

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Терещук О.І.  
Крячок С.Д.**

# **ГЕОДЕЗІЯ**

**ЧАСТИНА ПЕРША**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**Чернігів 2025**

УДК 528  
Т35

Рекомендовано до друку вченою радою  
Національного університету «Чернігівська політехніка»  
(протокол № 11 від 28.10.2024 р.)

**Рецензенти:**

**В. А. Іванишин**, доктор геол. наук, проф., Національний університет «Чернігівська політехніка»

**С. С. Перій**, доктор техн. наук, доцент, завідувач кафедри геодезії Національний університет «Львівська політехніка»

**Р. В. Шульц**, доктор техн. наук, професор, Університет нафти та мінералів імені короля Фахда, Міждисциплінарний науково-дослідний центр авіаційних та космічних досліджень, керівник лабораторії дистанційного зондування та аналізу, старший науковий співробітник, Саудівська Аравія

**Терещук О. І.**

Т35 Геодезія, частина I : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти, спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій, галузь знань 19 - Архітектура та будівництво / О. І. Терещук, С. Д. Крячок. – Чернігів : Національний університет «Чернігівська політехніка», 2025. – 268 с.

ISBN 978-617-7932-73-3

У навчальному посібнику містяться відомості про фігуру Землі та системи координат, орієнтування ліній, відомості про топографічні карти, принципи вимірювання кутів, ліній та перевищень.

Розглянуто також технології використання та перевірки кутомірних приладів, приладів для лінійних вимірювань та нівелювання і допоміжного обладнання. Надано відомості про сучасні електронні та лазерні геодезичні прилади. Представлено особливості універсальної проекції Меркатора - Universal Transverse Mercator (UTM), Для зручності вивчення даного курсу подані також умовні знаки для топографічних планів та карт.

Посібник призначений для поглибленого вивчення студентами дисципліни «Геодезія». Також може бути корисним для аспірантів, науковців, практичних працівників.

**УДК 528**

ISBN 978-617-7932-73-3

© О.І. Терещук, С.Д. Крячок, 2025  
© НУ «Чернігівська політехніка», 2025

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ФІГУРУ ЗЕМЛІ ТА ВІДОБРАЖЕННЯ ЇЇ ПОВЕРХНІ НА ПЛОЩИНІ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Інформація про фігуру Землі і системи координат, які застосовуються в геодезії.....	7
1.2. Орієнтування ліній.....	32
1.3. Топографічні плани і карти .....	40
1.3.1. Масштаби топографічних карт і планів .....	40
1.3.2. Номенклатура топографічних карт і планів.....	43
1.3.3. Умовні знаки топографічних карт і планів.....	49
1.3.4. Зображення рельєфу на картах і планах....	52
1.4. Вирішення інженерних задач на топографічних картах і планах .....	59
1.4.1. Визначення довжин ліній .....	59
1.4.2. Визначення прямокутних координат .....	62
1.4.3. Визначення географічних координат.....	64
1.4.4. Визначення дирекційних кутів і азимутів .	65
1.4.5. Розв'язання прямої та оберненої геодезичних задач .....	69
1.4.6. Визначення висот точок та стрімкості схилу.....	72
1.4.7. Побудова лінії із заданим ухилом .....	76
1.4.8. Визначення меж водозбірного басейну .....	77
1.4.9. Побудова профіля місцевості.....	78
1.5. Визначення площ.....	79
<b>РОЗДІЛ 2. ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....</b>	<b>92</b>
2.1. Загальні відомості про геодезичні вимірювання.....	92

2.2. Вимірювання кутів. Кутомірні прилади.....	96
2.2.1. Принципи вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів.....	96
2.2.2. Елементи конструкції теодолітів.....	98
2.2.3. Технічні характеристики теодолітів.....	111
2.2.4. Перевірки та виправлення теодолітів.....	113
2.2.5. Способи вимірювання горизонтальних кутів.....	125
2.2.6. Вимірювання вертикальних кутів та кутів нахилу.....	133
2.2.7. Джерела похибок вимірювання горизонтальних кутів.....	138
2.2.8. Електронні теодоліти.....	143
2.3. Вимірювання довжин ліній.....	149
2.3.1. Прилади для безпосереднього вимірювання ліній.....	150
2.3.2. Компарування мірних стрічок і рулеток ..	152
2.3.3. Вимірювання довжин ліній мірними стрічками.....	154
2.3.4. Врахування поправок у виміряну відстань.....	156
2.3.5. Похибки вимірювання ліній мірними стрічками.....	159
2.3.6. Визначення недоступних відстаней.....	161
2.3.7. Нитковий віддалемір.....	163
2.3.8. Світловіддалеміри та радіовіддалеміри....	165
2.3.9. Електронні тахеометри.....	173
2.3.10. Лазерні рулетки.....	177
2.4. Вимірювання перевищень.....	179
2.4.1. Нівеліри з циліндричним рівнем.....	181
2.4.2. Нівеліри з компенсатором кута нахилу....	183
2.4.3. Нівеліри з компенсатором кута нахилу та лімбаом.....	185

2.4.4. Електронні (цифрові) нівеліри .....	187
2.4.5. Лазерні нівеліри .....	188
2.4.6. Нівелірні рейки та пристрої для нівелювання.....	191
2.4.7. Перевірки і виправлення нівелірів та нівелірних рейок.....	193
2.4.8. Методики геометричного нівелювання ...	206
2.4.9. Похибки геометричного нівелювання .....	210
2.4.10. Тригонометричне нівелювання.....	230
2.4.11. GNSS – нівелювання .....	235
<b>Додатки.....</b>	<b>241</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>267</b>

## ВСТУП

На сьогодні геодезичні методи як засіб отримання координатної інформації знаходять застосування у різноманітних сферах людської діяльності. В основі сучасних геодезичних технологій покладено класичні методи. Разом з тим, з розвитком науки і техніки з'являються нові геодезичні прилади та методи, які дозволяють отримувати значні обсяги інформації у цифровому вигляді та автоматизувати процеси опрацювання результатів вимірювань.

В навчальному посібнику викладено основні відомості про фігуру Землі, методи відображення її поверхні на планах і картах, способи та прилади вимірювання кутів, відстаней та перевищень.

До особливостей розкриття змісту відображення поверхні Землі на площині слід віднести розгляд як проєкції Гауса-Крюгера, яка традиційно використовується в Україні, так і універсальної проєкції Меркатора - Universal Transverse Mercator (UTM). UTM зазвичай застосовується у багатьох програмних продуктах, які використовуються для опрацювання результатів геодезичних вимірювань. Крім того наводяться дані як про класичні оптико-механічні прилади, так і про сучасні електронні (цифрові) геодезичні прилади. Змістовно викладено матеріал щодо вимірювання кутів нахилу та визначення місця нуля вертикального круга тахеометра.

## **Розділ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ФІГУРУ ЗЕМЛІ ТА ВІДОБРАЖЕННЯ ЇЇ ПОВЕРХНІ НА ПЛОЩИНІ**

### **1.1. Інформація про фігуру Землі і системи координат, які застосовуються в геодезії**

Знати фігуру і розміри Землі дуже важливо, адже геодезичні вимірювання виконуються на поверхні Землі. Приблизно 29 % земної поверхні займає суша, і 71 % - вода. Середня висота точок Землі над рівнем Світового океану становить близько 875 м, а середнє зниження точок дна океану відповідно до рівня води становить майже 3800 м.

За даними науковців, під товщею води Земля є пластичним тілом, на яке діють внутрішні сили гравітації та до якого можна застосувати гідростатичні закони, за винятком верхнього твердого шару (земної кори; її товщина змінюється від 6 до 70 км, середня товщина складає 40 км).

Відповідно до законів гідростатики, якби Земля була нерухомим однорідним тілом і перебувала під впливом тільки внутрішніх сил тяжіння, вона мала б форму кулі. Проте, під дією відцентрової сили, яка виникає у результаті обертання Землі навколо своєї осі з постійною швидкістю, така Земля мала б форму еліпсоїда обертання, сплющеного на полюсах. Поверхня цього еліпсоїда Землі, як фігура, що є результатом дії цих двох сил, була б горизонтальною, і це означає, що в кожній точці напрямок сили ваги був би перпендикулярним до поверхні еліпсоїда. Поверхні, які перпендикулярні у кожній своїй точці до напрямку сили ваги, називаються *рівневими поверхнями*.

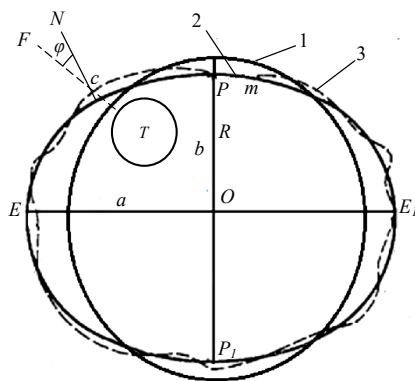
Поверхню такого еліпсоїда обертання можна було б визначити без будь-яких труднощів.

Однак, Земля складається з шарів, їх щільність збільшується у напрямку до центру Землі, але це не головна проблема з визначенням форми Землі. Основна складність спричинена тим, що щільність земної кори розподіляється випадково, без певної закономірності. Це пояснюється тим, що земна кора являє собою перехідну зону між атмосферою і гідросферою. Під впливом земних мас, які розташовані нерівномірно у земній корі, змінюється як гравітаційна сила, так і сила ваги. Рівнева поверхня, яка перпендикулярна до напрямку сили ваги (вискової лінії), відходить від поверхні еліпсоїда, стає більш складною з точки зору геометрії і не може бути описаною математично. Вона збігається тільки з водною поверхнею океану у спокійному стані та називається *геоїдом*. Так, на рис. 1.1 показано переріз земної кулі 1 з радіусом  $R$ , яку б мала поверхня нерухомої, однорідної за масою Землі. Рівневий еліпсоїд 2 – форму, яку б мала Земля, що обертається навколо осі  $PP_1$ , за однорідного розподілу мас у своїй товщі та поверхню геоїда 3. Припустимо, що нижче ділянки  $Pm$  розподіл мас у товщі Землі рівномірний. Тоді на цій ділянці рівневий еліпсоїд та геоїда мають спільну поверхню. Якщо ж у земній корі знаходиться тіло  $T$  з більшою густиною, ніж решта кори, то воно відтягне на себе вискову лінії  $F$  в точці  $c$ . Тоді переріз поверхні геоїда як поверхні, яка перпендикулярна до прямовисних ліній, матиме в районі розташування тіла  $T$  вигляд хвилястої кривої.

Кути  $\varphi$  між висковими лініями  $F$  і нормаллю  $N$  до поверхні еліпсоїда називається *відхиленням вискової лінії*. Такі відхилення складають 3" - 4", а для регіонів



з аномальним розташуванням масами у земній корі - кілька кутових мінут. Нерівномірність розподілу земної маси спотворює фігуру геоїда і викликає відхилення поверхні геоїда від еліпсоїда до 100 - 150 м. Незважаючи на це, еліпсоїд обертання є найбільш придатною фігурою для математичного опису геоїда.



**Рис. 1.1.** Зображення Землі у вигляді кулі 1, еліпсоїда 2 та геоїда 3.

Розміри еліпсоїда задають двома параметрами – великою піввіссю  $a=OE$  та малою піввіссю  $b=OP$  (рис. 1.1), або  $a$  та стисненням  $\alpha$

$$\alpha = \frac{a-b}{a}. \quad (1.1)$$

Фігури фізичної поверхні Землі та геоїда визначають за їх відхиленням від поверхні еліпсоїда. На рис. 1.1. такими відхиленнями є відрізки  $aa_1, bb_1, cc_1$ , а відрізки  $KK_1$  та  $LL_1$  – відхилення фізичної поверхні Землі від поверхні еліпсоїда.

*Загальноземний еліпсоїд* – еліпсоїд обертання, центр якого співпадає з центром мас Землі, площина його екватора збігається з площиною екватора Землі, а сума квадратів відхилення його поверхні від поверхні геоїда є мінімальною. *Референц-еліпсоїд* – еліпсоїд обертання, що найкраще описує фігуру Землі для певної території. Його вводить одна країна, або група країн. Центр референц-еліпсоїда не збігається з центром мас Землі, однак мала вісь та площина екватора відповідно паралельні до осі обертання Землі та площини земного екватора.

Багато вчених намагалися визначити розміри земного еліпсоїда протягом тривалого часу, використовуючи астрономічні і геодезичні вимірювання. Розміри найбільш підходящого еліпсоїда для колишнього СРСР були встановлені у 1940 р двома вченими Ф. Красовським і А. Ізотвим за допомогою великої кількості астрономічних, гравіметричних та геодезичних вимірювань, які були зроблені у СРСР, Китаї, Індії, і в інших країнах. Параметри деяких референц-еліпсоїдів наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Параметри референц-еліпсоїдів

Автори	Країна	Рік	$a, м$	$a$
Деламбр	Франція	1800	6375653	1:334,0
Бессель	Німеччина	1841	6377397	1:299,2
Кларк	Англія	1880	6378249	1:293,5
Хейфорд	США	1909	6378388	1:297,0
Красовський	СРСР	1940	6378245	1:293,3
Підкомісія Європейської референц- системи (EUREF)	Швейцарія	1980	6378137	1:298,26

Слід зауважити, що для адаптації геодезично-картографічної продукції до Європейських стандартів в Україні проводяться роботи з переходу від еліпсоїда Красовського до Європейського еліпсоїда GRS-80 (Geodetic Reference System 84), параметри якого наведені в останньому рядку табл. 1.1.

В 40-х роках ХХ століття вченим М. С. Молоденським було доведено, що неможливо точно визначити поверхню геоїда без відомостей про розподіл мас у тілі Землі. Тому ним було запропоновано визначати замість геоїда так званий *квaziгеоїд* (майже геоїд). Його поверхня збігається з поверхнею геоїда на морях та океанах, а на суші її можна визначити за результатами спеціальних вимірювань.

В багатьох випадках фігура Землі приймається як сфера. Її об'єм повинен дорівнювати об'єму еліпсоїда.

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi a^2 b. \quad (1.2)$$

У цьому випадку радіус  $R$  сфери визначається з рівняння (1.2)

$$R = \sqrt[3]{a^2 b}. \quad (1.3)$$

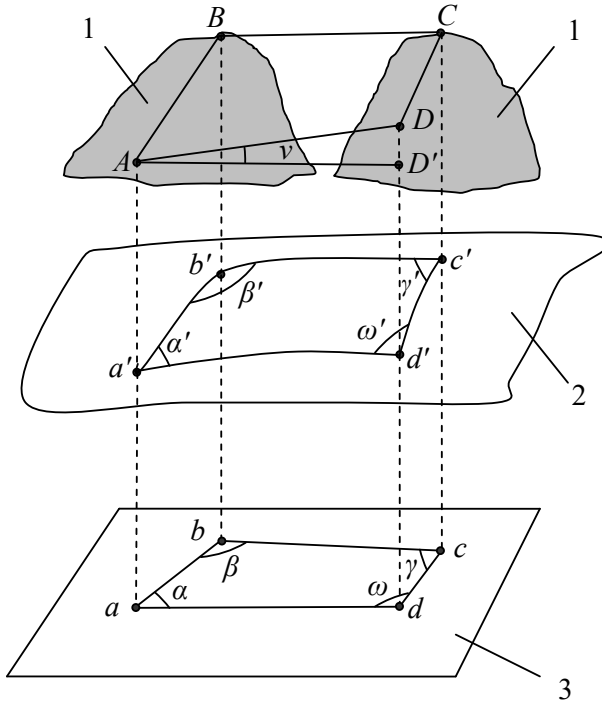
Після підстановки у (1.3) значення  $a=6378245$  м та  $b=6356863$  м для еліпсоїда Красовського (див. табл. 1.1), отримуємо  $R = 6371, 11$  км.

Для зображення фізичної поверхні Землі на площині, необхідно виконати наступне:

- спроектувати рельєф і елементи ситуації з фізичної поверхні на поверхню еліпсоїда або кулі;

- спроектувати зображення з елементами ситуації і рельєфу з поверхні еліпсоїда або кулі на площину.

Для проєктування точок фізичної поверхні використовується метод ортогональних (прямокутних) проєкцій (рис. 1.2).



**Рис. 1.2.** Метод ортогональних проєкцій

Тоді лінії проєктування перпендикулярні до поверхні або площини проєктування.

Спроектуємо точки  $A, B, C, D$  фізичної поверхні 1 Землі на поверхню еліпсоїда 2, який збігається з рівневою поверхнею. Лініями проєктування  $Aa, Bb, Cc,$

$Dd$  є вискові лінії (у загальному випадку лініями проектування є напрямки нормалей до поверхні еліпсоїда). Утворений чотирикутник  $a'b'c'd'$  спроекуємо на горизонтальну площину  $Z$  ортогональними до площини лініями  $a'a, b'b, c'c, d'd$ . Утвориться плоский чотирикутник  $abcd$ , сторони якого будуть горизонтальними, а кути між ними  $\alpha, \beta, \gamma, \omega$  - теж горизонтальними. Похила лінія місцевості, наприклад  $AD$ , приводиться до горизонтальної  $AD'$  за визначеного кута  $\nu$ , який вимірюється за допомогою теодоліта. З трикутника  $ADD'$  знайдемо

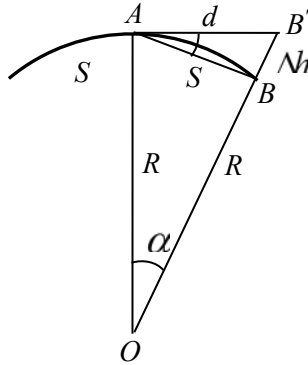
$$AD' = AD \cos \nu. \quad (1.4)$$

Загалом, для методу горизонтальних проєкцій, значення відстаней і горизонтальних кутів на фізичній поверхні не дорівнюють значенням відповідних відстаней і кутів на поверхні проєкції.

Як було раніше зазначено, напрямки вискових ліній у результаті неоднорідності внутрішньої будови Землі не збігаються з напрямками нормалей до поверхні проектування, що в середньому становить  $3'' - 4''$ , а для аномальних областей - кілька кутових мінут.

Для обмежених за розмірами ділянок земної поверхні лінії проектування (вискові лінії, нормалі) можна вважати паралельними одна до одної, а поверхню проєкції можна розглядати як площину. Визначимо розміри ділянок земної поверхні, які приймаються плоскими (рис. 1.3.).

Нехай маємо дугу  $AB$  довжиною  $S$  на поверхні кулі радіуса  $R$  (рис. 1.3). Дузі  $S$  відповідає дотична  $AB'$ , яку приймемо за частину плоскої поверхні довжиною  $d$ .



**Рис. 1.3.** Проектування частини поверхні кулі на площину

З рис. 1.3. зрозуміло, що

$$d = R \cdot \operatorname{tga}, \quad (1.5)$$

$$S = R \cdot \alpha. \quad (1.6)$$

З курсу математики відомо, що для малих за величиною значень кутів  $\alpha$

$$\operatorname{tga} \approx \alpha + \frac{1}{3}\alpha^3 \dots \quad (1.7)$$

Тоді різниця відстаней у результаті заміни поверхні кулі на площину визначається за формулою:

$$\Delta S = d - S \approx R \frac{\alpha^3}{3}. \quad (1.8)$$

Враховуючи, що  $\alpha = \frac{S}{R}$ , формула (1.8) прийме вигляд

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2}, \quad (1.9)$$

звідки отримаємо

$$S = \sqrt[3]{3\Delta S R^2}. \quad (1.10)$$

Для топографічних планів масштабу 1:500, який застосовується в Україні, точність дорівнює 0,05 м. Цю точність не повинні перевищувати похибки відображення ситуації на плані та похибки  $\Delta S$  за перехід від сферичної поверхні на площину. Тому прийmemo  $\Delta S = 0,05\text{м}/3$  та для  $R = 6371,11\text{км}$  з (1.10) визначимо довжину дуги  $S = 12,66\text{км}$ . Таким чином, ділянку земної кулі довжиною 25 км можна розглядати як площину.

Похибка у різниці точок  $B$  та  $B'$  за перехід від поверхні кулі до площини складає  $BB' = \Delta h$  (рис.1.3.). Якщо вважати, що кут  $B'AB = \alpha/2$ , то  $\Delta h$  можливо визначити з урахуванням першого члена формули (1.7)

$$\Delta h = S \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \approx S \frac{S}{2R} = \frac{S^2}{2R}. \quad (1.11)$$

Значення  $\Delta h$ , обчислені за формулою (1.11), наведені у табл.1.2.

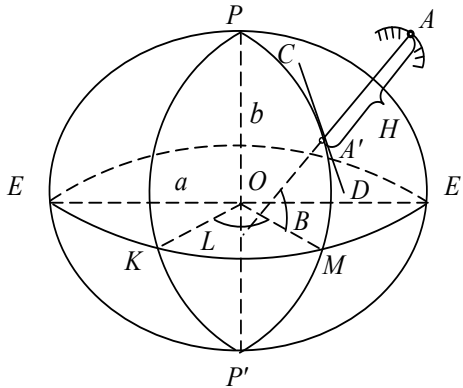
Таблиця 1.2

Похибки у висотах за перехід з поверхні  
кулі до площини

S, км	0,5	1,0	2,0
h, см	2	8	31

Для визначення положення точок земної поверхні застосовують різні системи координат.

Систему геодезичних координат показано на рис. 1.4.



**Рис. 1.4.** Геодезичні координати на еліпсоїді

Відрізки  $EE'$  та  $PP'$  збігаються з великою та малою осями еліпсоїда, а точки  $P$  та  $P'$  відповідають північному та південному полюсам еліпсоїда. Тоді лінія  $PP'$  - полярна вісь.

Лінія на поверхні еліпсоїда, утворена перетином площини, що проходить через полярну вісь називається *меридіаном*. За початковий меридіан вважають той, що проходить через точку, закріплену в обсерваторії в міста Гринвіч (Велика Британія) та показаного на рис. 1.4 у вигляді кривої  $PKP'$ . Лінія перетину поверхні еліпсоїда



площиною, яка перпендикулярна полярній осі, називається *паралеллю*. Паралель, що проходить через центр еліпсоїда – точку  $O$  називається *екватором*, який показаний на рис. 1.4 кривою  $EE'K$ .

Для визначення геодезичних координат проводять з точки  $A$  поверхні Землі нормаль  $AA'$ , яка перетне поверхню еліпсоїда у точці  $A'$  та перпендикулярна дотичній  $CD$  до утвореного меридіана  $PA'P'$  точки  $A$ . Тоді кут, утворений площиною екватора та нормаллю, яка проходить через точку земної поверхні, називається *геодезичною широтою  $B$*  даної точки. Двогранний кут між площиною початкового меридіана та площиною меридіана, що проходить через точку земної поверхні, називається *геодезичною довготою  $L$*  даної точки. Геодезичній довготі  $L$  точки відповідає центральний кут  $KOM$ , що лежить у площині екватора (див. рис. 1.4).

Довгота визначається від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  та в залежності від того, де знаходяться точки земної поверхні – на схід чи на захід від початкового меридіана, вони мають східні або західні довготи, відповідно.

Широту визначають від екватора від  $0^\circ$  до  $\pm 90^\circ$ . Якщо точка земної поверхні розташована у північній півкулі, то її довгота має додатне значення (північна довгота). Якщо ж точка розташована у південній півкулі, то її довгота має від'ємне значення (південна довгота).

Відрізок нормалі  $AA'$  від поверхні еліпсоїда до точки земної поверхні, через яку проходить нормаль, називається *геодезичною висотою*.

Астрономічні координати пов'язані з прямовисною лінією (лінією виска), через яку проходить астрономічний меридіан.

Кут між площиною екватора та прямовисною лінією, що проходить через точку земної поверхні, називається *астрономічною широтою*  $\phi$  даної точки.

Двогранний кут між площиною початкового меридіана та площиною астрономічного меридіана, що проходить через точку земної поверхні, називається *астрономічною довготою*  $\lambda$  даної точки. Астрономічні широти і довготи точок визначаються аналогічно до геодезичних широт та довгот. Під час виконання практичних робіт зі знімання місцевості різницею між геодезичними та астрономічними координатами нехтують.

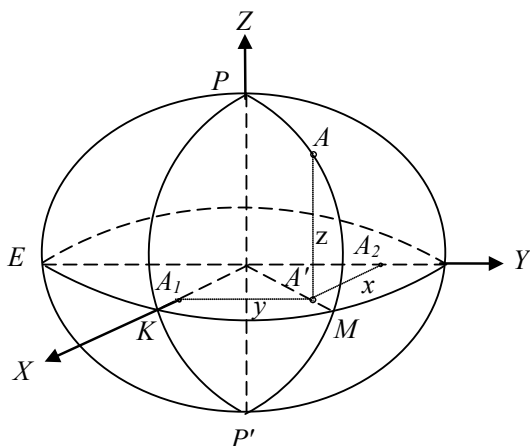
Якщо прийняти фігуру Землі за кулю, то прямовисні лінії та нормалі до поверхні загальноземного еліпсоїда збігаються з напрямками радіусів земної кулі та зникає різниця між геодезичними та астрономічними координатами. Утворюється єдина *географічна система координат*. Географічні довготи і широти точок прийнято позначати  $\phi$  та  $\lambda$ .

Останнім часом в геодезичному виробництві широко застосовуються супутникові технології визначення місцеположення точок в прямокутній геоцентричній просторовій системі координат (рис. 1.5).

Початок координат у геоцентричній просторовій системі знаходиться в центрі мас Землі. Вісь  $OX$  збігається з лінією перетину початкового меридіану та площини екватора. Вісь  $OY$  лежить у площині екватора та доповнює систему координат до правої. Вісь  $OZ$  спрямована вздовж осі обертання в напрямку на північ  $P$ .

Точка  $A$  проєктується на площину екватора  $EKM$ . Отримаємо точку  $A'$ . Відрізок  $AA'$ , який паралельний осі

$Z$ , дорівнюватиме першій координаті  $x$  точки  $A$ . Точка  $A'$  проектується на координатні осі  $X$  та  $Y$  точками  $A_1$  та  $A_2$ , відповідно. Маємо відрізки  $A'A_2 = x$  та  $A'A_1 = y$ .



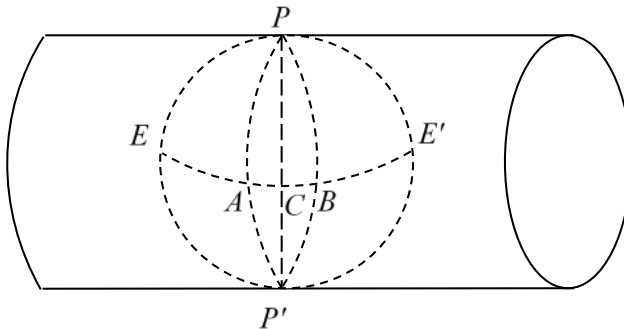
**Рис. 1.5.** Геоцентрична система прямокутних просторових координат

Проектування поверхні еліпсоїда (сфери) на площину неможливе без спотворення значень кутів і (або) відстаней. Методи проектування точок поверхні еліпсоїда (сфери) на площині є різними. Для складання топографічних карт важливо, щоб кути фігур на еліпсоїді та їх зображення на площині були рівними за величиною. Тоді зображення контурів ситуації на топографічних картах і місцевості будуть подібними, що дозволяє ідентифікувати ці зображення. Така проекція була розроблена К. Ф. Гаусом у XIX столітті та удосконалена на початку XX століття Л. Крюгером і названа *проекцією Гауса - Крюгера*. У цій проекції

зображення невеликих територій на еліпсоїді та на площині будуть подібними (конформними), а спотворення ліній – незначними.

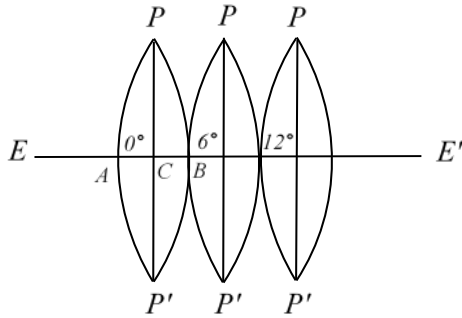
Для спрощення розуміння суті проєкції Гауса – Крюгера, можна вважати, що Земля є кулю (рис. 1.6) На земній кулі проводять початковий меридіан  $PAP'$ , що має довготу  $0^\circ$  та меридіан  $PBP'$  довготою  $6^\circ$ . Утвориться частина земної поверхні, обмежена меридіанами, що дістала назву – зона. Зрозуміло, що таких зон, з розміром  $6^\circ$  за довготою, буде  $360^\circ / 6^\circ = 60$ .

В кожній зоні проводять осьовий меридіан  $PCP'$ . Кулю розміщують в середині циліндра, який має діаметр кулі. Далі, «обертають» кулю навколо полярної осі  $PP'$  всередині циліндра.



**Рис. 1.6.** Поперечно-циліндрична проєкція Гауса-Крюгера

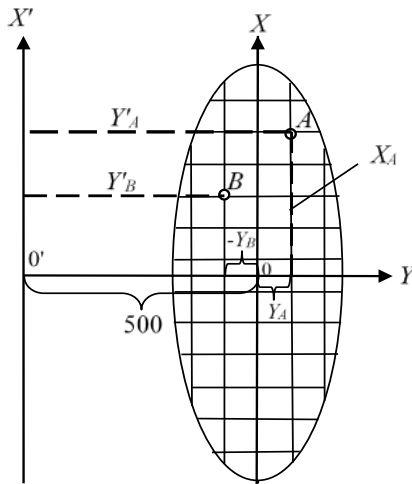
На внутрішній поверхні циліндра відобразяться межі зон та їх осьові меридіани. Потім «розгортають» поверхню циліндра у площину та отримують зображення, фрагмент якого показано на рис. 1.7.



**Рис. 1.7.** Зображення зон на площині в проекції Гауса-Крюгера

Осьовий меридіан та екватор зобразяться у проекції Гауса-Крюгера прямими лініями.

Середній меридіан зони утворює вісь абсцис  $X$  з напрямком на північ (рис. 1.8). Лінія екватора утворює вісь ординат  $Y$  з напрямком на схід.



**Рис. 1.8.** Зональна система координат

Для точок, розташованих на північ від екватора, абсциса точки має знак «плюс», а розташованих на південь від екватора - знак «мінус». Щоб позбутися від'ємних значень ординат, вісь  $X$  у кожній зоні умовно переносять на 500 км на захід. Попереду значення ординати вказується номер зони. Ординати в системі координат  $O'X'Y'$ , після вилученням номера зони, будуть дорівнювати:

$$Y'_A = 500\text{км} + Y_A,$$

$$Y'_B = 500\text{км} - Y_B. \quad (1.12)$$

де  $Y_A, Y_B$  - ординати точок  $A$  та  $B$  в системі координат  $OXY$ . Наприклад,  $Y'_A = 4769531$  м. В цьому випадку зона має номер 4,  $Y_A = 769531 - 500000 = 269531$  м. Точка  $A$  у даному випадку знаходиться на відстані 269531 м на схід від осьового меридіана четвертої зони.

Нумерація зон відбувається від Грінвіцького меридіана у напрямку на схід. Довготу осьового меридіана  $L_0$  шестиградусної зони за номером  $n$  визначають за формулою

$$L_0 = n \cdot 6^\circ - 3^\circ. \quad (1.13)$$

Використовуються і триградусні зони, оскільки спотворення на кінцях цих зон менші, ніж у шестиградусних.

Відстані у проекції Гауса-Крюгера у порівнянні з тими ж відстанями на еліпсоїді зменшуються

(редукуються), тобто спотворюються. Значення спотворень можуть бути обчислені за формулами:

$$\Delta D = D - S = \frac{Y_m^2}{2R^2} D, \quad (1.14)$$

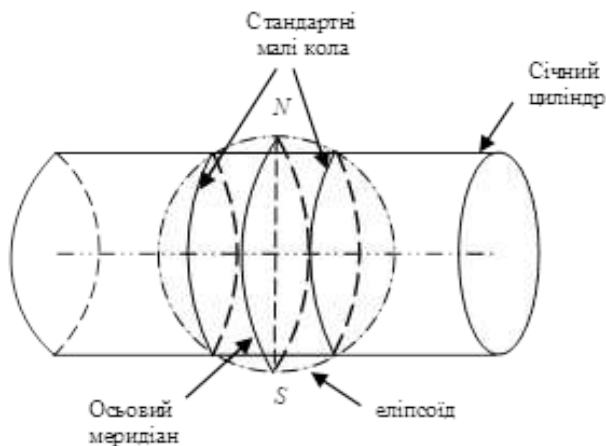
$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{Y_m^2}{2R^2}, \quad (1.15)$$

де  $D$  – значення відстані на площині;  $S$  – значення відстані на еліпсоїді;  $Y_m$  – відстань від осевого меридіана зони до середньої точки лінії.

Найбільш значне спотворення відстаней можна спостерігати вздовж меж зон. Для шестиградусної зони його значення, обчислене за формулою (1.13), буде дорівнювати приблизно 1:1000, а саме спотворення складатиме 1 см на кожні 10 м відстані. Для триградусної зони спотворення складає 1:4000 – тобто 1 см на кожні 40 м відстані на площині.

На сьогодні у багатьох програмних продуктах, які використовуються для опрацювання результатів геодезичних вимірювань, застосовується універсальна проєкція Меркатора - Universal Transverse Mercator (UTM). Ця проєкція є однією з найпоширеніших картографічних проєкцій сьогодні. UTM належить до січних циліндричних проєкцій. Вісь циліндра збігається з великою віссю земного еліпсоїда.

В січних циліндричних проєкціях січний циліндр перетинає земний еліпсоїд уздовж двох замкнутих кривих, паралельних до центрального меридіана (рис. 1.9).



**Рис. 1.9.** Перетин еліпсоїда січним циліндром

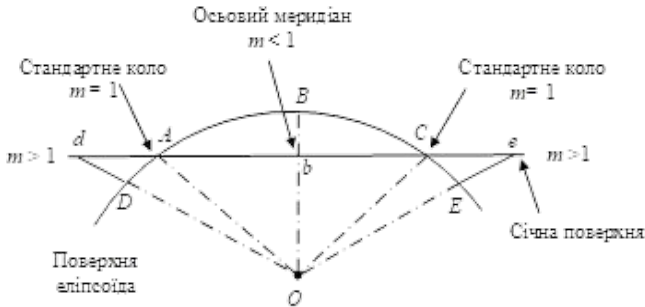
Таким чином утворюється лінія, дотична до земного еліпсоїда, та дві січні лінії – праворуч та ліворуч від дотичної. Дотична та січні лінії є стандартними лініями, які простягаються з Півночі (*N*) на Південь (*S*).

Проектування поверхні земного еліпсоїда на січний циліндр у проекції UTM забезпечує більш рівномірний розподіл спотворень на карті в порівнянні з проектуванням на дотичний циліндр, що використовується, наприклад, у поперечній циліндричній проекції Гауса-Крюгера. Так, на рис. 1.10 показано перетин поверхні еліпсоїда січною поверхнею в площині екватора. З рис. 1.10 видно, що в точках *A* та *C* поверхня земного еліпсоїда та січної поверхні циліндра, на яких знаходяться стандартні кола, збігаються, отже масштаб у цих точках дорівнює одиниці. Для точки *B*, яка проектується на січну поверхню точкою *b*, відрізок прямої  $Ab < AB$  - дуги еліпсоїда, отже масштаб



відображення поверхні еліпсоїда на поверхню січного циліндра для точки  $b$  дорівнює:

$$m = \frac{Ab}{AB} < 1. \quad (1.16)$$



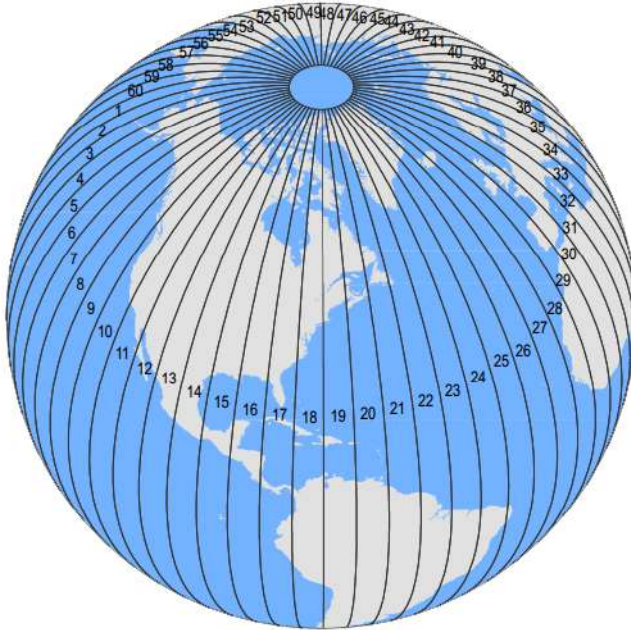
**Рис. 1.10.** Спотворення масштабу на січній поверхні

В точці  $E$ , яка проектується на поверхню січного циліндра в точку  $e$ , відрізок прямої  $Ce > CE$  – дуги еліпсоїда, а тому масштаб у точці  $e$  дорівнює

$$m = \frac{Ce}{CE} > 1. \quad (1.17)$$

Отже, для точок січного циліндра, віддалених від стандартних паралелей, масштаб відображення поверхні земного еліпсоїда буде завжди більшим за одиницю.

Зона UTM – це сегмент земної кулі, який має  $6^\circ$  за довготою за винятком Норвегії та Шпіцбергена [6]. Оскільки коло має  $360^\circ$ , це означає, що існує 60 сегментів UTM (рис. 1.11).

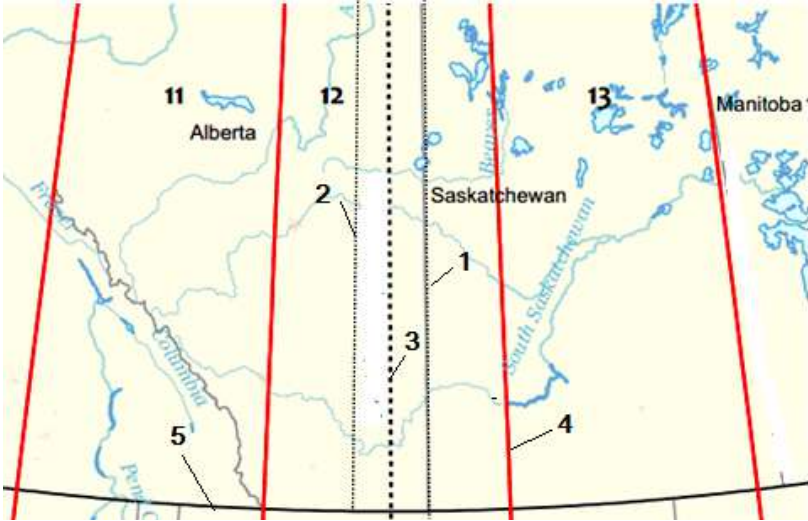


**Рис. 1.11.** Поділ поверхні земної кулі на сегменти (зони)

Сегменти (зони) утворюють колони, які позначають арабськими літерами від 1 до 60 проти ходу годинникової стрілки (на схід), починаючи від меридіана з довготою  $180^\circ$  (див. рис. 7).

Стандартні кола розташовані на відстані близько 180 кілометрів на схід і захід від центрального меридіана зони та мають масштабний коефіцієнт 1, а осьовий меридіан зони UTM-сітки має масштабний коефіцієнт 0,9996 (рис. 1.12).

Спотворення незначні поблизу центрального меридіану, а при віддаленні від нього збільшуються. Отже, це робить проекцію найбільш придатну для вузьких регіонів.

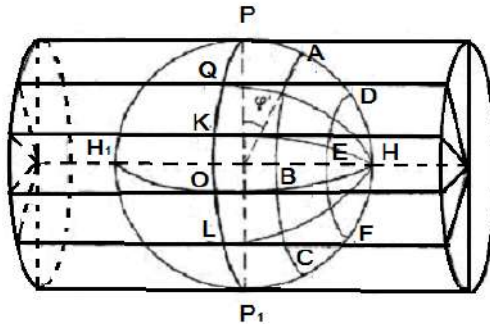


**Рис. 1.12.** Зображення зон в проекції UTM:  
 1,2 – зображення стандартних кіл, 3 – зображення  
 осевого меридіану,  
 4 – зображення крайніх меридіанів зони, 5 –  
 зображення екватора

Взаємно-перпендикулярними прямими в поперечній циліндричній проєкції зображуються не меридіани і паралелі, а (рис. 1.13) дуги малих кіл ABC і DEP (альмукантарати) і дуги великих кіл HQ, НК, АЛЕ, НЛ, які перпендикулярні до осевого меридіану (вертикали). Альмукантарати ABC, DEF проведені на еліпсоїді через однакові проміжки, а вертикали ділять осевий меридіан на рівні відрізки LO = ОК = КQ.  $\varphi'$  - центральний кут, якому відповідає альмукантарата даної точки.

