), а *спосіб кругових прийомів* – коли необхідно виміряти два або більше кутів з однієї вершини (рис. 6.5, б).

Кути *способом прийомів* вимірюють дотримуючись такої послідовності:

- 1) теодоліт встановлюють над вершиною кута і приводять у робоче положення;
- 2) визначають, яка точка буде правою, а яка лівою. Для цього стають у вершині обличчям до кута – за правою рукою буде *права точка*, за лівою – *ліва*;

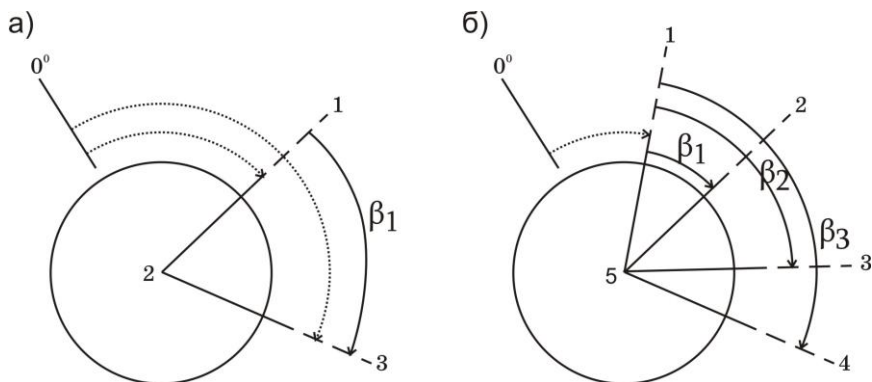


Рис. 6.5. Способи вимірювання горизонтальних кутів:  
а) спосіб прийомів; б) спосіб кругових прийомів

- 3) закріплюють лімб у положенні круг праворуч (*КП*) і повертаючи алідадну частину, наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *правій точці 3* (рис. 6.5, а). Наведення здійснюють спочатку приблизно – за допомогою візиру, а потім точно – за допомогою мікрометричних гвинтів. Після точного наведення труби на точку візування знімають відлік за горизонтальним кругом. Відліки записують у „Журнал вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів” у відповідну графу (позиція (1) у табл.6.1);
- 4) після цього відкріплюють закріпний гвинт алідади і наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на низ віхи, встановленої у *лівій точці 1* і знову знімають відлік по *ГК* (2);
- 5) величину вимірюного кута (3) знаходять віднімаючи від відліку на праву точку відлік на ліву точку, тобто за правилом – *правий напрямок мінус лівий*  $(3)=(1)-(2)$ . Якщо відлік на праву точку буде меншим ніж відлік на ліву точку, то до нього додають  $360^\circ$ ;
- 6) переводять зорову трубу через зеніт, тобто повертають теодоліт на  $180^\circ$ . Внаслідок цього вертикальний круг виявиться ліворуч від зорової труби, тобто займе положення – круг ліворуч *КЛ*. Після цього всі дії вказані у *пунктах 3-5* повторюють при положенні *КЛ* і вдруге обчислюють величину вимірюного кута  $(6)=(4)-(5)$ .

Вимірювання одного й того ж кута при двох положеннях вертикального круга *КП* і *КЛ* складає один повний **прийм**. Вимірювання кута при якомусь одному положенні круга

називається **півприйомом**. При вимірюванні кута повним прийомом ліквідується колімаційна помилка і помилка від неперпендикулярності осі обертання труби до осі обертання теодоліта.

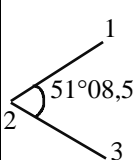
Якщо значення кута, визначені при положеннях *КП* і *КЛ*, відрізняються не більше ніж подвійну точність відлікового пристрою, то з них виводять середнє і записують у відповідні графи журналу, вважаючи цей запис величиною *кута 2*. Якщо різниця між величинами кута, отриманими при положеннях *КП* і *КЛ*,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

Приклад заповнення журналу вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Журнал вимірювання горизонтальних кутів теодолітом способом прийомів

Теодоліт 2Т30 №7644

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

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

**6.5. Кутом нахилу  $\nu$**  називають кут між горизонтальною площиною і напрямком на необхідну точку (рис. 6.6). Прийнято називати кути нахилу **вертикальними**. Якщо точка, на яку необхідно визначити кут нахилу, розміщена вище від горизонтальної площини, то кут нахилу буде із знаком плюс, а якщо нижче – 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  $BK$  знаходиться в нуль-пункті.

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

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

$$MO = \frac{KL + KП}{2}. \quad (6.1)$$

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

Визначивши  $MO$  переходять до вимірювання вертикальних кутів в наступній послідовності (рис. 6.6):

- 1) теодоліт встановлюють над точкою і приводять в робоче положення;
- 2) вимірюють висоту приладу  $i$  (від верху кілочка до візирної осі) рейкою чи рулеткою;
- 3) зорову трубу у положенні круг праворуч ( $KП$ ) наводять на віху встановлену в кінцевій точці лінії, причому перехрестя сітки ниток наводять на висоту приладу відмічену на вісі;
- 4) після точного наведення зорової труби, знімають відлік за вертикальним кругом. Відліки записують у „Журнал вимірювання вертикальних кутів теодолітом” у відповідну графу (табл. 6.2);
- 5) переводять трубу через зеніт і повторюють дії зазначені у пунктах 3-4 при крузі ліворуч ( $KL$ );
- 6) обчислюють кут нахилу  $\nu$  за формулами:

$$v = КЛ - МО = МО - КП = \frac{КЛ - КП}{2}. \quad (6.2)$$

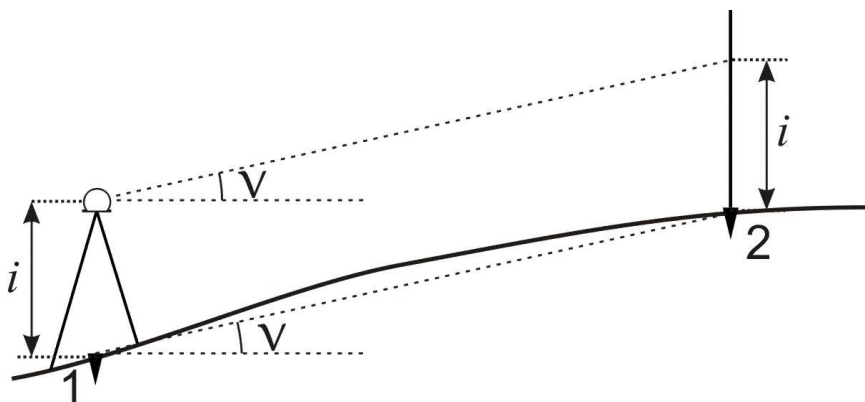


Рис. 6.6. Схема вимірювання вертикального кута

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

Таблиця 6.2

Журнал вимірювання вертикальних кутів теодолітом

Теодоліт 2Т30 №7644

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'

## **Приклади типових завдань:**

### **Завдання 1.**

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

#### **Розв'язок:**

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'язок:**

Виміряти горизонтальний кут між заданими точками, як описано в питанні 4.

### **Завдання 3.**

Виконати вимірювання вертикального кута.

#### **Розв'язок:**

Визначити місце нуля вертикального круга теодоліта. Виміряти вертикальний кут на задані точки, як описано в питанні 5.

## **Контрольні запитання:**

1. Класифікація теодолітів.
2. Будова теодолітів.
3. Приведення теодоліта в робоче положення.
4. Знімання відліків з горизонтального і вертикального кругів теодоліта.
5. Вимірювання горизонтального кута способом прийомів.
6. Вимірювання вертикальних кутів. Визначення місця нуля.

## Лабораторне заняття 7.

### Обчислення координат точок теодолітного ходу

- 7.1. Урівнювання горизонтальних кутів.
- 7.2. Розрахунок дирекційних кутів ліній.
- 7.3. Обчислення горизонтальних закладень довжин ліній.
- 7.4. Обчислення приростів координат.
- 7.5. Урівнювання приростів і вирахування координат точок.

**Прилади і обладнання:** журнал вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, відомість обчислення координат точок теодолітного ходу, відомість обчислення довжин ліній, калькулятор.

**7.1. Теодолітним ходом** називається хід в якому кути вимірюють з точністю  $0,5-1'$ , а довжини сторін сталевую стрічкою з відносною похибкою  $1:2000$ . Теодолітний хід який опирається на одну тверду лінію називається **замкненим**, а хід який опирається на дві тверді лінії називається **розімкненим** (рис. 7.1). **Тверда лінія** – це лінія в якої відомі координати початкової і кінцевої точок, або координати однієї з точок і дирекційний кут лінії. Тверді лінії на схемі позначаються *подвійними лініями*.

Для визначення координат точок ходу необхідно виміряти кути  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  та довжини ліній  $d_1, d_2, \dots, d_{n-1}$ . Якщо при русі за напрямком зростання нумерації точок ходу виміряні кути лежать з правого боку, то їх називають **правими** і позначають  $\beta_n$ , якщо з лівого боку – **лівими**  $\beta_n$ .

Обчислення координат точок теодолітного ходу охоплює ряд операцій, які виконуються в певній послідовності. Обчислення виконуються у „Відомості обчислення координат точок теодолітного ходу”. Першим етапом є *урівнювання виміряних горизонтальних кутів*, яке виконується в наступній послідовності:

- 1) обчислюють суму виміряних кутів  $\sum_{i=1}^n \beta_{i \text{ вим}}$  ;
- 2) обчислюють *теоретичну суму кутів* полігону за формулами:
  - а) у випадку замкненого ходу:
    - для виміряних внутрішніх кутів полігону:



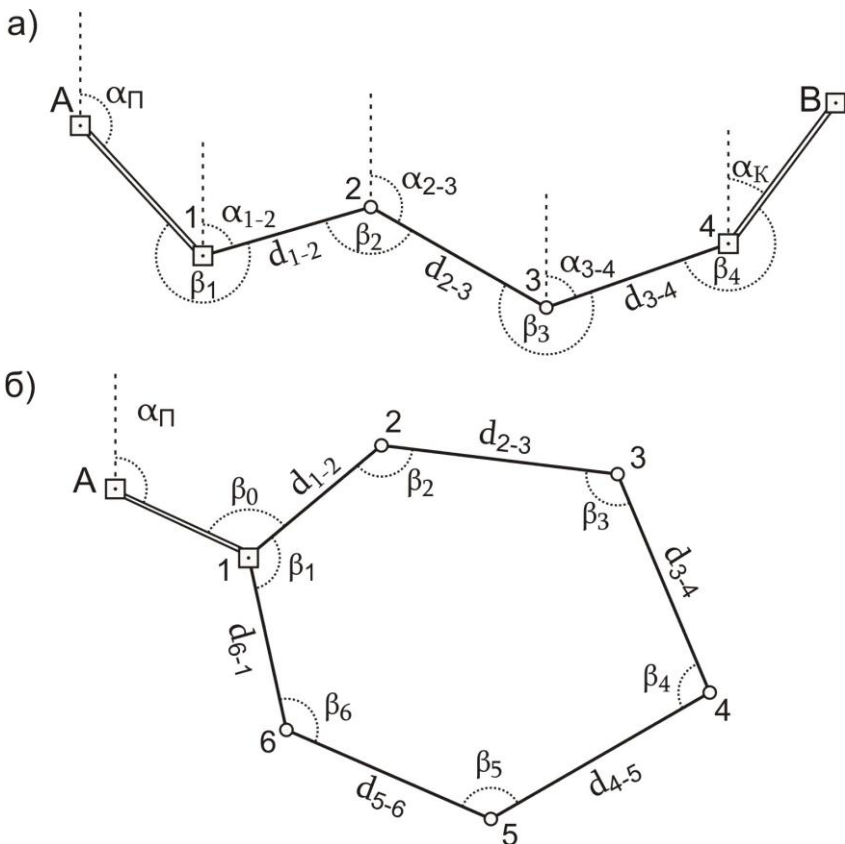


Рис. 7.1. Схема теодолітного ходу:  
а) розімкненого; б) замкнутого

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ \times (n - 2); \quad (7.1)$$