Альмукантарати та вертикали утворюють на карті координатну мережу прямокутників, як показано на

рис. 1.14. Лініями абсцис у проєкції UTM є зображення вертикалів, а лініями ординат - зображення альмукантарат.



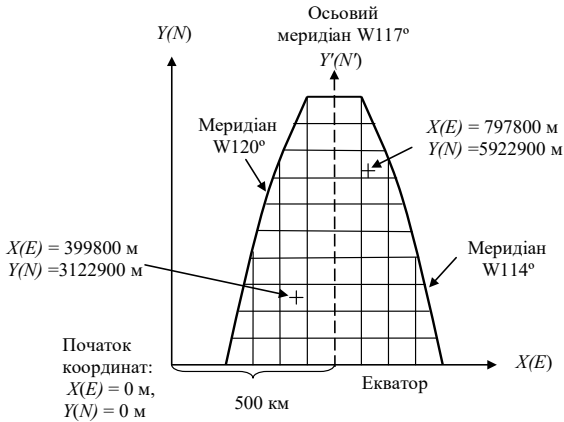
**Рис. 1.13.** Розташування ліній альмукантаратів та вертикалів на поверхні земного еліпсоїда

Система координат UTM - це універсальна система плоских прямокутних координат (крім полярних областей). UTM-зони «сплющені» у поперечній циліндричній проєкції Меркатора. Прямокутна координатна мережа з прямих горизонтальних і вертикальних ліній накладається на кожну зону. Хоча меридіани всередині зони і на межах зон сходяться до полюсів, вертикальні лінії координатної мережі орієнтовані паралельно до центрального (осьового) меридіану кожної зони та утворюють кут з іншими меридіанами.

Горизонтальні лінії в свою чергу паралельні до екватора. Тому квадрати мережі залишаються однаковими за розміром і формою на всій карті.

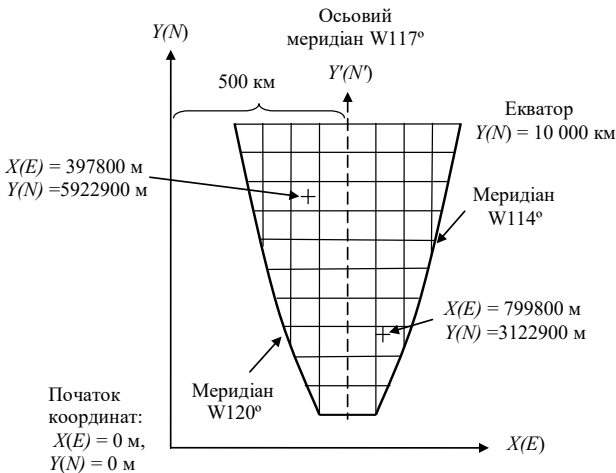
У системі плоских прямокутних координат UTM одиницею виміру є метри, а абсциса точки





**Рис. 1.15.** Зона 11 – північна частина (North)

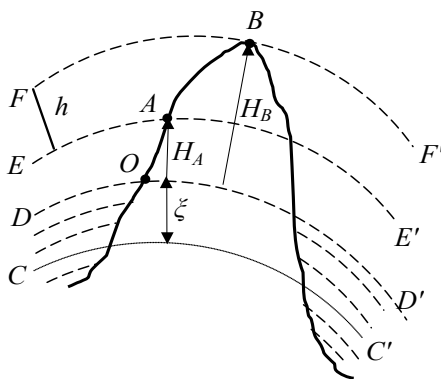
Для уникнення від'ємних значень координат у південній півкулі, вісь ординат віднесена на захід на 500 км від осьового меридіану, а вісь абсцис віднесена на південь відносно екватора на 10 000 км рис. 1.16).



**Рис. 1.16.** Зона 11 - південна частина (South)

Тому, щоб визначити абсцису точки відносно осевого меридіану  $X'(E')$ , необхідно від абсциси точки  $X(E)$  в системі UTM відняти 500 000 м. Щоб отримати ординату точки відносно екватора  $Y(N')$ , необхідно від ординати точки в системі UTM  $Y(N)$  відняти 10 000 000 м. Номер зони перед значенням ординати точки не вказується, як це робиться у системі прямокутних координат Гауса-Крюгера, а перед значеннями координат вказується зона та пояс, в яких знаходиться точка (поняття пояса проєкції UTM – див. 1.3.2. Номенклатура топографічних карт і планів). Приклад повного запису UTM-координат: 11U 358657mE 5885532mN, тобто зона 11, пояс U,  $X = 358657$  м,  $Y=5885532$  м. Еліпсоїдом UTM є еліпсоїд WGS-84.

Для того, щоб визначити просторове положення точки фізичної поверхні Землі, необхідно знати не тільки площинні координати, а і висоту. Рис.1.17 демонструє, що висота  $H$  є відстанню від точки у напрямку вискової лінії або нормалі до поверхні рівня моря.



**Рис. 1.17.** Система висот

Для відліку висот закріплюють на місцевості середній рівень моря  $DD'$  знаком – точка  $O$  на рис. 1.17. В Україні *абсолютні висоти* відраховуються від середнього рівня Балтійського моря. Цей рівень закріплено знаком - рискою на мідній платівці, яка прикріплена до опори моста у м. Кронштадті (Кронштадтський футшток), поблизу Санкт-Петербурга. Абсолютні висоти на рис. 1.17 точок  $A$  та  $B$  позначено:  $H_A, H_B$ . Через ці точки можна провести рівневі поверхні:  $EE'$  та  $FF'$ .

*Перевищення*  $h$  точки  $B$  над точкою  $A$  - це відстань вздовж прямовисної лінії між рівневими поверхнями цих точок. З рис. 1.17 видно, що

$$h = H_A - H_B. \quad (1.18)$$

Іноколи якусь точку, наприклад точку  $A$ , приймають за початкову. Тоді висоти точок, відраховані від початкової, називатимуться *умовними висотами*. В цьому випадку умовна висота точки  $B$  буде дорівнювати  $h$ .

У геодезії використовують також *геодезичні висоти*. Вони відраховуються від поверхні еліпсоїда – лінії  $CC'$  на рис. 1.17. Тоді геодезична висота точки  $A$  дорівнюватиме

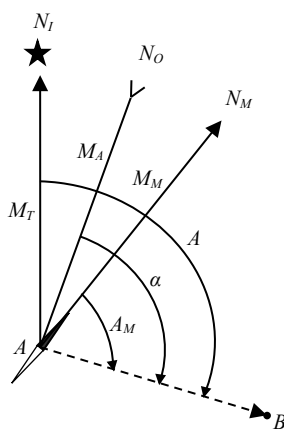
$$H_G = H_A + \zeta. \quad (1.19)$$

## 1.2. Орієнтування ліній

Зорієнтувати лінію означає визначити її напрямок (кут) відносно іншого напрямку, який прийнято за початковий.



Початковими напрямками для орієнтування ліній вибирають: істинний меридіан; осьовий меридіан; магнітний меридіан у початковій точці  $A$  напрямку  $AB$  (рис. 1. 18). Магнітний меридіан не збігається з істинним, тому що магнітний полюс  $N_M$  та істинний полюс  $N_I$  розташовані в різних точках поверхні Землі, а напрям  $AN_O$  - паралельний до осьового меридіану зони, в якій знаходиться точка  $A$ .



**Рис. 1.18.** Орієнтування лінії  $AB$  відносно вихідних напрямів

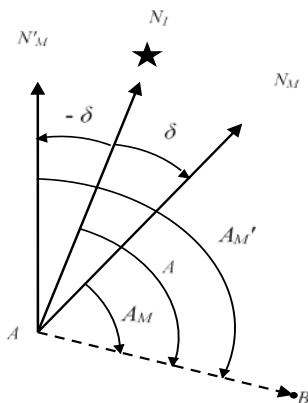
*Дирекційним кутом  $\alpha$*  називається горизонтальний кут, який відраховується за годинниковою стрілкою від північного напрямку осьового меридіану зони, або лінії, що йому паралельна, до заданого напрямку.

*Істинним азимутом  $A$*  називається горизонтальний кут, який відраховується за годинниковою стрілкою від північного напрямку істинного меридіана, що проходить через дану точку місцевості, до заданого напрямку.

Магнітним азимутом  $A_M$  називається горизонтальний кут, який відраховується за годинниковою стрілкою від північного напрямку магнітного меридіана, що проходить через дану точку місцевості, до заданого напрямку.

Слід зазначити, що положення магнітного полюсу у тілі Землі змінюється з часом (навіть протягом дня) і залежить від положення Землі у Всесвіті. З огляду на це можна зробити висновок про те, що орієнтування ліній з використанням магнітного меридіана є приблизною і має обмежену точність.

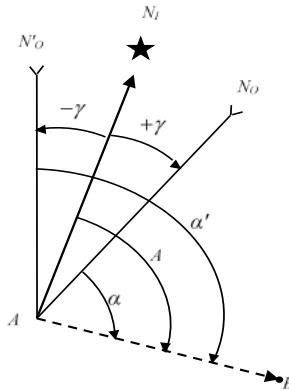
Для переходу від азимута до магнітного азимута і навпаки застосовують *схилення магнітної стрілки* – кут  $\delta$  між північними напрямками істинного і магнітного меридіанів (рис. 1.19). Якщо північний напрям магнітного меридіана розташований на схід від північного напрямку істинного меридіану, то схилення магнітної стрілки має додатне значення  $+\delta$ , якщо ж на захід, то від’ємне  $-\delta$ . З рис. 1.19 видно, що



**Рис. 1.19.** До схилення магнітної стрілки

$$A = A_M + \delta. \quad (1. 20)$$

Для переходу від дирекційних кутів до істинних азимутів і навпаки використовується *зближення меридіанів* – кут  $\gamma$  між північними напрямками істинного та осьового меридіанів (рис. 1. 20) .



**Рис. 1.20.** Зближення меридіанів

Якщо північний напрям осьового меридіана розташований на схід від північного напрямку істинного меридіана, то зближення меридіанів має додатне значення  $+\gamma$ , якщо ж на захід, то від’ємне  $-\gamma$ . З рис. 1.20 видно, що

$$A = \alpha + \gamma. \quad (1. 21)$$

Для точок, розташованих на одній широті  $B$  (рис. 1.21) з різницею довгот  $\Delta L$ , зближення меридіанів обчислюється за формулою

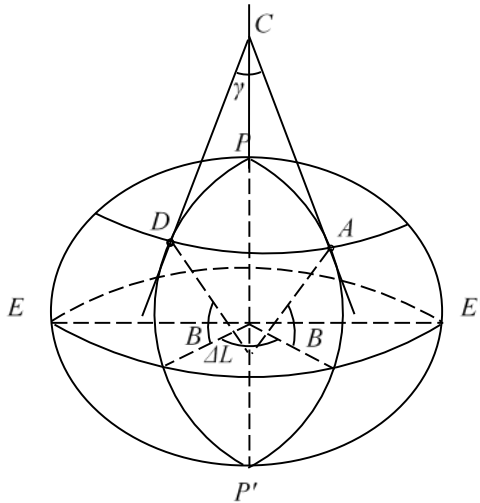
$$\gamma = \Delta L \cdot \sin B. \quad (1. 22)$$

Лінії  $AC$  і  $DC$  є дотичними до меридіанів точок  $A$  та  $D$ . Порівнюючи праві частини формул (1.20) та (1.21) можна отримати залежність дирекційного кута від значення магнітного азимута

$$A_M + \delta = \alpha + \gamma, \quad (1.23)$$

Звідси

$$\alpha = A_M + \delta - \gamma. \quad (1.24)$$



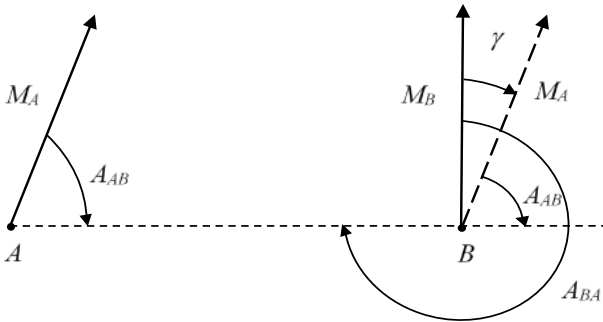
**Рис. 1.21.** Зближення меридіанів для точок з рівними широтами

Величину  $(\delta - \gamma)$  називають *загальною поправкою за схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів*.

Істинні і магнітні азимути однієї і тієї ж лінії у різних точках даної лінії мають різні значення, і це робить їх використання більш складним. Дирекційний кут, навпаки, у різних точках лінії має однакове

значення. Так, на рис. 1. 22. зображено меридіани  $M_A$  і  $M_B$  точок  $A$  та  $B$ . Обернений азимут  $A_{BA}$  лінії  $AB$  відрізняється від прямого азимута  $A_{AB}$  на величину

$$A_{BA} = A_{AB} + 180^\circ + \gamma. \quad (1.25)$$



**Рис. 1.22.** Прямий та обернений азимуту

Якщо значення  $A_{BA} \geq 360^\circ$ , то необхідно виконати дію:  $A_{BA} - 360^\circ$ , що з урахуванням (1.25) рівноцінно формулі

$$A_{BA} = A_{AB} + 180^\circ + \gamma - 360^\circ = A_{AB} - 180^\circ + \gamma. \quad (1.26)$$

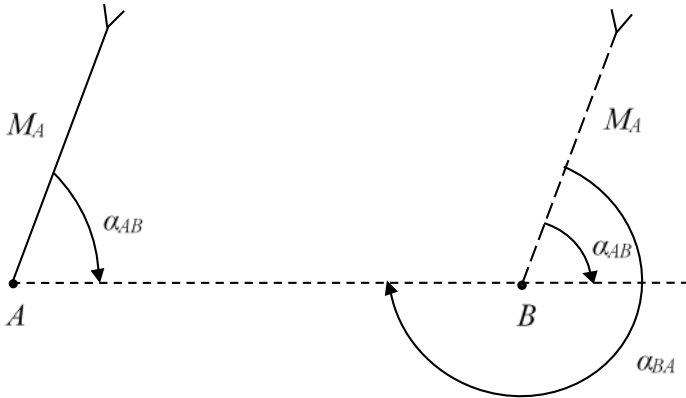
Тому у загальному випадку використовується формула

$$A_{BA} = A_{AB} \pm 180^\circ + \gamma. \quad (1.27)$$

З формули (1.27) видно, що для визначення оберненого азимута необхідно знати зближення меридіанів, які проходять через точки  $A$  та  $B$ .

Що стосується обернених дирекційних кутів, то з

огляду на рис. 1.23 видно, що точки  $A$  та  $B$ , якщо вони знаходяться в одній зоні, мають один і той же осьовий меридіан  $M_A$ .



**Рис. 1.23.** Прямий та обернений дирекційні кути

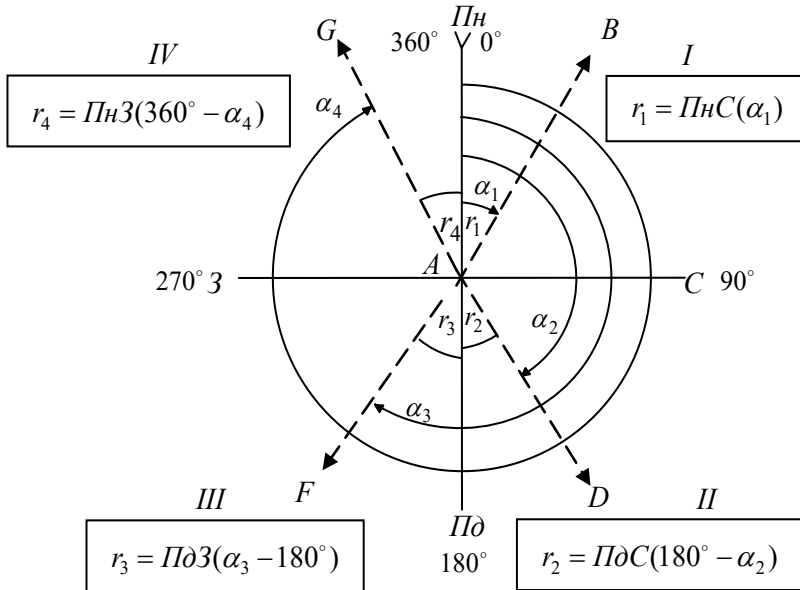
Для оберненого дирекційного кута можна записати

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ. \quad (1.28)$$

Тому застосування дирекційних кутів значно спрощує геодезичні розрахунки в порівнянні з азимутами.

Часто для орієнтування ліній використовують румби. *Румбом* називається горизонтальний гострий кут між найближчим кінцем осьового меридіану і заданим напрямком (рис. 1.24). Румб має назву в залежності від чверті, у якій знаходиться лінія. Так, лінія  $AB$  знаходиться у  $I$  чверті, її румб має назву - Північний Схід (ПнС), лінія  $AD$  знаходиться у  $II$  чверті, її румб має назву - Південний Схід (ПдС), лінія  $AF$  знаходиться у  $III$  чверті, її румб має назву - Південний

Захід (ПдЗ), лінія  $AG$  знаходиться у  $IV$  чверті, її румб має назву – Південний Захід (ПнЗ).



**Рис. 1.24.** Співвідношення між румбами і дирекційними кутами

Формули для переходу від дирекційних кутів ліній до румбів наведені на рис. 1.24. Аналогічні співвідношення стосуються і магнітних та істинних азимутів відносно їх магнітних чи істинних румбів.

### 1.3. Топографічні плани і карти

Топографічні плани і карти є дуже важливим джерелом інформації для прийняття інженерних рішень.

*Топографічна карта* є зменшеним, масштабованим і умовним зображенням значної площі земної поверхні на площині, побудованим за допомогою математичних законів з урахуванням кривини Землі. *Топографічний план* є умовним, зменшеним, масштабованим зображенням невеликих ділянок поверхні Землі на площині в ортогональній проекції без урахування кривини Землі.

Топографічні карти і плани характеризують ситуацію і рельєф місцевості з точки зору їх якості та кількості. *Ситуація* – це сукупність об'єктів, створених природою або людьми. Є такі елементи ситуації як: будівлі, дороги, ріки, ліси тощо. *Рельєф* – це сукупність нерівностей земної поверхні.

#### 1.3.1. Масштаби топографічних карт і планів

Топографічні плани і карти є масштабованим представленням місцевості. *Масштабом* називається відношення довжини ліній  $l$  на карті (плані) до відповідної горизонтальної проекції цієї довжини  $L$  на місцевості.

*Числовий масштаб* виражається через дріб

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} \quad (1.29)$$

де  $M$  – знаменник масштабу, який показує ступінь зменшення довжин ліній місцевості по відношенню до тих же ліній на плані чи карті, і навпаки – ступінь



збільшення довжин ліній на карті при переході до тих же ліній на місцевості. Наприклад, для топографічного плану масштабу 1:1000 горизонтальні відстані між точками території зменшуються при переході до плану в 1000 разів (сто метрів на місцевості – десять сантиметрів на плані). Навпаки, відстань між двома точками на плані збільшується у 1000 разів для переходу на місцевість. Тому можна записати, що

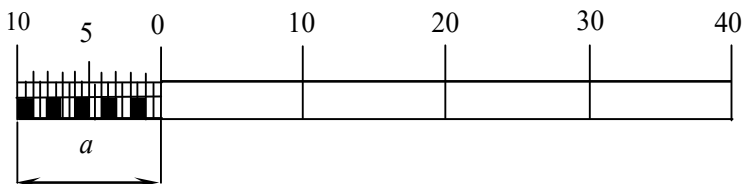
$$l = \frac{L}{M}, \quad (1.30)$$

$$L = l \cdot M. \quad (1.31)$$

Чим менший знаменник  $M$  числового масштабу, тим більшою (крупнішою) відображається ситуація на карті (плані), і навпаки, чим більше число  $M$ , тим меншими зображаються ті ж об'єкти ситуації на карті (плані).

В Україні використовуються карти і плани, які мають наступні масштаби: 1:1000000, 1:500000, 1:300000, 1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Лінійний масштаб – це графічне зображення числового масштабу (рис.1.25).



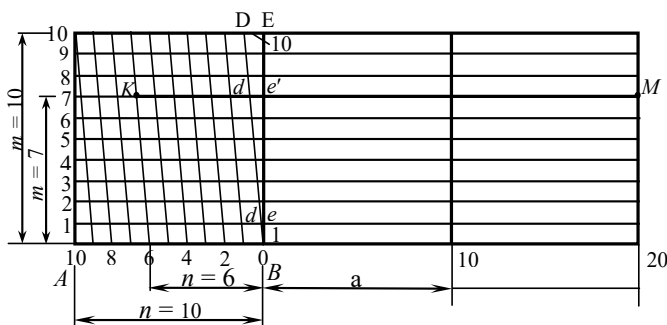
**Рис. 1.25.** Лінійний масштаб 1:500

Основа лінійного масштабу  $a = 2$  см. Тоді довжина лінії основи масштабу буде:  $a \cdot M = 2 \cdot 500 = 1000$  см, або 10 м.

Для підвищення точності графічних робіт використовують *поперечний масштаб* (рис. 1.26). Він дозволяє оцінювати (вимірювати) відрізки з точністю 0,01 основи лінійного масштабу.

Основу масштабу  $a = AB$  поділяють на 10 рівних частин. На перпендикулярах до основи в точках  $A$  та  $B$  відкладають  $m = 10$  рівних відрізків.

Верхні кінці перпендикулярів з'єднують лінією, паралельною до основи масштабу та поділяють лівий її край на 10 рівних частин. З'єднують протилежні верхні та нижні поділки косими лініями - *трансверсальми*.



**Рис. 1.26.** Поперечний масштаб 1:500

Тоді відрізок  $DE = 0,1 a$ , а відрізок  $de = 0,1 \cdot DE = 0,01 a$ . Наприклад, щоб визначити довжину відрізка  $KM$  у масштабі 1:500, встановлюють голки вимірника на кінці відрізка. Розташовують голки вимірника на поперечному масштабі так, щоб точка  $M$  знаходилась на лінії, яка перпендикулярна лінії основи праворуч від нульової поділки основи. Точка  $K$  повинна розташовуватись ліворуч від нульової поділки основи. Переміщують весь

вимірник у гору до тих пір, поки ліва його ніжка не сполучиться з перетином косої та горизонтальної ліній. В цей час точка  $M$  повинна знаходитись на одній горизонтальній лінії з точкою  $K$ . Довжина лінії  $KM$  з урахуванням того, що  $a = 10\text{м}$  у масштабі 1:500, дорівнює:  $2a + 6n + 7m = 2 \cdot 10\text{м} + 6 \cdot 1\text{м} + 7 \cdot 0,1\text{м} = 26,7\text{м}$ .

Величину відрізка на місцевості, що дорівнює 0,1 мм на карті або плані, називають *точністю масштабу*. Так для масштабів: 1:10000; 1:2000 та 1:500 отримуємо точність масштабу, відповідно, 1 м; 0,2 м та 0,05 м.

Масштаби карт поділяють на: дрібномасштабні – менше 1:1000000; великомасштабні 1:100000 та крупніше.

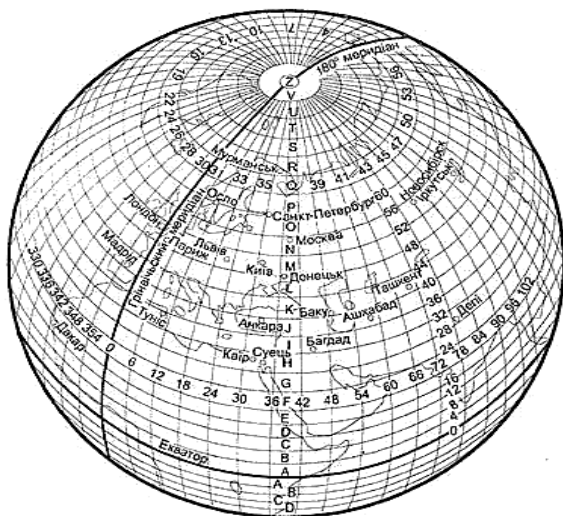
Топографічні карти масштабів 1:100000; 1:50000; 1:25000; 1:10000; 1:5000; 1:2000; 1:1000 та 1:500 називають ще топографічними планами. Плани цих масштабів використовують для проектування інженерних споруд та у земельному кадастрі.

### **1.3.2. Номенклатура топографічних карт і планів**

Кarti та плани складають на окремих аркушах. *Номенклатурою* називають систему розграфлення і позначення окремих аркушів топографічних карт та планів.

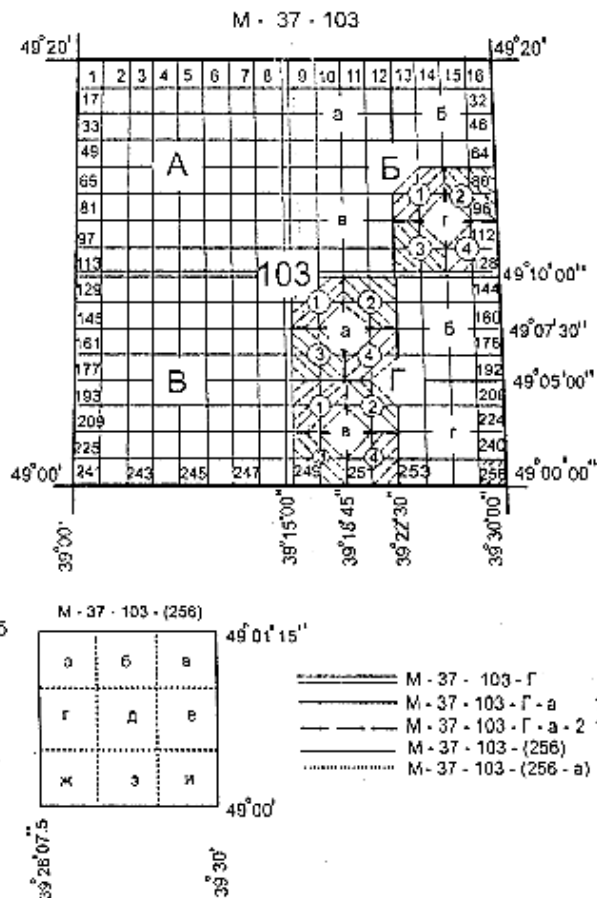
За основу беруть карту в масштабі 1:1 000 000. Вона називається *Міжнародною мільйонною картою світу* і використовується в Україні. На Земній кулі утворюють меридіани за довготою через  $6^\circ$ . Отримані сферичні двокутники називають *колонами*. (рис. 1.27) Їх позначають арабськими цифрами 1, 2, ..., 60 проти ходу

годинникової стрілки, починаючи від меридіана з довготою 180°. Від екватора на північ та південь проводять паралелі через 4°. Отримані *пояси* від екватора на північ та південь позначають великими літерами латинського алфавіту: *A, B, C, ..., U, V, Z*. Перетин колон та поясів утворює трапеції аркушів карт масштабу 1:1000000 з розмірами за довготою 6° та 4° за широтою.



**Рис. 1.27.** Розграфлення аркушів карти масштабу 1:1 000 000

Наприклад, місто Київ розміщується на аркуші карти масштабу 1:1 000000 – М-36, Львів – М-34. Територія України зображується на 6-ти аркушах карти масштабу 1:1 000000. На рис. 1.28. наведено схему розграфлення топографічних карт і планів в залежності від їх масштабів.



**Рис. 1.28.** Схема розграфлення аркушів топографічних карт і планів

Для подальшого розграфлення аркушів топографічних карт та планів поділяють аркуш карти дрібнішого масштабу меридіанами та паралелями на ціле число трапецій аркушів карт більшого масштабу. В табл. 1.3 наведено схему позначення аркушів топографічних планів.

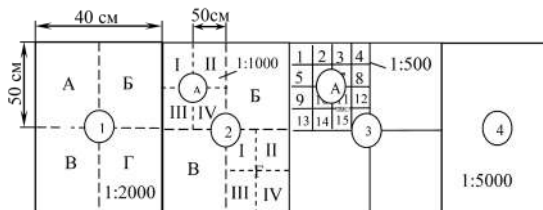
Таблиця 1.3

## Позначення карт і планів

Масштаби карт та планів	Число аркушів	Приклад номенклатури аркушів	Позначення аркушів
Базова карта масштабу 1:1 000 000			
1: 1 000 000	1	N – 37	
1: 500 000	4	N – 37 – А	А, Б, В, Г
1: 200 000	36	N – 37 – XXVI	I, II, ..., XXXVI
1: 100 000	144	N – 37 – 103	1,2, ..., 144
Базова карта масштабу 1:100 000			
1:50 000	4	N – 37 – 103 – А	А, Б, В, Г
1:25 000	16	N – 37 – 103 – Б – г	а, б, в, г
1:10 000	64	N – 37 – 103 – Б – г – 2	1, 2, 3, 4
1:5000	256	N – 37 – 103 – (256)	1, 2, ..., 256
Базова карта масштабу 1: 5 000			
1:2000	9	N – 37 – 103 – (256 – а)	а,б, в, г, д, е, ж, з, и

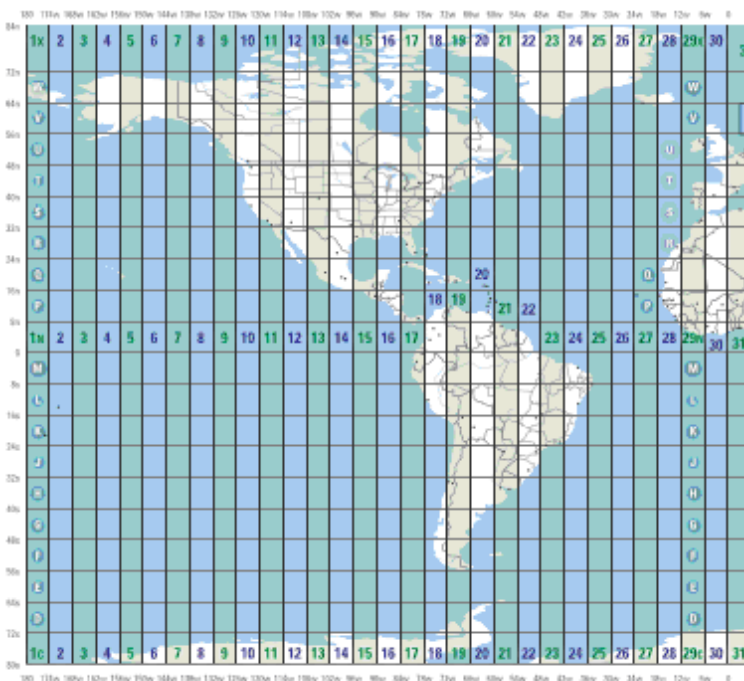
Для населених пунктів, які займають територію менше 20 км<sup>2</sup> використовують прямокутне розграфлення аркушів. Рамки аркушів великомасштабних планів зображають паралельно до осей координат X та Y державної чи місцевої систем координат (рис. 1.29).

Система розграфлення аркушів топографічних карт в універсальній проекції Меркатора - Universal Transverse Mercator (UTM) має свої особливості.



**Рис. 1.29.** Розграфлення планів масштабів 1:5000 – 1:500

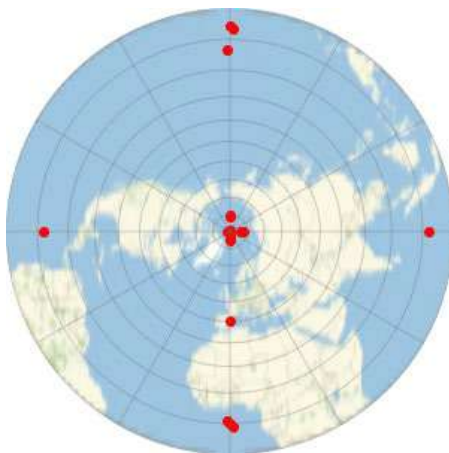
Крім поділу Земної кулі на колони, на північ та південь від екватора, півкулі Землі поділяють паралелями за довготою  $8^\circ$  на пояси (рис. 1.30).



**Рис. 1.30.** Фрагмент поділу земної поверхні на колони та пояси

Пояси позначають великими літерами латинського алфавіту від С до Х, починаючи з південних областей Антарктиди в напрямку до Арктики. Літери І та О – пропущені. Регіони північної півкулі від  $84^\circ$  північної широти і південніше  $80^\circ$  південної широти в проекції UTM не відображають. Щоб виконати відображення, застосовують універсальну полярну стереографічну

проекцію – UPS (рис. 1.31). Таким чином, південна півкуля містить 10 поясів по  $8^\circ$  за широтою від  $0^\circ$  до  $80^\circ$ , а північна півкуля налічує 9 поясів по  $8^\circ$  за широтою та десятий пояс X, що має  $12^\circ$  за широтою.

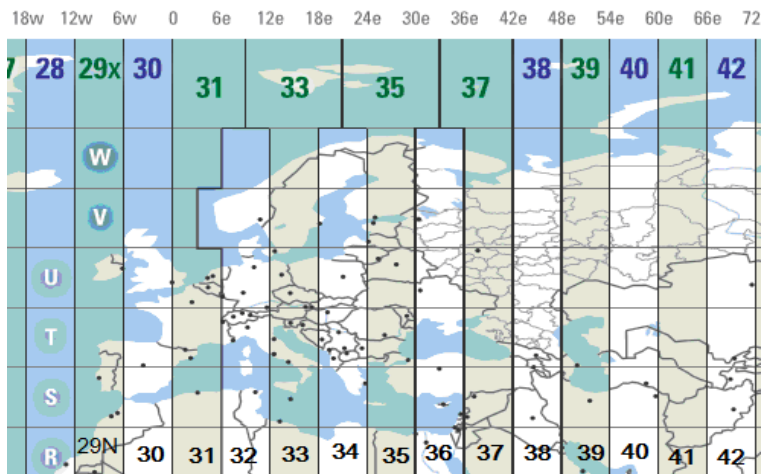


**Рис. 1.31.** Зображення частини Земної кулі за допомогою універсальної полярної стереографічної проекції (UPS).

На рис. 1.32 наведено фрагмент розграфлення частини Земної кулі, що належить Євразії. На цьому фрагменті видно, що довготи меридіанів, які обмежують зони, збільшуються на схід від нульового меридіана та позначаються літерою е (east), наприклад, 48е, а ті, що на захід збільшуються за довготою - позначаються літерою w (west), наприклад, 12 w.

В Україні для створення топографічних карт і планів з використанням проекції UTM застосовується Міжнародна система розграфлення і позначення окремих аркушів.





**Рис. 1.32.** Фрагмент розграфлення частини Земної кулі, яка належить Євразії

Ця система наведена вище. В її основу покладено трапеції аркушів карт масштабу 1:1 000 000.

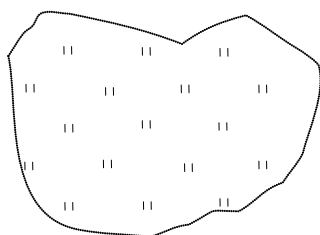
### **1.3.3. Умовні знаки топографічних карт і планів**

На земній поверхні розташовано велике різноманіття предметів, контурів та рельєфу місцевості, які зображаються на топографічних планах спеціальними умовними знаками. За допомогою умовних знаків можна читати карту, отримувати достовірні відомості про місцевість.

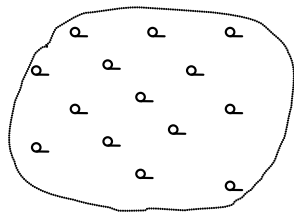
Умовні знаки вибирають такими, щоб вони передавали вигляд об'єктів (будівель, доріг, річок, озер, і т.п.), їх кількісні характеристики (висоту, діаметр дерев, покриття доріг, глибину, швидкість течії води і т.п.), характер рельєфу місцевості та просторове розташування об'єктів.

Умовні знаки в цілому стандартизовані для всіх топографічних карт і планів як в Україні так в інших країнах світу. Умовні знаки поділяють на масштабні або контурні, позамасштабні, лінійні та пояснювальні.

*Масштабні* або *контурні* умовні знаки використовуються для зображення об'єктів, які виражаються в масштабі плану або карти. Вони дозволяють визначити розміри і форму предметів, окреслену суцільними лініями, точковим пунктиром. Площа, яка розташована в середині контуру, заповнюється спеціальними знаками (дуки, ліси, рідколісся і т.п.) (рис. 1.33).



Лугова рослинність

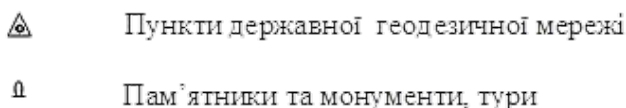


Рідколісся

**Рис. 1.33.** Приклади масштабних або контурних умовних знаків

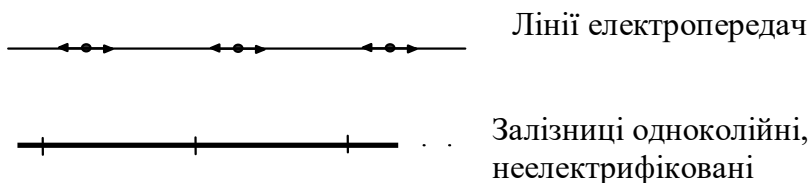
*Позамасштабні* умовні знаки застосовують для зображення об'єктів, які за формою та розміром не

можна виразити в масштабі плану або карти (пункти державної геодезичної мережі, пам'ятники, свердловини, джерела, окремі стовпи, дерева, камені і т.і.). Кожен такий об'єкт виражають спеціальним знаком, який визначає планове положення цього об'єкта на місцевості (рис. 1.34).



**Рис. 1.34.** Приклади позамасштабних умовних знаків

*Лінійними* умовними знаками зображують витягнуті об'єкти, довжина яких є масштабною, а ширина – позамасштабною (дороги, лінії зв'язку та електропередач, канали і т.п.) (рис. 1.35).



**Рис. 1.35.** Приклад лінійних умовних знаків

*Пояснювальні умовні знаки* дають додаткову характеристику об'єктів: назви населених пунктів, річок, позначки точок, висота та товщина дерев, вантажопідйомність мостів і т.п. (рис.1.36.). Більш повно ознайомитись з умовними знаками можна за допомогою додатку навчального посібника.

- 243,8 Підписи позначок командних висот

ТЕРНИ Селища з населенням понад  
10 000 жителів

**Рис. 1.36.** Приклад пояснювальних умовних знаків

Умовні знаки розміщені у спеціальних довідниках як державні нормативні акти (додаток А).

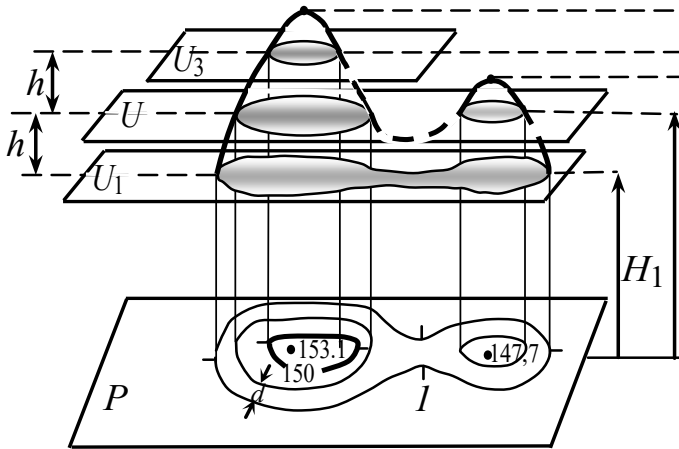
#### **1.3.4. Зображення рельєфу на картах і планах**

Методи представлення рельєфу на топографічних планах і картах (шляхом вимивання, штрихування, пунктирними лініями, числовими мітками, контурною лінією тощо) добре відомі. Для технічних цілей рельєф місцевості часто зображується контурними лініями з маркуванням характерних точок.

Крива, всі точки якої мають однакову висоту над будь-яким горизонтальною поверхнею, називається *горизонталлю*. Горизонталь можна уявити як слід від перетину поверхні Землі площинами, які розташовані одна над одною на однаковій відстані. Цю відстань називають *висотою перетину рельєфу*  $h$ . На рис. 1.37 показано два пагорби з висотами  $H=153,1\text{ м}$  та  $H = 147,7\text{ м}$ . Починаючи з висоти  $H_1$ , пагорби перетинаються горизонтальними площинами  $U_1, U_2, U_3$ , які розташовані одна відносно одної на висоті перетину рельєфу  $h$ . Кожна з вказаних площин перетинає поверхню пагорба замкненою кривою лінією рівних висот – горизонталлю.

Проектування горизонталей виконується ортогонально на горизонтальну площину карти (плану)  $P$ . Вершини пагорбів зображуються у вигляді точок з підписаними позначками. Для позначення напряму схилів рельєфу

місцевості встановлюють перпендикулярно до горизонталей *берг-штрихи* (схил-штрихи) - (див. рис. 1.37 - 1), направлені в бік напрямку схилу (стоку вод).