– для вимірюваних зовнішніх кутів полігону:

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ \times (n + 2), \quad (7.2)$$

де  $n$  – кількість кутів в теодолітному ході;

б) у випадку *розімкненого ходу*:

– для вимірюваних лівих кутів:

$$\sum \beta_{теор} = \alpha_K - \alpha_{II} + 180^\circ \times n ; \quad (7.3)$$

– для виміряних правих кутів:

$$\sum \beta_{теор} = \alpha_{II} - \alpha_K + 180^\circ \times n , \quad (7.4)$$

де  $\alpha_{II}$  – дирекційний кут початкової твердої лінії;

$\alpha_K$  – дирекційний кут кінцевої твердої лінії;

3) обчислюють *кутову нев'язку* за формулою:

$$f_\beta = \sum \beta_{вим} - \sum \beta_{теор} ; \quad (7.5)$$

4) обчислюють *допустиму кутову нев'язку* теодолітного ходу:

$$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 1' \sqrt{n} ; \quad (7.6)$$

5) перевіряють чи виконується нерівність:

$$f_\beta \leq f_{\beta \text{ доп}} . \quad (7.7)$$

Виконання умови (7.7) означає, що кутові вимірювання виконані з достатньою точністю і кути полігону можна урівнювати. В протилежному випадку необхідно виконати повторне вимірювання кутів;

6) урівнювання кутів полягає у розподіленні отриманої нев'язки з протилежним знаком порівну на кожний кут. Ця величина називається **поправкою**  $\mathcal{G}$  і обчислюється за формулою:

$$\mathcal{G}_\beta = -\frac{f_\beta}{n} . \quad (7.8)$$

Поправки обчислюються до  $0,1'$  і записуються червоним кольором в колонці „*Виміряні кути*” над значеннями кутів. При цьому повинна виконуватись умова:

$$\sum \vartheta_{\beta_i} = -f_{\beta} . \quad (7.9)$$

Якщо дана умова порушується через похибки округлення, то слід більші поправки ввести в кути виміряні між найкоротшими сторонами;

7) урівняні значення кутів  $\beta'$  обчислюють за формулою:

$$\begin{aligned} \beta'_1 &= \beta_1 + \vartheta_{\beta}; \\ \beta'_2 &= \beta_2 + \vartheta_{\beta}; \\ &\dots\dots\dots \\ \beta'_i &= \beta_i + \vartheta_{\beta}. \end{aligned} \quad (7.10)$$

Контроль урівнювання виконується за формулою:

$$\sum \beta'_i = \sum \beta_{теор} . \quad (7.11)$$

**7.2. Дирекційні кути** сторін полігону обчислюються на основі вихідного дирекційного кута та виправлених горизонтальних кутів за формулами:

– для лівих кутів:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ + \beta_i ; \quad (7.12)$$

– для правих кутів:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ - \beta_i . \quad (7.13)$$

Тобто дирекційний кут наступної сторони ходу дорівнює дирекційному куту попередньої сторони  $\pm 180$  градусів плюс виправлений горизонтальний кут, що лежить ліворуч між цими сторонами. Або дирекційному куту попередньої сторони  $\pm 180$  градусів мінус виправлений горизонтальний кут, що лежить праворуч між цими сторонами.

Знак „+” або „-” перед  $180^\circ$  обирається з розрахунку, щоб обчислений дирекційний кут був в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

*Контроль:* в результаті послідовного обчислення дирекційних кутів сторін полігону, при завершенні обчислень, повинен бути отриманий дирекційний кут вихідної сторони (для замкненого ходу) або дирекційний кут кінцевої твердої сторони (для розімкненого ходу).

**7.3.** Як відомо, в інженерній геодезії всі геометричні побудови, а отже й розрахунки виконуються на горизонтальній площині, а виміри – на фізичній поверхні Землі. Тому в процесі урівнювання теодолітного ходу необхідно виконати приведення похилих довжин ліній до горизонту – обчислити горизонтальне прокладання сторін ходу.

**Горизонтальне прокладання  $d$**  – проекція похилої довжини лінії  $D$  між двома точками на горизонтальну площину (рис. 7.2).

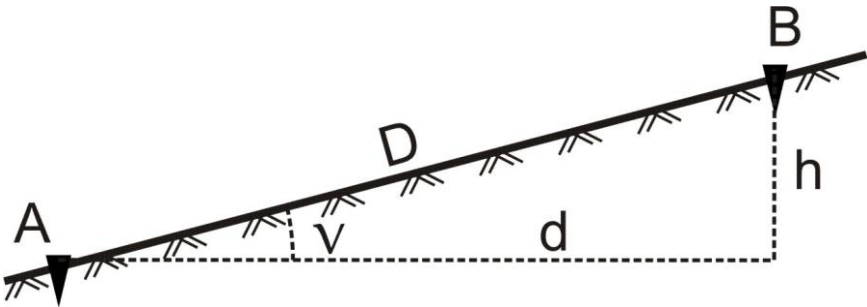


Рис. 7.2. До визначення горизонтального прокладання

Горизонтальні прокладання  $d_i$  вимірних довжин сторін полігону обчислюють за формулою:

$$d_i = D_i \times \cos v_i, \quad (7.14)$$

де  $v_i$  – кут нахилу відповідної сторони.

**7.4.** Прирости координат  $\Delta x$  та  $\Delta y$  обчислюють згідно прямої геодезичної задачі (рис. 7.3) за формулами:

$$\begin{aligned}\Delta x_{i \text{ обч}} &= d_i \times \cos \alpha_i; \\ \Delta y_{i \text{ обч}} &= d_i \times \sin \alpha_i;\end{aligned}\tag{7.15}$$

де  $d_i$  – горизонтальне прокладання відповідної сторони;  
 $\alpha_i$  – дирекційний кут тієї ж сторони.

Тобто *приріст координат за віссю абсцис рівний добутку горизонтального прокладання лінії на косинус її дирекційного кута. Приріст координат за віссю ординат рівний добутку горизонтального прокладання лінії на синус її дирекційного кута.*

Прирости координат визначають з точністю до 0,01 м. Вони можуть набувати як додатних так і від’ємних значень, тому біля приросту обов’язково записується його знак.

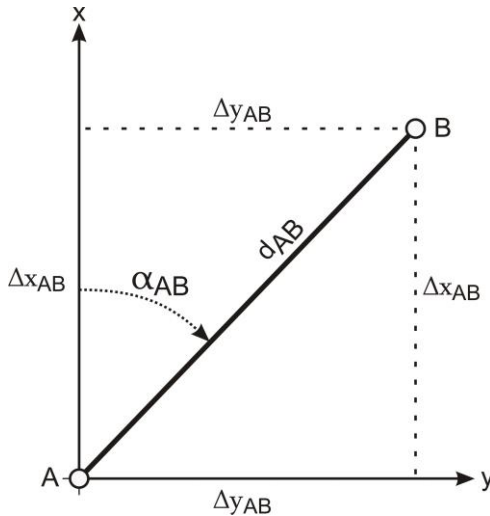


Рис. 7.3. Пряма геодезична задача.

**7.5. Урівнювання обчислених приростів координат і вирахування координат точок** виконується в наступній послідовності:

- 1) підраховують суму обчислених приростів координат  $\sum_{i=1}^n \Delta x_{i \text{ обч}}$ ,

$$\sum_{i=1}^n \Delta y_{i \text{ обч}};$$

2) обчислюють *теоретичну суму приростів* координат за формулами:

$$\begin{aligned}\sum \Delta x_{теор} &= x_K - x_{II}; \\ \sum \Delta y_{теор} &= y_K - y_{II},\end{aligned}\tag{7.16}$$

де  $x_{II}$ ,  $y_{II}$  – координати початкової точки ходу;

$x_K$ ,  $y_K$  – координати кінцевої точки ходу.

Очевидно, що у випадку замкненого ходу початкова і кінцева точки співпадають, тому *для замкненого ходу*:

$$\begin{aligned}\sum \Delta x_{теор} &= x_K - x_{II} = 0; \\ \sum \Delta y_{теор} &= y_K - y_{II} = 0,\end{aligned}\tag{7.17}$$

3) обчислюють *лінійну нев'язку* за формулами:

$$\begin{aligned}f_x &= \sum \Delta x_{обч} - \sum \Delta x_{теор}; \\ f_y &= \sum \Delta y_{обч} - \sum \Delta y_{теор};\end{aligned}\tag{7.18}$$

4) на основі  $f_x$  та  $f_y$  обчислюють *абсолютну лінійну нев'язку* за формулою:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2};\tag{7.19}$$

5) *відносну нев'язку* вираховують за формулою:

$$f_{відн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{1}{P / f_{абс}},\tag{7.20}$$

де  $P$  – довжина теодолітного ходу (периметр багатокутника).

Відносна нев'язка записується у вигляді натурального дробу, з чисельником рівним одиниці. Критерієм точності прокладеного

теодолітного ходу є відносна лінійна нев'язка, значення якої для теодолітного ходу не повинно перевищувати 1:2000;

- б) якщо відносна нев'язка не перевищує встановленої допустимої величини, то нев'язки  $f_x$  та  $f_y$  розподіляються з протилежними знаками між обчисленими приростами координат пропорційно до довжин відповідних їм сторін шляхом введення *поправок*:

$$\begin{aligned} g_{\Delta x_i} &= -\frac{f_x}{P} d_i; \\ g_{\Delta y_i} &= -\frac{f_y}{P} d_i, \end{aligned} \quad (7.21)$$

де  $g_{\Delta x_i}$ ,  $g_{\Delta y_i}$  – поправки у прирости  $i$ -ої сторони довжиною  $d_i$ .

Поправки в обчислені прирости координат вираховують з точністю до 0,01 м та записують червоним кольором над відповідними їм приростами.

*Контроль* обчислення поправок виконують за формулами:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n g_{\Delta x_i} &= -f_x; \\ \sum_{i=1}^n g_{\Delta y_i} &= -f_y. \end{aligned} \quad (7.22)$$

Якщо контроль не виконується за рахунок похибок округлення, необхідно змінити на 0,01 м одну чи декілька поправок, починаючи з найдовшої сторони;

- 7) виправлені прирости координат  $\Delta x_{\text{випр}}$ ,  $\Delta y_{\text{випр}}$  знаходять за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta x_{i \text{ випр}} &= \Delta x_i + g_{\Delta x_i}; \\ \Delta y_{i \text{ випр}} &= \Delta y_i + g_{\Delta y_i}. \end{aligned} \quad (7.23)$$

*Контроль*: сума виправлених приростів координат в теодолітному ході повинна дорівнювати теоретичній сумі, тобто:

$$\begin{aligned}\sum \Delta x_{\text{випр}} &= \sum \Delta x_{\text{теор}}; \\ \sum \Delta y_{\text{випр}} &= \sum \Delta y_{\text{теор}};\end{aligned}\tag{7.24}$$

8) за урівняними приростами координат визначають *координати точок* теодолітного ходу за правилом: *координата наступної точки дорівнює координаті попередньої точки плюс виправлений приріст між ними, тобто:*

$$\begin{aligned}x_i &= x_{i-1} + \Delta x_{i-1,i} \text{ випр}; \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta y_{i-1,i} \text{ випр}.\end{aligned}\tag{7.25}$$

В результаті наведених вище дій послідовно обчислюють координати всіх точок ходу. *Контролем* правильності обчислень є співпадання вирахованих і заданих значень координат кінцевої точки ходу.

### **Приклади типових завдань:**

#### **Завдання 1**

Виконати урівнювання теодолітного ходу та обчислити координати його вершин.

#### **Розв'язок:**

Завдання виконується у відомості обчислення координат теодолітного ходу, з результатами вимірювань горизонтальних кутів та горизонтальних прокладань, в послідовності описаній в питаннях 1-5.