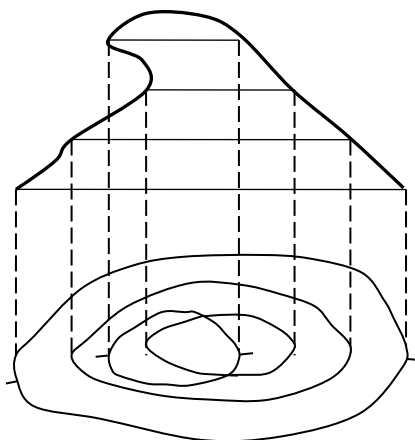
**Рис. 1.37.** Утворення горизонталей на топографічних картах і планах

Горизонталі мають наступні властивості:

- горизонталі – замкнені криві лінії;
- горизонталі не можуть перетинатися;
- чим менша відстань між горизонталями на карті (плані) даного масштабу, тим крутіше схил на місцевості.

Винятком з другої властивості є випадок, коли брила нависає над нижньою частиною рельєфу, утворюючи т.з. карниз (рис. 1.38).

В геодезії в залежності від рельєфу місцевості, масштабу плану або карти та їх призначення висоти перетину  $h$  можуть приймати значення 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 25; 50; 100 м.



**Рис.1.38.** Зображення брили, яка нависає над схилом.

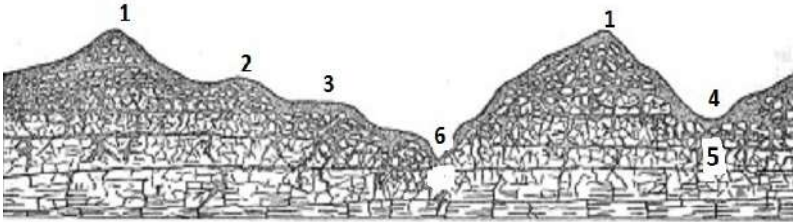
На планах і картах горизонталі зображають коричневим кольором, а в розривах підписують їх позначки. Низ підпису вказує на напрям схилу місцевості – напрям стікання дощових і талих вод. Кожна п'ята горизонталь на картах, починаючи від  $H_0 = 0$ , зображується, як правило, потовщеною лінією.

Відстань  $d$  на плані або карті за перпендикуляром між суміжними горизонталями називають *закладенням*. Чим більший нахил місцевості, тим менша величина закладення і навпаки.

Різноманітність рельєфу земної поверхні (рис. 1.39) в геодезії зводять до основних форм, які легко визначаються за малюнком горизонталей на планах та картах.

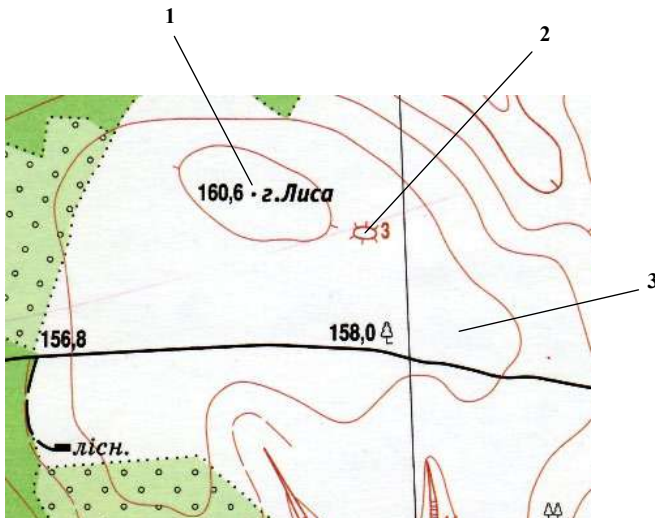
На рис. 1.40 показано фрагмент топографічної карти, на якій у відповідності з рис. 1.39 зображено горизонталями: гору 1 у вигляді замкненої горизонталі

з берг-штрихами, пагорб 2 висотою 3 м у вигляді замкненої лінії та гірське плато 3 – плоску ділянку серед гір.



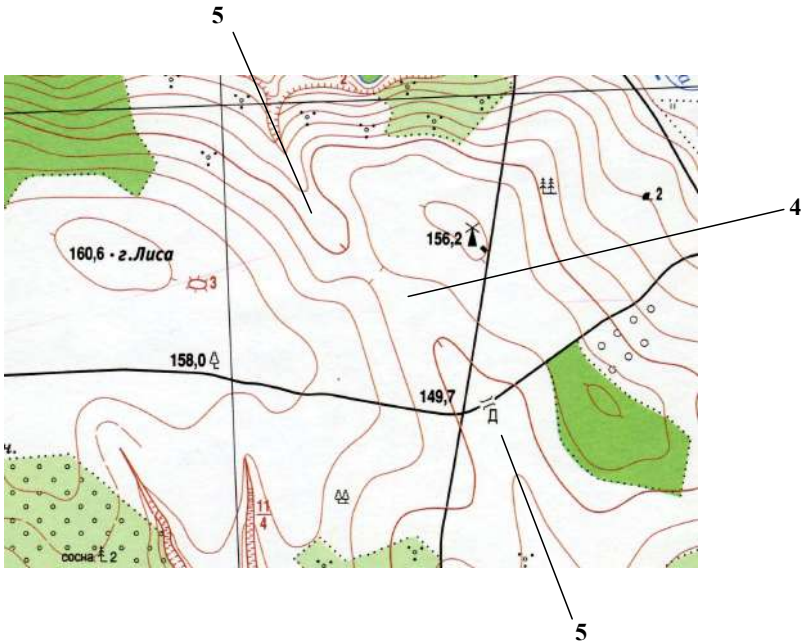
**Рис. 1.39.** Рельєф місцевості

Найвищу точку гори (пагорба) називають *вершиною*, бокові поверхні – *схилами*, нижню частину – *підшовою гори (пагорба)*.



**Рис.1.40.** Фрагмент карти із зображенням горизонталями: гори 1, пагорба 2, гірського плато 3

Найнижчу частину земної поверхні між двома сусідніми вершинами називають *сідловиною* – 4 на рис. 1.39, рис. 1.41 -4. В горах сідловини називають *перевалами* (див. мал 1.39 - 6).



**Рис.1.41.** Фрагмент карти із зображенням горизонталями: сідловини 4, лощини 5

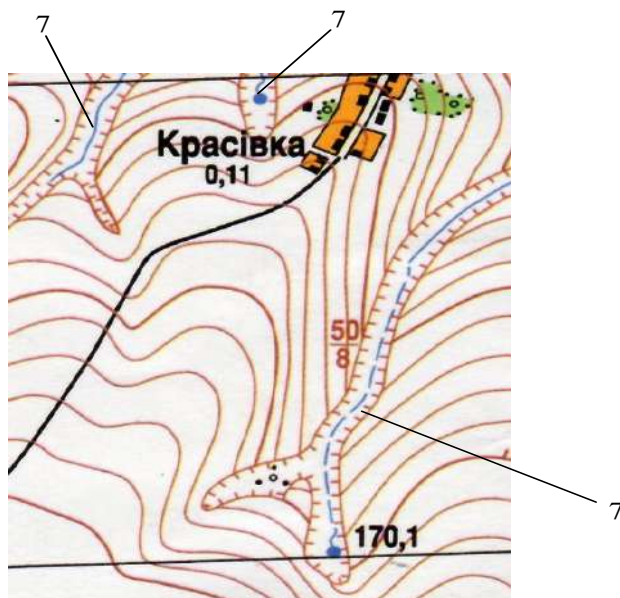
*Лощина* – вгнуте пониження земної поверхні, витягнуте в одному напрямку (на рис. 1 41 –5).

Лінія, що проходить дном лощини називається *тальвегом*, *водостоком* або *лінією водозбору* (лінією водозливу). Лінія водозбору проходить перпендикулярно до горизонталей в місцях їх найбільшої увігнутості. Тальвег названо лінією водозбору, тому що на цій лінії на топографічних картах (планах), як правило, присутній



водотік (див. рис. 1.39 - 7). З часом водотік вимиває урвище, яке на рис. 1.42 - 7 має ширину 50 м та глибину 8 м, які наводяться дробом поруч з урвищем.

*Хребет* – випукла та витягнута в одному напрямку форма земної поверхні. На рис. 1 39 хребет утворює система гір: 1 - 2 - 1.



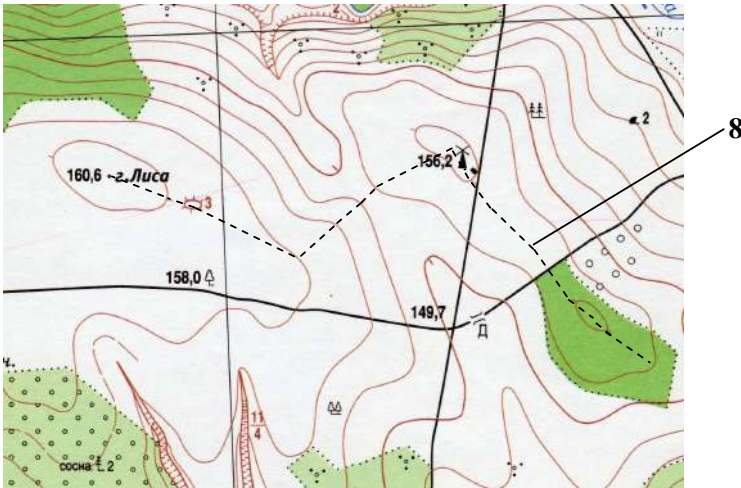
**Рис.1.42.** Фрагмент карти зі струмком 7 по лінії тальвегу.

На планах і картах хребет зображується випуклими горизонталями (рис. 1.43).

Умовна лінія, що проходить центром випуклих горизонталей, називається *лінією вододілу* (рис. 1.43 -8).

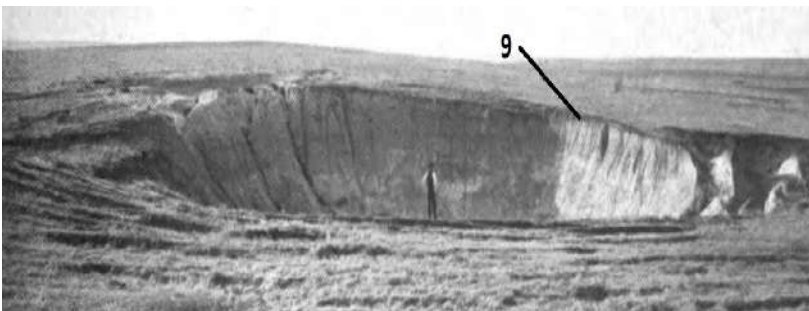
Лінії вододілу та водозбору, які проведені на картах, утворюють разом так званий *скелет місцевості*. Він допомагає краще розпізнавати форми рельєфу.

Улоговина або западина (котловина) – це чашоподібна ввігнута земна поверхня (рис. 1.44).



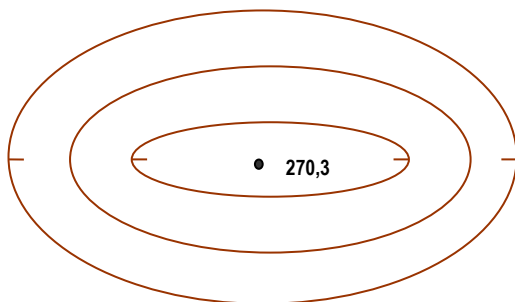
**Рис. 1.43.** Фрагмент карти з нанесеною лінією вододілу 8

Нижню точку називають *дном*, а лінію перетину з рельєфом місцевості – *крайкою* (див. рис. 1.44 - 9).



**Рис. 1.44.** Форма рельєфу – улоговина, западина (котловина)

На топографічних картах (планах) форма рельєфу улоговина зображається замкненими горизонталями, а напрям схилу показується берг-штрихами в середину малюнка (рис. 1.45).



**Рис. 1.45.** Зображення улоговини горизонталями

Рельєф місцевості можна поділити на рівнинний, пересічний, гірський.

## **1.4. Вирішення інженерних задач на топографічних картах і планах**

### **1.4.1. Визначення довжин ліній**

Геометричні параметри об'єктів місцевості можна визначати за допомогою чисельного, лінійного або поперечного масштабів карти та плану.

Довжина горизонтального прокладення лінії на місцевості  $D$  після вимірювання її довжини  $d$  на плані, знаменник масштабу якого дорівнює  $M$ , визначиться за формулою

$$D = d \cdot M. \quad (1.32)$$

Довжину похилої лінії місцевості  $L$  визначають за формулою

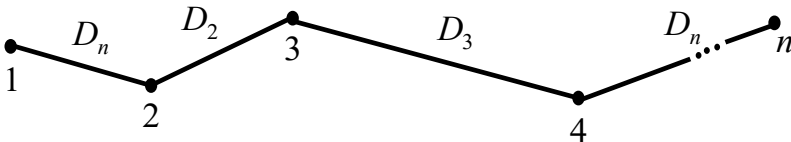
$$L = \frac{D}{\cos \nu}, \quad (1.33)$$

де  $\nu$  – кут нахилу місцевості. Якщо визначено горизонтальне прокладення  $D$  лінії на місцевості, то її довжину на топографічному плані визначають за формулою

$$d = \frac{D}{M}. \quad (1.34)$$

Довжину ламаної лінії (рис. 1.46) визначають як суму довжин окремих її прямих ділянок  $D_i$ .

Вимірювання довжини хвилястої лінії виконується шляхом її поділу на приблизно прямолінійні відрізки.



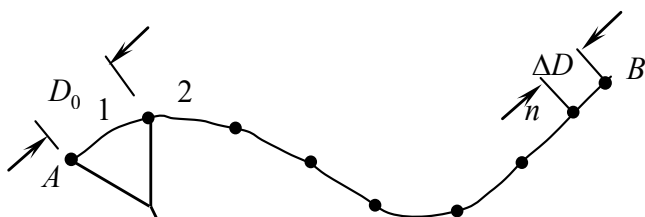
**Рис. 1.46.** Вимірювання довжини ламаної лінії

За допомогою циркуля (рис. 1.47) послідовним відкладанням відрізків  $D_0$  визначають їх кількість  $n$ .

Довжину залишку  $\Delta D$  визначають окремо. Загальна довжина хвилястої лінії визначиться за формулою

$$D = n \cdot D_0 + \Delta D \quad (1.35).$$

Для вимірювання хвилястих ліній великої довжини доцільно використовувати *курвіметр* (від *curvus* — зігнутий + грец. Μέτρον — міра).



**Рис. 1.47.** Вимірювання довжини хвилястої лінії з використанням циркуля

Механічний курвіметр (рис. 1.48) має: коліщатко 1, яке механічно з'єднане зі стрілкою 2. Стрілка 2 під час руху коліщатка лінійкою відхиляється від нульового положення, зафіксованого на шкалі 3 та зупиняється після зупинки курвіметра у кінці лінії.



**Рис. 1.48.** Механічний курвіметр

Рух курвіметра виконується від руки, утриманням важеля 4. Шкала 3 проградуєвана у сантиметрах чи дюймах.

Принцип дії електронного курвіметра аналогічний (рис. 1.49). Він програмується на окремий масштаб та має пам'ять.



**Рис. 1.49.** Електронний курвіметр

#### **1.4.2. Визначення прямокутних координат**

На топографічних картах (планах) нанесено лінії координат. На великомасштабних планах М 1:10 000 – 1:100 000 координатні лінії проведено та підписано через 1 км. У цьому випадку їх називають кілометровою сіткою. Причому, (рис. 1.50) координатна лінія 1 паралельна до осьового меридіану зони - осі  $X$ , а координатна лінія 2 паралельна до осі  $Y$ . Точка  $A$  знаходиться у квадраті, обмеженому за віссю абсцис координатними лініями  $X_1 = 6065$  км та  $X_2 = 6066$  км, за віссю ординат - координатними лініями  $Y_1 = 4307$  км та  $Y_2 = 4308$  км. Значення координат у сотні та тисячі кілометрів підписуються тільки на кутах топографічної карти.

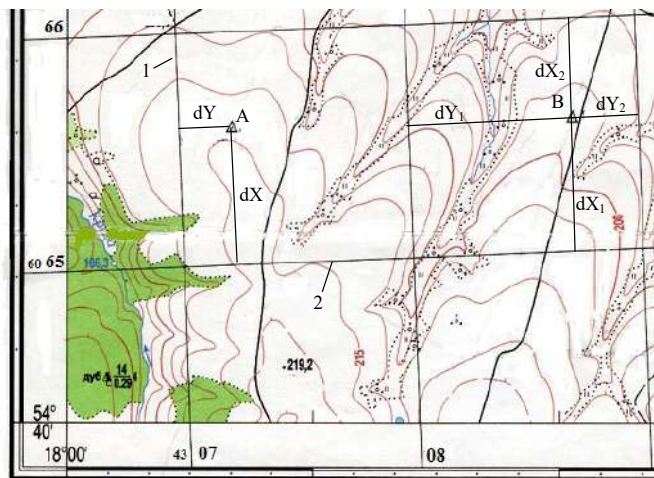
На топографічних планах масштабів 1:500 – 1:2000 координатна сітка проводиться через 10 см.

Координати точки визначаються, як правило, відносно південно-західного кута квадрата, утвореного координатними лініями.

З точки, координати якої визначають, опускаються перпендикуляри на південну та західну координатні лінії (наприклад, з використанням прямокутної лінійки) та за допомогою числового, лінійного чи поперечного масштабів визначаються довжини приростів координат  $dX, dY$ .

Прямокутні координати точки дорівнюють сумі значень координат південного  $X_S$  та  $Y_W$  західного кутів і відповідних приростів. Зокрема, для точки  $A$  (див. рис. 1.50) прямокутні координати дорівнюють

$$\begin{aligned} X_A &= X_S + dX = 6065000 + 236,5 = 6065236,5\text{м}, \\ Y_A &= Y_W + dY = 4307000 + 616,5 = 4307616,5\text{м}. \end{aligned} \quad (1.36)$$



**Рис. 1.50.** Визначення прямокутних координат на топографічній карті М 1:50 000

У випадку використання копій з топографічних планів та карт, або ж старих картографічних матеріалів, зображення можуть бути деформовані. Для підвищення точності прямокутні координати точки (див. рис. 1.50) визначають за формулою

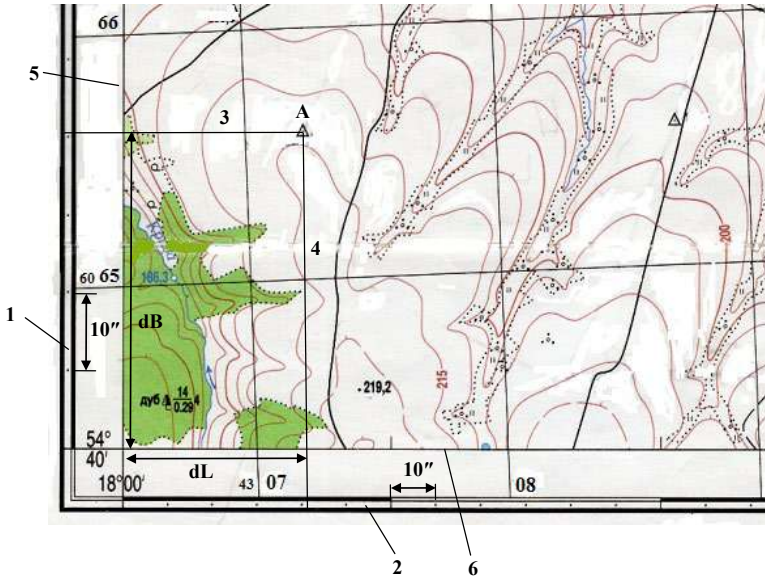
$$\begin{aligned} X_B &= X_S + \frac{dX_1}{dX_1 + dX_2} dX_T, \\ Y_B &= Y_W + \frac{dY_1}{dY_1 + dY_2} dY_T, \end{aligned} \quad (1.37)$$

де  $dX_T, dY_T$  - теоретичне значення сторони квадрата, виражене в метрах.

### **1.4.3 Визначення географічних координат**

Користуючись мінутною шкалою, показаною на рис. 1.51 цифрами 1 та 2, можна визначити геодезичні координати точок, які часто ототожнюють з географічними координатами  $\phi$  та  $\lambda$ . Для цього, наприклад, з точки  $A$  проводять лінії 3 та 4 через рамки 5 та 6 трапеції карти. Лінії 3 та 4 перпендикулярні до зовнішньої рамки карти, яка є суцільною лінією чорного кольору. Внутрішня рамка має світлі та чорні смужки. Розмір однієї такої смужки відповідає одній кутовій мінуті. Між зовнішньою та внутрішньою рамками розташовані крапки, інтервал між якими складає  $10''$  (див. рис. 1.51 - 1, 2). У кутках рамки трапеції розміщено підписи, що означають геодезичну довготу та широту точок перетину ліній рамки трапеції. Так, на рис. 1.51 показано південно-західний куток топографічної карти, горизонтальна лінія рамки трапеції має широту  $B_0 = 54^\circ 40'$ , а вертикальна – довготу  $L_0 = 18^\circ 00'$ .





**Рис.1.51.** Визначення геодезичних координат на карті

Геодезичні координати точки *A* дорівнюють

$$B_A = B_0 + dB = 54^\circ 40' + (40'' + 1'') = 54^\circ 40' 41'',$$

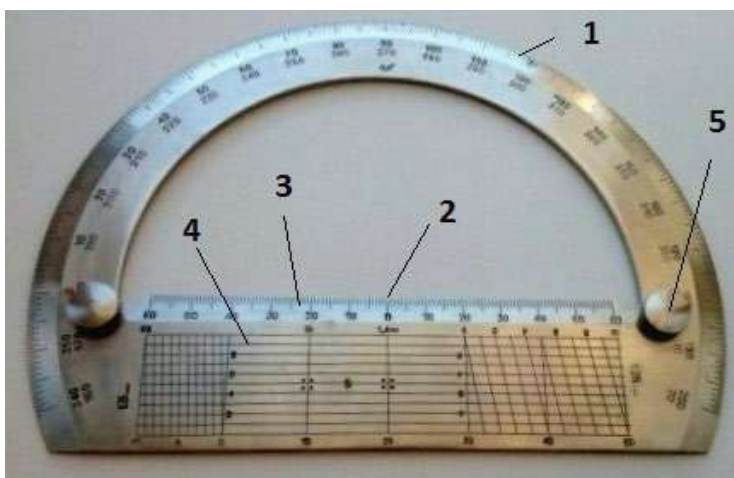
$$L_A = L_0 + dL = 18^\circ 00' + (40'' + 1'') = 18^\circ 00' 41''.$$

Значення одиниць кутових секунд визначається після візуального поділу десяти секундного інтервалу на 10 рівних частин.

#### **1.4.4. Визначення дирекційних кутів і азимутів**

Вимірювання кутів на топографічних картах і планах зручно виконувати за допомогою геодезичного транспортира (рис. 1.52). На його зовнішній частині

нанесена градусна шкала 1 з ціною поділки в  $1^\circ$ . Поділка має лінійний розмір близько 1 мм, що дозволяє брати відлік з точністю  $0,1^\circ - 0,2^\circ$ . На внутрішній частині розташовано нуль 2 лінійної шкали 3. Нуль 2 слугує також для суміщення з вершиною кута, що вимірюється.



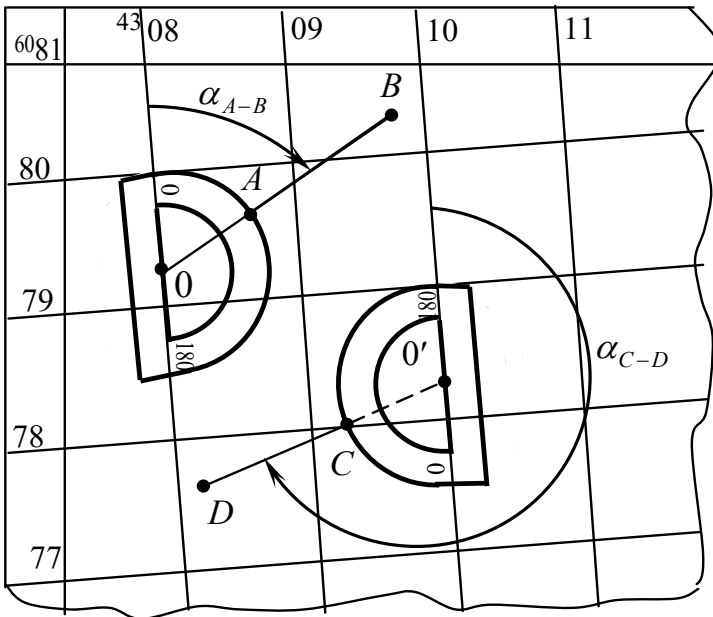
**Рис. 1.52.** Зображення геодезичного транспортиру

Геодезичний транспортир має також поперечний масштаб 4 та два конструктивних елементи 5 для переміщення транспортира на площині карти (плану).

Для вимірювання дирекційного кута лінії  $A-B$  (рис. 1.53) її продовжують вліво до перетину з лінією абсцис координатної сітки (точка 0). Точку 0 суміщають з нулем шкали 2 транспортира (див. рис. 1.52), а по краю його градусної шкали визначають величину кута  $\alpha_{A-B}$ . Якщо дирекційний кут лінії є більшим  $180^\circ$ , наприклад, лінії  $C-D$ , то лінію подовжують від точки  $C$  праворуч до її перетину з

найближчою лінією абсцис – точка  $O'$ . До відліку за шкалою транспортира додається  $180^\circ$ .

Транспортир, зображений на рис. 1.52, має шкали, проградуйовані від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  - верхня шкала та від  $180^\circ$  до  $360^\circ$  - нижня шкала. Тому у наведеному випадку відлік за нижньою шкалою буде відповідати істинному дирекційному куту  $\alpha_{C-D}$ .



**Рис. 1.53.** Вимірювання дирекційного кута

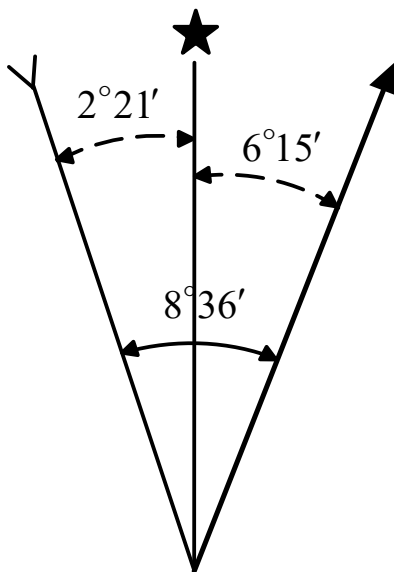
Для вимірювання істинного азимута лінії можна скористатись напрямком східної або західної 5 (див. рис. 1.51) рамок трапеції. Відносно цих рамок вимірюються істинні азимути так само як і дирекційні кути відносно координатних ліній абсцис.

Оскільки лінії абсцис зустрічаються частіше на площині карти чи плану, то зручніше визначити дирекційні кути лінії, а після цього від них перейти до істинних азимутів. Для цього використовують формулу (1.21) та зближення меридіанів  $\gamma$ .

Для виконання переходу до магнітного азимута лінії використовують формулу (1.20) та схилення магнітної стрілки  $\delta$ . Тоді магнітний азимут лінії дорівнює

$$A_M = \alpha + \gamma - \delta. \quad (1.38)$$

Значення зближення меридіанів  $\gamma$  та схилення магнітної стрілки  $\delta$  визначається за графіком розміщення меридіанів (рис. 1.54).



**Рис. 1.54.** Взаємне розміщення меридіанів: осьового, істинного, магнітного

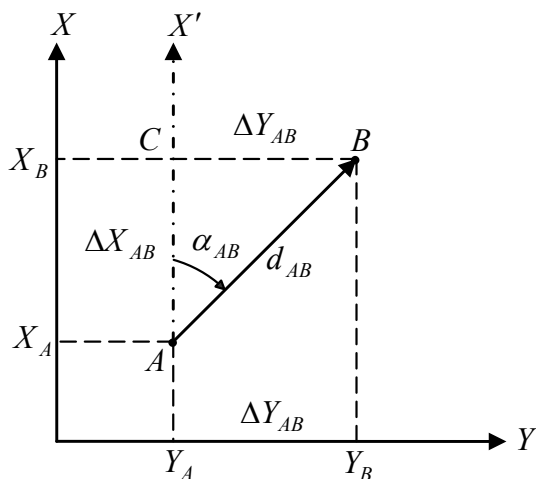
Цей графік розташований під зовнішньою рамкою карти та має вигляд, подібний до графіку, наведеного на рис. 1.54. Тут зближення меридіанів західне  $\gamma = -2^{\circ}21'$ , а схилення магнітної стрілки східне  $\delta = +6^{\circ}15'$ .

### 1.4.5. Розв'язання прямої та оберненої геодезичних задач

Пряма геодезична задача. Відомі координати вихідної точки  $A (X_A, Y_A)$ , дирекційний кут лінії  $AB (\alpha_{AB})$  та її горизонтальне прокладення (проекцію)  $d_{AB}$  (рис. 1.55). Необхідно визначити координати  $X_B$  та  $Y_B$  точки  $B$ .

Вісь  $X$  переносять паралельно самій собі у точку  $A$  у положення  $X'$ . Утворюється прямокутний трикутник  $ABC$  з катетами  $\Delta X_{AB}$  та  $\Delta Y_{AB}$ , які дорівнюють

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{AB} &= X_B - X_A = d_{AB} \cos \alpha_{AB} \\ \Delta Y_{AB} &= Y_B - Y_A = d_{AB} \sin \alpha_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (1.39)$$



**Рис. 1.55.** Схема прямої геодезичної задачі

Координати точки  $B$  обчислюються за формулами

$$\left. \begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X_{AB} \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (1.40)$$

*Обернена геодезична задача.* Відомі координати точок  $A (X_A, Y_A)$  та  $B (X_B, Y_B)$ . Необхідно визначити дирекційний кут лінії  $AB$  -  $\alpha_{AB}$  та її горизонтальну проєкцію  $d_{AB}$ . (рис. 1.55). Для цього осі координат  $X$  та  $Y$  переносяться паралельно самим собі в точку  $A$ . Визначаються прирости координат

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{AB} &= X_B - X_A \\ \Delta Y_{AB} &= Y_B - Y_A \end{aligned} \right\} \quad (1.41)$$

Паралельне перенесення осей змінює координати точок по кожній з осей на одну і ту ж величину. Тому прирости координат як різниця координат не змінять свого значення. Утворюється прямокутний трикутник  $ABC$  з катетами  $\Delta X_{AB}$  та  $\Delta Y_{AB}$  (див. рис. 1.55). Тоді румб лінії  $AB$  дорівнює

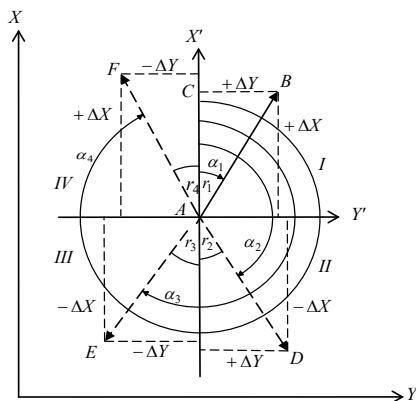
$$r_{AB} = \arctg \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}. \quad (1.42)$$

Як видно з рис. 1.56, у  $I$  чверті залежність між дирекційним кутом та румбом має вигляд

$$\alpha_{AB} = r_{AB}. \quad (1.43)$$

З прямокутного трикутника  $ABC$  зрозуміло, що

$$d_{AB} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}}, \quad (1.44)$$



**Рис. 1.56.** Зв'язок між румбами та дирекційними кутами

$$d_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (1.45)$$

Для лінії  $AD$ , розташованої у  $II$  чверті, румб  $r_{AD}$  визначається за формулою (1.42) за значеннями приростів  $\Delta X_{AD}$  та  $\Delta Y_{AD}$ . Дирекційний кут дорівнює

$$\alpha_{AD} = 180^\circ - r_{AD}. \quad (1.46)$$

Горизонтальна проєкція лінії  $AD$  визначається за формулами (1.44) та (1.45) для значень приростів  $\Delta X_{AD}$  та  $\Delta Y_{AD}$ .

В аналогічний спосіб визначаються румби ліній  $AE$  та  $AF$  для приростів координат  $\Delta X_{AE}$ ,  $\Delta Y_{AE}$  та  $\Delta X_{AF}$ ,  $\Delta Y_{AF}$ , відповідно. Їх дирекційні кути обчислюються за формулами:

$$III \text{ чверть, } \alpha_{AE} = 180^\circ + r_{AE}; \quad (1.47)$$

$$IV \text{ чверть, } \alpha_{AE} = 360^\circ - r_{AF}, \quad (1.48)$$

А горизонтальні прокладення за формулами (1.44) та (1.45) за приростами координат  $\Delta X_{AE}$ ,  $\Delta Y_{AE}$  та  $\Delta X_{AF}$ ,  $\Delta Y_{AF}$ , відповідно. Крім того, горизонтальне прокладення можна обчислювати за формулою Піфагора

$$d_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}. \quad (1.49)$$

#### **1.4.6. Визначення висот точок та стрімкості схилу**

Якщо точка знаходиться на горизонталі, то її позначка  $H$  дорівнює висоті горизонталі. Висоти непідписаних горизонталей визначають від підписаної горизонталі за числом перерізів горизонталей  $n$ . Висоту перерізу горизонталей  $h$  підписують під лінійним масштабом біля південної сторони рамки карти. За підписаними горизонталями можна визначити висоту перерізу за формулою(1.50)

$$h = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{n}, \quad (1.50)$$

де  $H_{\max}$ ,  $H_{\min}$  – максимальне та мінімальне значення позначок підписаних горизонталей, які взяті на одному і тому ж схилі, а  $n$  – кількість закладень між ними.

Позначку шуканої точки можна обчислити: від нижньої підписаної горизонталі за формулою

$$H = H_{\min} + n_1 \cdot h, \quad (1.51)$$

або ж від верхньої підписаної горизонталі

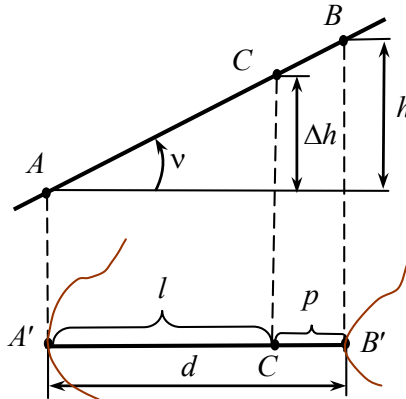
$$H = H_{\max} + n_2 \cdot h, \quad (1.52)$$

де  $n_1$ ,  $n_2$  – кількість закладень між підписаною і шуканою висотою горизонталі.



Якщо точка знаходиться між горизонталями (рис. 1.57), то у цьому випадку її позначку визначають за формулою

$$H_C = H_A + \frac{l}{d}h, \quad (1.53)$$



**Рис. 1.57.** Визначення позначки точки, яка лежить між горизонталями або ж за формулою

$$H_C = H_B - \frac{p}{d}h, \quad (1.54)$$

де  $d$ ,  $l$ ,  $p$  – відстані між горизонталями; відстань від молодшої (меншої за позначкою) горизонталі до точки; відстань від старшої (більшої за позначкою) горизонталі до точки на карті чи плані.

Використовують елементи схилу рельєфу місцевості: висоту перерізу  $h$ , закладення  $d$  та ухил  $i$ .

За підписаними горизонталями можна визначити висоту перерізу за формулою

$$h = \frac{H_2 - H_1}{n}, \quad (1.55)$$

де  $H_1, H_2$  – позначки підписаних горизонталей, взятих на одному і тому ж схилі,  $n$  – кількість закладень між ними.

Ухил рельєфу місцевості визначають за формулою

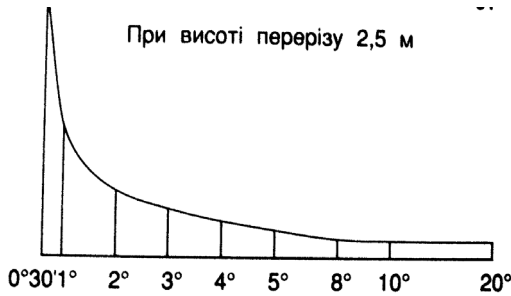
$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}, \quad (1.56)$$

де  $h$  – висота перерізу рельєфу,  $d$  – величина закладення, відрізок який перпендикулярний до двох суміжних горизонталей. Тангенс кута нахилу лінії місцевості відносно горизонту називають *ухилом* заданої лінії. Ухил виражають: десятковим дробом; в тисячних долях (‰ - промілле) або у сотих долях (% - відсотках). Наприклад,  $h = 1\text{м}$ ,  $d = 20\text{м}$ , то  $i = \frac{1}{20} = 0,050 = 50\text{‰} = 5\%$ . Кут нахилу місцевості у цьому випадку буде дорівнювати  $\nu \approx 2^\circ 52'$ . Якщо потрібно за заданим кутом нахилу  $\nu$  або ухилом  $i$  визначити величину закладення  $d$ , то використовують графік закладень. Для побудови графіка закладень попередньо приймають значення  $\nu$  або  $i$  для заданої висоти перерізу рельєфу  $h$ . За формулою

$$d = \frac{h}{i} = \frac{h}{\operatorname{tg} \nu}, \quad (1.57)$$

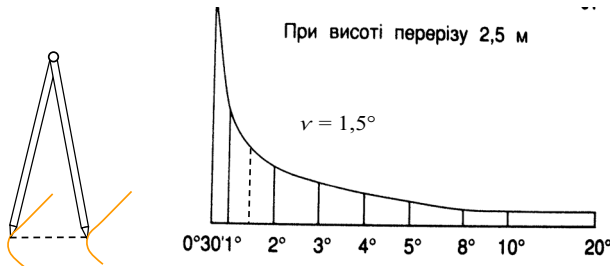
обчислюють величини закладень і виражають їх в масштабі плану або карти. На горизонтальній прямій відкладають значення  $\nu$  або  $i$ , а на вертикальній прямій – значення  $d$ . Отримують графік закладень (рис. 1.58).

За графіком закладень розв'язують обернену задачу: за заданою величиною закладення  $d$  визначають кут нахилу  $\nu$  або  $i$ .



**Рис. 1.58.** Графік закладень

Для цього (рис. 1.59 ) у розтин циркуля беруть горизонтальне закладення та розташовують ніжки циркуля згідно з малюнком.

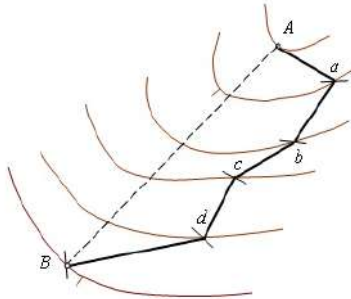


**Рис. 1.59.** Визначення кута нахилу схилу за графіком закладень

На графіку закладень відкладають відстань  $d$  за вертикаллю. Десяті частки градуса визначають, поділивши візуально інтервал між позначками градусів на 10 рівних частин.

### 1.4.7. Побудова лінії із заданим ухилом

Для побудови на карті лінії із заданим ухилом  $i_b$  між пунктами  $A$  та  $B$  (рис. 1.60) проводять спочатку повітряну лінію  $AB$  - пряму, яка з'єднує вказані пункти.



**Рис. 1.60.** Побудова лінії з заданим ухилом

Далі, обчислюється значення закладення  $d_b$  між суміжними горизонталями, яке відповідає висоті перерізу рельєфу  $h$  даної карти

$$d_b = \frac{h}{i_b}. \quad (1.58)$$

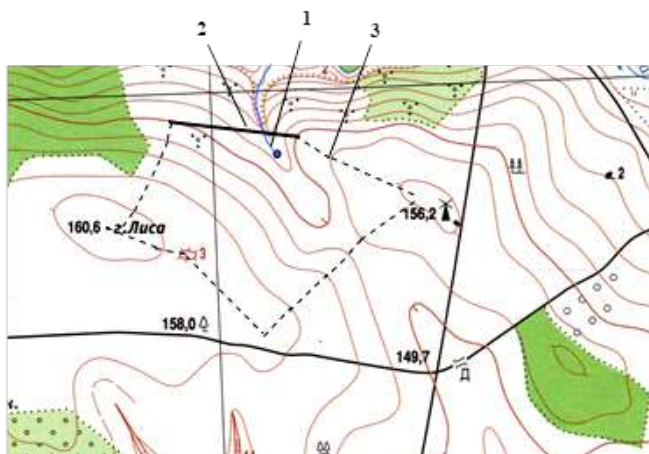
У розтин циркуля береться величина горизонтального закладення  $d_b$ , користуючись поперечним або лінійним масштабом. Одна з ніжок циркуля (див. рис. 1.60) встановлюється у точку  $A$ , а інша ніжка – на суміжну горизонталь в напрямку повітряної лінії  $AB$ . Отримують точку  $a$ , далі – току  $b$  та інші точки перетину ніжки циркуля з суміжними горизонталями. Під час цих побудов необхідно вибирати той варіант засічки суміжної горизонталі, який дозволяє розташувати наступну точку перетину

ніжки циркуля з суміжною горизонталлю ближче до повітряної лінії  $AB$ . При підході до точки  $B$  необхідно слідкувати за тим, щоб довжина останньої лінії, яка з'єднує цю точку та горизонталь (лінія  $Bb$  на рис. 1.06), була не меншою значення  $d_b$ . Отримані точки з'єднують прямими лініями та отримують ломуна лінію траси, відрізки якої мають ухил  $i \leq i_b$ .