#### **Контрольні запитання:**

1. Закриті та розкриті теодолітні ходи.
2. Урівнювання горизонтальних кутів теодолітного ходу.
3. Обчислення дирекційних кутів сторін теодолітного ходу.
4. Приведення похилих довжин ліній до їх горизонтальних проєкцій.
5. Обчислення приростів координат теодолітного ходу згідно прямої геодезичної задачі.
6. Урівнювання обчислених приростів координат і вираховання координат точок ходу.



## Лабораторне заняття 8.

### *Камеральна обробка матеріалів тахеометричного знімання. Складання топографічного плану*

- 8.1. Обчислення вертикальних кутів.
- 8.2. Обчислення горизонтальних закладень.
- 8.3. Визначення перевищень і висот точок.
- 8.4. Побудова топографічного плану.

**Прилади і обладнання:** журнал тахеометричного знімання, калькулятор.

**8.1. Тахеометрія** – швидкий спосіб одночасного визначення планового та висотного положення точок місцевості. В основі тахеометричного знімання лежить ідея визначення просторового положення точки місцевості одним наведенням зорової труби приладу на рейку, встановлену в цій точці. Точка над якою встановлений прилад називається **станцією**, а точка положення якої визначається під час знімання – **рейковою (пікетною) точкою**.

Суть тахеометричного знімання полягає в тому, що зі станції, просторові координати якої відомі, визначають положення рейкових точок способом полярних координат – за кутом  $\beta$  між орієнтирним напрямком і вибраною точкою та відстанню  $D$  від станції до цієї точки (рис. 8.1). Перевищення  $h$  та горизонтальне прокладання  $d$  визначають за виміряною відстанню  $D$  та виміряним вертикальним кутом  $v$ . Всі польові вимірювання заносять в журнали відповідної форми. Одночасно з цим ведуть **абрис**, на який наносять контури місцевості, а також наближене розташування на місцевості всіх рейкових точок. В результаті тахеометричного знімання складають топографічний план місцевості із зображенням на ньому ситуації та рельєфу.

*Послідовність роботи на станції* при виконанні тахеометричного знімання із застосуванням теодоліта-тахеометра наступний:

- 1) встановлюють прилад над точкою геодезичного обґрунтування і приводять його в робоче положення;

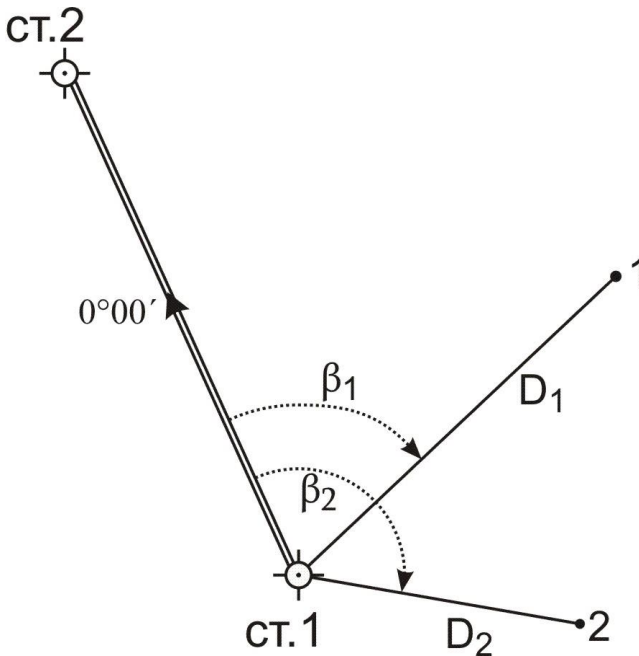


Рис. 8.1. Положення рейкових точок при тахеометричному зніманні

- 2) орієнтують лімб горизонтального круга на один із суміжних пунктів геодезичного обґрунтування:
  - відкріплюють закріпний гвинт алідади горизонтального круга та встановлюють на горизонтальному крузі відлік  $0^{\circ}00'$ ;
  - закріплюють закріпний гвинт алідади горизонтального круга і відкріплюють закріпний гвинт лімба;
  - наводять зорову трубу на точку орієнтування та закріплюють закріпний гвинт лімба (для точного наведення користуються мікрометричним гвинтом лімба);
- 3) вимірюють висоту приладу з точністю до  $1\text{ см}$  (від верху закріпленої точки на місцевості, над якою встановлений теодоліт, до візирної осі труби теодоліта);
- 4) наводять зорову трубу на рейку, встановлену в рейковій точці (пикеті) та знімають відліки (лише при одному положенні круга – КП або КЛ):
  - висота наведення на рейку (за середнім штрихом сітки ниток);
  - за горизонтальним кругом;

- за вертикальним кругом;
  - за верхнім і нижнім віддалемірними штрихами сітки ниток (в журнал записується лише обчислена віддалемірна віддаль  $D$  – див. питання 3 лабораторної роботи 9);
- 5) виконують дії зазначені в *пункті 4* у всіх характерних точках місцевості, після чого переходять на наступну станцію, де повторюють роботи наведені в *пунктах 1-5*.

*Послідовність обробки результатів вимірювань* на станції наступна:

- 1) обчислюють кут нахилу  $\nu$ ;
- 2) обчислюють горизонтальну проекцію віддалі  $d$  до рейкової точки;
- 3) обчислюють попередні перевищення  $h'$ ;
- 4) обчислюють кінцеві перевищення  $h$  та висоти рейкових точок  $H$ ;
- 5) виконують побудову топографічного плану.

*Вертикальні кути нахилу* за лініями візування на рейкові точки обчислюють в залежності від місця нуля  $MO$  та відліків за вертикальним кругом. Оскільки вимірювання можна виконувати при крузі ліворуч або крузі праворуч, то відповідно маємо дві формули (для теодоліта 2Т30):

$$\nu = KL - MO, \quad (8.1)$$

або

$$\nu = MO - KP, \quad (8.2)$$

де  $KL$  і  $KP$  – відліки за вертикальним кругом.

**8.2.** При тахеометричному зніманні віддалі визначаються за допомогою *ниткового віддалеміра* – двох штрихів нанесених на сітку ниток. Визначені таким чином віддалі називаються **віддалемірними** і позначаються  $D$ .