#### **1.4.8. Визначення меж водозбірною басейну**

Водозбірним басейном є поверхня землі, з якої талі, дощові води збираються у водостік. Межами водозбірною басейну є вододільні лінії рельєфу, які проходять лінією хребтів місцевості, пагорбів та середини сідловин.

На рис. 1.61 зображено потічок 1, який перероджено греблею 2.



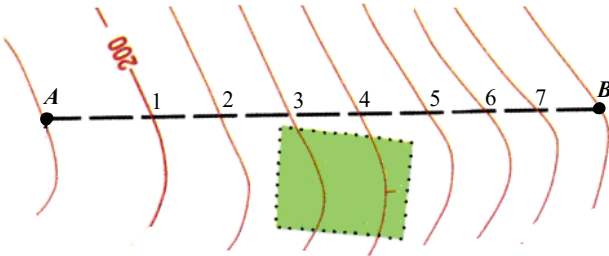
**Рис. 1.61.** До визначення меж водозбірною басейну

Поверхневі води збираються всередині водозбірною басейну, обмеженого вододільною лінією 3.

### 1.4.9. Побудова профіля місцевості

Профілем називається креслення, яке відображає переріз місцевості прямою лінією. Лінію на карті, якою здійснюється переріз місцевості прямою лінією, називають *лінією профілю*.

Спочатку проводять на карті лінію профілю (рис. 1.62). Прикладають до неї аркуш паперу так, щоб його край збігався з лінією профілю, а сам аркуш був розташований зверху лінії профілю. Переносять (рис. 1.63) на край аркуша лінію профілю з її початком і кінцем (точки *A* та *B*) та точками перетину лінії профілю з горизонталями, які нумерують. Вище лінії профілю наносять прямі, паралельні до лінії профілю. Відстані між лініями повинні бути однаковими.

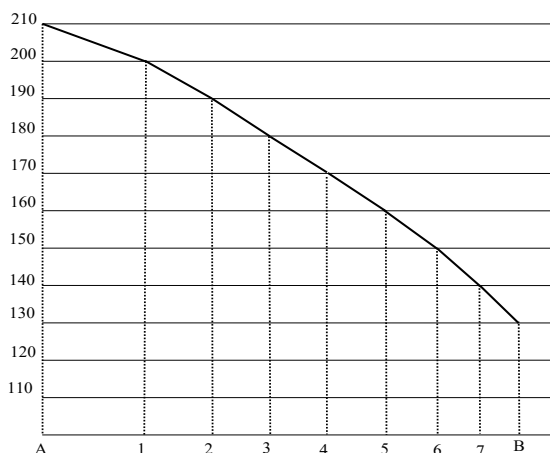


**Рис. 1.62.** До побудови профілю місцевості по лінії *A-B*

Визначають з карти позначки кінців лінії профілю і точок її перетину з горизонталями та підписують ліворуч навпроти паралельних ліній відповідні їм позначки горизонталей (див. рис.1.62) Від кінців лінії профілю та точок її перетину з горизонталями проводять догори лінії, перпендикулярні до лінії профілю, які повинні перетнути відповідні ліній позначок. З'єднують точки перетину відрізками

прямих, які відображають профіль місцевості у вигляді ломаної лінії.

Відстань між паралельними лініями може бути виражена у масштабі. Цей масштаб називають вертикальним. Знаменник вертикального масштабу здебільш у 10 разів менший знаменника масштабу карти, який називають горизонтальним масштабом.



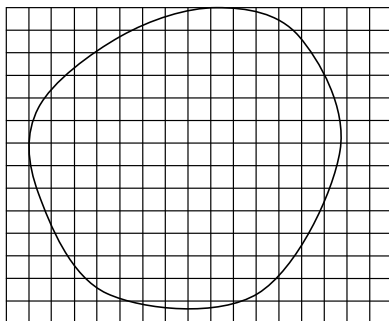
**Рис. 1.63.** Профіль місцевості по лінії А-В

### 1.5. Визначення площ

Визначення площ ділянок місцевості виконують на топографічних картах чи планах. Використовують графічний, аналітичний та механічний способи.

*Графічний спосіб.* Одним з різновидів графічного способу визначення площ є використання палеток. Палетка виготовляється з прозорого матеріалу – кальки чи прозорого пластику. На площині палетки наносять сітку квадратів (рис. 1.64). Крок сітки  $a$  вибирають в

залежності від масштабу плану чи карти. Наприклад, для плану масштабу 1:10000 квадрат зі стороною  $a=1$  см відповідає площі  $a^2=10000$  м<sup>2</sup> (1 га), зі стороною  $a=5$  мм – площі  $a^2=2500$  м<sup>2</sup> (0,25 га, або 25 соток). Для визначення площі палетку накладають на контур ділянки. Потім рахують число цілих квадратів  $n_1$ , які знаходяться у межах контура. Далі, рахують кількість неповних квадратів, які складають  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$  від величини цілого квадрата. Число цих квадратів складає, відповідно,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$ .



**Рис. 1.64.** Визначення площі ділянки за допомогою палетки

Площа ділянки дорівнює

$$S = a^2(n_1 + 0,25n_2 + 0,5n_3 + 0,75n_4). \quad (1.59)$$

Можлива експрес-оцінка площі, коли визначають число цілих квадратів -  $n_1$  та число неповних квадратів -  $n_2$ . Приймають площу всіх неповних квадратів близькою в середньому до  $0,5a^2$ . Тоді площа контура ділянки складатиме



$$S = a^2(n_1 + 0,5n_2). \quad (1.60)$$

Зрозуміло, що чим менше крок палетки – тим точніше буде визначена площа, але тим довше вона буде визначатись. Відносна точність наведеного способу складає близько 1/100 – 1/150 від площі ділянки.

В іншому випадку, якщо земельна ділянка має форму багатокутника, то в неї вписують найпростіші геометричні фігури: трикутники, квадрати, прямокутники, трапеції. Вимірюють: довжини основ трикутників  $a$  та їх висоти  $h$ ; довжини сторін квадратів  $a$ ; довжини сторін прямокутників  $a$  та  $b$ ; паралельні сторони  $a$ ,  $b$  та висоти  $h$  трапеції. Відомо, що площа квадрата, прямокутника, трапеції та трикутника дорівнює, відповідно:

$$S = a^2, \quad (1.61)$$

$$S = a \cdot b, \quad (1.62)$$

$$S = \frac{a+b}{2}h, \quad (1.63)$$

$$S = \frac{1}{2}a \cdot h. \quad (1.64)$$

Площа ділянки дорівнюватиме сумі площ фігур, на які поділена ділянка.

Якщо ділянка поділена на трикутника, то у випадку вимірювання сторін трикутників  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  застосовується формула Герона

$$S = \sqrt{p(p - a_1)(p - a_2)(p - a_3)}, \quad (1.65)$$

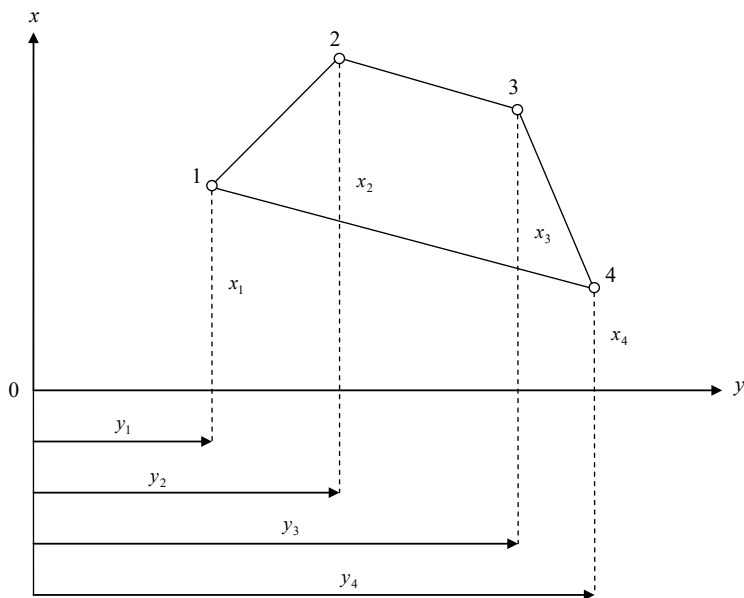
де 
$$p = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{2}. \quad (1.66)$$

Як правило, площу ділянки визначають двічі. Отримують значення  $S_1$  та  $S_2$ . Допустима різниця  $\Delta S = |S_1 - S_2|$  не повинна перевищувати граничного  $\Delta S_l$ , яке обчислюється за формулою

$$\Delta S_l = 0,04\sqrt{S} \frac{M}{10000}, \quad (1.67)$$

де  $S$  - середнє значення від  $S_1$  та  $S_2$ , взяте у гектарах,  $M$  - знаменник масштабу карти.

*Аналітичний спосіб.* Використовують, якщо контур ділянки обмежений ломаною лінією з відомими координатами  $x_i, y_i$  кутів повороту (рис. 1.65).



**Рис. 1.65.** Схема аналітичного способу визначення площі ділянки

Площа ділянки обчислюється для  $n$  кутів повороту за формулами

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}), \quad (1.68)$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}). \quad (1.69)$$

Причому, формула (1.68) може бути основною, а формула (1.69) – контрольною. Обидві формули рівноцінні за точністю.

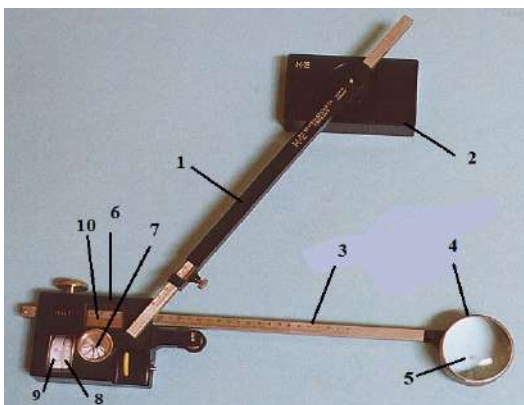
Обхід номерів кутів повороту меж ділянки потрібно виконувати в одному напрямку - або тільки за годинниковою стрілкою, або ж проти годинникової стрілки.

Точність визначення площ аналітичним способом становить

$$\Delta S \leq \frac{S}{1000}. \quad (1.70)$$

*Механічний спосіб.* Більш точнішим ніж графічний спосіб визначення площ є механічний спосіб. Він реалізується за допомогою *планіметрів*, які дозволяють вимірювати площі будь-якої конфігурації. Найпоширенішим з планіметрів є *полярний планіметр*. Полярний планіметр (рис. 1.66) складається з трьох головних частин: полюсного важеля 1, обвідного важеля 3 та лічильного колеса 8. На одному кінці полюсний важіль 1 має вантаж 2, який закріплює планіметр на робочій поверхні і виконує роль полюса. На другому кінці важеля - штифт з кульовою головкою, за

допомогою якої полюсний важіль з'єднується з кареткою. На кінці обвідного важеля є марка 5, якою обводять контур ділянки. Для вимірювання площ в залежності від розміру ділянок довжину обвідного важеля 3 (віддаля від шарніра до обвідної марки) можна змінити, якщо перемістити вздовж нього каретку 6. Довжина обвідного важеля визначається за допомогою верньєра 10 (див рис. 1.66). Лічильний механізм містить циферблат 7, лічильне колесо 8 та верньєр 9.



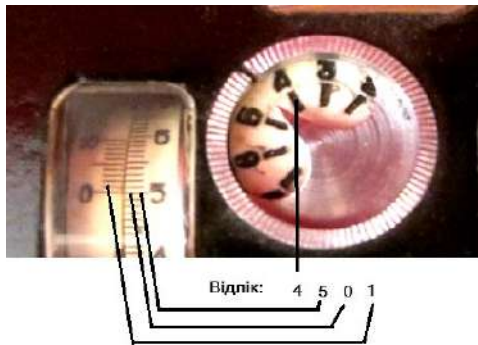
**Рис. 1.66.** Механічний полярний планіметр

Відлік за шкалою циферблату визначають як кількість повних обертів лічильного колеса, шкала якого розділена на 10 поділок (10 обертів.). Шкала лічильного колеса містить 100 поділок. За допомогою верньєра 9 відраховують десяті частки найменшої поділки лічильного колеса. Десята частка найменшої поділки колеса називається *поділком планіметра*. Отже, одному оберту лічильного колеса поділок відповідає 1000 поділок планіметра.

На рис. 1.67 показано відлік за лічильним механізмом полярного планіметра.

Перед вимірюванням площ необхідно визначити ціну поділки планіметра. Ціна поділки планіметра  $c$  - площа, яка відповідає одній найменшій поділці лічильного механізму планіметра.

Для цього на топографічній карті вибирають квадрат або кілька квадратів кілометрової сітки. Їх площа складає  $S_c$ .



**Рис. 1.67.** Відлік за механічним полярним планіметром

Встановлюють планіметр на вершині фігури так, щоб його полюс розміщувався поза вибраним контуром праворуч, а полюсний та обвідний важелі утворювали при цьому приблизно прямий кут. Беруть відлік за лічильним механізмом  $n_1$ . Обводять за годинниковою стрілкою контур квадрата та закінчують обвід на початковій вершині фігури. Лічильне колесо при обводі не повинно сходити з аркуша карти. Беруть відлік за лічильним механізмом  $n_2$ . Ще раз обводять контур та беруть відлік  $n_3$ . Визначають різницю відліків  $(n_2 - n_1)$  та  $(n_3 - n_2)$ . Ця різниця не повинна перевищувати:  $\pm 2$  - для

площ до 200 поділок;  $\pm 3$  - для площ від 200 до 2000 поділок;  $\pm 4$  - для площ більше 2000 поділок. Якщо різниці вказаних відліків є від'ємними, то відліки, що зменшені, збільшують на 10000 – повний оберт циферблату. Для більших різниць вимірювання повторюють. Це складає перший напівприйом вимірювань. Визначають середнє значення з різниць відліків

$$\Delta n_1 = \frac{(n_2 - n_1) + (n_3 - n_2)}{2}. \quad (1.71)$$

У другому напівприйомі полюс встановлюють ліворуч від фігури. Виконують аналогічні дії, що і в першому напівприйомі. Визначають середнє з різниць відліків

$$\Delta n_2 = \frac{(n'_2 - n'_1) + (n'_3 - n'_2)}{2}. \quad (1.72)$$

Обчислюють середню різницю

$$\Delta N = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2}{2}. \quad (1.73)$$

Ціну поділки планіметра визначають за формулою із збереженням чотирьох значущих цифр.

$$c = \frac{S_c}{\Delta N}. \quad (1.74)$$

Під час визначення невеликих площ нерухомий полюс розташовують поза ділянкою. Для зручності обведення контуру ділянки можна змінити довжину полюсного важеля. Тоді потрібно знову визначити ціну

поділки планіметра. Технологія вимірювання площ аналогічна до технології визначення ціни поділки планіметра. Площу ділянки визначають за формулою

$$S = c \cdot \Delta N. \quad (1.75)$$

Під час вимірювання великих ділянок нерухомий полюс розташовують всередині фігури. Площа відзначається з урахуванням постійного числа планіметра  $q$  за формулою

$$S = c(\Delta N + q). \quad (1.76)$$

Тому перед визначенням площі для випадку розташування нерухомого полюса в середині ділянки необхідно визначити постійне число планіметра  $q$ . З формули (1.76) випливає, що

$$q = \frac{S_c - c \cdot \Delta N}{c} = \frac{S_c - S_n}{c} \quad (1.77)$$

де  $S_c$  - відома площа ділянки (квадрат або кілька квадратів кілометрової сітки),  $S_n$  - площа цієї ж ділянки, визначена шляхом обведення за значенням тільки  $\Delta N$ .

Користуючись формулою (1.77), можна запропонувати інший спосіб визначення  $q$ . Якщо виконати обведення будь-якої фігури з положенням нерухомого полюса ззовні цієї ділянки, то отримують значення  $\Delta N$ . Це значення обчислюють за формулою (1.73). Потім виконують обведення цієї ж фігури з положенням нерухомого полюсу в середині фігури та обчислюють за формулою (1.76) значення  $\Delta N$ , яке позначимо як  $\Delta N_q$ . З формули (1.77) випливає

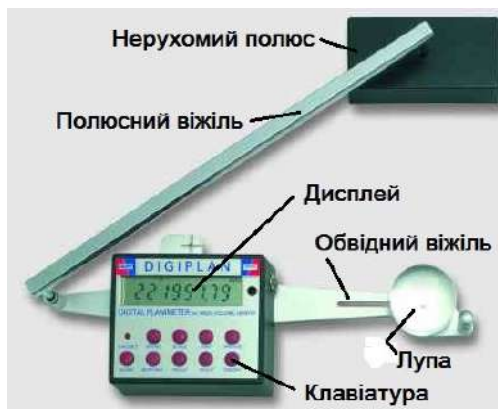
$$q = \frac{S - c \cdot \Delta N}{c} = \frac{c \cdot \Delta N - c \cdot \Delta N_q}{c} = \Delta N - \Delta N_q. \quad (1.78)$$

Тобто, постійне число планіметра дорівнює різниці середніх значень з різниць відліків за лічильним механізмом планіметра для положення нерухомого важеля зовні будь-якого контура та в середині цього ж конура.

Застосування полярного планіметра не ефективно на слизьких поверхнях та при визначенні площ вузьких контурів. Найбільш точне значення площ цим способом отримують для контурів, близьких до круглої форми.

Похибки визначення площ полярним планіметром не повинні перевищувати 1:200 від величини площі.

*Цифрові планіметри.* Цифрові (електронні) планіметри випускають двох типів: полярні та роликіві. Полярні цифрові планіметри відрізняються від механічних автоматичною реєстрацією результатів вимірювань (рис. 1.68). Технологія визначення площ цифровим полярним планіметром аналогічна до технології використання механічного планіметра.



**Рис. 1.68.** Цифровий полярний планіметр DIGIPLA



Роликові планіметри (рис. 1.69) є досконаліші та багатофункціональніші. Загалом, цифрові планіметри мають наступні можливості: вибір одиниць вимірювань площі у метричній системі ( $\text{км}^2$ ,  $\text{м}^2$ ,  $\text{см}^2$ ,  $\text{мм}^2$ ) або в англійській системі (квадратних футів, акрів); вимірювання площ у різних масштабах; фіксація у пам'яті значення площі; визначення суми площ кількох частин однієї ділянки; обчислення середніх значень з вимірів тієї самої площі.



**Рис. 1.69.** Цифровий роликовий планіметр PLANIX 7.

Деякі моделі цифрових планіметрів додатково дозволяють виміряти довжини прямих відрізків та кривих і обчислювати координати, кути, радіуси кіл.

Точність визначення площ цифровими планіметрами приблизно у півтора рази вища порівняно з механічним та залежить в основному від точності обведення контуру ділянки.

*Визначення площ методом Савича.* Сутність цього способу полягає у наступному. Спочатку визначають площу  $S$  ділянки аналітичним способом, наприклад, за відомими координатами точок повороту контуру ділянки. Потім виконують обведення цієї ділянки за

допомогою планіметра та беруть відліки  $n_1$  та  $n_2$  відповідно на початку та по закінченню обведення. Площа ділянки повинна дорівнювати

$$S = c(n_2 - n_1). \quad (1.79)$$

Обводять контур тієї ділянки, площу якої треба визначити. Беруть відліки  $n'_1$  та  $n'_2$ . Площа  $S'$  цієї ділянки дорівнює

$$S' = c(n'_2 - n'_1). \quad (1.80)$$

Якщо поділити рівняння (1.80) на рівняння (1.79) та визначити з нового виразу  $S'$ , то площа ділянки дорівнює

$$S' = S \frac{n'_2 - n'_1}{n_2 - n_1}. \quad (1.81)$$

З формули (1.76) зрозуміло, що відсутня стала планіметра  $c$ . Отже на точність визначення площ за способом Савича не впливає точність визначення сталої планіметра, а лише точність обведення фігур ділянок.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які системи координат використовуються в геодезії?
2. Що розуміють під орієнтуванням ліній?
3. Які існують різновиди масштабів?
4. Що означає номенклатура та розграфлення карт і планів?

5. Які види умовних знаків використовують для зображення ситуації на картах і планах?

6. Якими ізолініями зображається рельєф на топографічних картах і планах та які їх властивості?

7. Які алгоритми з вирішення прямої та оберненої геодезичних задач?

8. Яка технологія визначення прямокутних та географічних координат на топографічних картах і планах?

9. Як визначити дирекційний кут і азимут напрямку, користуючись легендою карти чи плану?

10. В який спосіб можна визначити висоту точки та стрімкість схилу на топографічній карті чи плані?

11. Якими характерними особливостями рельєфу користуються для визначення площі водозбірного басейну?

12. Які існують способи та пристрої для визначення площі на топографічній карті чи плані?

## **Розділ 2. ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

### **2.1. Загальні відомості про геодезичні вимірювання**

У геодезії вимірюють фізичні величини: довжини, кути, перевищення, температуру, тиск, вологість і т. ін.

*Фізичною величиною* називають властивість, спільну в якісному відношенні у багатьох матеріальних об'єктах та індивідуальну в кількісному відношенні у кожного з них. Наприклад: довжина, об'єм.

*Розмір фізичної величини* – кількісний вміст фізичної величини в даному об'єкті. Наприклад: довжина лінії 20 м, горизонтальний кут  $20^\circ$ .

*Одиниця фізичної величини* – фізична величина певного розміру, прийнята за згодою для кількісного відображення однорідних їй величин. Наприклад: 1 м,  $1^\circ$ .

*Числове значення фізичної величини* – число, яке дорівнює відношенню розміру фізичної величини до розміру одиниці цієї фізичної величини. Наприклад,  $20\text{ м}/1\text{ м} = 20$  - числове значення довжини.

*Значення фізичної величини* – числове відображення фізичної величини з позначенням її одиниці. Наприклад: 100,00 м;  $20\text{ м}^2$ .

*Істинне значення фізичної величини* – значення фізичної величини, яке ідеально відображає певну властивість об'єкта. Наприклад: сума кутів у трикутнику дорівнює  $180^\circ$ ; сума кутів у чотирикутнику дорівнює  $360^\circ$ .

*Умовно істинне значення фізичної величини (дійсне значення фізичної величини)* – значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і

настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного значення для даної мети. Наприклад, відстань, виміряна рулеткою приймається умовно істинною по відношенню до цієї ж відстані, виміряної кроками.

*Вимірювання* – відображення вимірних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

За методикою вимірювання поділяються на: прямі (безпосередні); непрямі (посередні). З *прямих вимірювань* шукану фізичну величину отримують як результат прямого порівняння її з одиницею фізичної величини. У випадку *непрямих вимірювань* шукана фізична величина визначається як результат обчислень з використанням інших вимірних безпосередньо фізичних величин. Наприклад, площа ділянки прямокутної форми визначається як добуток вимірних на місцевості висоти та основи прямокутника.

*Істинна похибка*  $\Delta$  – різниця між результатом вимірювання  $l$  та істинним або умовно істинним значенням  $L$  виміряної величини.

*Середня квадратична похибка*  $m$  - характеристика точності результатів вимірювань. Вона пов'язана з похибкою  $\Delta$  результату вимірювання співвідношенням:  $\Delta \leq 2m$  - для точних вимірювань,  $\Delta \leq 3m$  - для високоточних вимірювань.

Результати вимірювань виражають у системі  $CI(SI)$ , де застосовується метрична система мір. Метричну систему було рекомендовано Паризькою академією наук у 1791 році. Одиницею довжини було взято одну десятимільйонну частку довжини чверті Паризького географічного меридіана. Цю частку назвали *метром*.

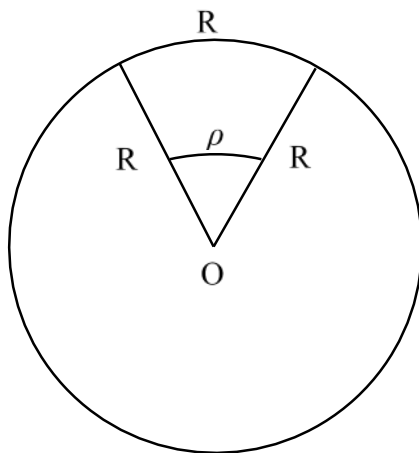
Сьогодні за еталон метра беруть відстань, яку проходить світло у вакуумі за  $1/299\,792\,458$  частку секунди, що затверджено на XVIII Генеральній конференції міри та ваги в Парижі у 1983 році.

Одиницями вимірювання кутів є *кутові міри*: градусна, радіанна, градова.

*Градусна міра* утворюється поділом прямого кута на 90 рівних частин. Отримана  $1/90$  частка є одним *градусом*. Один градус ( $1^\circ$ ) містить 60 мінут ( $60'$ ), мінута має 60 секунд ( $60''$ ).

Один *радіан* відповідає центральному куту  $\rho$ , який спирається на дугу, довжиною в один радіус кола (рис. 2.1).

*Градова міра* утворюється поділом прямого кута на 100 рівних частин. Один град ( $1^g$ ) має 100 градових мінут ( $100^c$ ), 1 градова мінута має 100 градових секунд ( $100^{cc}$ ), або гради-сантиграфи-санти-сантиграфи.



**Рис. 2.1.** Кут в один радіан

Зв'язком між вказаними кутовою та радіанною мірами є наступні вирази

$$\rho^\circ = 57^\circ,296; \rho' = 3438'; \rho'' = 206265''. \quad (2.1)$$

Для зв'язку між кутовою та градусовою мірами використовують залежності

$$1^s = 0^\circ,9; 1^c = 0,54'; 1^{cc} = 0,324''. \quad (2.2)$$

Одиницею вимірювання *температури* є *кельвін* (*K*) за шкалою Кельвіна або *градус* за шкалою Цельсія (*C*) Для переходу від температури *t* за шкалою Цельсія до температури *T* за шкалою Кельвіна використовують залежність

$$T = t + 273,15. \quad (2.3)$$

Одиницею вимірювання тиску в системі *SI* є паскаль (*Па*). *Один Паскаль* дорівнює тиску, який чинить сила в один Ньютон на плоску поверхню площею один квадратний метр, що розташована перпендикулярно до напрямку дії сили. Традиційно у геодезії використовують фізичну атмосферу (*атм*) та міліметр ртутного стовпчика (*мм. рт. ст.*).

*Одна фізична атмосфера* на рівні моря та широті  $45^\circ$  при температурі  $0^\circ\text{C}$  дорівнює  $760$  мм. рт. ст. Причому

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм. рт. ст.} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па.} \quad (2.4)$$

## 2.2 Вимірювання кутів. Кутомірні прилади

### 2.2.1. Принципи вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів

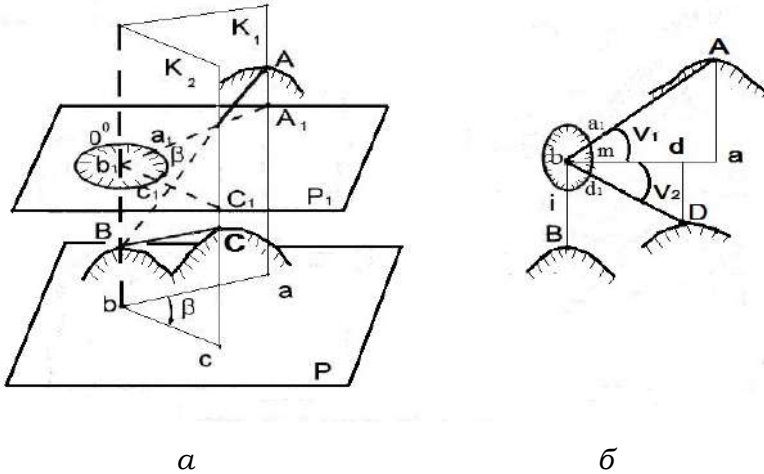
Одним з елементів геодезичних побудов є горизонтальні кути між геодезичними пунктами та вертикальні кути, які вимірюються під час топографічних знімачь.

*Горизонтальний та вертикальний кути* є кути, які розташовані у горизонтальній та вертикальній площині, відповідно.

Для вимірювання на місцевості горизонтальних та вертикальних кутів застосовуються спеціальні прилади – *теодоліти*. Теодоліти мають горизонтальний та вертикальний круги з кутовою мірою.

Нехай потрібно виміряти горизонтальний кут на точці  $B$  місцевості у напрямку на точки  $A$  та  $C$  (рис. 2.2,  $a$ ). Через напрямки  $BA$  та  $BC$  проводять вертикальні площини  $K_1$  та  $K_2$ , які перетнуть горизонтальну площину  $P$  лініями  $ba$  та  $bc$ . Ці лінії утворять у площині  $P$  горизонтальний кут  $\beta$ . Щоб виміряти кут  $\beta$  розташовують круг з кутовою мірою (наприклад, градусною) у горизонтальній площині  $P_1$ . Центр круга – точка  $b$  знаходиться на прямовисній лінії  $Bb_1$  – ребрі двогранного кута, утвореного площинами  $K_1$  та  $K_2$ . Ці площини перетнуть площину круга лініями  $b_1a_1$  та  $b_1c_1$ , які утворюють у площині круга горизонтальний кут  $\beta$ .





**Рис. 2.2.** Принципові схеми вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів

Цей кут буде зафіксований відліками  $a_1$  та  $c_1$  на крузі. Якщо градусні поділки круга збільшуються за годинниковою стрілкою, то горизонтальний кут буде дорівнювати різниці відліків

$$\beta = c_1 - a_1. \quad (2.5)$$

Для вимірювання вертикального кута застосовують круг, площина якого розташована вертикально (див. рис. 2.2, б). Центр круга – точка  $b$  знаходиться на прямовисній лінії  $Bb$  на відстані  $i$  від точки  $B$  місцевості. Площину вертикального круга орієнтують вздовж напрямку  $bA$  на точку  $A$  місцевості. Беруть відлік  $a_1$  за шкалою вертикального круга. Напрямок  $bD$  на точку  $D$  місцевості фіксується відліком  $d_1$  на шкалі круга. Якщо точки  $A$  та  $D$  лежать у одній вертикальній площині і градусна міра круга збільшується за

годинниковою стрілкою, то вертикальний кут з вершиною в точці  $b$  у напрямку на точки  $A$  та  $D$  місцевості дорівнює різниці відліків  $d_1 - a_1$ .

Крім вертикальних кутів вимірюють кути нахилу (див. рис. 2.2, б). *Кутом нахилу* називається вертикальний кут між горизонтальною площиною та напрямком на точку вимірювання. Кут нахилу, розташований вище горизонтальної площини – вважається «додатнім», нижче – «від’ємним». Для вимірювання кута нахилу необхідно знати відлік  $m$  за вертикальним кругом, який фіксує горизонтальний напрямок  $ba$  з центра круга. За рис. 2.2 кут нахилу  $v_1$  в напрямку на точку  $A$  місцевості дорівнює (2.6) – якщо підписи градусних поділок збільшуються за годинниковою стрілкою, а кут нахилу  $v_2$  в напрямку на точку  $D$  місцевості дорівнює (2.7)

$$v_1 = m - a_1, \quad (2.6)$$

$$v_2 = d_1 - m. \quad (2.7)$$

Слід зауважити, що точки  $A$  та  $D$  місцевості, на які вимірюються кути нахилу, можуть лежати у різних вертикальних площинах.

### **2.2.2. Елементи конструкції теодолітів**

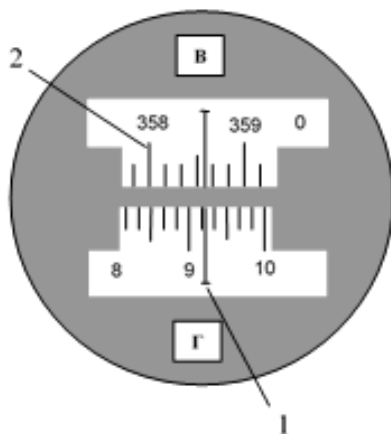
Горизонтальні та вертикальні круги оптичних теодолітів виготовляються з прозорого оптичного скла, на якому наносяться штрихи кутової міри та підписуються значеннями цієї міри (рис. 2.3). Такі круги називаються *лімбами*.



**Рис. 2.3.** Зображення лімба теодоліта

*Алідадою* називається круг з відліковим пристроєм, який дає змогу робити відлік за кутомірною шкалою лімба. Слово «алідада» в перекладі з грецької означає «лінійка». Дійсно, алідада має *відліковий пристрій*. Найпростіший відліковий пристрій – штрих, або *відліковий індекс*. Зображення кутомірної шкали лімба та відлікового пристрою алідади передається через систему призм та лінз у поле зору *відлікового мікроскопа*. Відліковий мікроскоп з відліковим індексом у вигляді штриха називається *штриховим мікроскопом*. Поле зору такого мікроскопу показано на рис. 2.4. Зображення відлікового індексу у вигляді штриха 1 проектується на зображення градусної шкали горизонтального круга – вище віконця з літерою *Г* та вертикального круга – нижче віконця з літерою *В*. Ціна поділки кругів складає  $10'$ . Відліки беруться від меншого за значенням підписаного штриха шкали лімба до відлікового індексу. Десяті

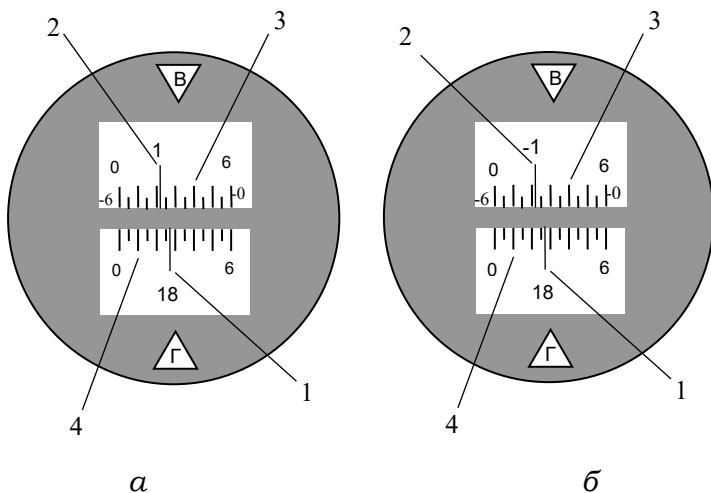
частки поділки лімба визначаються візуально – «на око». Так, відлік за горизонтальним кругом  $9^{\circ}12'$ , за вертикальним кругом  $358^{\circ}36'$  (див. рис. 2.4).



**Рис. 2.4.** Поле зору штрихового мікроскопу

Якщо відліковий пристрій має вигляд шкали, то мікроскоп називається *шкаловим мікроскопом*. На рис. 2.5 показано поле зору такого мікроскопу. Тут штрихи градусної міри горизонтального круга 1 та вертикального круга 2 проєктуються у поле зору шкалового мікроскопу разом з штрихами відлікових шкал 3 та 4. Ціна найменшої поділки відлікової шкали дорівнює  $5'$ , більшої  $10'$ . Відліки беруться від нульового штриха відлікової шкали до меншого за значенням підписаного штриха шкали лімба. Десяті частки поділки відлікової шкали визначаються візуально – «на око».

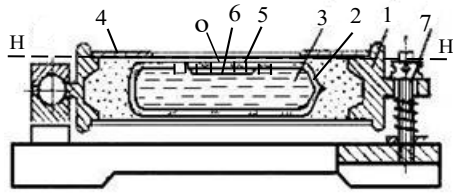
Якщо штрих градусної міри вертикального круга підписаний від'ємним числом, то відлік береться від цього штриха до поділки «-0» відлікової шкали (рис. 2.5 б).



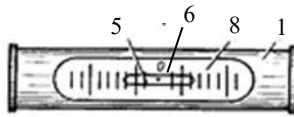
**Рис. 2.5.** Поле зору шкалового мікроскопу з відліками: за горизонтальним кругом  $18^{\circ}27'$ ; за вертикальним кругом а)  $+1^{\circ}22'$ , б)  $-1^{\circ}38'$

Для приведення кругів у горизонтальне та вертикальне положення використовуються циліндричні рівні (рис. 2.6).

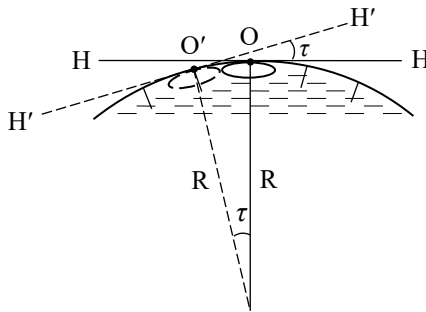
Циліндричний рівень складається з корпусу 1, в якому розміщено скляну ампулу 2. Ампула заповнена рідиною 3. Корпус має металеву оправу 4. На ампулі нанесено через 2 мм поділки 5. Рідина утворює в середині ампули повітряну бульбашку б. Середина ампули (найвища точка) – точка *O* називається *нуль-пунктом рівня*. Один з кінців корпусу рівня має шарнірне з'єднання, а інший кінець рівня з'єднаний з корпусом за допомогою гвинта 7, який називається *виправним гвинтом рівня*. На рис. 2.6, б наведено вигляд рівня зверху.



а



б



в

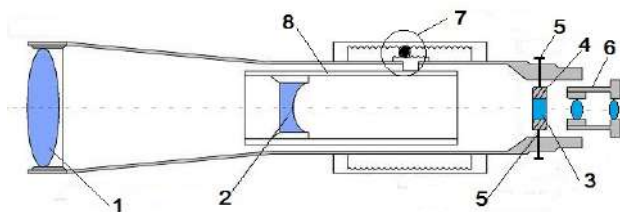
**Рис. 2.6.** Конструкція циліндричного рівня

Уявну лінію  $H-H$ , дотичну до внутрішньої поверхні ампули рівня у нуль-пункті, називають *віссю циліндричного рівня* (див. рис. 2.6, в). Внутрішня поверхня ампули рівня виготовляється бочкоподібною з радіусом кола  $R$ . У точці  $O$  – нуль-пункті рівня радіус перпендикулярний до осі рівня  $H-H$ .

Якщо нахилити рівень на одну поділку, то його вісь відхилиться на кут  $\tau$  та займе положення  $H - H$ . Ціна поділки рівня – центральний кут  $\tau$ , на який відхиляється вісь циліндричного рівня після переміщення бульбашки рівня на одну поділку.

Чутливістю рівня називається найменший кут, на який необхідно нахилити вісь рівня, щоб помітити найменше переміщення бульбашки. Зрозуміло, що із зменшенням ціни поділки рівня чутливість його збільшується.

Важливим елементом конструкції теодоліту, який забезпечує наведення на віддалені предмети є зорова труба. Вона містить (рис. 2.7): об'єktiv 1 та фокусуючу лінзу 2, які створюють зображення предметів у площині сітки ниток 3.

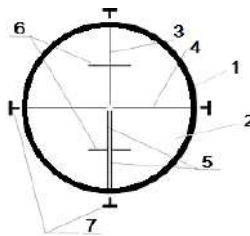


**Рис. 2.7.** Схема зорової труби

Сітка ниток розташована на поверхні скляної платівки, встановленої у металеву оправу 4. Металева оправа 4 кріпиться до корпусу зорової труби за допомогою виправних гвинтів 5. Уявна лінія, яка проходить через середину перехрестя сітки ниток та оптичний центр об'єктиву називається *візирною віссю* зорової труби. Окуляр 6 призначений для розглядання зображення предметів та сітки ниток. Для

фокусування на предмети місцевості необхідно обертати кремальєру 7, яка через зубчасту передачу переміщує футляр 8 фокусуєчого елемента 2.

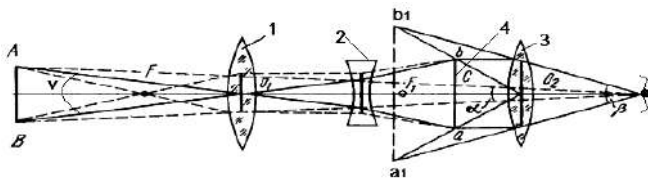
У полі зору труби теодоліта хрест сітки ниток має вигляд, наведений на рис. 2.8. В оправі 1 розташована скляна платівка 2 з нанесеними на її поверхні верхнього вертикального 3 та двох бічних горизонтальних штрихів 4.



**Рис. 2.8.** Сітка ниток зорової труби

Вертикальний подвійний штрих 5 називається *бісектор*. На вертикальних нитках нанесені віддалемірні штрихи 6. Точка у полі зору труби, у якій перетинаються горизонтальні та вертикальні штрихи є серединою перехрестя сітки ниток. Через цю точку проходить візирна вісь зорової труби.