*Горизонтальне прокладання  $d$*  в тахеометрії обчислюється на основі віддалемірної віддалі  $D$  та кута нахилу  $\nu$  за формулою:

$$d_i = D_i \times \cos^2 v_i. \quad (8.3)$$

У формулі (8.3) з'являється додатковий косинус кута нахилу в порівнянні з формулою (7.14), яка використовується для обчислення горизонтального прокладання при урівнюванні теодолітного ходу. 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.

**8.3.** Спочатку необхідно обчислити *попереднє перевищення*  $h'$  за формулами:

– або з використанням горизонтального прокладання:

$$h'_i = d_i \times \operatorname{tg} v_i; \quad (8.4)$$

– або з використанням похилої віддалі визначеної нитковим віддалеміром:

$$h'_i = \frac{1}{2} D_i \times \sin 2v_i. \quad (8.5)$$

Далі у *кінцевому перевищенні*  $h$  враховуються висота приладу  $i$  та висота наведення на рейку  $V$ :

$$h_i = h'_i + i - V_i. \quad (8.6)$$

Після цього обчислюють *висоти*  $H_i$  *рейкових точок* за формулою:

$$H_i = H_{cm} + h_i, \quad (8.7)$$

де  $H_{cm}$  – висота станції;

$h_i$  – кінцеве перевищення між станцією та рейковою точкою.

**8.4.** Після завершення обчислень на всіх станціях складають топографічний план, де зображають ситуацію та рельєф місцевості.

*Роботи по складанню плану виконують в такій послідовності:*

- 1) на аркуші креслярського паперу необхідного розміру *викреслюють координатну сітку* зі сторонами квадратів *10 см* і оцифровують її у відповідності із значеннями координат точок теодолітного ходу, згідно заданого масштабу плану;
- 2) за координатами *наносять на план точки теодолітного ходу*. При цьому необхідно користуватись вимірником і лінійкою поперечного масштабу. Для побудови точки необхідно за її координатами, знайти квадрат сітки, в якому вона повинна знаходитись, а потім від південно-західного кута квадрату сітки вздовж його сторін відкласти різниці координат точки і кута квадрату (детальніше див. питання 5 лабораторної роботи 1):

$$\begin{aligned}\Delta x &= x - x_0; \\ \Delta y &= y - y_0.\end{aligned}\tag{8.8}$$

Аналогічно виконують побудову всіх інших точок теодолітного ходу. Кожну точку наколюють голкою діаметром *0,1 мм* і позначають умовним знаком „*точки планових знімальних мереж (тривалого закріплення)*” (рис. 1.2). Ліворуч підписують номер, або назву точки, а праворуч – висоту точки до сотих долей метра. Правильність нанесення точок *контролюють*, порівнюючи віддалі між ними визначені на плані з відповідними горизонтальними прокладаннями;

- 3) за даними з журналу тахеометричного знімання *наносять на план рейкові точки*. Для побудови точок центр транспортира суміщають зі станцією, яку приймають за полюс, а  $0^\circ$  транспортира суміщають з вихідним напрямком орієнтування. За дугою геодезичного транспортира відкладають горизонтальні кути за годинниковою стрілкою. В отриманих напрямках від станції відкладають горизонтальні прокладання в масштабі плану, користуючись вимірником і лінійкою поперечного

масштабу. З правого боку від точки у вигляді звичайного дробу підписують її номер і висоту (до  $0,01$  м), взяті з журналу тахеометричного знімання;

- 4) у відповідності з абрисами тахеометричного знімання на план *наносять ситуацію*, яку викреслюють згідно існуючих умовних знаків;
- 5) способом графічного інтерполювання *викреслюють на плані горизонталі*. Основні горизонталі повинні мати товщину  $0,12-0,15$  мм, а потовщені –  $0,25-0,30$  мм. Крім того всі потовщені горизонталі мають бути підписані (верх цифр повинен бути направлений в бік підвищення місцевості). На характерних вигинах горизонталей викреслюють *бергштрихи* – короткі штрихи, які показують напрямок схилу;
- б) виконують *редагування плану*, яке полягає в видаленні зайвих підписів точок в місцях їх скупчення і там, де вони заважають ситуації. Ситуацію, рельєф та позарамкове оформлення плану викреслюють в туші згідно вимог умовних знаків.

Розглянемо детальніше *5 пункт*, який полягає у побудові горизонталей. Як нам вже відомо рельєф на топографічних планах і картах зображають у вигляді горизонталей, процес побудови яких називають **інтерполюванням**. **Інтерполювання** полягає в знаходженні, за напрямком між двома суміжними пікетами з відомими висотами, проєкцій точок на площині з січенням між ними, яке дорівнює висоті перерізу рельєфу (рис. 8.2).

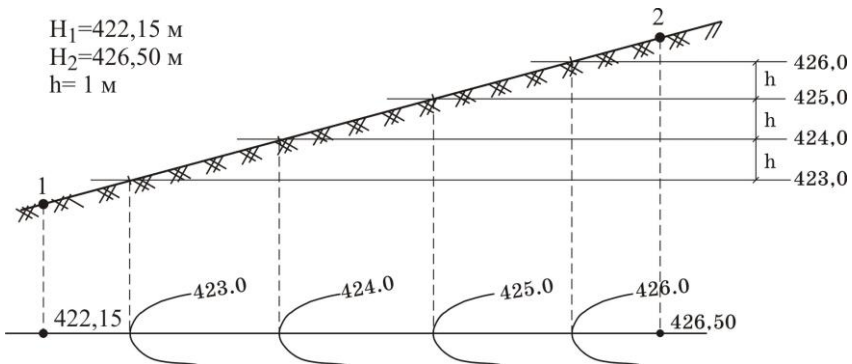


Рис.8.2. Визначення на площині точок, що задають розташування горизонталей

Існують різні способи інтерполювання. Розглянемо детальніше *графічний спосіб*. Він здебільшого виконується за допомогою палетки (рис.8.3).