Побудову зображення у зоровій трубці показано на рис. 2.9.



**Рис. 2.9.** Хід променів у зоровій трубці



Об'єктив 1 та фокусуюча лінза 2 створюють дійсне обернене зображення  $ab$  предмету  $AB$  у площині сітки ниток 4. Окуляр 3 будує уявне зображення  $a_1b_1$  предмету  $AB$ . Предмет  $AB$  видно неозброєним оком під кутом  $\alpha$ , а за допомогою зорової труби – під кутом  $\beta$ . Збільшення зорової труби  $\Gamma^\times$  - відношення кута, під яким видно предмет за допомогою зорової труби до кута, під яким видно предмет неозброєним оком.

$$\Gamma^\times = \frac{\beta}{\alpha}. \quad (2.8)$$

Поле зору труби – простір, який видно в зорову трубу при нерухомому її положенні. Поле зору визначається кутом поля зору, утвореного променями, які перетинаються у центрі лінзи об'єктиву та які обмежує внутрішній діаметр оправы сітки ниток. Це промені (див. рис. 2.9)  $Aa$  та  $Bb$ , які утворюють кут поля зору  $\nu$  та надходять до діаметрально протилежних точок  $a$  та  $b$ , платівки сітки ниток. Величина кута поля зору пов'язана із збільшенням зорової труби

$$\nu = \frac{38^\circ,2}{\Gamma^\times}. \quad (2.9)$$

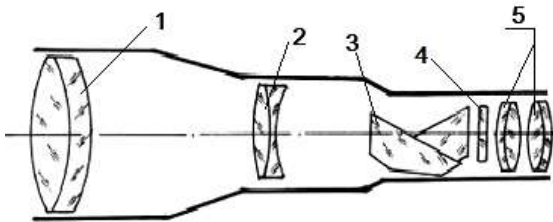
Важливою характеристикою зорової труби є роздільна здатність. Роздільна здатність зорової труби - це спроможність давати роздільне зображення двох дрібних об'єктів місцевості. Роздільна здатність характеризується кутом, під яким ще видно дві точки зображення до моменту повного злиття одна з одною. Цей кут визначається для роздільної здатності ока  $\gamma_0$  за формулою

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{I^x}. \quad (2.10)$$

Роздільна здатність зорової труби залежить від освітлення та контрастності предметів місцевості, якості оптики зорової труби, способу візування (наведення) на спеціальні візирні марки, які використовуються для точних і високоточних кутових вимірювань. Для звичайних умов спостережень приймають роздільну здатність ока  $\gamma_0 = 60''$ .

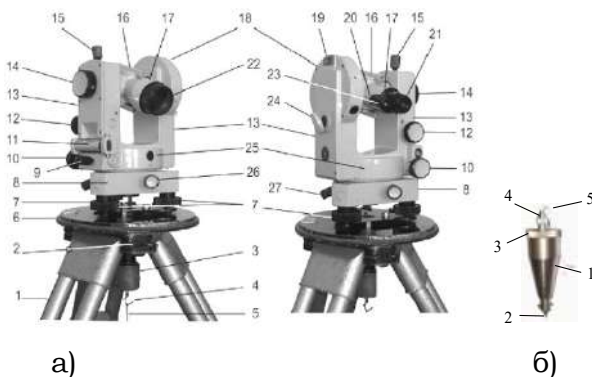
Як видно з формул 2.9 та 2.10, що чим вище значення має збільшення зорової труби, тим менше кут поля зору і тим вища роздільна здатність такої труби.

Використання для геодезичних робіт зорових труб, які дають обернене зображення предметів, потребує відповідних практичних навичок. Тому більш досконалими є зорові труби, зображення яких є прямим, тобто відповідає дійсному вигляду місцевості. На рис. 2.10 наведено схема такої зорової труби. Крім відомих елементів її конструкції, як: об'єтив 1, фокусуєчи лінза 2, платівка 4 сітки ниток та лінз окуляру 5, зорова труба містить систему призм 3. Ця система призм називається призмою Аббе, яка додатково обертає зображення.



**Рис. 2.10.** Схема зорової труби прямого зображення

Під час вимірювань кутів (рис. 2.11 а) теодоліт встановлюється на штатив, який має розсувні ніжки 1, що кріпляться до головки штатива 2. Головка штатива має становий гвинт 3, у нижній частині якого розташовано скобу з прикріпленим до неї гачком 4, до якого приєднується нитка 5 виска – для центрування над точкою вимірювання кутів. Платформа 6 теодоліта прикріплюється до головки штатива вгвинчуванням станового гвинта. Три підймальні гвинти 7 та платформа 8 складають підставку теодоліта. Закріпний 9 та навідний 10 гвинти горизонтального круга призначені для фіксації і точного наведення на об'єкт у площині горизонту, 11 - циліндричний рівень.



**Рис. 2.11.** Зовнішній вигляд теодоліта Т30 на штативі

Для точного наведення зорової труби на об'єкт у вертикальній площині слугує навідний гвинт 12. Колонка 13 має у верхній частині кремальєру 14 та закріпний гвинт зорової труби 15. Візир 16

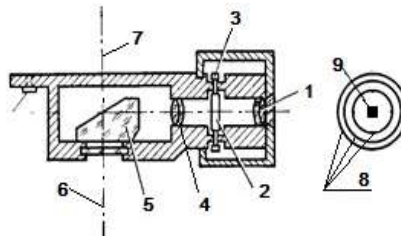
призначений для попереднього наведення зорової труби 17 на об'єкт. 18 – частина корпусу теодоліта, в середині якої розташовано вертикальний круг. До отвору з різьбою 19 прикріплюється *бусоль* – пристрій для орієнтування теодоліта відносно магнітного меридіана, 20 - відліковий мікроскоп, 21 – окуляр зорової труби, 22 - об'єктив зорової труби, 23 – окуляр відлікового мікроскопу, 24 – дзеркальце, яке заповнює відбитими від нього променями оптичну систему відлікового мікроскопа, 25 – округла частина корпусу теодоліта, в якій розташовано горизонтальний круг, 26 – навідний гвинт лімба горизонтального круга, яким встановлюють потрібний відлік за горизонтальним кругом у вибраному напрямку, 27 – закріпний гвинт лімба горизонтального круга.

Слід зауважити, що під час вимірювання горизонтального кута закріпний гвинт лімба горизонтального круга повинен бути вкрученим – щоб лімб залишався нерухомим. Особливістю конструкції навідних гвинтів теодоліта є те, що вони працюють тільки при вгвинчених закріпних гвинтах.

Інколи для центрування над геодезичним пунктом застосовують *ниткові виски* (рис. 2.11 б). Для центрування теодоліта необхідно, щоби вісь обертання його була спрямована прямовисно на центр геодезичного пункту. Нитковий висок складається з металевго корпусу 1, конусоподібного наконечника, який можна втягнути у середину корпусу, обертового кільця 3. У верхній частині корпусу є отвір 4, через який протягнута нитка 5. Обертаючи кільце 3, можна намотувати нитку 5 на барабан, розташований всередині корпусу 1 виска. Нитковий висок дозволяє

виконувати центрування з точністю до кількох міліметрів. Вітрове навантаження на корпус виска суттєво зменшує точність центрування.

Для підвищення точності центрування від 0.5 мм до 1 мм використовують оптичні виски. На рис. 2.12 показано теодоліт, з вбудованим оптичним виском. Оптичний висок має окуляр 1, сітку ниток 2, виправні гвинти сітки ниток 3, об'єктив 4 – для побудови зображення центру геодезичного пункту у площині сітки ниток, призму 5, яка заломлює візирний промінь 6 на  $90^\circ$  донизу, так що він повинен збігатися з віссю, яка проходить через центр горизонтального круга 7.



**Рис. 2.12.** Конструкція оптичного виска теодоліта

У полі зору оптичного виска спостерігаються концентричні кільця 8, нанесені на сітці ниток, та центр 9 геодезичного пункту.

Для центрування візирних марок застосовують і самостійні пристрої – оптичні виски, які ще називають *лот-апарати*.

Лот-апарат (рис. 2.13) встановлюється у підставку та закріплюється гвинтом 2. На копусі 3 лот-апарату знаходиться окуляр 4, круглий рівень 5 та циліндричний рівень 7 – для попереднього і точного приведення візирного променя лот-апарату у прямовисне положення.

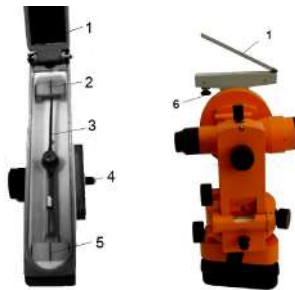


**Рис. 2.13.** Лот-апарат у підставці

Виправними гвинтами 6 виконується виправлення циліндричного рівня. Підставка встановлюється на штатив та фіксується становим гвинтом.

Для орієнтування теодоліта вздовж магнітного меридіану використовується орієнтир-бусоль.

Зверху орієнтир-бусоль (рис. 2.14) має дзеркало 1 та гвинт 4 для кріплення орієнтир-бусолі до корпусу теодоліта



**Рис. 2.14.** Орієнтир-бусоль та її кріплення до теодоліту

Всередині пристрою нанесено індекс північного напрямку 2, на який орієнтується магнітна стрілка 3 поворотом аліади горизонтального круга теодоліта. На протилежному кінці пристрою розташовано індекс південного напрямку 5. Для закріплення магнітної

стрілки під час транспортування орієнтир-бусолі використовується аретир б.

### **2.2.3. Технічні характеристики теодолітів**

Одним з ознак класифікації теодолітів є точність вимірювання горизонтальних кутів. Відтак теодоліти поділяються на високоточні, точні та технічні. До високоточних належать теодоліти, базовою моделлю яких є теодоліт Т1, до точних належать теодоліти з базовими моделями Т2, Т5. Теодоліти технічної точності представлені базовими моделями Т30 та Т15.

В подальшому базові моделі удосконалювались та надходили до серійного випуску. У цьому випадку перед літерою «Т» у маркуванні теодоліту ставився номер нової моделі. Наприклад, 2Т2 – теодоліт Т2 другої моделі.

Праворуч літери «Т» вказується точність (середня квадратична похибка) вимірювання горизонтального кута у кутових секундах.

Характер удосконалення вказувався праворуч числа, яке визначає точність теодоліту. Наприклад, для теодоліт з прямим зображенням використовувалась літера «П» - 2Т15П, якщо теодоліт має компенсатор індексу вертикального круга - для автоматичного його встановлення у вертикальне положення, то використовувалась літера «К» - 2Т5К. Коли теодоліт призначений для виконання кутомірних робіт у тунелях та гірських вирубках – у маркшейдерії, то встановлюється літера «М», наприклад, Т30М. Якщо теодоліт містить автоколімаційний окуляр Монченка – для підсвічування сітки ниток, то використовується літера «А», наприклад 2Т2А.

На рис. 2.15 наведені теодоліти різної модифікації і точності, які знайшли своє застосування в Україні.



**Рис. 2.15.** Модельний ряд теодолітів

В табл. 2.1 подано технічні характеристики базових моделей теодолітів, в залежності від точності вимірювання кутів.

Таблиця 2.1

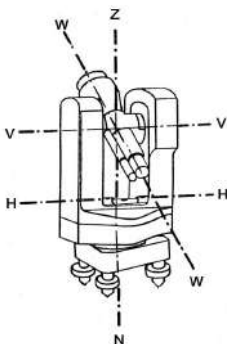
Технічні характеристики базових моделей теодолітів

Технічні характеристики	Модель теодоліта				
	T1	T2	T5	T15	T30
Середня квадратична похибка вимірювання:					
горизонтального кута	1"	2"	5"	15"	30"
вертикального кута	1.5"	3"	12"	25"	45"
Збільшення зорової труби, крат	40	25	25	25	18
Поле зору, кут. градуси	1	1.5	1.5	1.5	2
Мінімальна візирна відстань, м	5	2	2	1.5	1.2
Ціна поділки рівня, кут. секунди:					
при горизонтальному крузі	10	10	30	45	45
при вертикальному крузі	10	15	15	-	-
маса теодоліту, кг	11	5	4.5	3.5	2.5



### 2.2.4. Перевірки та виправлення теодолітів

Осьова система теодоліта наведена на рис. 2.16.



**Рис. 2.16.** Осьова система теодоліта

Вона повинна задовольняти таким геометричним умовам:

- вісь циліндричного рівня  $H-H$  повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта  $Z-N$ ;
- вісь обертання теодоліта  $Z-N$  повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби  $V-V$ ;
- візирна вісь зорової труби  $W-W$  повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби  $V-V$ ;
- площина вертикального круга теодоліта повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби  $V-V$ .

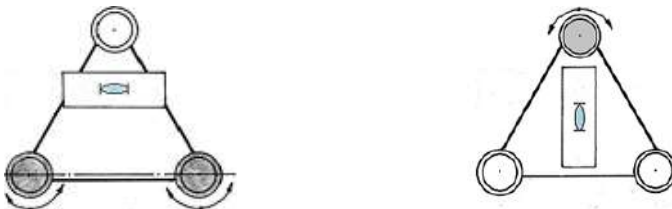
Після встановлення циліндричного рівня у «нуль-пункт» вісь циліндричного рівня  $H-H$  займе горизонтальне положення та за виконанням наведених геометричних умов площина горизонтального круга буде горизонтальною, площина вертикального круга – вертикальною, а візирна вісь зорової труби  $W-W$  буде описувати у просторі вертикальну площину. Площина,

яку описує візирна вісь зорової труби відносно своєї осі обертання називається *колімаційною площиною*.

Перед початком кутомірних робіт виконуються *перевірки теодоліта* – заходи з контролю дотримання механічних та геометричних умов. У випадку незадовільного результату перевірки проводиться *виправлення* – заходи з приведення взаємного розташування осей теодоліта у відповідність з геометричними умовами.

Перед проведенням перевірок теодоліт закріплюють на штативі. Потім виконують попереднє горизонтування теодоліта за циліндричним рівнем при алідаді горизонтального круга.

Для *горизонтування* теодоліта поворотом алідади горизонтального круга встановлюють корпус циліндричного рівня паралельно до двох підймальних гвинтів та, обертаючи їх у різні сторони, приводять бульбашку циліндричного рівня горизонтального круга у «нуль-пункт» (рис. 2.17). Потім повертають алідаду горизонтального круга на  $90^\circ$  і третім підйомним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня горизонтального круга у «нуль-пункт» (див. рис. 2.17). Горизонтування повторюють до тих пір поки бульбашка циліндричного рівня в обох його положеннях не буде у «нуль-пункті».

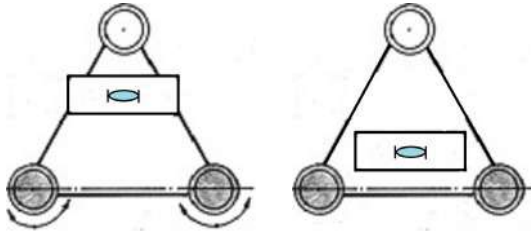


**Рис. 2.17.** Схема горизонтування теодоліта

Перевірки та виправлення (юстування) теодоліта виконуються у наступній послідовності.

1. Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта.

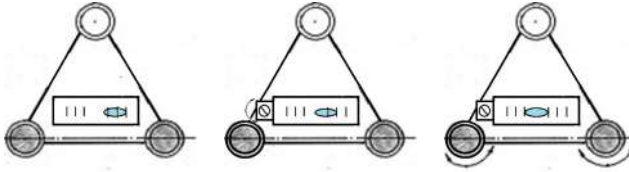
Циліндричний рівень встановлюють паралельно до двох підймальних гвинтів та плавним одночасним обертанням їх в протилежних напрямках виводять бульбашку рівня у «нуль-пункт» (рис. 2.18).



**Рис. 2.18.** До перевірки циліндричного рівня

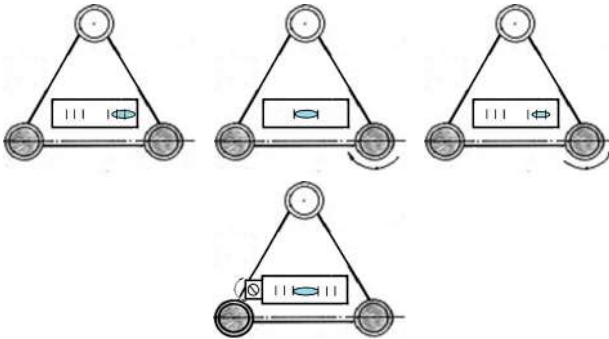
Повертають алідаду горизонтального круга на  $180^\circ$ . Якщо бульбашка рівня знаходиться у «нуль-пункті» (див. рис. 2.18) або відхилилась від нього в межах однієї-двох поділок, то перевірка виконана. У протилежному випадку (рис. 2.19) виконують виправлення рівня. Для цього виправними гвинтами циліндричного рівня повертають бульбашку до «нуль-пункту» на половину дуги її відхилення (див. рис. 2.19) та підймальними гвинтами на другу половину дуги відхилення. Знову виконують перевірку.

Бувають випадки, коли після встановлення бульбашки рівня в «нуль-пункт» та повороту алідади на  $180^\circ$  бульбашка рівня потрапляє на кінець ампули (рис. 2.20).



**Рис. 2.19.** Схема виправлення циліндричного рівня

Тоді підймальним гвинтом виводять бульбашку у «нуль-пункт», порахувавши при цьому число обертів підймального гвинта. Далі, обертають гвинт у протилежному напрямку на половину числа порахованих обертів. Бульбашка рівня повернеться у попередню частину ампули (див. рис. 2.20). Роботою виправних гвинтів бульбашки рівня приводять її у «нуль-пункт». Знову виконують перевірку до досягнення її виконання.

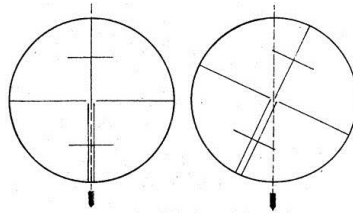


**Рис. 2.20.** Виправлення циліндричного рівня  
(окремий випадок)

За виправленим циліндричним рівнем горизонтального круга виконують горизонтування теодоліта.

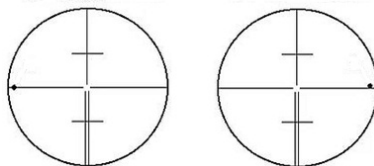
2. Сітка ниток теодоліта має бути встановлена правильно, тобто вертикальна нитка сітки ниток має бути вертикальною, а горизонтальна нитка – горизонтальною.

Неподалік від теодоліта вільно підвішують нитковий висок. Фокусують зорову трубу на нитку виска (рис. 2.21). Якщо бісектор сітки ниток теодоліта збігається з ниткою виска, то перевірка виконана. Незбігання свідчить про розворот сітки ниток (див. рис. 2.21).



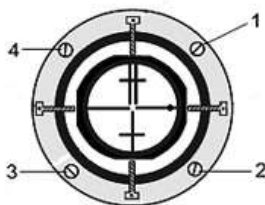
**Рис. 2.21.** Використання виска для перевірки сітки ниток

Перевірку можна виконати в інший спосіб. Для цього наводять зорову трубу на віддалену, добре видиму точку, розташовану близько до горизонту приладу. Суміщають в полі зору труби зображення видимої точки з краєм горизонтальної нитки сітки ниток зорової труби (рис. 2.22). Навідним гвинтом горизонтального круга переміщують зорову трубу за горизонтом так, щоб зображення точки перемістилось на інший кінець сітки ниток (див. рис. 2.22). Якщо зображення точки залишилась на горизонтальній нитці сітки, або ж змістилось до третини ширини бісектора, то перевірка виконана. В іншому випадку виконують виправлення.



**Рис. 2.22.** Використання точки для перевірки сітки ниток

Для виправлення положення сітки ниток відкручують ковпачок на окулярному коліні технічного теодоліта. Послаблюють закріпні гвинти 1, 2, 3, 4 (рис. 2.23) та розвертають сітку ниток у потрібному напрямку до суміщення зображення точки та горизонтальної нитки сітки (див. рис. 2.23).

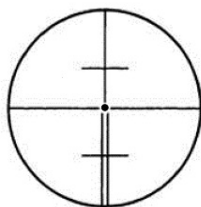


**Рис. 2.23.** До виправлення сітки ниток

Закручують діаметрально протилежні закріпні гвинти.

*3. Візирна вісь повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби.*

Встановлюють вертикальний круг ліворуч відносно зорової труби теодоліта. Таке положення горизонтального круга називається «круг ліворуч», або *КЛ*. Наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на віддалену, добре видиму точку, розташовану близько до горизонту приладу (рис. 2.24). Беруть відлік за горизонтальним кругом теодоліта, який позначимо *Л*.



**Рис. 2.24.** До виконання третьої перевірки теодоліта

Відкріплюють закріпні гвинти горизонтального та вертикального кругів. Переводять зорову трубу через зеніт. Повертають аліаду горизонтального круга на  $180^\circ$ . Вертикальний круг опиниться праворуч від зорової труби. Маємо «*круг праворуч*», або *КП*. Знову наводять перехрестя сітки ниток зорової труби на ту ж точку (див. рис. 2.24). Беруть відлік по горизонтальному крузі теодоліта – *П*. Колімаційна похибка обчислюється за формулою

$$c = \frac{\Lambda - (\Pi \pm 180^\circ)}{2}. \quad (2.11)$$

У формулі (2.11) знак плюс або мінус перед  $180^\circ$  вибираються так, щоб у підсумку число градусів кута, отриманого у дужках, відповідало числу градусів відліку *Л*.

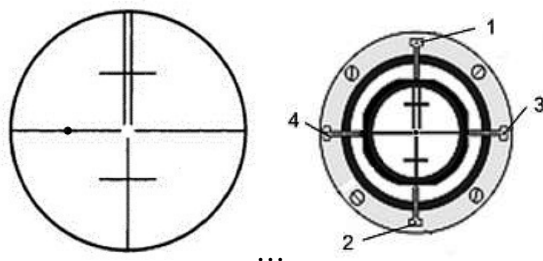
Якщо  $c = 0$ , або ж не перевищує подвійної точності відлікового пристрою, то перевірка виконана. Так, для теодолітів модельного ряду ТЗ0 припустимим є значення  $|c| \leq 1'$ . У протилежному випадку виконується виправлення.

Для виправлення розраховують середнє значення з відліків

$$m = \frac{\Lambda + (\Pi \pm 180^\circ)}{2}. \quad (2.12)$$

Відлік *m* встановлюють на горизонтальному крузі за допомогою навідного гвинта горизонтального круга. Тоді точка наведення, зміститься з перехрестя сітки ниток (рис. 2.25). Далі, відкручують ковпачок окулярного коліна та послаблюють закріпні гвинти 1,2 сітки ниток. За допомогою гвинтів 3,4 повертають

точку наведення на перехрестя сітки ниток (див. рис. 2.25). Гвинти 3,4 працюють так, що один з них вигвинчується, а інший вгвинчується. Після повернення точки наведення на перехрестя сітки ниток гвинти 1,2 легенько вгвинчують.



**Рис. 2.25.** До виправлення колімаційної похибки

*Не потрібно перетягувати закріпні гвинти сітки ниток. Останнє може призвести до появи тріщин скляної платівки, на якій нанесено сітку ниток.*

Необхідно зауважити, що у випадку вимірювання горизонтальних кутів при КЛ і КП (повними прийоми) буде розраховуватись середнє значення кута. Тоді колімаційна похибка у середньому значенні буде відсутня.

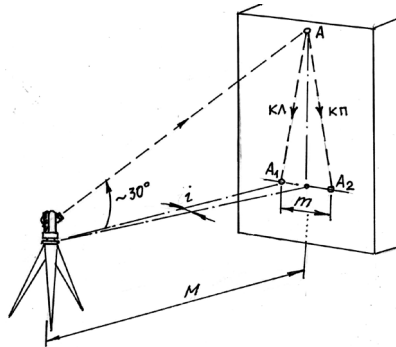
*4. Вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання інструменту.*

Теодоліт встановлюють на відстані  $M = 30 - 40$  м від стіни споруди. На стінці вибирають добре видимої у зорову трубу точку  $A$  - марку (рис. 2.26). Наводять перехрестя сітки ниток зорової труби при КЛ на марку. Опускають зорову трубу приблизно на висоту приладу та відмічають на стіні положення перехрестя сітки ниток - точка  $A_1$ . Переводять зорову трубу через зеніт та знову наводять перехрестя сітки ниток на точку  $A$  при КП. Опускають зорову трубу та відмічають на стіні



положення перехрестя сітки ниток на рівні попередньої точки  $A_L$ . Отримують точку  $A_2$ .

Якщо точки  $A_1$ . та  $A_2$ . збігаються, або ж відстань  $m$  між ними не більше ніж ширина бісектора, то умова виконана.



**Рис. 2.26.** До перевірки перпендикулярності осі обертання зорової труби та осі обертання приладу

У протилежному випадку виправлення можливе тільки у майстерні.

Слід зауважити: якщо вимірювання горизонтальних кутів буде виконуватись при  $KL$  та  $KP$  (повними прийоми) та буде розраховуватись середнє значення кута, то нахил осі обертання теодоліта не пливатиме на точність вимірювання горизонтальних кутів.

##### *5. Визначення місця нуля (МО) вертикального круга.*

Місцем нуля вертикального круга називають відлік за вертикальним кругом, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до вертикальної осі обертання теодоліта.

Перевірку виконують аналогічно до перевірки колімаційної похибки наведенням на віддалену візирну ціль, але беруть відліки  $L$  та  $II$  за вертикальним

кругом (ВК). Місце нуля обчислюють для теодоліта ТЗ0 за формулою

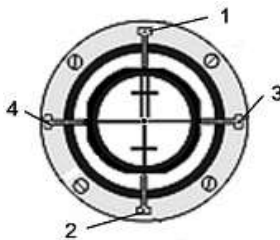
$$MO = 0,5(L + П - 180^\circ). \quad (2.13)$$

Для теодолітів модельного ряду ТЗ0 допускається  $MO \leq 1'$ .

Приведення  $MO$  в означений діапазон виконується наступним чином. Обчислюють  $L_B$  виправлений відлік для  $KL$

$$L_B = L - MO. \quad (2.14)$$

За допомогою навідного гвинта вертикального круга встановлюють відлік  $L_B$ . Зображення віддаленої візирної цілі зміститься з перехрестя сітки ниток. Тому відкручують ковпачок окулярного коліна та послаблюють закріпні гвинти 3,4 сітки ниток (рис. 2.27). За допомогою гвинтів 1,2 повертають току на перехрестя сітки ниток. Гвинтами 1,2 працюють так, що один з них вигвинчується, а інший вгвинчується. Після повернення перехрестя сітки ниток на точку наведення гвинти 3,4 легенько вгвинчують.



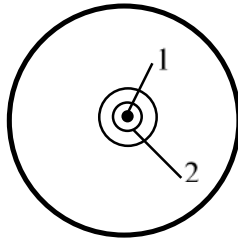
**Рис. 2.27.** До виконання перевірки місця нуля

Після цього повторюють перевірку колімаційної похибки.

Місце нуля для теодолітів інших марок визначають згідно з порядком, наведеним у паспорті приладу.

*б. Візирна вісь оптичного виска повинна збігатись з віссю обертання теодоліта.*

Для теодолітів, оптичний висок яких знаходиться при алідаді горизонтального круга, перевірка виконується наступним чином. Теодоліт центрують та горизонтують над точкою, добре видимою у полі зору оптичного виска. Повертають теодоліт навколо вертикальної осі на  $180^\circ$ . Перевіряють сполучення зображення точки 1 з центром малого кола 2 в полі зору оптичного виска (рис. 2.28).



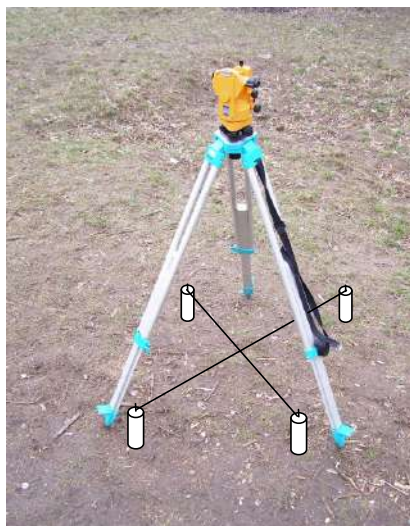
**Рис. 2.28.** Поле зору оптичного виска

Оцінюють візуально зміщення зображення точки, яке не повинно перевищувати 0,5 радіуса малого кола.

У протилежному випадку за допомогою виправних гвинтів 3 (див. рис. 2.12) сітки ниток оптичного виска переміщують центр малого кола на половину зміщення його в напрямку до точки центрування. Перевірку повторюють.

Теодоліт 4Т30П має оптичний висок, який вбудовано у підставку. Тому для перевірки оптичного

виска чинять наступним чином (рис. 2.29). Теодоліт встановлюють на штатив та горизонтують. Поблизу штативу забивають чотири кілочки так, щоб їхні полицки було видно у зорову трубу та середини полицок розміщувались під кутами  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ . В полицку одного з кілочків забивають тонкий цвях так, щоб його нижня частина збігалась з вертикальною ниткою хреста ниток, а відлік за горизонтальним кругом дорівнював  $0^\circ 00'$ . Переводять зорову трубу теодоліту через зеніт та забивають цвях за тієї ж умови. Повертають зорову трубу так, щоб відлік за горизонтальним кругом склав  $90^\circ$  та за тієї ж умови забивають цвях у полицку третього кілочка. Переводять трубу через зеніт і забивають цвях у полицку четвертого кілочка за тієї ж умови.



**Рис. 2.29.** До перевірки оптичного виска теодоліта 4Т30П

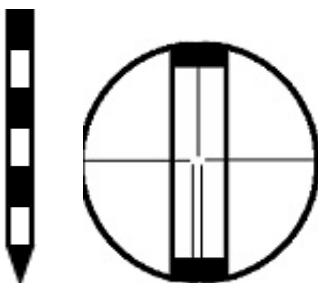
Прикріплюють нитки до нижніх частин цвяхів та натягують їх. Перехрестя сітки ниток оптичного виска повинно збігатись з перетином ниток під головкою штатива. У випадку неспівпадання виправними гвинтами сітки ниток оптичного виска сполучають його центр з перетином ниток під головкою штатива.

### **2.2.5. Способи вимірювання горизонтальних кутів**

Для вимірювання горизонтального кута на його вершині, закріпленій на місцевості, центрують та горизонтують теодоліт. На кінцях променів кута, теж закріплених на місцевості, у випадку використання теодоліта технічної точності, на закріплені точки встановлюють спеціальні жердини (віхи). Дерев'яна жердина (рис. 2.30) має товщину 3 – 4 см. На нижньому її кінці розташовано металевий наконечник. Жердина пофарбована на окремих ділянках, наприклад, чорною(червоною) фарбою. Така смугаста жердина контрастно виглядає на фоні місцевих предметів, а тому легко відшукується спостерігачем. Наведення зорової труби на жердину виконується так, щоб бісектор сітки ниток розташовувались на середині світлої смуги жердини (див. рис. 2.30). Для виключення похибки через непрямовисне положення віхи слід суміщати перехрестя сітки ниток з нижньою частиною віхи. Сама віха повинна утримуватись вертикально над точкою. Можна використовувати три розтяжки.

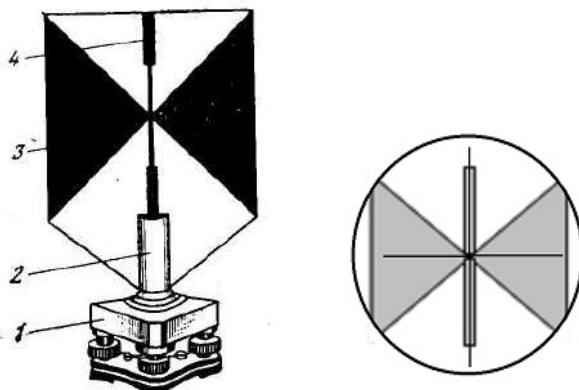
Для збільшення точності вимірювання горизонтальних кутів використовують візирні марки. Візирна марка (рис. 2.31) має металевий щиток 3, що скріплений

з втулкою 2, яка встановлюється в підставку 1. Щиток забарвлений в два контрастні кольори з обох боків. По вертикальній осі симетрії марки нанесена смужка 4, яка є візирною ціллю. Кольори і форма розфарбовування марок різноманітні.



**Рис. 2.30.** Віха та її зображення у полі зору теодоліта

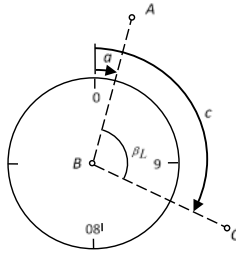
Наведення сітки ниток зорової труби теодоліта виконується на вертикальну та горизонтальну осі симетрії малюнка марки (див. рис. 2.31).



**Рис.2.31.** Візирна марка та наведення сітки ниток теодоліта на марку

Вимірювання окремого кута *способом прийомів* виконують, якщо з даної точки буде вимірюватись горизонтальний кут в напрямку на дві інші точки. Центрують та горизонтують теодоліт над вершиною кута. В інших точках встановлюють вертикально жердини, або центрують та горизонтують візирні марки, встановлені на штативах. Зорову трубу при *КЛ* наводять за допомогою візира на точку *A*, розташовану ліворуч (рис. 2.32). Виконують фокусування на жердину (марку) до отримання чіткого зображення. За допомогою окулярного коліна добиваються чіткого зображення сітки ниток і під час вимірювання кута не виконують перефокусування сітки ниток. Так, додаткове перефокусування сітки ниток веде до зміни положення візирної осі зорової труби, що вносить похибку у кут, який вимірюється. Перевіряють чіткість зображення візирної цілі та за необхідності дофокусують кремальєрою. При цьому слідкують, щоб сітка ниток не переміщувалась по зображенню візирної цілі, якщо трохи переміщувати око праворуч та ліворуч, дивлячись в окуляр. Явище переміщення сітки ниток по зображенню візирної цілі виникає, коли це зображення не збігається з площиною сітки ниток і називається *паралаксом*. Паралакс зникає після додаткового дофокусування зорової труби.

Навідним гвинтом лімба горизонтального круга встановлюють відлік за горизонтальним крутом, близький до нуля (звичайно на 5'-10' більше 0°), перевіряючи наведення сітки ниток на вісь симетрії цілі. Беруть відлік за горизонтальним крутом теодоліта, який дорівнює *a* (див. рис. 2. 32) та записують його у журнал (табл. 2.2).



**Рис.2.32.** Схема вимірювання горизонтального кута способом прийомів

Відкріплюють закріпний гвинт горизонтального круга та наводять зорову трубу за допомогою візира на точку  $C$ . Виконують фокусування на жердину (марку) на точці  $C$ . Навідним гвинтом горизонтального круга наводять сітку ниток на вертикальну вісь симетрії візирної цілі. Беруть відлік за горизонтальним кругом  $c$  (див. рис. 2.32). Обчислюють горизонтальний кут за формулою

$$\beta_L = c - a. \quad (2.15)$$

Наведені вище дії та обчислені кути складають один напівприйом. У другому напівприйомі виконують аналогічні дії для положення зорової труби  $KП$ . Отримують один повний прийом вимірювання горизонтального кута  $ABC$ . Різниця кутів, обчислених у напівприйомах, не повинна перевищувати у загальному випадку подвійної точності відлікового пристрою, що для теодолітів модельного ряду Т30, складає  $1'$ . За виконання цієї умови обчислюють середнє значення горизонтального кута з напівприйомів.

Приклад заповнення журналу та результати вимірювання горизонтального кута способом прийомів наведено у табл. 2.2.



Таблиця 2.2

Журнал вимірювання горизонтального  
кута способом прийомів

Об'єкт: навчальний полігон  
Дата: 14.05. 2021 р.  
Теодоліт: 2Т30 № 1245

Видимість: чітка  
Спостерігав: Скляр. О.Д.  
Обчислював: Моторний А.В.

Точки		Круг	Відлік		Кут з напівприйому		Різниця	Середній кут	
СТОЯННЯ	наведення		°	'	°	'		'	°
В	А	КЛ	0	01	78	13	- 1	78	13,5
	С	КЛ	78	14					
	А	КП	180	02	78	14			
	С	КП	258	16					

Інколи, наприклад, для пришвидшення вимірювань у першому напівприйомі після наведення зорової труби на точку *A* не встановлюють відлік за горизонтальним кругом, близьким до нуля. Тоді, в окремих випадках, може виникнути ситуація, коли нуль шкали горизонтального круга буде розташований між напрямками на точки *A* та *C* (рис. 2.33). Це буде видно з того, що відлік за горизонтальним кругом на точку *C* - *c* буде меншим за відлік *a* - на точку *A*. Тоді різниця *c* - *a* буде від'ємною. Обчислення значень горизонтального кута у напівприйомах буде виконуватись за наступних міркувань. З рис. 2.33 видно, що

$$\beta_L = c + d, \quad (2.16)$$

а

$$d = 360^\circ - a. \quad (2.17)$$

Тоді, з урахуванням (2.17)

$$\beta_L = 360^\circ + c - a. \quad (2.18)$$

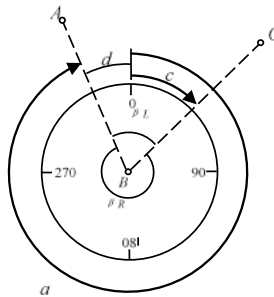
Кут  $\beta_R$  обчислюється, як видно з рис. 2.33, за формулою

$$\beta_R = a - c. \quad (2.19)$$

Для зменшення впливу похибок, вимірювання кутів виконують  $n$  прийомами. Між прийомами лімб переставляють на величину  $180^\circ/n$ .

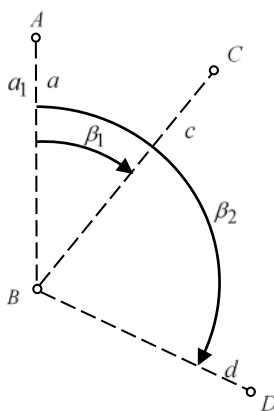
Якщо на пункті вимірювання горизонтальних кутів присутні три і більше напрямків, то доцільно застосовувати спосіб *кругових прийомів*.

Центрують та горизонтують теодоліт над вершиною кута, точкою  $B$  (рис. 2.34). В інших точках встановлюють вертикально жердини, або центрують та горизонтують візирні марки, встановлені на штативах.



**Рис.2.33.** Окремий випадок вимірювання горизонтального кута способом прийомів

Встановлюють зорову трубу при  $K/L$  та наводять її за допомогою візира на точку, яка є найбільш віддаленою серед інших точок, але жердина чи марка, встановлена на ній, чітко видимі, наприклад точку  $A$ . Виконують фокусування зорової труби. Наводять точно перехрестя ноток на віху (марку) за допомогою навідних гвинтів горизонтального та вертикального кругів. Перевіряють та виправляють явище паралаксу. Навідним гвинтом лімба горизонтального круга встановлюють відлік за горизонтальним кругом, близький до нуля. Ще раз перевіряють наведення сітки ниток на вісь симетрії цілі та беруть відлік за горизонтальним кругом теодоліта, який дорівнює  $a$  (див. рис. 2. 34). Лімб залишають нерухомим, обертають алідаду за ходом годинникової стрілки. Послідовно наводять зорову трубу на візирні цілі, встановлені на інших точках ( $C, D$ ), та беруть відліки за горизонтальним кругом –  $c, d$ .



**Рис. 2.34.** До вимірювання горизонтального кута способом кругових прийомів

Виконують *замикання горизонту* – повторне наведення на початкову точку  $A$  та беруть відлік  $a_1$  за горизонтальним кругом. Відліки  $a$  та  $a_1$  не повинні розходитись за межі встановленого допуску. Для теодолітів модельного ряду ТЗ0 допуск складає 1'. Другий напівприйомі починають при  $KП$  з наведення зорової труби на початковий пункт – точку  $A$  (див. рис. 2.34). Беруть відлік  $a'$  за горизонтальним кругом. Далі, повертаючи зорову трубу проти годинникової стрілки, послідовно наводять її на точки  $D, C, A$ , замикаючи горизонт. Беруть відліки за горизонтальним кругом:  $d', c', a_1'$  на вказані точки. Відліки  $a'$  та  $a_1'$  не повинні розходитись за межі встановленого допуску. У розі виходу за межі допуску вимірювання у напівприйомі при  $KЛ$  чи  $KП$  виконуються повторно. Проводять обчислення середніх значень відліків у напрямках

$$a_{сер} = \frac{a + a_1 + a' + a_1' - 360^\circ}{4}, \quad (2.20)$$

$$b_{сер} = \frac{b + b' - 180^\circ}{2}, \quad (2.21)$$

$$c_{сер} = \frac{c + c' - 180^\circ}{2}. \quad (2.22)$$

Приводять середні відліки до початкового відліку  $a_{сер}$ . Для цього від кожного з середніх відліків віднімають початковий  $a_{сер}$

$$\beta_1 = b_{сер} - a_{сер}, \quad (2.23)$$

$$\beta_2 = c_{сер} - a_{сер}. \quad (2.24)$$

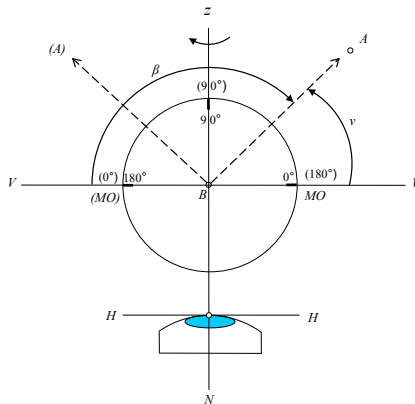
У такий спосіб обчислюють безпосередньо значення кутів відносно вихідного напрямку.

### 2.2.6. Вимірювання вертикальних кутів та кутів нахилу

У попередніх розділах вже йшла мова щодо принципу вимірювання вертикальних кутів за вертикальним кругом теодоліту. До наведеного слід додати, що вертикальний кут вимірюється для положення зорової труби  $KЛ$  та  $KП$ . Різниця між двома значеннями вертикального кута для модельного ряду приладів Т30 не повинна перевищувати  $1'$ . Визначають середнє значення у прийомі. Для підвищення точності можна виконати вимірювання кількома прийомами та визначити середнє значення.

Розглянемо докладніше принцип визначення місця нуля та кутів нахилу.

Якщо виконано перевірки приладу, то вісь  $H-H$  циліндричного рівня буде перпендикулярною до осі  $Z-N$  обертання теодоліту (рис. 2.35).



**Рис.2.35.** Визначення кута нахилу для випадку  $MO = 0^\circ$

Під час визначення кута нахилу слідкують, щоб бульбашка циліндричного рівня знаходилась у нуль-пункті.

Тоді вісь  $H-H$  циліндричного рівня займе горизонтальне положення та внаслідок виконання першої перевірки теодоліта вісь його обертання  $Z-N$  матиме вертикальне положення.

Через центр  $B$  вертикального круга пройде лінія  $V-V$  горизонту інструмента, яка перпендикулярна осі  $Z-N$  обертання приладу.

Нехай нуль шкали кутової міри, нанесеної на площині вертикального круга, співпадає з лінією  $V-V$  горизонту інструмента. Тоді місце нуля вертикального круга дорівнює нулю, як відлік за вертикальним кругом, коли візирна вісь зорової труби займає горизонтальне положення, а вісь циліндричного рівня на алідаді горизонтального (вертикального) круга знаходиться у нуль-пункті.

Для визначення кута теодоліт центрують та горизонтують над центром геодезичного пункту. Тоді центр  $B$  вертикального круга, що знаходиться на осі  $Z-N$  обертання теодоліту (див. рис. 2.35), буде проходити через центр геодезичного пункту. Зорову трубу теодоліта наводять на точку  $A$  для положення зорової труби  $KL$  (напрямок  $B-A$ ). Перевіряють положення циліндричного рівня на алідаді горизонтального (вертикального) круга відносно нуль-пункта. Беруть відлік за вертикальним кругом, який дорівнює  $v$ . (На рис. 2.35 поділки градусної міри нанесено в середині круга – для положення зорової труби при  $KL$  та назвні круга, у дужках – для положення зорової труби при  $KII$ ).

Відкріплюють закріпний гвинт горизонтального круга та повертають алідаду горизонтального круга на  $180^\circ$  навколо осі обертання приладу. Тоді візирна вісь займе положення  $B - (A)$ . Перекладають зорову трубу через zenit  $Z$  і наводять на точку  $A$ . Візирна вісь займе положення  $B - A$ . Беруть відлік  $\beta$  за вертикальним кругом.

Звичайно у геодезичній літературі та паспортах теодолітів відлік за горизонтальним кругом для положення зорової труби  $KL$  позначають літерою  $L$ , а для  $K\Pi$  – літерою  $\Pi$ . Тоді, згідно з наведеного,  $v = L$  та  $\beta = \Pi$ . З рис. 2.35 випливає, що

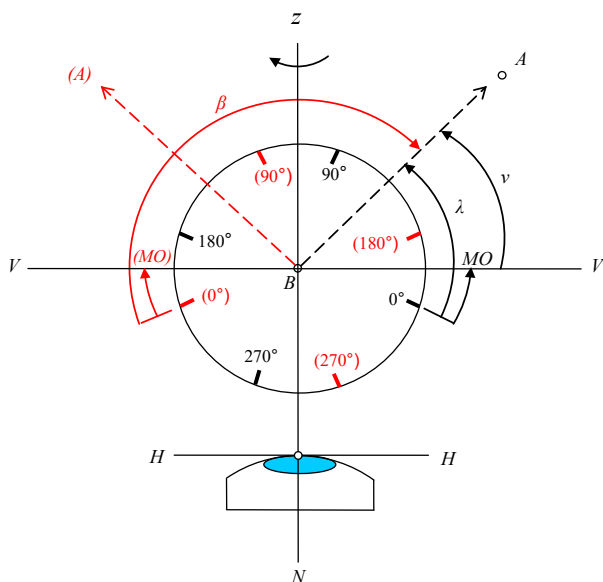
$$L + \Pi = 180^\circ, \quad (2.25)$$

$$v = 180^\circ - \Pi. \quad (2.26)$$

Нехай  $MO \neq 0$ . Після повороту зорової труби (рис. 2.36) навколо осі обертання теодоліта  $Z - N$  в положення  $K\Pi$ , підписи градусних поділок при  $KL$  відобразяться симетрично відносно осей  $Z - N$  та  $V - V$ . Підписи градусних поділок при  $K\Pi$  показано на рис. 2.36 червоним коляром у дужках.

Тоді, як видно з рис. 2.36,  $2(MO) + 180^\circ = \lambda + \beta = L + \Pi$ , звідки

$$MO = \frac{L + \Pi - 180^\circ}{2}. \quad (2.27)$$



**Рис.2.36.** Визначення кута нахилу, коли  $MO \neq 0^\circ$  для теодолітів з поділками вертикального круга від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Крім того, кут нахилу дорівнює

$$v = L - MO, \quad (2.28),$$

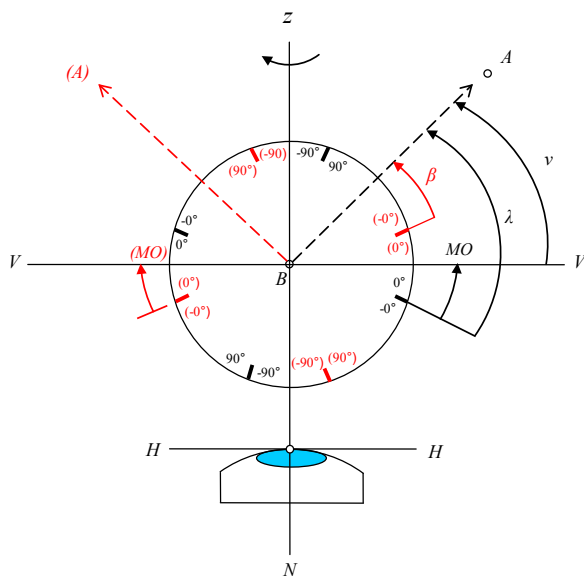
$$v = MO - \Pi + 180^\circ. \quad (2.29)$$

Підстановка (2.28) у (2.29) дозволяє отримати формулу для визначення кута нахилу у прийомі без визначення місця нуля

$$v = \frac{L - \Pi + 180^\circ}{2}. \quad (2.30)$$



Вертикальні круги теодолітів мають також підписи градусних поділок з додатними та від'ємними значеннями. На рис. 2.37 показано таку систему підписів. Відліки, які спостерігаються у відліковий мікроскоп при  $KЛ$  після наведення зорової труби на предмет  $A$  вище горизонту інструмента  $V-V$ , мають додатні значення в секторі від  $0^\circ$  до  $75^\circ$ .



**Рис.2.37.** Визначення кута нахилу для випадку, коли  $MO \neq 0^\circ$  для теодолітів з додатними та від'ємними поділками вертикального круга.

Сектор нижче горизонту інструмента має від'ємні значення від  $-0^\circ$  до  $-75^\circ$ .

Після повороту зорової труби навколо вертикальної осі обертання теодоліту  $Z-N$ , система відліку при  $KП$

відображається симетрично відносно цієї осі та відносно горизонту інструмента  $V-V$  (її позначено червоним кольором у дужках). Подібну систему відліку має, наприклад, теодоліт 2Т30.

Для подальших розрахунків необхідно врахувати перехід від від'ємного відліку  $\Pi$  при  $K\Pi$  на точку  $A$  до значення кута  $\beta$ , який відповідає цьому відліку, за формулою  $\beta = -\Pi$  та  $\lambda = L$ . Тоді, як видно з рис. 2.37,  $2(MO) - \Pi = L$ . Звідки

$$MO = \frac{L + \Pi}{2}. \quad (2.31)$$

З рис. 2.37 зрозуміло, що

$$v = L - MO, \quad (2.32)$$

$$v = \Pi - MO. \quad (2.33)$$

### **2.2.7. Джерела похибок вимірювання горизонтальних кутів**

Вимірювання горизонтальних кутів супроводжуються похибками. До них належать:

- приладові похибки;
- похибки центрування теодолітів;
- похибки центрування візирних цілей (похибки редукації);
- похибки власне вимірювання кута;
- похибки, викликані впливом зовнішніх умов.

*Приладові похибки* спричинені неточністю виготовлення теодоліта через регламентовані допуски на: виготовлення його деталей; збирання та юстування

приладу та недостатніми виправленнями під час перевірок теодоліта.

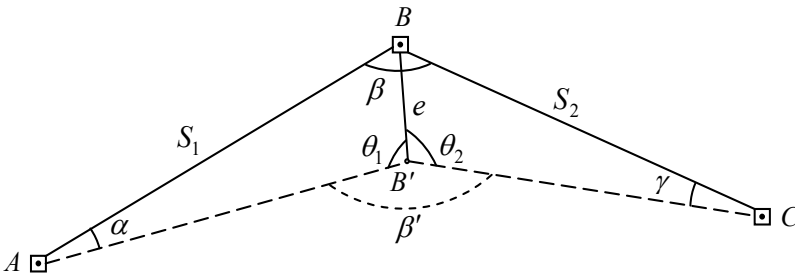
*Похибки центрування* теодоліта викликані неточністю встановлення осі обертання приладу відносно центра геодезичного пункту у горизонтальній площині.

Нехай потрібно виміряти горизонтальний кут  $ABC$  (рис. 2.38). Але теодоліт встановлено не над центром геодезичного пункту  $B$ , а на деякій горизонтальній відстані  $e$  від неї. Тоді буде виміряно кут  $AB'C$ . Користуючись теоремою синусів, значення кутів  $\alpha$  та  $\beta$  визначаються за формулами

$$\sin \alpha = \frac{e \cdot \sin \theta_1}{S_1}, \quad (2.35)$$

$$\sin \gamma = \frac{e \cdot \sin \theta_2}{S_2}. \quad (2.36)$$

де  $e$  – лінійний елемент центрування,  $\theta_1$  і  $\theta_2$  – кутові елементи центрування,  $S_1$  і  $S_2$  – горизонтальні відстані від пункту  $B$  до пунктів  $A$  та  $C$ , відповідно.



**Рис.2.38.** До похибки центрування

Якщо кути  $\alpha$  та  $\gamma$  малі за величиною, то можна визначити безпосередньо значення цих кутів з урахуванням  $\rho = 206265''$

$$\alpha = \frac{e \cdot \sin \theta_1}{S_1} \rho'', \quad (2.37)$$

$$\gamma = \frac{e \cdot \sin \theta_2}{S_2} \rho''. \quad (2.38)$$

З рис. 2.38 видно, що  $\beta' = 360^\circ - (\theta_1 + \theta_2)$ ,  $\beta = 360^\circ - (\theta_1 + \theta_2) - (\alpha + \gamma)$ . Тоді похибка за позацентрове положення осі обертання теодоліту дорівнює

$$\Delta\beta = \beta' - \beta = \alpha + \gamma = \frac{e}{\rho} \left( \frac{\sin \theta_1}{S_1} + \frac{\sin \theta_2}{S_2} \right). \quad (2.39)$$

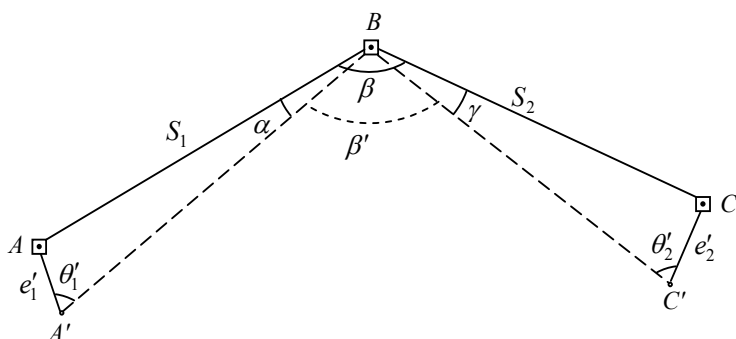
Як видно з формули (2.39) похибка  $\Delta\beta$  за позацентрове положення теодоліта буде максимальною, коли  $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ . У випадку приблизно рівних сторін  $S_1 \approx S_2 = S$  похибка  $\Delta\beta$  буде обчислюватись за формулою

$$\Delta\beta = 2 \frac{e}{S} \rho''. \quad (2.40)$$

З формули (2.40) видно, що за рівних значень лінійних елементів центрування  $e$  похибка центрування  $\Delta\beta$  буде тим більшою, чим коротші сторони має кут, що вимірюється.

*Похибки редуцції* викликані неточністю встановлення осей обертання візорних марок відносно центра геодезичного пункту у горизонтальній площині.

Нехай візирні цілі встановлено на деяких відстанях  $e'_1$  та  $e'_2$  від центрів пунктів  $A$  та  $C$ , відповідно (рис. 2.39). Тоді, замість кута  $\beta$  буде виміряно кут  $\beta'$ . Відстані  $e'_1$  та  $e'_2$ , що відповідають зсуву у горизонтальній площині осей обертання візирних цілей відносно центрів пунктів, називаються *лінійними елементами редуції*.



**Рис. 2.39.** Похибки за редуцію

Якщо виміряти *кутові елементи редуції*  $\theta'_1$  та  $\theta'_2$ , то за теоремою синусів можна записати, що

$$\sin \alpha = \frac{e'_1 \cdot \sin \theta'_1}{S_1}, \quad (2.41)$$

$$\sin \gamma = \frac{e'_2 \cdot \sin \theta'_2}{S_2}. \quad (2.42)$$

Для малих значень кутів

$$\alpha = \frac{e'_1 \cdot \sin \theta'_1}{S_1} \rho'', \quad (2.43)$$

$$\gamma = \frac{e'_2 \cdot \sin \theta'_2}{S_2} \rho'' \quad (2.44)$$

З рис. 2.39 зрозуміло, що похибка  $\Delta\beta$  у значенні кута через позацентрове положення візорних цілей з урахуванням (2.43) та (2.44) складе

$$\Delta\beta = \beta - \beta' = \alpha + \gamma = \left( \frac{e'_1 \sin \theta'_1}{S_1} + \frac{e'_2 \sin \theta'_2}{S_2} \right) \rho'' \quad (2.45)$$

Для випадку приблизно рівних відстаней  $S_1 \approx S_2 = S$ , близьких за значеннями лінійних елементів редукції  $e'_1 \approx e'_2 = e'$  та для  $\theta'_1 = \theta'_2 = 90^\circ$  максимальне значення похибки за редукцію дорівнюватиме

$$\Delta\beta = 2 \frac{e}{S} \rho'' \quad (2.46)$$

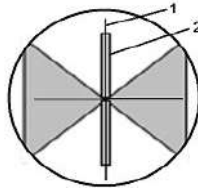
З формули (2.46) зрозуміло, що похибка у значенні горизонтального кута за редукцію візорних цілей буде тим більшою, чим меншою буде відстань між пунктами.

*Похибки власне вимірювання кута* складаються в основному з похибки візування (наведення) та похибки відлічування.

*Похибки візування (наведення)* викликана неточністю наведення сітки ниток на візорну ціль. Похибка візування залежить від яскравості зображення візорної цілі, контрасту сітки ниток на фоні зображення візорної цілі, роздільної здатності системи «око – зорова труба».

Роздільна здатність системи «око – зорова труба» характеризується формулою (2.10), де для звичайних умов спостережень приймають роздільну здатність ока  $\gamma_0 = 60''$ . При наведенні вертикальної нитки сітки ниток

1 зорової труби на бісектор візирної марки 2 (рис. 2.40) точність вимірювання горизонтального кута збільшується.



**Рис. 2.40.** Наведення сітки ниток в бісектор візирної марки

*Похибки відлічування горизонтального круга викликані неточністю окомірного поділу найменшої поділки шкали відлікового мікроскопа на 10 частин. Для найменшої поділки  $\mu$  шкали відлікового мікроскопа похибка відліку дорівнює*

$$\Delta\mu = \frac{0,5\mu}{\sqrt{3}}. \quad (2.47)$$

### **2.2.8. Електронні теодоліти**

Електронні (цифрові) теодоліти прийшли на зміну оптико-механічним.

На рис. 2.41 показано електронний теодоліт Digi Тео-2. Основними його компонентами є: об'єktiv 1, оптичний візир 2, співвісні закріпний та навідний гвинти вертикального круга 3, циліндричний рівень 4, віконце дисплея 5, електрична батарея 6, кнопки управління 7, підставка 8, круглий (установочний) рівень 9, закріпний гвинт 10 рукоятки 11, кремальєра 12, окуляр зорової труби 13, співвісні закріпний та

навідний гвинти горизонтального круга 14, інтерфейс 15, важіль-фіксатор 16, підйомний гвинт 17.



**Рис. 2.41.** Електронний теодоліт Digi Teo-2

Панель управління (рис. 2.42) електронного теодоліта DigiTeo-2 має клавіші, функції яких наведено в табл. 2.3.



**Рис. 2.42.** Панель електронного теодоліта Digi Teo-2

На дисплеї (див. рис. 2.42) наведено індикацію: дати і часу виконання вимірювання – верхній рядок, значення вертикального кута – середній рядок,



значення горизонтального кута при КП – нижній рядок. У нижньому лівому кутку віконця показано повний заряд електричної батареї.

Вимірювання відстані виконується за допомогою електронного віддалеміра, який може бути встановлений замість рукоятки 11 (див. рис. 2.41).

Центрування теодоліту Digi Teo – 2 виконується з використанням лазерного виска, промінь від якого проектується з центром геодезичного пункта.

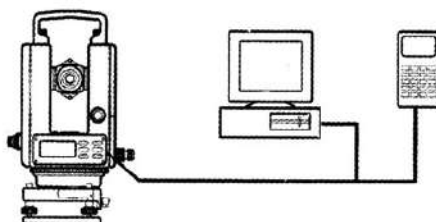
Таблиця 2.3

Функції клавіатури панелі управління Didi Teo-2

Клавіша	Функція 1	Функція 2
OSET	Встановлення горизонт. напрямку 0°00'00"	Вимірювання відстані
HOLD	Утримання значення горизон. кута	Повторне вимірювання гор. кута
SFT	Підсвічування	Вибрати функцію 2
R/L	Кут при КП/КЛ	Встановлення режиму
V%	Відображення кута у градусах чи відсотках	Введення даних
	Індикація включення	-

Теодоліт має компенсатор нахилу головної осі обертання, який функціонує в межах  $\pm 3'$  та підсвітку сітки ниток і дисплею. Зорова труба має збільшення  $30\times$  та поле зору  $1^\circ 30'$ . Середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом дорівнює  $2''$ .

Інструмент приєднується до комп'ютера за допомогою кабелю (рис.2.43) та виконується виведення (введення) даних.



**Рис. 2.43.** Кабельне з'єднання теодоліта та комп'ютера

Маса теодоліту складає 4,8 кг. Заряду акумулятора вистачає на 24 години роботи.

Багатофункціональним є електронний лазерний теодоліт SOUTH ET-05L (рис. 2.44). Теодоліт має два порти для під'єднання до нього електронного віддалеміра та персонального комп'ютера.



**Рис. 2.44.** Електронний лазерний теодоліт SOUTH ET-05L

Теодоліт обладнаний лазерним цілепоказчиком та лазерним виском. Внутрішня пам'ять може зберігати 256 записів. Теодоліт обладнаний компенсатором кутів

нахилу головної осі обертання, який працює в межах  $\pm 3'$ . Зорова труба має збільшення  $30\times$  та поле зору  $1^\circ 30'$ .

Середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом дорівнює  $5''$ . Маса разом з акумулятором та підставкою складає  $5,2$  кг. Час роботи від заряду акумулятора –  $10$  годин.

Електронний лазерний теодоліт SOUTH ET-05L, крім вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів, дозволяє виконувати розпланувальні роботи на будівельному майданчику завдяки лазерному цілепоказчику.

На рис. 2.45 показано лазерний теодоліт SLT 20.



**Рис. 2.45.** Лазерний теодоліт SLT 20

Гелій-неоновий лазер потужністю  $2$  мВт з довжиною хвилі випромінювання  $632,8$  мм і колімаційна система зі збільшенням  $30\times$  створюють світлову пляму діаметром  $5$  мм на відстані  $50$  м і  $10$  мм на відстані  $100$  м. Горизонтальні і вертикальні круги забезпечують точність відліку до  $1''$ . Ціна поділки циліндричного

рівня  $40''$ . Лазер може працювати від різних напруг змінного струму і від батареї 12В. Поворот труби через зеніт здійснюється при положеннях окуляра знизу, а об'єктива зверху відносно горизонтальної осі.

Оптична схема теодоліта SLT 20 наведена на рис. 2.46.

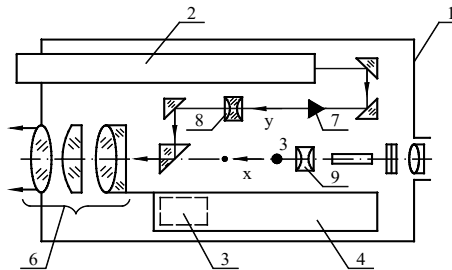


Рис. 2.46. Оптична схема теодоліта SLT 20

В середині корпусу 1 розташовані оптичні системи з осями  $x$  і  $y$ , на які надходить випромінювання від лазера 2. В корпусі також розміщені блок джерела живлення 3 і баластний опір 4. Візирна оптична система може обертатись навколо горизонтальної осі 5, яка знаходиться на осі  $x$  і є до неї перпендикулярною. Вісь оптичної системи лазера сполучається з візирною системою в точці, яка розташована перед об'єктивом 6. Корегування цих осей виконується поперечним переміщенням лінзи 7. Фокусуючі лінзи 8 і 9 мають переміщення на рівні відстані уздовж осей.

### **Питання для самоконтролю**

1. *Що таке істинне значення фізичної величини?*
2. *Що таке умовно істинне значення фізичної величини?*
3. *Що таке істинна похибка?*
4. *Що характеризує середня квадратична похибка?*
5. *Що є горизонтальний та вертикальний кути?*
6. *Що є кут нахилу напрямку?*
7. *Що є місце нуля вертикального круга?*
8. *Що таке ціна поділки рівня?*
9. *Що називається нуль-пунктом рівня?*
10. *Назвіть оптичні характеристики зорової труби.*
11. *Що таке центрування геодезичного приладу?*
12. *Що означає маркування приладу 2Т5К?*
13. *Назвіть перевірки теодоліту та вкажіть порядки виконання та виправлення.*
14. *Які є способи вимірювання горизонтальних кутів та їх особливості?*
15. *Порядок визначення місця нуля та кута нахилу.*
16. *Джерела похибок вимірювання горизонтальних кутів.*
17. *Чим відрізняються цифрові теодоліти від оптико-механічних.*

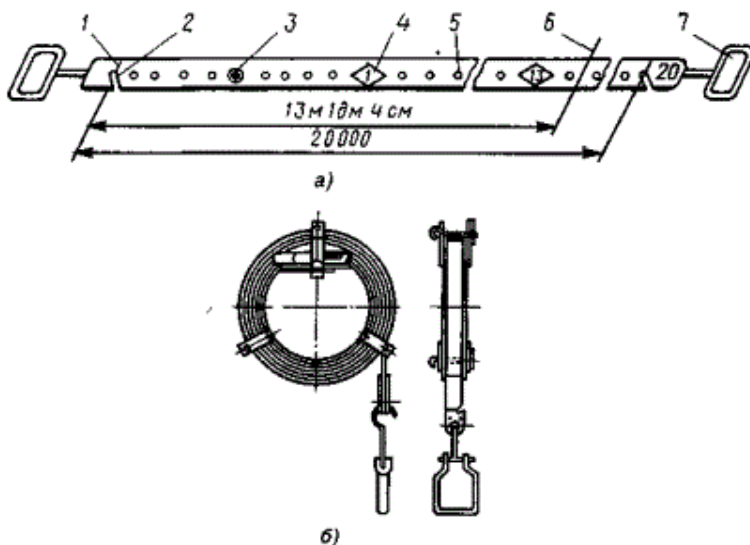
### **2.3. Вимірювання довжин ліній**

Вимірювання ліній на місцевості можуть виконуватися шляхом відкладання мірного приладу в створі вимірюваної лінії та непрямим методом. В останньому випадку застосовують спеціальні віддалеміри, або вимірюють допоміжні параметри (кути, базиси), а довжину обчислюють за формулами.

### 2.3.1. Прилади для безпосереднього вимірювання ліній

Для вимірювання довжин ліній за допомогою відкладання мірного приладу використовують сталеві мірні стрічки, які зазвичай виготовляють з стрічкової вуглецевої сталі. В геодезичній практиці на сьогоднішній день ще застосовуються штрихові і шкалові стрічки.

Штрихові стрічки (рис. 2.46, а) мають довжину 20 і 24 м, ширину 15 – 20 мм і товщину 0,3 – 0,4 мм.



**Рис. 2.46.** Мірна стрічка: а – сталева штрихова; б – змотана стрічка на металевому ободі

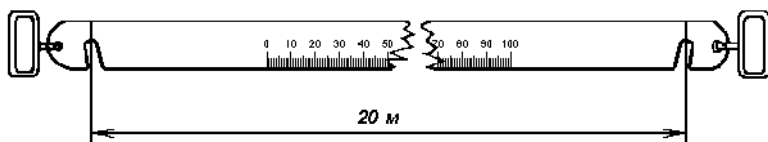
На рис. 2.46: 1 – початковий штрих, який відповідає відліку 0,00 м; 2 – виріз, в який встромляється шпилька для фіксації стрічки;

3 – клепка, яка відповідає 0,5 м; 4 – металева пластина з написом числа метрів; 5 – отвір, який відповідає дециметровим поділкам; 6 – відлік стрічки, який дорівнює 13,14 м (відлік у сантиметрах береться «на око» поділом відстані між дециметровими отворами на 10 рівних частин); 7 – ручка для утримання та натягу полотна стрічки.

Для транспортування мірна стрічка накручується на металевий ободок, а вільний кінець її фіксується гвинтом.

До стрічки додається 10 або 11 шпильок на кільці. Шпильки зроблені зі сталевого дроту діаметром 5 – 6 мм і довжиною 30 - 40 см.

Шкалова стрічка (рис. 2.47) випускається довжиною 20 – 24 м, шириною 6 – 10 мм і товщиною 0,15 - 0, 20 мм. На обох кінцях стрічки, в межах другого дециметра, є міліметрові шкали довжиною по 100 мм кожна.



**Рис. 2.47.** Шкалова мірна стрічка

Слід зауважити, що під час вимірювання відстані з використанням мірних стрічок слід уникати згину полотна у вигляді петлі. Це може призвести до зламу полотна стрічки.

Для вимірювання невеликих відстаней застосовують сталеві та тесьмяні рулетки довжиною 5, 10, 20, 50 м.

Поділки на рулетках нанесені на одній стороні через 1 мм (рис. 2 48).



**Рис. 2.47.** Рулетки

Змотана рулетка може розміщуватись в металевому або пластиковому футлярі.

### **2.3.2. Компарування мірних стрічок і рулеток**

Мірні стрічки і рулетки перед виміром ними ліній повинні бути перевірені. *Компарування* полягає у встановленні дійсної довжини мірного приладу шляхом його порівняння зі зразковим приладом, довжина якого точно відома.

Компарування виконують в Українському центрі стандартизації і метрології (УкрЦСМ), який знаходиться у м. Києві, або в відділеннях обласних центрів. Для компарування мірних стрічок використовують і польові компаратори.

Для компарування штрихових стрічок за взірцевий мірний прилад приймають одну зі стрічок, наявних на виробництві, довжину якої вивірено в лабораторії Центру стандартизації і метрології за відповідними стандартами і вимірювальною технікою і



користуються нею при порівнянні з робочими стрічками. Компарування шкалових стрічок виконують на спеціальних приладах, що називаються стаціонарними компараторами.

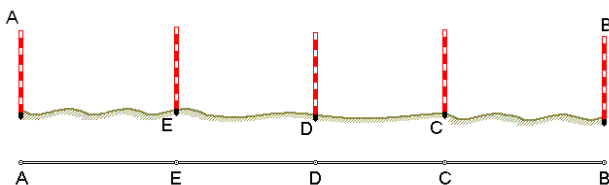
Найпростіший спосіб компарування штрихових стрічок полягає в наступному. На горизонтальній поверхні, наприклад, на підлозі, укладають взірцеву стрічку. Поруч з нею кладуть стрічку, що перевіряється так, щоб їх краї торкалися одне одного, а нульові штрихи поєднувалися. Затиснувши між собою кінці з нульовими штрихами, стрічки натягують з однаковим зусиллям і вимірюють міліметровою лінійкою величину розбіжності кінцевих штрихів на інших кінцях стрічок. Дана величина називається *поправкою за компарування*  $\Delta l$  і показує на скільки міліметрів робоча стрічка коротша або довша взірцевої. Довжина 20-метрової стрічки, що перевіряється, не повинна відрізнятись від довжини взірцевої стрічки більш ніж на  $\pm 2$  мм (знак « - » перед поправкою вказує на те, що робоча стрічка коротша контрольної та «+», якщо довша). В іншому випадку в результати вимірювання ліній вводять поправки. При цьому, виконуючи вимірювання ліній робочою стрічкою, вважають, що її довжина дорівнює 20 м. Поправки на 1 метр робочої стрічки визначають за формулою

$$\Delta l_k = \frac{\Delta l}{20}. \quad (2.48)$$

Поправку вираховують із результатів вимірювання, коли робоча стрічка коротша взірцевої, і додають, коли вона довша.

### 2.3.3. Вимірювання довжин ліній мірними стрічками

Пряму лінію на місцевості зазвичай позначають двома віхами, встановленими на її кінцях. Якщо довжина лінії перевищує 100 м або на якихось її ділянках не видно між собою встановлені віхи, то з метою зручності та підвищення точності вимірювання її довжини використовують додаткові віхи. Їх встановлюють в уявній вертикальній площині, що проходить через дану лінію. Цю площину називають *створом лінії*. Встановлення віх у створі даної лінії називається *провішуванням лінії* (рис. 2.48).



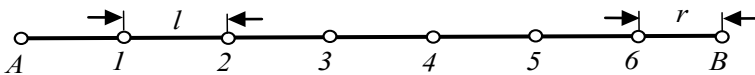
**Рис. 2.48.** Провішування лінії

Провішування лінії може проводитися на око, за допомогою польового бінокля або зорової труби приладу. Провішування зазвичай ведуть «на себе». Спостерігач стає позаду віхи А (див. рис.2.48), а робітник за його вказівкою ставить віху в точку С так, щоб вона закривала собою віху В, встановлену на іншому кінці лінії. Таким же чином послідовно встановлюють віхи в точках D і E.

Встановлення віх в зворотному напрямку (від себе), є менш точним, оскільки раніше виставлені віхи закривають видимість на наступні. Більш точно віхи в створ виставляють теодолітом, встановленому в точці А і зорієнтованому на віху В.

Вимірювання ліній сталевую стрічкою проводиться двома виконавцями. Один з них знаходиться в початковій точці лінії і називається заднім вимірювачем, інший - переднім.

Для вимірювання лінії АВ (рис. 2.49) стрічку розмотують і укладають вздовж лінії. З одинадцяти шпильок передній вимірювач бере собі десять, залишаючи одну задньому вимірювачу. Задній вимірювач встромляє шпильку в землю поруч з кілочком, що позначає початок А вимірюваної лінії, і зачіплює за неї кінець стрічки. Орієнтуючись виставленими на лінії віхами, направляє переднього вимірювача так, щоб стрічка лягла в створі лінії АВ. Передній вимірювач, струснувши стрічку, натягує її і через виріз в кінці стрічки вертикально фіксує першу шпильку, міцно встромивши її в землю (точка 1).



**Рис. 2.49.** Вимірювання відстані АВ

Залишивши шпильку в точці 1, передній вимірювач протягає стрічку вперед вздовж лінії, поки задній не дійде до цієї шпильки. Далі, від точки 1 відкладають стрічку вдруге, і передній вимірювач виставляє на лінії другу шпильку в точці 2. Потім задній вимірювач виймає першу і бере її з собою, а передній залишає шпильку в точці 2 і протягає стрічку вперед і т.д. дійшовши до точки В. Передній вимірювач протягає стрічку далі в продовження лінії та відраховується довжина залишку (доміру)  $r$  (відрізок  $6 - B$ ). Після закінчення вимірювання

підраховують шпильки у заднього вимірювача. За їх кількістю визначають число укладених стрічок. В даному прикладі їх було шість. Якщо довжина стрічки 20 м і залишок виявився рівним, наприклад, 7,84 м, то вся довжина лінії АВ дорівнюватиме:  $20 \text{ м} \cdot 6 + 7,84 \text{ м} = 127,84 \text{ м}$ .

Загальна формула для обчислення довжин ліній, виміряних штриховою мірною стрічкою, має вигляд

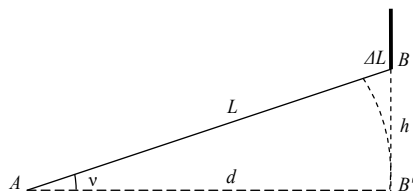
$$L = 100\text{м} \cdot n + 20\text{м} \cdot k + r, \quad (2.49)$$

де  $n$  – число передач шпильок,  $k$  – число шпильок у заднього вимірювача,  $r$  – залишок(домір).

### 2.3.4. Врахування поправок у виміряну відстань

Мірними стрічками вимірюється відстань на місцевості, яка може бути похилою. В цьому випадку у виміряну відстань необхідно внести поправку  $\Delta L_v$  за нахил місцевості.

Нехай лінія АВ (рис. 2.50) має нахил до горизонту  $v$ .



**Рис. 2.50.** Визначення горизонтального прокладення (проекції) виміряної лінії

Горизонтальне прокладення (проекція)  $d$  виміряної похилої лінії АВ довжиною  $L$  буде визначено з прямокутного трикутника  $ABB'$  за формулою

$$d = L \cos v. \quad (2.50)$$

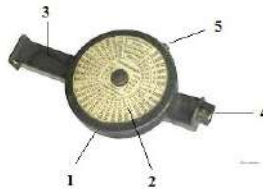
Можна також обчислити поправку  $\Delta L$  за нахил лінії до горизонту

$$\Delta L_v = d - L = L \cos v - L = -L(1 - \cos v) = -2L \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (2.51)$$

З формули (2.51) видно, що поправка має від'ємне значення оскільки при переході від похилої відстані до горизонтального прокладення її довжина зменшується на величину поправки.

Кут нахилу лінії і окремих її ділянок визначають за допомогою вертикального круга теодоліта або спеціального приладу - *екліметра* (рис. 2.51).

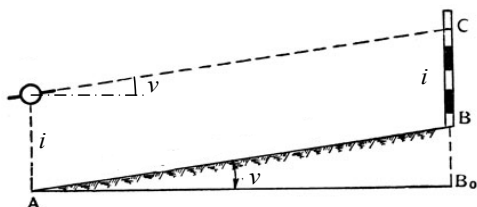
В основу конструкції екліметра покладений принцип маятника. У корпусі 1 екліметра навколо горизонтальної осі обертається кільце, на якому нанесені градусні поділки 2 в обидва боки від  $0^\circ$  до  $60^\circ$ . До кільця прикріплений тягарець, під дією якого нульовий діаметр шкали встановлюється горизонтально. Для візування до корпусу прикріплена трубка 3, що має на одному кінці очний діоптр 4, а на другому кінці - металеву нитку, що є предметним діоптром. 5 - стопорна кнопка тягарця.



**Рис. 2.51.** Зовнішній вигляд екліметра

Вимірювання кута нахилу виконується таким чином. Спостерігач з екліметром стає у точку  $A$ , а у

точці  $B$  встановлюється віха, на якій позначена висота приладу  $i$  - висота ока спостерігача над точкою  $A$  місцевості (рис. 2.52).



**Рис. 2.52.** Вимірювання кута нахилу місцевості екліметром

Через проріз очного діоптра спостерігач наводить нитку предметного діоптра на мітку віхи і звільняє тягарець маятника стопорною кнопкою 5 (див. рис. 2.51). Коли коливання кільця заспокоються, спостерігач стопорить його і бере відлік за шкалою кутів нахилу  $v$ . Для контролю кут нахилу визначають двічі, у прямому та зворотному напрямках і з них беруть середнє значення. Можна точніше виміряти кут нахилу теодолітом - для чого теодоліт встановлюють над точкою  $A$ , приводять його у робочий стан та вимірюють висоту інструмента  $i$  (див. розділ 2.2.6).

Таким чином, довжина виміряної відстані у загальному випадку буде дорівнювати

$$L' = L + \Delta L_v + \Delta L_K + \Delta L_t, \quad (2.52)$$

де  $\Delta L_v$  - поправка за нахил місцевості, яка визначається за формулою (2.51),  $\Delta L_K$  - поправка за компарування мірної стрічки, яка дорівнює

$$\Delta L_K = L \cdot \Delta l_k, \quad (2.53)$$

де  $\Delta l_k$  - поправка на 1 метр мірної стрічки, обчислюється за формулою (2.48) та  $\Delta L_t$  - поправка за температуру, яка обчислюється за формулою

$$\Delta L_t = L \cdot \alpha(t - t_k), \quad (2.54)$$

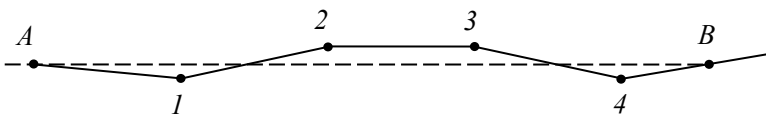
де  $\alpha$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу рулетки ( $\alpha=0,000125$  - для сталі),  $t, t_k$  - температура вимірювання відстані та компарування, відповідно. Для отримання технічної точності вимірів поправку за нахил місцевості не вводять, якщо кут нахилу місцевості  $v \leq \pm 2^\circ$  та за температури, коли  $(t - t_k) \leq \pm 8^\circ$ .

### **2.3.5. Похибки вимірювання ліній мірними стрічками**

До таких похибок відносяться:

- залишкові похибки, які присутні після компарування мірної стрічки та знаходяться в межах 0,2 – 0,5 мм;

- похибки за неточне укладання стрічки в створ лінії, внаслідок чого (рис. 2.53) виконується вимірювання не довжини лінії  $AB$ , а ломаної лінії  $A-1-2-3-4-B$ , яка буде довша прямої  $AB$ ;



**Рис. 2.53.** Реальне укладання стрічки в створ лінії  $AB$

-похибка за викривлення стрічки, яка виникає під час вимірювань по траві та чагарниках, у вітряну погоду, що веде до викривлення полотна стрічки у вигляді дуги чи згинів та збільшення значення виміряної лінії;

-похибки за провисання чи прогин полотна стрічки на рельєфі місцевості (рис. 2.54), що збільшує результат вимірювання;

-похибка за натяг стрічки, викликана еластичністю матеріалу полотна стрічки, для запобігання якої використовують пружинний динамометр, яким вимірюють силу натягу, що регламентована у 10 кг;

-похибка за вплив температури, яка веде до збільшення результату вимірювання для температур, менших за температуру компарування, та до зменшення результату вимірювання для температур, більших за температуру компарування, яка зменшується за рахунок поправки, обчисленої за формулою (2.54), де температуру стрічки вимірюють накладанням термометра на стрічку;



**Рис. 2.54.** Провисання та прогин полотна стрічки

-похибка, яка викликана особливістю ґрунту, поверхнею якого виконуються вимірювання лінії, що веде до різної сили тертя та величини зміщення шпильок під час натягу стрічки (особливо великі зміщення шпильок на пісках);

-похибки за нахил лінії до горизонту. Якщо у формулі (2.51) прийняти  $\sin^2 \nu \approx \nu_2$  та виразити кут  $\nu$  з радіанної міри у градусну за формулою  $\nu = \nu^\circ / 57,3^\circ$ , то



що для відносної точності вимірювання лінії штриховою мірною стрічкою  $\Delta L/L=1:2000$ , складе  $\nu = 1,8^\circ = 2^\circ$ . Тому для кутів нахилу місцевості до  $2^\circ$  поправка за нахил лінії не враховується.

$$\nu^\circ = 57,3^\circ \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta L}{L}}, \quad (2.55)$$

Штриховою мірною стрічкою вимірюють довжини ліній з відотною точністю 1:1000 – 1:2000, і, навіть 1:3000.