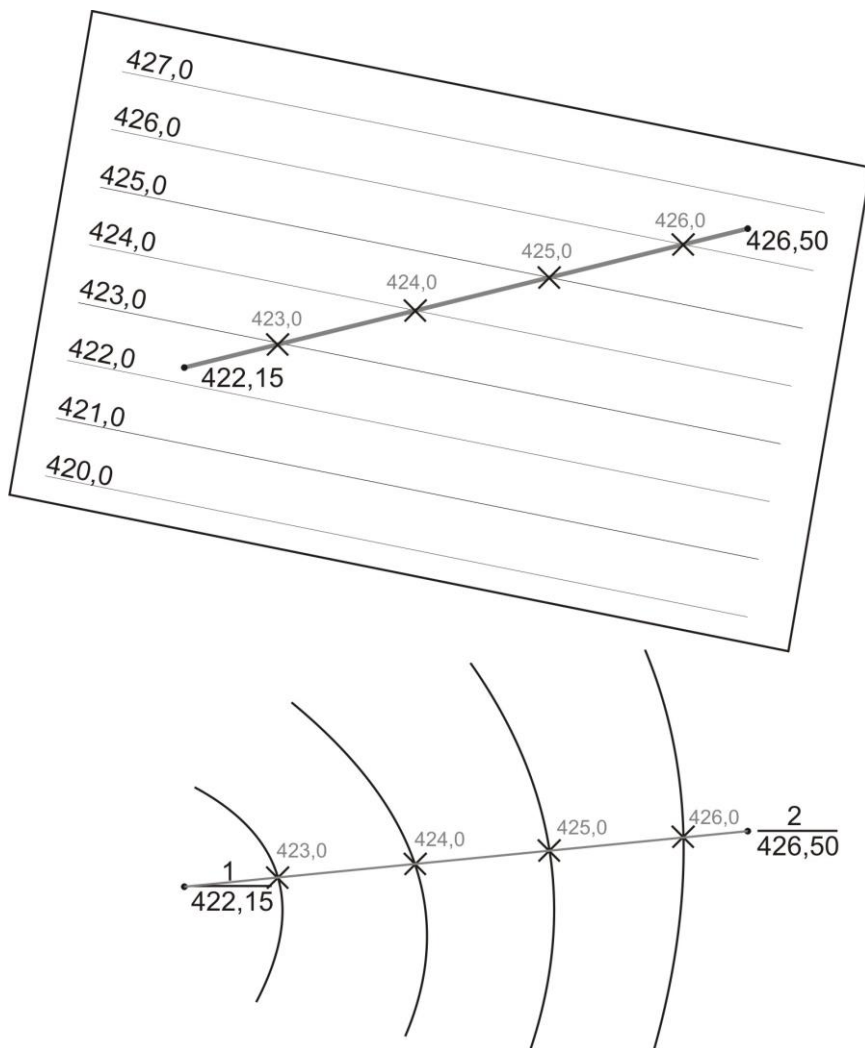


Рис. 8.3. Графічне інтерполювання за допомогою палетки

**Палетка** – лист прозорого паперу на якому проведені паралельні лінії з інтервалом 5-10 мм між ними. На кожній лінії палетки

підписують значення висоти горизонталі, обов'язково кратне висоті перерізу рельєфу. Накладають палетку на лінію, за якою виконується інтерполювання, і задають їй такий поворот, щоб точки з відомими висотами розташовувались між паралельними лініями відповідно до значень своїх висот (на рис.8.3 – точки 1 і 2). Переколюють на план точки перетину ліній палетки з лінією інтерполювання та підписують олівцем їх висоти. Аналогічні операції виконують за іншими лініями. Точки з однаковими висотами з'єднують плавними кривими і отримують горизонталі.

### **Приклади типових завдань:**

#### **Завдання 1.**

Виконати камеральну обробку журналу тахеометричного знімання.

#### **Розв'язок:**

Завдання виконується у журналі тахеометричного знімання, за результатами вимірювань, в послідовності описаній в питаннях 1-3.

#### **Завдання 2.**

Виконати побудову топографічного плану в масштабі 1:1000.

#### **Розв'язок:**

За урівняними значеннями координат точок теодолітного ходу і матеріалами тахеометричного знімання виконати побудову топографічного плану як описано в питанні 4.

### **Контрольні запитання:**

1. Тахеометричне знімання. Послідовність роботи на станції.
2. Обробка журналу тахеометричного знімання.
3. Побудова топографічного плану ділянки місцевості за результатами тахеометричного знімання.
4. Побудова горизонталей графічним інтерполюванням.



## Лабораторне заняття 9.

### Тригонометричне нівелювання

- 9.1. Визначення місця нуля МО.
- 9.2. Вимірювання вертикальних кутів.
- 9.3. Визначення відстаней за допомогою ниткового віддалеміра.
- 9.4. Визначення перевищень і висот.
- 9.5. Обчислення горизонтальних закладень.

**Прилади і обладнання:** теодоліт 2ТЗ0, комплект рейок, висок, калькулятор.

**9.1. 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. 9.1). 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.

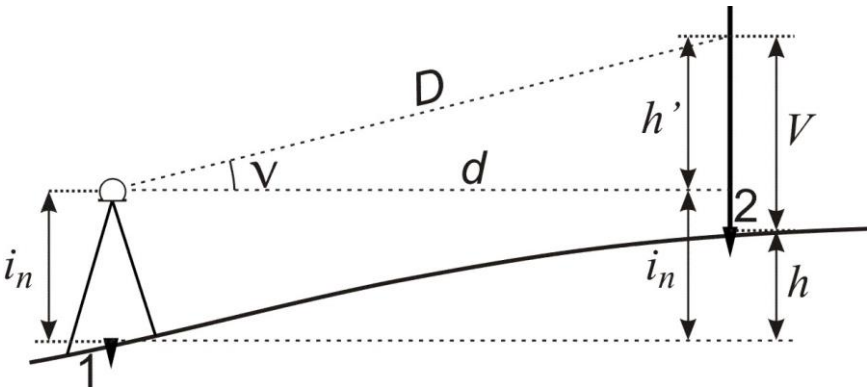


Рис. 9.1. Тригонометричне нівелювання

Принцип тригонометричного нівелювання використовується в тахеометрії, тому подані питання вже розглядалися в лабораторних роботах 7 та 8.