Шкаловою мірною стрічкою вимірюють довжини ліній з відотною точністю 1:5000 – 1:10000, якщо використовується динамометр для натягу стрічки та враховується температура стрічки.

Аналогічну точність можна отримати під час вимірювання відстаней рулеткою з міліметровими поділками - за тих же умов. Зрозуміло, що стрічка чи рулетка – компаровані.

За відносну точність вимірювання відстані береться різниця значень відстані  $\Delta L$ , яка виміряна в прямому напрямку -  $L'$  та зворотному напрямку -  $L''$ , що віднесена до середнього значення  $L = 0,5(L' + L'')$ . Тож

$$\frac{L' - L''}{L} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta L / \Delta L}{L / \Delta L} = \frac{1}{L / \Delta L}. \quad (2.56)$$

### **2.3.6. Вимірювання недоступних відстаней**

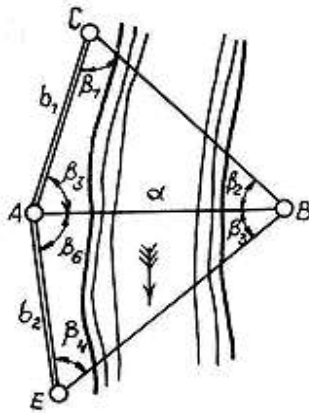
У геодезичній практиці зустрічаються випадки, коли відстань неможливо виміряти безпосередньо мірною стрічкою. Наприклад, необхідно виміряти відстань між точками  $A$  та  $B$ , розташованих на протилежних берегах річки (рис. 2.55).

Для цього на одному з берегів у точках  $A, C, E$  забивають у землю кілочки та у торці кілочків забивають цвяхи. Відстані кілочків у точках  $C$  та  $E$  від точки  $A$  вибираються приблизно рівними відстані  $AB$ , яка визначена «на око». Точку  $B$  теж закріплюють кілочком, якщо це не є фізичний об'єкт, до якого вимірюється відстань.

На кілочок у точці  $B$  встановлюють вертикально віху на розтяжках, або центрують штатив з візирною маркою.

У точках  $C, A, E$  послідовно встановлюють теодоліт та вимірюють горизонтальні кути:  $\beta_1, \beta_3, \beta_6, \beta_4$ .

Між точками  $A$  і  $C$  та  $A$  і  $E$  вимірюють стрічкою відстані, вертикальні кути та приводять виміряні відстані до горизонту (див. 2.3.4). Отримують горизонтальні відстані  $b_1$  та  $b_2$ , які називають *базисами*.



**Рис. 2.55.** Визначення відстані через водну перешкоду  
З рис. 2.55 зрозуміло, що

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 &= 180^\circ - (\beta_1 + \beta_3) \\ \beta_5 &= 180^\circ - (\beta_4 + \beta_6) \end{aligned} \right\} \quad (2.57)$$

За теоремою синусів та з урахуванням (2.57) двічі обчислюється відстань  $AB$

$$\left. \begin{aligned} d' &= \frac{b_1}{\sin \beta_2} \sin \beta_1 = \frac{b_1 \sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_3)} \\ d'' &= \frac{b_2}{\sin \beta_5} \sin \beta_4 = \frac{b_2 \sin \beta_4}{\sin(\beta_4 + \beta_6)} \end{aligned} \right\}. \quad (2.58)$$

Різниця  $\Delta d = d' - d''$  повинна бути в межах заданої точності. Далі, знаходять середнє значення, яке приймають за остаточну відстань  $d$  між точками  $A$  та  $B$

$$d = 0,5(d' + d''). \quad (2.59)$$

### 2.3.7. Нитковий віддалемір

Нитковий віддалемір досить розповсюджений. Ним обладнані зорові труби багатьох теодолітів та нівелірів. Конструктивно нитковий віддалемір існує у вигляді двох паралельних штрихів 6 (див. рис. 2.8), нанесених на скляній платівці сітки ниток 2.

Схема вимірювання відстані за допомогою ниткового віддалеміра показана на рис. 2.56.

Для визначення довжини лінії  $AB$  на точці  $B$  встановлюється вертикально рейка 1 з сантиметровими поділками, а над точкою  $A$  центрується та горизонтується теодоліт так, щоб вертикальна вісь його обертання 2 збігалася з точкою  $A$  (див. рис. 2,56).

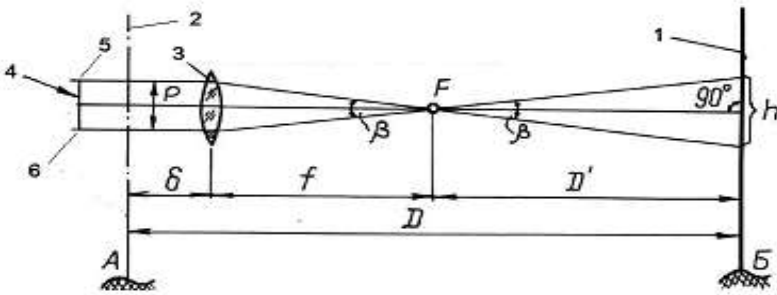
Зорову трубу наводять об'єктивом 3 на рейку. Сітка ниток 4 має дві віддалемірні нитки 5 та 6, які проектується на рейку 1, утворюючи на рейці відрізок  $h$ . Відстань  $D$  між точками  $AB$  дорівнює

$$D = D' + f + \delta \quad (2.60)$$

де  $f$  - фокусна відстань об'єктива зорової труби,  $\delta$  - відстань від головної площини об'єктива до осі обертання інструменту.

Значення величини  $f + \delta = c = const$  називається константою (постійною) віддалеміра і наводиться у його паспорті.

Величина  $D'$  визначається за формулою (див. рис. 2.56)



**Рис. 2.56.** Схема вимірювання відстаней за допомогою ниткового віддалеміра

$$D' = 0,5h \cdot ctg\frac{\beta}{2}. \quad (2.61)$$

Кут  $\beta$  є величиною постійною і називається паралактичним кутом. Тому можна виділити наступну постійну величину  $K$

$$K = 0,5ctg\frac{\beta}{2}. \quad (2.62)$$

Тоді

$$D = K \cdot h + c \quad (2.63)$$

Для більшості типів віддалемірів  $K = 100$ . Значення  $K$  також вказується у паспорті приладу.

Значення  $c$  враховується для коротких відстаней, які складають кілька метрів. Для більших віддалей постійна віддалеміра, як правило, не враховується, а тому у цьому випадку віддаль дорівнює

$$D = K \cdot h. \quad (2.63)$$

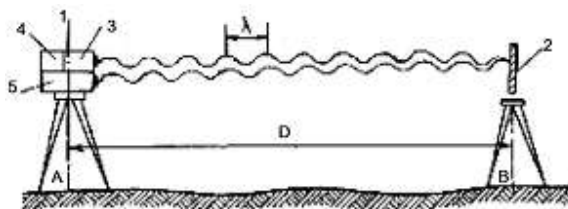
Якщо  $K = 100$ , то коли  $b$  віддалемірні нитки проектувались на 1 см рейки, то відстань дорівнювала  $b$   $D = 100 \cdot 1 \text{ см} = 100 \text{ см} = 1 \text{ м}$ . Тобто одному сантиметрові на рейці відповідає 1 м відстані. Оскільки за рейкою з сантиметровими поділками можна брати відлік до 0,1 см, то і відстань можна визначати нитковим віддалеміром з найменшим розрядом 0,1 м.

Відносна похибка вимірювання відстані за допомогою ниткового далекоміра складає 1:200 – 1:400.

### ***2.3.8. Світловіддалеміри та радіовіддалеміри***

Застосування світловіддалемірів та радіовіддалемірів дозволяє значно прискорити процес визначення значних за величиною відстаней.

Принципова схема вимірювання відстаней світло – або радіовіддалемірами наведена на рис. 2.57.



**Рис. 2.57.** Схема вимірювання відстаней світло – або радіовіддалемірами

Для вимірювання відстані над точками *A* та *B* встановлюються (приводяться у робочий стан) світло – або радіовіддалемір 1 та відбивач 2, у приладі 2 генеруються електромагнітні коливання та від передавача 3 посиляються на дистанцію. Для світловіддалемірів використовують оптичний діапазон електромагнітного випромінювання, а для радіовіддалемірів – радіодіапазон.

Одночасно з виходом коливань на дистанцію вмикається вимірювальний пристрій 4.

Після відбиття коливань від відбивача 2, вони знову проходять дистанцію та потрапляють до приймача 5 віддалеміра 1 де підсилюються та вмикають вимірювальний прилад 4.

Якщо вимірювальний пристрій фіксує час *t* перебування сигналу на дистанції, то такий метод вимірювання відстані названо *імпульсним*. Тоді відстань *D* (див. рис. 2.57) дорівнює

$$D = 0,5v \cdot t, \quad (2.64)$$

де *v* - швидкість електромагнітного випромінювання на дистанції вимірювання відстані.

Якщо ж вимірювальний пристрій фіксує різницю фаз між сигналом, що прийшов з дистанції та сигналом, що вийшов на дистанцію, то виміряна відстань визначається за формулою

$$D = 0,5\lambda(N + \Delta N), \quad (2.65)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі світлового випромінювання (див. рис. 2.57),  $N$  - число цілих довжин хвиль та  $\Delta N$  - частка довжини хвилі, що містяться в подвійній дистанції.

Частка  $\Delta N$  фіксується вимірювальним пристроєм, що дістав назву *фазометра*, а метод вимірювання відстані названо *фазовим*. Число цілих довжин хвиль  $N$  визначається аналітично з результатів вимірювання відстані на кількох діапазонах хвиль світлового випромінювання.

У виміряну відстань електронними віддалемірами вводяться поправки за температуру, тиск та вологість повітря на дистанції.

Точність вимірювання відстаней електронними віддалемірами характеризується рівнянням

$$m_S = a + b \cdot S_{км}, \quad (2.66)$$

де  $a$ ,  $b$  - коефіцієнти,  $S_{км}$  - відстань, виражена у кілометрах.

Відповідно до ДСТУ 19223-90 світловіддалеміри мають наступну класифікацію, яка подана в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

## Класифікація світловіддалемірів

Група світловіддалемірів	Значення параметрів точності		Межа вимірювання відстані, км	
	<i>a</i> , мм	<i>b</i> , мм	мінімальна	максимальна
СГ	1; 5	1; 2	0,1	понад 20
СП	0,1; 0,5; 1,0; 2,0	0,1; 0,5; 1,0; 2,0	0,001	1-5
СТ	5; 10	3; 5	0,001*; 0,002	1-15
СТД	20		0,002	0,1-0,5

\* Для насадок на теодоліти

Позначення табл. 2.3 означають:

-СГ – світловіддалемір геодезичний для вимірювання великих відстаней;

-СП – світловіддалемір підвищеної точності;

-СТ – світловіддалемір топографічний, для знімання місцевості;

-СТД – світловіддалемір топографічний з дифузним відбиттям від предметів;

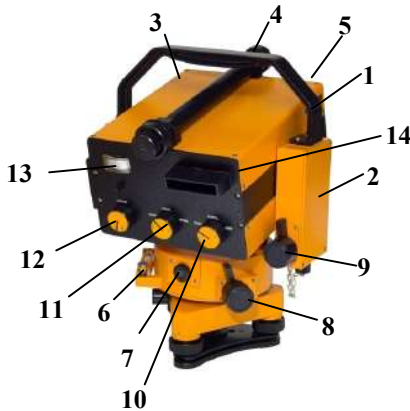
-*a*, *b* – коефіцієнти рівняння точності (2.66).

Після букв, які вказують на групу світловіддалеміра, додаються цифри, що означають максимальну відстань вимірювання.

Свого часу у практиці геодезичних робіт застосовувалися світловіддалеміри: СТ-5 з точністю вимірювання відстаней  $m_S = 10\text{мм} + 5\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ ; 2СТ-10 з точністю вимірювання відстаней  $m_S = 5\text{мм} + 3\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ ; СП-22 з точністю вимірювання відстаней  $m_S = 1\text{мм} + 1\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ ; СП-03 з точністю вимірювання відстаней  $m_S = 0,8\text{мм} + 1,5\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$ .



На рис. 2.58 показано зовнішній вигляд світловіддалеміра СТ-5.



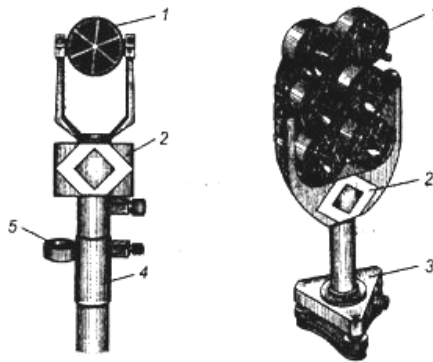
**Рис. 2.58.** Зовнішній вигляд світловіддалеміра СТ-5

Корпус 1 приладу прикріплено до колонок 2, які у верхній частині мають ручку 3 для перенесення приладу.

Для наведення на відбивач, що розташований на протилежній точці вимірювання відстані, до корпусу 1 прикріплено колімаційний візир 4. Через об'єктив 5 випромінюється сигнал на дистанцію та приймається сигнал, що надходить від відбивача. Прилад горизонтується за допомогою циліндричного рівня 6 та центрується над центром геодезичного пункту за допомогою оптичного виска 7. Для наведення світловіддалеміра на відбивач слугують навідні та закріпні гвинти 8 та 9. Перемикач 10 виконує функції ввімкнення та вимкнення пристрою, перемикає в режими наведення на відбивач та рахунок вимірюної відстані. Перемикач 11 використовується для вимірювання відстані в режимі «точно» та «грубо» і для

контролю роботи світловіддалеміра. Рукояткою гвинта 12 регулюється потужність прийнятого сигналу з дистанції, що контролюється мікроамперметром 13. Значення вимірної відстані зчитується візуально з дисплею 14. Світловіддалемір у вигляді, наведеному на рис. 2.58 праворуч, встановлюється поверх колонок теодолітів серій Т2 і Т5 для виконання лінійних вимірювань.

В комплект світловіддалеміра СТ-5 входять відбивачі (рис. 2.59).



**Рис. 2.59.** Відбивачі з комплекту світловіддалеміра СТ-5

Для вимірювання відстаней до 1,5 км застосовується віха (на рис. 2.59 - ліворуч), яка має відбивач 1 у вигляді трипельпризми, візирну марку 2 – для кутових вимірювань, коли світловіддалемір встановлено на теодоліт, штангу 4, яка закінчується в нижній частині наконечником конічної форми – для встановлення над центром геодезичного пункту та круглий рівень 5 - для центрування. Для вимірювання відстаней до 3 км в комплекті міститься 6-призмий відбивач (на рис. 2.59

- праворуч), який встановлюється у підставці 3, попередньо зцентрований над геодезичним пунктом за допомогою оптичного виска. Вимірювання відстаней до 4 км і 5 км виконується на 12- та 18- призмові відбивачі.

Виготовляються також світловіддалемірні насадки до теодолітів. Прикладом таких пристроїв є серія насадок Wild Distomat, виготовлених у Швейцарії. Насадки встановлюються як на оптичні, так і на електронні теодоліти - рис. 2 60.



**Рис. 2.60.** Віддалемірна насадка Wild Distomat

Технічні характеристики деяких віддалемірних насадок Wild Distomat наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Різновиди насадок Wild Distomat

Назва	Максимальна відстань, км	Точність, мм	Час одного виміру, сек	Вага, кг
DI 1000	0,8	$5+5 \cdot S_{KM}$	5	1,1
DI 2000	2	$1+1 \cdot S_{KM}$	4	1,2
DI 3000	6	$5+1 \cdot S_{KM}$	3,5	1,7
DI 3000S	9	$3+1 \cdot S_{KM}$	3,5	1,7

Значення вимірної відстані зчитують з екрану монітора – рис. 2.61.



**Рис. 2.61.** Передня панель насадки Wild Distomat

Для вимірювання значних відстаней, які сягають десятки та сотні кілометрів, застосовуються радіовіддалеміри.

Зовнішній вигляд радіовіддалеміра Дістомат DI50 наведено на рис. 2.61.



**Рис. 2.61.** Польові роботи з використанням радіовіддалеміра Дістомат DI50

Характеристики деяких з них наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6

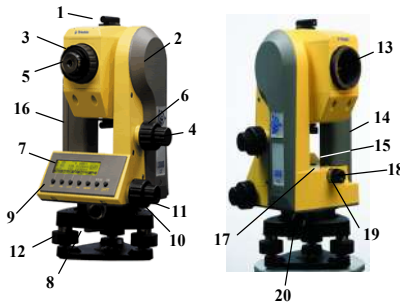
Характеристики радіовіддалемірів

Назва	Відстань, км		Точність, мм	Вага, кг
	мінімальна	максимальна		
Дістомат DI50	0,1	100	$20+1 \cdot S_{\text{км}}$	22
Телурометр	0,03	50	$10+1 \cdot S_{\text{км}}$	38
РЕМ-2	0,1	100	$30+3 \cdot S_{\text{км}}$	13,5
Луч	0,2	40	$30+3 \cdot S_{\text{км}}$	80

**2.3.9. Електронні тахеометри**

Електронний тахеометр поєднує у собі електронний теодоліт і світловіддалемір. В такому виконанні електронні тахеометри дозволяють вимірювати горизонтальні та вертикальні кути і відстані. Крім того, вони мають значний обсяг пам'яті та процесор, що дозволяє запам'ятовувати значні обсяги інформації про результати вимірювання та виконувати обчислення різноманітних геодезичних задач.

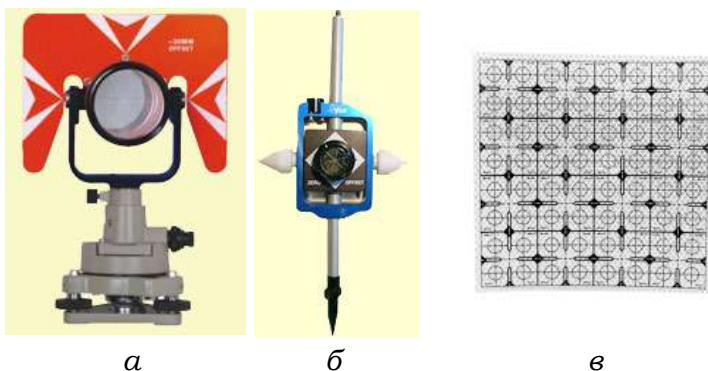
На рис. 2.62 наведено зовнішній вигляд електронного тахеометра Trimble 3305 DR.



**Рис. 2.62.** Зовнішній вигляд електронного тахеометра Trimble 3305 DR

До його складу входять: коліimatorний візир 1; мітка осі обертання труби 2; кремальєра 3; закріпний гвинт зорової труби 4; окуляр зорової труби 5; навідний гвинт зорової труби 6; дисплей 7; оптичний висок 8; клавіатура 9; навідний гвинт аліадади горизонтального круга 10; закріпний гвинт аліадади горизонтального круга 11; підйомний гвинт 11; об'єktiv зорової труби 13; замок акумулятора 14; циліндричний рівень аліадади горизонтального круга 15; акумулятор 16; круглий рівень 17; оптичний висок 18; виправні гвинти оптичного виска 19; закріпний гвинт підставки 20.

Вимірювання відстані виконується на відбивачі (рис. 2.63), а у безрефлекторному режимі – за рахунок дифузного відбиття від об'єкту вимірювання, або ж від спеціальних плівок, які наклеюються на об'єкт.



**Рис. 2.63.** Відбивачі для електронних тахеометрів: *а* – який встановлюється на штатив, *б* – переносного типу, *в* – відбивна плівка

В табл. 2.7 наведено технічні характеристики деяких електронних тахеометрів.

Таблиця 2.7

## Характеристики електронних тахеометрів

Назва	Точність вимірювання відстані, мм		Точність вимірювання кутів	Вага, кг
	на відбивач	на плівку		
Trimble M3	$3+2 \cdot S_{KM}$	$5+2 \cdot S_{KM}$	3"/5"	5,4
SET1030R3	$2+2 \cdot S_{KM}$	$3+2 \cdot S_{KM}$	1"	5,9
FOCUS™ 4	$3+2 \cdot S_{KM}$	$5+2 \cdot S_{KM}$	5"/7"	4,96
KTS-582L	$2+2 \cdot S_{KM}$	$5+3 \cdot S_{KM}$	2"/5"	6,0

Останнім часом на ринок геодезичних приладів почали надходити роботизовані тахеометри. Головною особливістю роботизованих тахеометрів є дистанційне керування їх роботою.

На рис. 2.64 показано роботизований тахеометр Leica TS 15. Комплект тахеометра, куди входить сам тахеометр 1, який має приймально-передавальний пристрій та обладнаний антеною 2 для передачі інформації на контролер 3 відбивача 4. Відбивач 4 встановлюється на точку, координати якої треба визначити та приводиться у вертикальне положення за круглим рівнем 5. Вимірювання відстані, горизонтального та вертикального кута виконується на призму 6, яка дозволяє відбивати лазерний промінь від тахеометра в секторі 360°.

Керування роботою тахеометра виконується через радіоканал за допомогою контролера 3. Для наведення на відбивач тахеометр обладнаний сервоприводами вертикального та горизонтального повороту і системою автоматичного стеження за відбивачем. Вимірювання з використанням роботизованого тахеометра може виконувати одна людина.



**Рис. 2.64.** Роботизований тахеометр Leica TS 15

Роботизовані тахеометри можуть виконувати вимірювання у безрефлекторному режимі, мають процесор та відповідне програмне забезпечення для обчислення різноманітних геодезичних задач, виконувати обмін інформацією з персональними комп'ютерами. Значний обсяг інформації може записуватись на внутрішні блоки пам'яті та за допомогою інтерфейсного обладнання передаватись назовні. Останні моделі роботизованих тахеометрів мають вмонтовані цифрові відеокамери, які дозволяють фіксувати та контролювати окремі етапи виконання роботи та надавати фотоабрис місцевості, де виконується знімання.

Основні технічні характеристики роботизованих тахеометрів подібні до характеристик звичайних електронних тахеометрів.



### 2.3.10. Лазерні рулетки

Лазерні (електронні) рулетки – це малогабаритний електронний віддалемір з лазерним випромінювачем, оснащений дисплеєм, клавіатурою, процесором (рис.2.65). Вузько направлений промінь лазера дає змогу вимірювати відстані до кількох сотень метрів з точністю 1 – 4 мм. Вимірювання виконуються без відбивача завдяки дифузному відбиттю лазерного променя від поверхні об'єкту.



**Рис. 2.65.** Зовнішній вигляд лазерної рулетки Disto D510

Лазерні рулетки можуть мати вбудований оптичний візир, що покращує наведення лазерного променя на об'єкт вимірювання. Технології DISTO™ transfer і Bluetooth дозволяють виконувати передачу результатів вимірювань у форматі Excel<sup>®</sup>, AutoCAD<sup>®</sup> у Pocket PS чи персональний комп'ютер. Лазерні рулетки останніх поколінь мають циліндричний рівень, можуть встановлюватись на теодоліт або на штатив. Вони дозволяють обчислювати площі, об'єми об'єктів, їх кути нахилу, відстані між двома і трьома точками та інше.

В таблиці 2.8 наведено основні технічні характеристики деяких лазерних рулеток.

Таблиця 2.8

Технічні характеристики лазерних рулеток

Назва	Відстань, м		Точність, мм	Вага, г
	мінімальна	максимальна		
Disto D510	0,05	200	1	198
FL-80	0,05	80	1,5	225
Disto D110	0,2	60	1,5	92
BOSCH Zamo II	0,15	20	3	80

Застосовуються і ультразвукові рулетки (рис.. 2.66).



**Рис. 2.66.** Зовнішній вигляд ультразвукової рулетки CAPITAL CP-3007

Технічні характеристики деяких зразків ультразвукових рулеток наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Технічні характеристики ультразвукових рулеток

Назва	Відстань, м		Точність, % відстані	Вага, г
	мінімальна	максимальна		
CAPITAL CP-3007	0,55	18,28	0,5	130
JJ-Connect UltraMeter	0,3	15	1	200

### **Питання для самоконтролю**

1. Якими приладами виконується безпосереднє вимірювання відстаней?
2. Що є процедура компарування та як вона виконується?
3. Яка технологія вимірювання ліній мірними стрічками?
4. Які поправки вводяться у відстань, виміряну мірною стрічкою чи рулеткою?
5. Назвіть та охарактеризуйте похибки вимірювання ліній мірними стрічками.
6. В який спосіб можна визначити відстань, недоступну для прямих вимірювань?
7. Надайте схему вимірювання відстані нитковим віддалеміром та формулу для визначення відстані з його використанням.
8. Як обчислюється відстань, виміряна імпульсним та фазовими світло- або радіовіддалеміром?
9. Який загальний вигляд має рівняння точності вимірювання відстаней електронними віддалемірами?
10. Що дозволяє виміряти електронний тахеометр?
11. Які опції мають лазерні та ультразвукові рулетки?

### **2.4. Вимірювання перевищень**

Для визначення перевищень виконують топографо-геодезичні роботи з нівелювання.

Розрізняють наступні види нівелювання:

- *геометричне* – використовується горизонтальний візирний промінь зорової труби;

- *тригонометричне* – використовується похилий промінь зорової труби;

- *GNSS-нівелювання* - ґрунтується на використанні супутникових систем позиціонування;

- *гідростатичне* – використовується властивість вільної поверхні рідини у сполучних посудинах знаходитись на одному рівні;

- *барометричне* – ґрунтується на залежності величини атмосферного тиску від висоти точки відносно поверхні Землі;

- *автоматизоване(механічне)* – використовується вертикальна складова переміщення тіл для викреслювання профілю місцевості за час переміщення.

Найбільш точним на тепер є геометричне нівелювання.

Для того щоб виконати геометричного нівелювання, використовуються: нівелір, штатив, пара рейок, кистилі, башмаки.

Головний принцип геометричного нівелювання полягає у відтворенні горизонтальності візирного променя.

За конструктивними особливостями нівеліри поділять на:

- нівеліри з циліндричними рівнями;
- нівеліри з компенсаторами;
- електронні нівеліри;
- лазерні нівеліри.

За точністю розрізняють нівеліри: високоточні, точні та технічні.

Нівеліри маркуються наступним чином. Перша літера маркування «Н» - означає нівелір, наступна цифра

вказує на середню квадратичну похибку вимірювання перевищення на 1 км ходу, виконаного у прямому та зворотному напрямках. Наступні літери вказують на його особливості, а саме: «К» - наявність компенсатора, пристрою для автоматичного приведення лінії візування у горизонтальне положення; «КЛ» - з компенсатором та лімбом, який дозволяє вимірювати та відкладати горизонтальні кути.

Наприклад, нівеліри Н-05, Н-1 належать до класу високоточних, нівеліри Н-3, Н-3К (4Н-3КЛ), Н-КЛ є точними, а нівеліри Н-10, Н-10Л, Н-10 КЛ – до класу технічних (рис. 2.67).



Н-1

4Н-3КЛ

Н-10

**Рис. 2.67.** Зовнішній вигляд нівелірів різного класу точності

#### **2.4.1. Нівеліри з циліндричним рівнем**

Це оптико-механічні прилади з давачем горизонту у вигляді вільної поверхні рідини, що знаходиться у циліндричній ампулі, яка прикріплена до зорової труби.

Одним з найбільш поширених в Україні нівеліром з циліндричним рівнем є нівелір Н-3 (рис. 2.68). Він встановлюється на головку штатива 1 та містить наступні конструктивні елементи: підймальні гвинти 2; підставку 3; круглий рівень 4 - для попереднього

горизонтування приладу; елеваційний гвинт 5 – для приведення циліндричного рівня 14 у «нуль-пункт»; навідний гвинт зорової труби 6; закріпний гвинт зорової труби 7; зорову трубу 8, яка містить об'єктив 9, окуляр 10 та кремальєру 11 – для фокусування на віддалені предмети; елементи прицілу 12 та 13 – для попереднього наведення на рейку; виправні гвинти циліндричного рівня 15 зі шторкою 16.

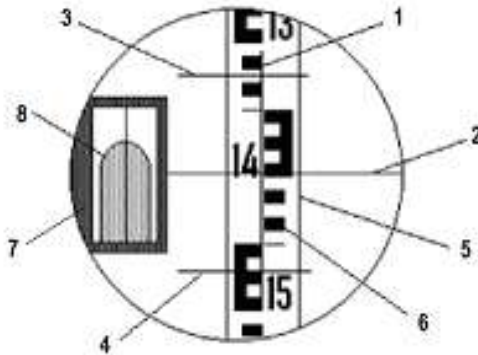


**Рис. 2.68.** Зовнішній вигляд нівеліра Н-3

Для виконання нівелювання використовують рейки. В полі зору 7 нівеліра Н-3 (рис. 2.69), який дає обернене зображення рейки, спостерігають: сітку ниток, яка має вертикальну нитку 1, горизонтальну (основну) нитку 2, дві віддалемірні нитки 3, 4; зображення рейки 5 з сантиметровими поділками 6; зображення кінців бульбашки циліндричного контактного рівня 8.

Для встановлення візирного променя нівеліра в горизонтальне положення необхідно за допомогою елеваційного гвинта привести бульбашку

циліндричного рівня в «нуль-пункт», тобто сумістити зображення кінців бульбашки в полі зору труби. Після оптичного контакту кінців бульбашки рівня беруть відлік рейки (див. рис. 2.69)

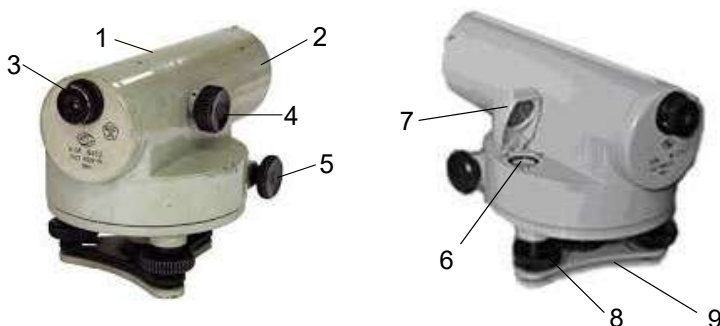


**Рис. 2.69.** Поле зору нівеліра Н-3, відлік за рейкою по основній нитці: 1448

Відлік рейки у міліметрах складається з чотирьох цифр: перші дві цифри (дециметри) підписані на рейці та відносяться до горизонтального штриха рейки - 14; третя цифра відліку відповідає числу цілих сантиметрів - 4, відрахованих від найближчого меншого підписаного горизонтального штриха 14 рейки до горизонтальної нитки нівеліра; четверта цифра відліку відповідає числу міліметрів сантиметрової поділки, яку окомірно поділяють на 10 рівних частин - 8.

#### ***2.4.2. Нівеліри з компенсатором кута нахилу***

Одним з нівелірів з компенсатором є нівелір Н-ЗК (рис. 2.70).



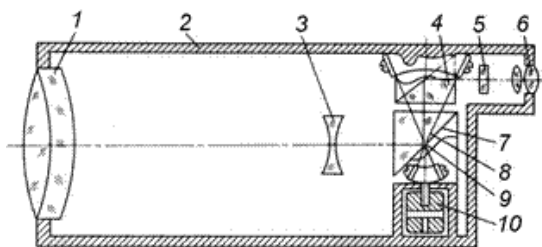
**Рис. 2.70.** Зовнішній вигляд нівеліра Н-ЗК

Нівелір містить такі конструктивні елементи: зорову трубу 1, яка має об'єktiv 2 та окуляр 3; кремальєру 4 - для фокусування на рейки; навідний гвинт 5 - для горизонтального переміщення зорової труби; круглий рівень 6 - для приведення компенсатора нівеліра в робочий стан; покритка рівня 7 з дзеркалом - для спостереження за зображенням бульбашки рівня з метою контролю її положення та для збереження рівня від пошкоджень у неробочому стані; підйимальні гвинти 7 - для приведення нівеліра у робочий стан; основа 9 - з отвором для станового гвинта, яким корпус нівеліра з'єднується з головою штатива.

На рис. 2.71 наведено оптичну схему нівеліра Н-ЗК.

Об'єktiv 1 встановлено в корпусі нівеліра 2. Чіткість зображення регулюється фокусуною лінзою 3. Призма 4 жорстко скріплена з корпусом 2. Зображення предмету та сітки ниток 5 розглядається через окуляр 6.





**Рис. 2.71.** Оптична схема нівеліра Н-ЗК

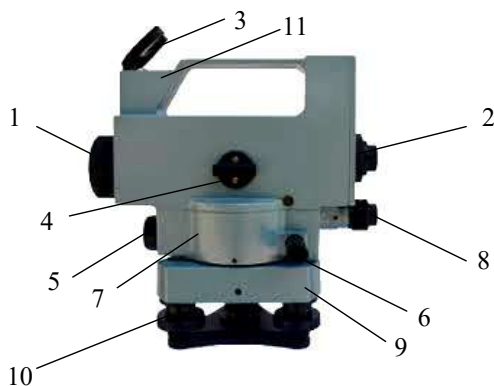
Призма 7 (чутливий елемент компенсатора) підвішена на сталевих нитках 8, які перехрещуються в центрі ваги 9. Призма 7 у такому випадку відіграє роль маятника, який після нахилу корпусу компенсатора залишається у вертикальному положенні та утримує лінію візування, яка проходить через цю призму у горизонтальному положенні. Коливання призми 9 після нахилу корпусу 2 гасяться повітряним демпфером 10 поршневого типу.

Після встановлення нівеліра на станції підймальними гвинтами приводять бульбашку рівня на середину ампули – в нуль-пункт. Тоді лінія візування нівеліра встановиться у горизонтальне положення і навіть при нахилі корпусу нівеліра на допустиму величину, повинна знаходитись у такому положенні.

### **2.4.3. Нівеліри з компенсатором кута нахилу та лімба**

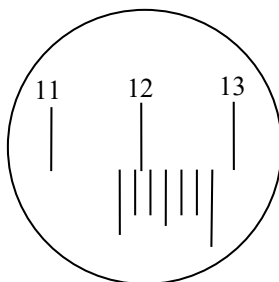
Одним із зразків нівелірів з компенсатором і наявністю горизонтального круга є нівелір Н-ЗКЛ. Він складається (рис. 2.72) з об'єктива 1, окуляра 2,

дзеркала 3, візира 4, закріпного гвинта 5, навідного гвинта 6, горизонтального круга 7, відлікового мікроскопа горизонтального круга 8, підставки 9, підймальних гвинтів 10 та круглого рівня 11, зображення якого відображається в дзеркалі 3.



**Рис. 2.72.** Зовнішній вигляд нівеліра Н-ЗКЛ

На рис. 2.73 показано відлікову систему горизонтального круга нівеліра Н-ЗКЛ, яка передається у поле зору відлікового мікроскопа.



**Рис. 2.73.** Поле зору відлікового мікроскопа горизонтального круга нівеліра Н-ЗКЛ

Віддік за горизонтальним кутом складає  $12^{\circ}46'$ .

В таблиці 2.10 наведено основні характеристики точних нівелірів: Н-3, Н-3К, Н-3КЛ.

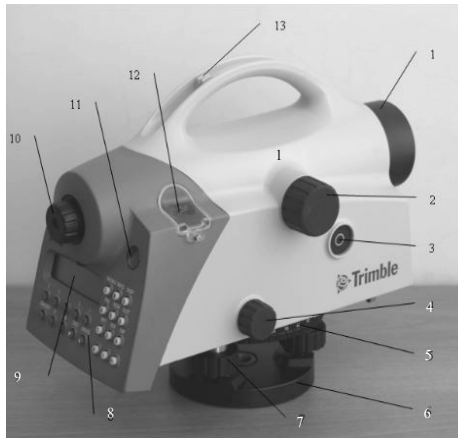
Таблиця 2.10

Основні характеристики точних нівелірів

Характеристики	Н-3	Н-3К	Н-3КЛ	DiNi 22
Збільшення зорової труби, крат	30	30	30	26
Ціна поділки циліндричного рівня	15"	-	-	-
Ціна поділки круглого рівня	10'	10'	20'	8'
Діапазон роботи компенсатора	-	$\pm 15'$	$\pm 15'$	$\pm 15'$
Точність роботи компенсатора	-	0,5"	0,5"	0,5"

**2.4.4. Електронні (цифрові) нівеліри**

Одним з відомих представників електронних нівелірів є DiNi 22 фірми Trimble (рис. 2.74). Він належить до класу точних нівелірів.



**Рис. 2.74.** Зовнішній вигляд електронного нівеліра DiNi 22

Нівелір DiNi 22 містить: об'єктив зорової труби 1; кремальєру 2; клавішу запуску вимірювань 3; навідний гвинт 4; лімб горизонтального круга 5; підставку 6; підймальні гвинти 7; клавіатуру 8; дисплей 9; окуляр зорової труби 10; віконце для круглого рівня 11; покриття, яка закриває виправні гвинти круглого рівня 12; діоптр 13 – для попереднього наведення.

Нівелір має горизонтальний круг з ціною поділки  $1^\circ$ . Відліки горизонтального круга визначаються згідно з індексом до  $0,1^\circ$ . Приведення лінії візування у горизонтальне положення виконується з використанням механічного компенсатора. На дисплеї висвічуються виміряні перевищення та горизонтальна відстань до рейки. Вимірювання та необхідні обчислення виконуються з використанням вбудованого процесора. Застосовують як штрих-кодову так і звичайну рейки.

#### **2.4.5. Лазерні нівеліри**

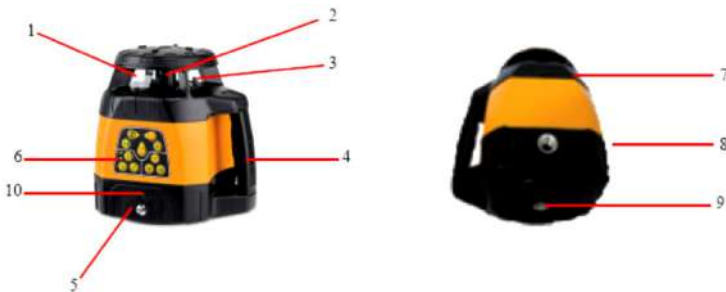
Принцип роботи більшості лазерних нівелірів заснований на використанні систем самогоризонтування. Завдяки цьому забезпечується висока стабільність просторового положення лазерного променя та побудова площин. Лазерні нівеліри можуть використовуватися як для нівелювання, а також вертикальної і горизонтальної розмітки під час будівельних робіт. Автоматична компенсація нахилу виключає необхідність точного горизонтування нівеліра, що зменшує час його підготовки до роботи, а також виключає появу помилок при випадковій зміні положення приладу.

Основними елементами конструкції лазерного нівеліра є:

- корпус з пристосуваннями для кріплення на штатив чи площину;
- джерело живлення (батарея чи акумулятор);
- електронний блок;
- лазерні випромінювачі;
- компенсатор нахилу.

У статичних системах промінь «розгортається» в площину за допомогою лінз і призм, а ротаційні нівеліри мають обертову голівку з приводом, режим роботи і швидкість якого можуть регулюватися.

Представником сімейства лазерних нівелірів є прилад FL240HV (рис. 2.75). Це ротаційний лазерний нівелір з функцією самовирівнювання та дистанційного керування. Нівелір виконує проектування горизонтальної та вертикальної площин, а також має режим лазерного променя.

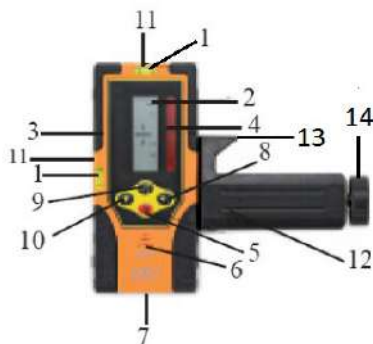


**Рис. 2.75.** Ротаційний лазерний нівелір FL240HV

Конструкція нівеліра FL240HV містить (див. рис. 2.75): віконце лазерного променя 1; обертова насадка 2; інфрачервоний приймач пульта дистанційного керування 3; рукоятка для перенесення приладу 4;

відсік для батареї 5; панель з клавішами управління 6; кріплення для вертикального встановлення приладу 7; конектор 8 для штатива під час вертикального встановлення; конектор 9 для штатива під час горизонтального встановлення.

Для підвищення точності відлічування рейки та збільшення відстані до неї в порівнянні з візуальним відлічуванням, застосовують приймач лазерного випромінювання (рис. 2.76).