Місце нуля  $MO$  вертикального круга визначають за відповідними формулами залежно від конструкції теодоліта (див. питання 5 лабораторної роботи 6). Зокрема, для теодоліта 2Т30:

$$MO = \frac{KL + KP}{2}. \quad (9.1)$$

**9.2.** Вимірювання вертикальних кутів виконують у послідовності описаній в питанні 5 лабораторної роботи 6.

Кількість вимірів залежить від мети знімання. У тахеометрії для знімання рейкових точок досить одноразового вимірювання вертикальних кутів при будь-якому положенні вертикального круга (*півприйм*). Якщо вертикальні кути вимірюються для приведення до горизонту ліній теодолітного ходу, то необхідно визначати вертикальний кут при двох положеннях вертикального круга (*прийм*).

**9.3. Нитковий віддалемір** являє собою сітку ниток, на яку нанесені два додаткових віддалемірних штрихи, 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:

$$D = (v - n) \times k; \quad (9.3)$$

– для зорової труби з оберненим зображенням:

$$D = (n - v) \times k, \quad (9.4)$$

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 (9.3) та (9.4) необхідно підставляти також в метрах.

**9.4.** Як видно з рисунка 9.1:

$$h + V = h' + i_n, \quad (9.5)$$

звідки:

$$h = h' + i_n - V, \quad (9.6)$$

де  $i$  – висота приладу;

$V$  – висота наведення на рейку;

$h'$  та  $h$  – відповідно попереднє та кінцеве перевищення.

Оскільки, як нам відомо (див. питання 3 лабораторної роботи 8), попереднє перевищення  $h'$  можна обчислити за формулами

$$h' = d \times \operatorname{tg} v \quad \text{або} \quad h' = \frac{1}{2} D \times \sin 2v, \quad \text{то потрібне нам кінцеве}$$

перевищення  $h$  дорівнюватиме:

– з використанням горизонтального прокладання  $d$ :

$$h = d \times \operatorname{tg} v + i - V; \quad (9.7)$$

– з використанням похилої віддалі  $D$  визначеної нитковим віддалеміром:

$$h = \frac{1}{2} D \times \sin 2v + i - V. \quad (9.8)$$

Формули (9.7) та (9.8) можна спростити якщо середню лінію сітки ниток наводити на висоту приладу  $i$ , тобто  $V=i$ , тоді:

$$h' = d \times \operatorname{tg} v \quad \text{або} \quad h' = \frac{1}{2} D \times \sin 2v \quad (9.9)$$

Висоти  $H$  рейкових точок обчислюють за формулою:

$$H = H_{cm} + h, \quad (9.10)$$

де  $H_{cm}$  – висота точки в якій встановлений теодоліт.

**9.5. Горизонтальне прокладання** обчислюється на основі віддалемірної віддалі  $D$  та кута нахилу  $\nu$  за формулою (див. питання 2 лабораторної роботи 8):

$$d_i = D_i \times \cos^2 \nu_i. \quad (9.10)$$

### **Приклади типових завдань:**

#### **Завдання 1.**

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

#### **Розв'язок:**

Встановити теодоліт в робоче положення в заданій точці  $A$ . Виміряти висоту приладу  $i$ . Навести зорову трубу, при крузі ліворуч, 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  $KЛ$  і записати їх в журнал (табл.9.1). Виконати такі ж вимірювання при крузі праворуч. Після цього повторити всі вимірювання при іншій висоті наведення на рейку. Виконати обробку журналу за наведеними формулами.

Таблиця 9.1

## Журнал тригонометричного нівелювання

Теодоліт 2Т30 №4546

Станція	А			
Точка візування	В			
Відліки за ВК	+3°10' (КЛ)	-3°14' (КП)	+5°05' (КЛ)	-5°09' (КП)
$MO = \frac{KL + KP}{2}$	-0°02'		-0°02'	
МО <sub>ср</sub>	-0°02'			
Кут нахилу $\nu$	+3°12'(КЛ-МО)	+3°12'(МО-КП)	+5°07'(КЛ-МО)	+5°07'(МО-КП)
$\nu_{ср}$	+3°12'		+5°07'	
Висота приладу $i$	1,64 м			
Висота наведення $V$	1640		1900	
Відліки за віддалеміром	1680 ( <b>в</b> )		1940 ( <b>в</b> )	
	1601 ( <b>н</b> )		1860 ( <b>н</b> )	
Віддаль $D = (в-н) \times k$	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. Тригонометричне нівелювання.
2. Вимірювання вертикальних кутів.
3. Визначення відстаней за нитковим віддалеміром теодоліта.
4. Обчислення перевищень і висот рейкових точок.
5. Визначення горизонтальних прокладань за віддалемірними віддалями.
6. Заповнення журналу тахеометричного знімання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Геодезія. Частина перша / Під ред. Могильного С. Г., Войтенка С. П. Чернігів, 2002. 408 с.
2. Кузьмін В. І., Білятинський О. А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві : навчальний посібник. К. : Вища школа, 2006. 278 с.
3. Ратушняк Г. С. Топографія з основами картографії : навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2002. 179 с.
4. Інженерна геодезія. Лабораторні роботи. Частина 1 : навчальний посібник для студентів технічних вищих закладів освіти / Черняга П. Г., Лебідь Г. Г., Мальчук М. П., Мануйлик А. Т., Романчук С. В., Тадєєв О. А.. Рівне, 1999. 138 с.
5. Черняга П. Г. Топографія : навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. Рівне, 2000. 160 с.
6. Панчук Ю. М., Бялик І. М., Янчук О. Є. Інженерна геодезія : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2012. 337 с.
7. Панчук Ю. М., Янчук О. Є. Лабораторний практикум з інженерної геодезії : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 134 с.
8. Панчук Ю. М., Янчук О. Є., Шульган Р. Б. Навчальна геодезична практика : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2014. 133 с.