**Рис. 2.76.** Приймач лазерного випромінювання

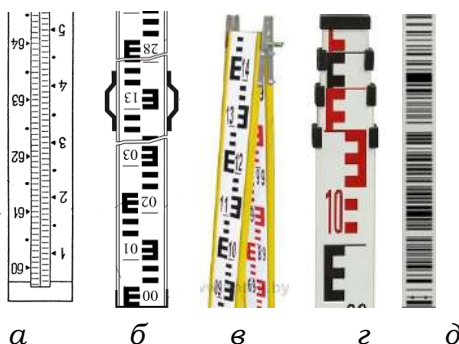
Приймач лазерного випромінювання містить: круглий рівень 1; дисплей 2; відмітка «нуль» 3; приймач лазерного випромінювання 4; вмикач/вимикач 5; динамік звукового сигналу попадання лазерного променя в «нуль» 6; батарейний відсік 7; вмикач/вимикач звукового сигналу 8; грубий/точний режим фіксації лазерного променя 9; режим «ввімкнено/вимкнено» 10; магніти 11; отвір для встановлення на рейку 12; поличка для відлічування за рейкою для нульового положення лазерного променя 13; рукоятка для кріплення пристрою до рейки 14.

Точність встановлення лазерного променя відносно горизонту складає для лазерних нівелірів від одного до декількох міліметрів на 10 м відстані.

#### **2.4.6. Нівелірні рейки та пристрої для нівелювання**

Нівелірні рейки є робочими мірами для визначення перевищень. Рейки, що випускаються в Україні, мають маркування: РН-05, РН-3, РН-10. Літери РН відповідають виразу «рейка нівелірна». Число вказує на точність вимірювання перевищень даною рейкою, а саме - середню квадратичну похибку вимірювання перевищень на 1 км подвійного ходу (виконаного в прямому та зворотньому напрямках). На рис. 2.77 наведено фрагменти зображень нівелірних рейок.

Нівелірна рейка РН-05 (рис. 2. 77, а) – має дерев'яний корпус з інварною смугою посередині, на якій нанесено поділки через 5 мм. Довжина рейки 3 м. Використовують інварні рейки і довжиною 1 м, т.з підвісні. Рейки призначені для високоточного нівелювання. Для встановлення рейки у вертикальне положення застосовують круглий рівень.



**Рис. 2.77.** Фрагменти зображень нівелірних рейок

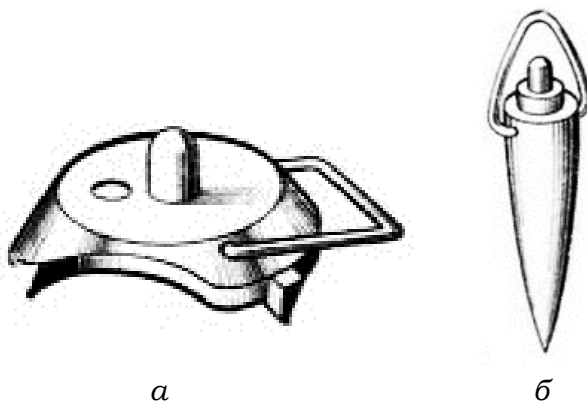
Рейка РН-3 є дерев'яною (рис. 2.77, б), з ціною поділок 10 мм, які нанесені на передній частині рейки чорною фарбою (чорна сторона рейки) та на задній стороні, але червоною фарбою - (червона сторона рейки). Рейка використовується для точного нівелювання.

Нівелірна рейка РН-10 (рис. 2.77, в) за зовнішнім виглядом нагадує рейку РН-3 та використовується для виконання технічного нівелювання.

За своєю конструкцією нівелірні рейки РН-3 та РН-10 можуть бути суцільними, складаними та розсувними (телескопічними) - рис. 2.77 в, г.

Для проведення нівелювання з використанням електронних нівелірів застосовують рейки зі штрих-кодом (рис. 2.77, д).

Під час виконання нівелювання на проміжних точках, які називають «ікссовими» або «плюсовими», рейки встановлюють на «башмак», або «костиль» (рис. 2.78, а та б - відповідно).



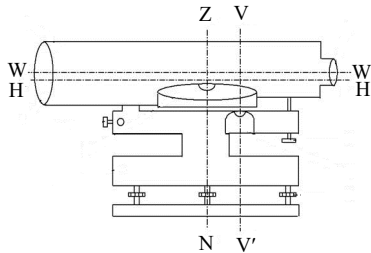
**Рис. 2.78.** Пристрої для встановлення нівелірних рейок на проміжних точках



Рейку встановлюють на найвищу заокруглену частину кожного з цих пристроїв.

#### **2.4.7. Перевірки і виправлення нівелірів та нівелірних рейок**

Нівелір призначений для забезпечення горизонтального положення візирного променя. Осьова система нівеліра з циліндричним рівнем наведена на рис. 2.79.



**Рис. 2.79.** Осьова система нівеліра з циліндричним рівнем

Осьова система нівеліра повинна задовольняти таким геометричним умовам:

- вісь круглого рівня  $V-V'$  повинна бути паралельною осі обертання нівеліра  $Z-N$ ;
- візирна вісь зорової труби  $W-W'$  повинна бути паралельною осі циліндричного рівня  $H-H'$ .

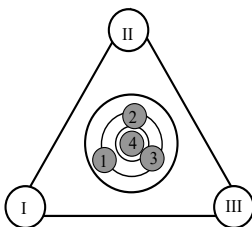
Після виконання першої умови за встановлення круглого рівня у «нуль-пункт», його вісь  $V-V'$  та вісь обертання нівеліра  $Z-N$  займуть вертикальне положення. Це дозволить привести циліндричний рівень в діапазон його роботи. За виконанням другої

умови після приведення циліндричного рівня у «нуль-пункт» його вісь  $H-H'$ , а за нею і візирна вісь  $W-W'$  займуть горизонтальне положення.

Перевірки та виправлення нівеліра Н-3 виконуються у такій послідовності.

1. Перевірка круглого рівня. *Вісь круглого рівня має бути паралельною до осі обертання нівеліра.*

Для перевірки круглого рівня нівелір встановлюють на головку штатива та прикручують його становим гвинтом. Бульбашку круглого рівня виводять до нуля наступним чином (рис. 2.80).



**Рис. 2.80.** До виведення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт

Приведення бульбашки круглого рівня до нуля виконується у кілька прийомів. Нехай бульбашка знаходиться в положенні 1 – навпроти підйимального гвинта I. Обертанням гвинта I необхідно перемістити бульбашку до нуля-пункту або до іншого підйимального гвинта, наприклад II - в положення 2. Обертанням підйимального гвинта II необхідно перемістити бульбашку до нуля-пункту або ж до іншого підйимального гвинта, наприклад III - в положення 3. Обертанням гвинта III необхідно перемістити бульбашку до нуля-пункту – в положення 4.

Повертають зорову трубу нівеліра на  $180^\circ$ . Перевірка вважається виконаною, якщо бульбашка рівня зміститься від «нуль-пункту» не більше ніж на 0,5 поділки шкали рівня. Для виправлення переміщують бульбашку на половину дуги відхилення у напрямку «нуль-пункту» підймальними гвинтами, а на іншу половину – виправними гвинтами 1 круглого рівня 2 (рис. 2.81).



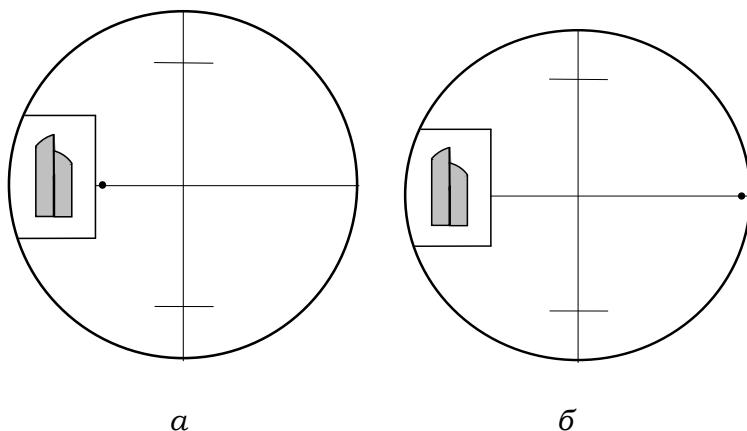
**Рис. 2.81.** До першої перевірки: 2 – круглий рівень;  
1 – виправні гвинти круглого рівня.

2. Перевірка сітки ниток. *Середній штрих сітки ниток зорової труби повинен бути перпендикулярним до осі обертання нівеліра, коли нівелір установлено в робочий стан.*

Після виконання першої перевірки на стіні споруди намічають точку на відстані 20 – 30 м від нівеліра, яка знаходиться приблизно на висоті інструменту.

Наводять зорову трубу на точку, фокусують її та за допомогою елевацийного гвинта наводять середню нитку сітки ниток на точку (рис. 2.82, а).

За допомогою навідного гвинта переміщують зображення точки вздовж середньої нитки сітки ниток – від одного її краю до іншого (рис. 2.82, б).



**Рис. 2.82.** До виконання другої перевірки нівеліра

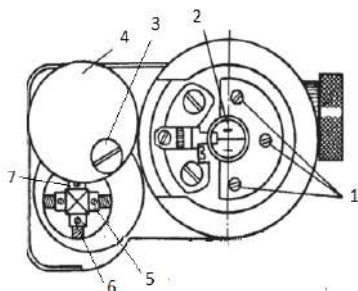
Якщо зображення точки не зміщується з середньої нитки, то перевірка виконана.

В протилежному випадку необхідно відкрутити гвинти 4 (див. рис. 2.81) та зняти заглушку окулярного коліна 3.

Далі, ослабити гвинти 1 оправи 2 сітки ниток та дещо повернути оправу сітки ниток у потрібному напрямку (рис. 2.83). Вставити заглушку на окулярне коліно та перевірити виконання другої умови наведеним вище способом.

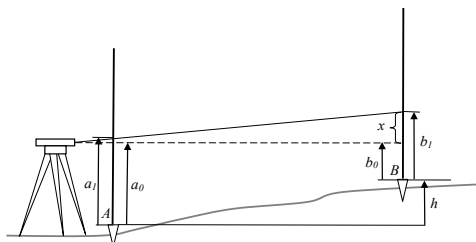
3. Перевірка головної умови нівеліра (визначення «іксової похибки»). *Візорна вісь зорової труби нівеліра повинна бути паралельною до осі циліндричного рівня.*

На місцевості закріплюють дві точки на відстані 40 - 50 метрів одна від одної (рис. 2.84).

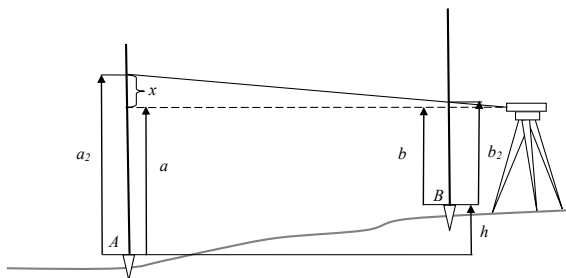


**Рис. 2.83.** До виправлення положення сітки ниток та  
циліндричного рівня

Нівелір встановлюють поблизу від рейки, що у точці  $A$ . За допомогою круглого рівня виводять вісь обертання нівеліра підймальними гвинтами в прямовисне положення.



*a*



*б*

**Рис. 2.84.** До виконання головної умови нівеліра

Наводять зорову трубу на рейку, яку встановлюють у точці  $A$ . За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня. Припустимо, що головна умова не виконується. Тоді відлік рейки дорівнюватиме  $a_1$ . Потім наводять зорову трубу на точку  $B$ , за допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня та беруть відлік  $b_1$ .

Переносять нівелір до точки  $B$  та встановлюють його поблизу рейки (рис. 2.84, б). За допомогою круглого рівня виводять вісь обертання нівеліра підймальними гвинтами в прямовисне положення. Наводять зорову трубу на рейку, встановлену на точці  $B$ . За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня та беруть відлік рейки  $b_2$ .

Потім наводять зорову трубу на точку  $A$ , за допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня та беруть відлік  $a_2$ . У випадку виконання головної умови відліки рейок на точках  $A$  та  $B$  дорівнювали б  $a_0$  та  $b_0$ , відповідно. Якщо знехтувати малою різницею між відліками  $a_1$  та  $a$  через малу відстань від нівеліра до рейки і вважати, що  $a_1 \approx a_0$ , то користуючись рис. 2.83 а, можна записати

$$h + b_1 = a_1 + x, \quad (2.67)$$

звідки

$$h = a_1 + x - b_1. \quad (2.68)$$

Аналогічно, можна вважати  $b_2 \approx b$  (рис. 2.84, б) та з якого випливає, що

$$h + b_2 + x = a_2, \quad (2.69)$$

Звідки

$$h = a_2 - x - b_2. \quad (2.70)$$

Після порівняння виразів (2.78) та (2.70) «іксова» похибка дорівнює

$$x = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{2}. \quad (2.71)$$

Допустиме значення «іксової» похибки не повинно перевищувати у кутовій мірі  $20''$ , яка визначається за формулою

$$i = \frac{x}{d} \rho'', \quad (2.72)$$

де  $d$  - відстань між рейками, яку можна визначити за віддалемірними нитками сітки ниток нівеліра,  $\rho = 206265''$ .

Якщо  $i > 20''$ , то обчислюється виправлений відлік, який згідно з рис. 2.84 б дорівнює

$$a = a_2 - x. \quad (2.73)$$

Виправлений відлік встановлюють на рейці, що знаходиться точці  $A$  (див. рис. 2.84 б) за допомогою елеваційного гвинта нівеліра. У цьому випадку бульбашка рівня переміститься від нуля-пункту. Щоб повернути її до нуля-пункту, необхідно (рис. 2.83) трохи відкрутити гвинт 3 та підняти догори заглушку 4 виправних гвинтів, потім дещо послабити бічний

виправний гвинт 5 та роботою виправних гвинтів 6, 7 вивести бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт. Виправний гвинт 5 необхідно закрутити, контролюючи положення бульбашки відносно нуль-пункту. Після цього необхідно перевірити відповідність відліку за рейкою на точці А виправленому значенню. Заглушку 4 опустити та затиснути гвинт 3.

В таблиці 2.11 наведено приклад обчислення «іксової» похибки.

Для нівелірів з компенсаторами перші дві умови як за формулюванням, так і за порядком виконання аналогічні, що і для нівелірів з циліндричним рівнем.

Виконують перевірку роботи компенсатора перед початком нівелювання.

Таблиця 2.11

Перевірка головної умови нівеліра Н-3

№ прийому	У прямому напрямі, мм		У зворотному напрямі, мм		Похибка х, мм	Примітка
	$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$		
1	1341	1192	1612	1438	+ 12,5	Умову не виконано, необхідно виконати виправлення
2	1373	1213	1583	1419	+ 2	Умову виконано

Для  $d = 50$  м,  $i = (12 \text{ мм} / 50000 \text{ мм})206265'' = 49,5''$ , після виправлення  $i = (2 \text{ мм} / 50000 \text{ мм})206265'' = 8'' < 20''$

Для цього на відстані 30 – 40 метрів від нівеліра встановлюють рейку. Нівелір розташовують так, щоб у



напрямку на рейку знаходився один з підймальних гвинтів підставки. Після приведення нівеліра у робочий стан за допомогою круглого рівня беруть відлік  $a$  за рейкою. Потім швидко повертають вказаний підймальний гвинт так, щоб бульбашка рівня стала поблизу меншого з двох кіл, які нанесені на ампулі круглого рівня, але не виходила за межі зовнішнього кола, яке є межею роботи компенсатора нівеліра. Після затухання коливання зображення рейки у полі зору труби нівеліра беруть відлік за рейкою  $b$ . Якщо виконується умова то компенсатор вважається справним. В іншому випадку він підлягає ремонту в оптико-механічній майстерні.

$$|a - b| \leq 2\text{мм}, \quad (2.74)$$

Перевірка головної умови для нівелірів з компенсатором. *Лінія візування зорової труби нівеліра повинна бути горизонтальною.*

Перевірка виконується так само, як і для нівеліра з циліндричним рівнем. У випадку, якщо «іксова» похибка перевищує 20", необхідно обчислити виправлений відлік за формулою 2.73. Далі, необхідно зняти заглушку окулярного коліна та переміщенням сітки ниток у вертикальному напрямку за допомогою її виправних гвинтів встановити виправлений відлік за рейкою.

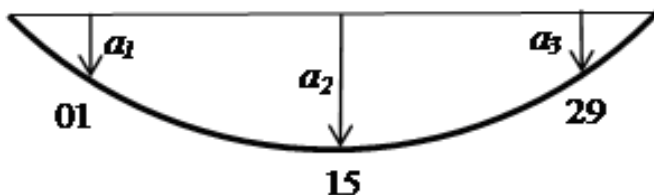
Перевірки та виправлення нівелірів інших типів необхідно виконувати згідно з методикою, наведеною у паспорті нівеліра чи керівництві користувача.

Нівелірні рейки перевіряють перед початком польових робіт. До складу перевірок входить:

- визначення стрілки прогину рейки;

- визначення довжини одного метра пари рейок;
- визначення різниці нулів пари рейок.

1. *Визначення стрілки прогину нівелірної рейки.*  
 Для виконання перевірки рейку кладуть боковим ребром на горизонтальну площину. Між кінцями рейки натягують тонкий металевий дріт або нитку. За допомогою лінійки з міліметровими поділками виконують вимірювання від шкали рейки до нитки: на початку шкали рейки –  $a_1$ , в середині шкали –  $a_2$ , в кінці шкали –  $a_3$  (рис. 2.85).



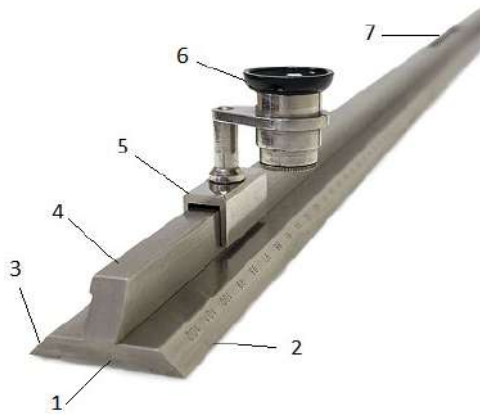
**Рис. 2.85.** До визначення стрілки прогину рейки

Стрілка прогину обчислюється за формулою

$$f = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}. \quad (2.75)$$

Стрілка прогину рейки не повинна перевищувати 10 мм.

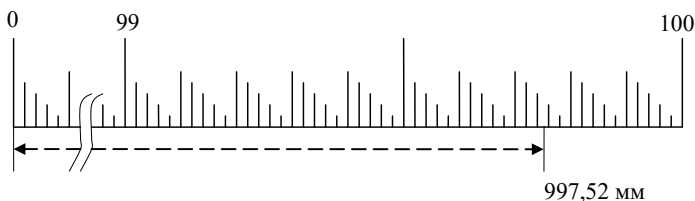
2. *Визначення довжини одного метра пари рейок.*  
 Для дослідження метричних характеристик рейок застосовують контрольну лінійку (Женевську лінійку). Вона (рис. 2.86 ) має латунний корпус 1 довжиною дещо більшою за 1 метр.



**Рис. 2.86.** Зовнішній вигляд контрольної лінійки.

На одній скошеній бічній грані корпусу 1 знаходяться основна шкала 2 з ціною поділки 0,2 мм, на іншій 3 – допоміжна шкала з ціною поділки 1 мм. По ребру 4 може пересуватись бігунок 5 з лупою 6. В комплект входить ще один бігунок з лупою, який також прикріплюється до ребра 4 та може пресуватись вздовж нього. Через ці дві лупи можна бачити зображення як інтервалів шкали нівелірної рейки, так і шкалу контрольної лінійки у збільшеному вигляді. В корпус вмонтовано термометр 7 – для вимірювання температури лінійки.

Основна шкала має підписані сантиметри: 0, 1, 2, 99, 100. Кожен сантиметр поділено на міліметри штрихами однакової довжини (рис. 2.87). Кожен міліметровий інтервал розділено на 5 рівних частин поділками різної довжини. Тому ціна найменшої поділки складає 0,2 мм. Під час відлічування найменшу поділку, яку можна виразно бачити в лупу, поділяють окомірно ще на 10 частин.



**Рис. 2.87.** Зображення поділок основної шкали з відліком 997, 52 мм.

Тому відлік за основною шкалою контрольної лінійки беруть з точністю до 0,02 мм.

Для досліджень рейку розташовують горизонтально на опорах. Проглядають дециметрові поділки на чорній стороні: 01; 10; 20; 29 та поділки на червоній стороні: 48; 57; 67; 76 за допомогою лупи. Якщо вказані поділки мають на початку «рвані» контури, то гострим олівцем та за допомогою металевої лінійки відмічають тонким штрихом крайки шашкових поділок.

Вимірювання починають з чорної сторони. Інтервали, які досліджують: 01 - 10, 10 - 20, 20 - 29. Сумарна номінальна довжина цих інтервалів складає 2,8 м. На площину рейки кладуть контрольну лінійку. Беруть відліки з лівого та правого її кінців за шкалою, яка має ціну поділки 0,2 мм. Кожний інтервал вимірюється двічі. Перед початком другого вимірювання контрольну лінійку дещо зсовують, чим змінюють відліки за контрольною лінійкою. Різниця відліків правого та лівого кінців контрольної лінійки не повинні перевищувати 0,10 мм. Після вимірювання всіх інтервалів (прямий хід) виконуються вимірювання у зворотному ході. Причому, у зворотному ході контрольну лінійку повертають на 180°.

Аналогічно виконуються вимірювання інтервалів червоної сторони рейки. Перед початком вимірювань у прямому та зворотному ходах визначають температуру контрольної лінійки з точністю до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Під час опрацювання обчислюють: середнє з різниць кінців контрольної лінійки; користуючись рівнянням контрольної лінійки, обчислюють поправку за температуру та відмінність її довжини від 1,00000 м, визначену під час її компарування; суми віддіків лівого та правого кінців та суму різниць середніх віддіків; суму поправок за температуру та відмінність довжини контрольної лінійки від 1,00000 м. Обчислюють довжини виміряних інтервалів, як суми середніх різниць віддіків кінців контрольної лінійки та поправок за температуру і суму виправлених інтервалів.

Контроль: різниця сум віддіків кінців контрольної лінійки дорівнює сумі різниць цих віддіків; сума сум середніх різниць та поправок за температуру та відмінність довжини контрольної лінійки від 1,00000 м дорівнює сумі довжин частин виміряних інтервалів (додаток Б). Отриману сумарну довжину всіх виправлених інтервалів ділять на 5,6 – сумарну довжину досліджених інтервалів з прямого та зворотного ходів за номіналом. Отримують середню довжину метрових інтервалів чорної сторони рейки.

Дослідження метрових інтервалів виконують за наведеною вище методикою з тією різницею, що досліджують наступні інтервали червоного боку рейки: 48 – 57 (0,9 м), 57 – 67 (1,0 м), 67 – 76 (0,9 м) - сумарний інтервал за номіналом складає 2,8 м для рейки з п'яткою за номіналом 4787 ; 47 – 56, 56 – 66, 66 – 65 - для рейки з п'яткою за номіналом 4687.

Різниця між середньою довжиною пари рейок одного комплекту не повинна перевищувати 1,5 мм.

### 3. Визначення різниці нулів пари рейок.

Встановлюють нівелір в робоче положення. На відстані близько 20 м від нівеліра міцно забивають в землю 4 кілки різної довжини і в їх торці забивають цвяхи з напівсферичними головками. У першому прийомі послідовно на кожен кілок ставлять першу рейку і беруть відліки за рейкою по червоній і чорній сторонах. Потім на ці ж кілки встановлюють другу рейку та роблять відліки за рейкою по обох сторонах. Після зміни висоти нівеліра на 5 - 7 см виконують другий прийом.

Проводять опрацювання результатів вимірювань. Для цього обчислюють: різниці висот нулів для кожної з рейок, суми висот нулів; суми відліків за рейкою, взятих по чорним сторонах та суми відліків, взятих по червоних сторонах рейок; середні значення для кожної з сум (додаток В).

*Контроль*: різниця середнього значення з відліків за рейкою по червоній стороні рейки та середнього значення з відліків по чорній стороні рейки повинна дорівнювати середньому значенню з різниць відліків – для обох рейок.

У підсумку отримують значення різниці висот нулів для кожної з рейок, як середні значення з різниць відліків за рейкою по червоних та чорних сторонах рейок, які заокруглюють до цілих міліметрів.

Визначають різницю висот нулів пари рейок, як різницю висот нулів першої та другої рейки.

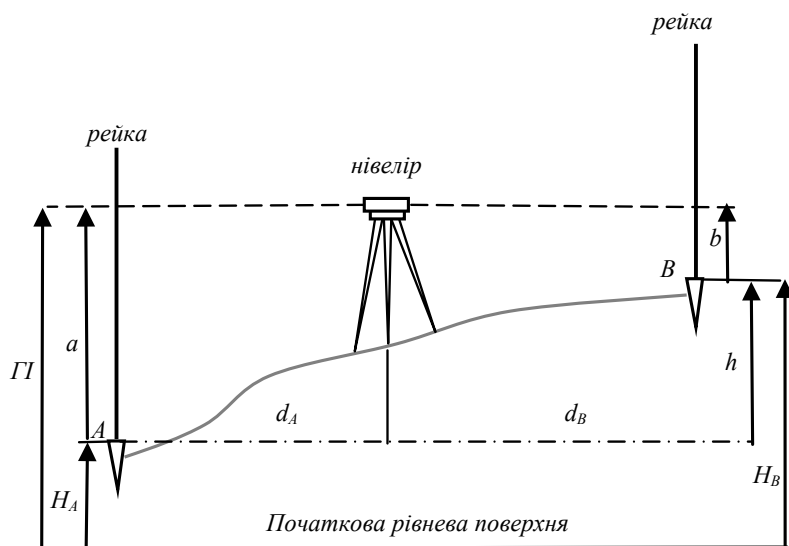
#### **2.4.8. Методики геометричного нівелювання**

Існують два способи геометричного нівелювання: *із середини і вперед*.

Під час нівелювання із середини на рівних відстанях  $d_A$  та  $d_B$  від рейок, встановлених на точках  $A$

та  $B$  місцевості, розміщують нівелір на штативі (рис. 2.88). Ніжки штативу вдавляють в ґрунт. Приводять круглий рівень до «нуль-пункту» за допомогою підйимальних гвинтів підставки. Наводять зорову трубу на рейку в точці  $A$ , виконують фокусування, елеваційним гвинтом виводять бульбашку циліндричного рівня до «нуль-пункту» та беруть відлік за рейкою  $a$ . Спрямовують зорову трубу на рейку в точці  $B$ , виконують фокусування, виводять елеваційним гвинтом бульбашку циліндричного рівня до «нуль-пункту» та беруть відлік за рейкою  $b$ . Як видно з рис. 2.88 перевищення  $h$  точки  $B$  над точкою  $A$  визначається за формулою

$$h = a - b. \quad (2.76)$$



**Рис. 2.88.** Схема геометричного нівелювання із «середини»

У випадку, коли відома відмітка  $H_A$  точки  $A$  та виміряно перевищення  $h$  між точками  $A$  та  $B$ , можна визначити відмітку точки  $B$

$$H_B = H_A + h. \quad (2.77)$$

Можна обчислити горизонт інструмента ( $\Gamma$ )

$$\Gamma = H_A + a. \quad (2.78)$$

Виконують контрольне обчислення горизонту інструмента

$$\Gamma = H_B + b. \quad (2.79)$$

Якщо, наприклад, обчислити горизонт інструменту за формулою (2.78), то відмітку точки  $B$  можна визначити за формулою

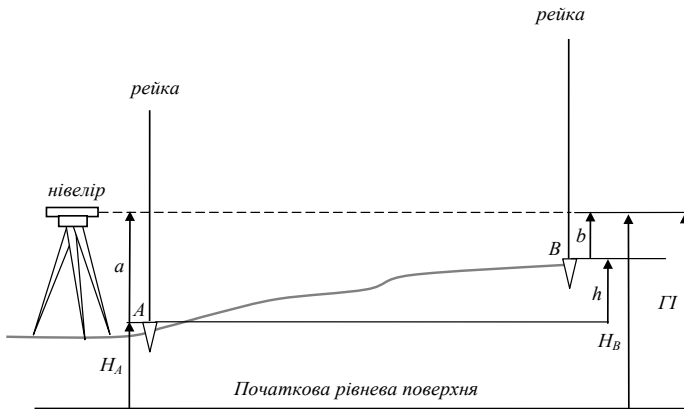
$$H_B = \Gamma - b \quad (2.80)$$

Нівелювання «вперед» виконується встановленням нівеліра за рейками, розміщеними на точках нівелювання  $A$  та  $B$  (рис. 2.89).

Встановлюють штатив з нівеліром поблизу точки  $A$  та приводять круглий рівень до «нуль-пункту» за допомогою підйимальних гвинтів підставки. Наводять зорову трубу на рейку точки  $A$ , виконують фокусування, елеваційним гвинтом спрямовують бульбашку циліндричного рівня до «нуль-пункту» та беруть відлік за рейкою  $a$ . Спрямовують зорову трубу на рейку точки  $B$ , виконують фокусування, виводять елеваційним гвинтом бульбашку

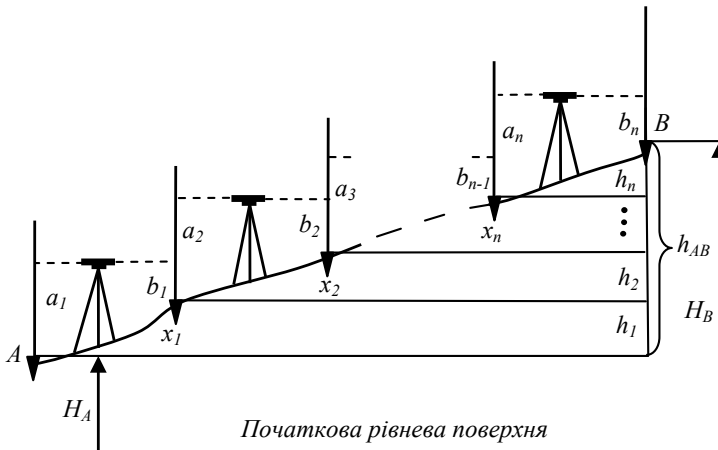


циліндричного рівня до «нуль-пункту» та беруть відлік за рейкою  $b$ . Необхідні обчислення виконують за формулами (2.76) – (2.80).



**Рис. 2.89.** Схема способу нівелювання «вперед»

У випадках, коли відстань або перевищення між точками значні, виконується послідовне нівелювання (рис. 2.90).



**Рис. 2.90.** Послідовне нівелювання

Для виконання послідовного нівелювання між точками  $A$  та  $B$  закріплюють на місцевості *проміжні точки*  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які називаються ще *іксовими*. Виконують послідовне нівелювання, наприклад, способом «із середини» на кожній станції. Отримують відліки:  $a_1, b_1; a_2, b_2; \dots, a_n, b_n$ . Окремі перевищення визначаються за формулою

$$h_i = a_i - b_i. \quad (2.81)$$

Перевищення кінцевої точки  $B$  над початковою точкою  $A$  дорівнює

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i. \quad (2.82)$$

За наявності відмітки  $H_A$  початкової точки  $A$  можна визначити відмітку кінцевої точки  $B$

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (2.83)$$

#### **2.4.9. Похибки геометричного нівелювання**

Похибки геометричного нівелювання можна розділити на:

- інструментальні похибки;
- похибки, викликані дією середовища вимірювань;
- особисті похибки спостерігача.

1. *Інструментальні похибки* – викликані особливостями будови нівеліра та похибками виправлення під час виконання його перевірок.

1.1. *Похибка у визначенні перевищення через неточне виконання головної умови нівеліра*. На рис.

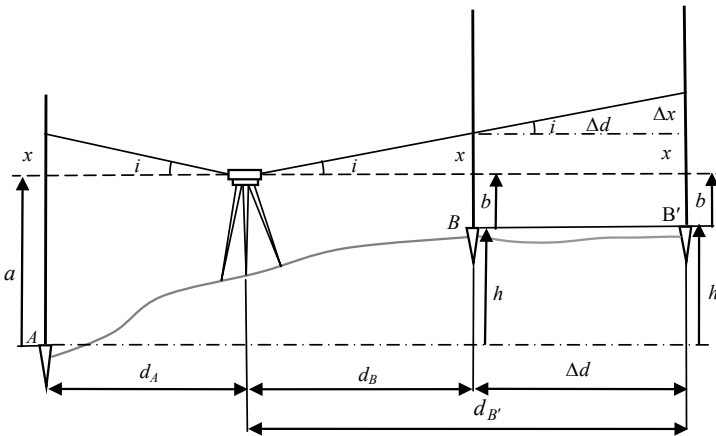
2.91 візирний промінь нівеліра (суцільна лінія) утворює з віссю циліндричного рівня, бульбашка якого знаходиться у «нуль-пункті», кут  $i$ .

Нівелювання виконується із «середини». Нехай рейки встановлені в точках  $A$  та  $B$ , а відстані від нівеліра до рейок, які носять назву «плечі», рівні:  $d_a = d_B$ . За умови  $i = 0$  візирний промінь є горизонтальним (пунктирна лінія) і виміряне перевищення дорівнює

$$h = a - b. \quad (2.84)$$

За наявності кута  $i$  візирний промінь відтинає на обох рейках рівні відрізки  $x$  – «іксову похибку». Виміряне перевищення дорівнює

$$h = a + x - (b + x) = a - b. \quad (2.85)$$



**Рис. 2.91.** До визначення похибки перевищення через неточне виконання головної умови нівеліра при нівелюванні із «середини»

Як видно з формул (2.84) та (2.85) за умови рівності плечей на станції нівелювання із «середини» перевищення не містить «іксової» похибки.

Нехай рейки (див. рис. 2.91) встановлено в точках  $A$  та  $B'$ . Точка  $B'$  має одне і те ж перевищення  $h$  відносно точки  $A$ , що і точка  $B$ , а плече складає  $d_{B'}$ . Приріст відстані або *нерівність плечей на станції* дорівнює  $\Delta d = d_{B'} - d_B$ , що викличе приріст «іксової похибки» на рейці в точці  $B'$  на величину  $\Delta x$ . Виміряне перевищення між точками  $A$  та  $B'$  визначиться за формулою

$$h' = a + x - (b + x + \Delta x) = a - b - \Delta x = h - \Delta x. \quad (2.86)$$

З формули (2.86) випливає, що перевищення  $h$  містить похибку  $\Delta x$  за невиконання головної умови нівеліра у випадку нерівності плечей на станції нівелюванням із «середини». Величину цієї похибки можна визначити з прямокутного трикутника, катетами якого є  $\Delta d$  та  $\Delta x$ , та з урахуванням малого значення кута  $i''$ , визначеного у куткових секундах

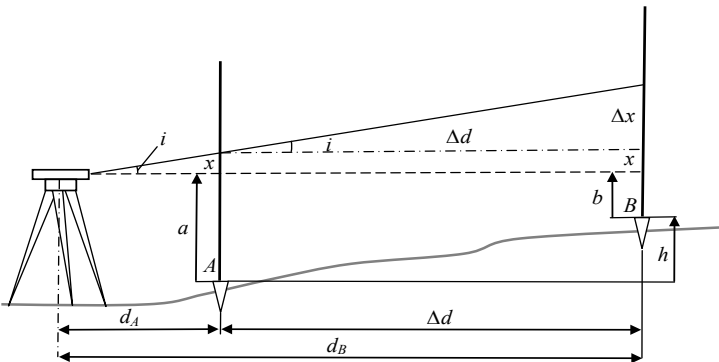
$$\Delta x = \Delta d \cdot \operatorname{tgi} \approx \Delta d \frac{i''}{\rho''}, \quad (2.87)$$

де  $\rho'' = 206265''$ .

Наприклад, для допустимого значення  $i'' = 20''$  та нерівностей плечей на станції  $\Delta d = 10 \text{ м} = 10000 \text{ мм}$   $\Delta x = 0,97 \text{ мм}$ , а для  $\Delta d = 100 \text{ м} = 100000 \text{ мм}$   $\Delta x = 10 \text{ мм}$ . Тому навіть за допустимого значення  $i'' = 20''$  необхідно обмежувати нерівність плечей на станції нівелювання із середини. Крім того, як показує наведений розрахунок, для нерівності плечей  $\Delta d = 10 \text{ м}$   $\Delta x \approx 1 \text{ мм}$ ,

що не перевищує точності взяття відліку за рейкою. Тому, за умови  $i \leq 20''$  під час виконання перевірки головної умови, нерівність плечей на станції  $\Delta d \leq 10$  м є допустимою величиною - для виконання нівелювання із «середини».

На рис. 2.92 показано вплив на відліки за рейками «іксової» похибки під час нівелювання «вперед».



**Рис. 2.92.** До похибки у визначенні перевищення через неточне виконання головної умови нівеліра при нівелюванні «вперед»

У випадку виконання головної умови нівеліра, як видно з рис. 2.92, перевищення  $h$  точки  $B$  над точкою  $A$  визначалось би за формулою

$$h = a - b. \quad (2.88)$$

Якщо головна умова нівеліра не виконується, то (див. рис.2.92) перевищення дорівнює

$$h' = a + x - (b + x + \Delta x) = a - b - \Delta x = h - \Delta x. \quad (2.89)$$

З рис. 2.92 зрозуміло, що

$$\Delta x = \Delta d \cdot \operatorname{tgi} \approx \Delta d \frac{i''}{\rho}, \quad (2.90)$$

де  $\rho'' = 206265''$ .

Наприклад, для  $i = 20''$  та  $\Delta d = 100 \text{ м} = 100000 \text{ мм}$   
 $\Delta x = 10 \text{ мм}$ .

Як видно з результату обчислення значення  $\Delta x$ , навіть за допустимого значення кута  $i = 20''$  величина «іксової» похибки у перевищенні є неприпустимою у випадку нівелювання на рівнинній місцевості для прийнятної відстані між рейками 100 м.

З наведено зрозуміло, що основним способом нівелювання є нівелювання із «середини». У цьому випадку нівелір не обов'язково встановлювати у створі рейкових точок. Важливим є дотримання лише допустимого значення різниці плечей на станції нівелювання.

У випадках, коли між рейковими точками не можна встановити нівелір з якихось причин, наприклад, проходить автодорога з інтенсивним рухом, чи знаходиться яр, то у таких окремих випадках застосовують спосіб нівелювання вперед. Тоді нівелір встановлюють спочатку поблизу задньої за ходом нівелювання рейки та вимірюють відстань до цієї рейки і виконують нівелювання та визначають перевищення  $h_1$ . Потім встановлюють нівелір поблизу передньої за ходом нівелювання рейки на тій же відстані, що і до передньої рейки, виконують нівелювання у тому ж порядку та обчислюють перевищення  $h_2$ . Оскільки

«іксова похибка» входить в обидва перевищення з протилежним знаком та завдяки рівним відстаням до передньої та задньої рейок має за модулем одне і теж значення, то середнє  $h_{cp}$  з перевищень  $h_1$  та  $h_2$  буде вільне від вказаної похибки і відповідатиме справжньому перевищенню між рєсчними точками.

Для нївелїрів з компенсаторами систематична похибка недокомпенсації - не встановлення візирної осї нївелїра у горизонтальне положення, викликає появу «іксової похибки» у перевищенї за способом, аналогічним невиконанню головної умови нївелїра з цилїндричним рївнем. Значення цієї похибки обчислюється за формулою (2.90). Причиною появи такої похибки може бути невідповідність довжини ниток пїдвісу рухомої частини компенсатора до розрахункових значень, або змїщення оптичних деталей конструкції компенсатора.

1.2. *Похибка встановлення візирної осї в горизонтальне положення.* Похибка викликана неточністю встановлення бульбашки рївня в «нуль-пункт» для нївелїрів з цилїндричним рївнем. Це веде до відхилення візирного променя від вертикального напрямку (рис. 2.93).

Положення бульбашки відносно «нуль-пункту» перед кожним відліком за рейкою буде різне, тому відхилення візирного променя від горизонтального положення матиме різне значення та напрям ( $\tau_a, \tau_b$  – рис. 2.93). Відповідно до цих відхилень похибки у відліках  $\Delta_a$  та  $\Delta_b$  носитимуть випадковий характер.

Гранична похибка у відліку за рейкою через похибку встановлення візирної осї в горизонтальне

положення для нівелірів з контактним рівнем обчислюється за формулою

$$\Delta_{ep} = 0,15d \frac{\tau''}{v \cdot \rho''}, \quad (2.91)$$

де  $\tau''$  - ціна поділки контактного рівня,  $v$  - збільшення оптичної системи контактного рівня,  $d$  - відстань від нівеліра до рейки.

Для нівеліра Н-3 (див. табл. 2.10)  $\tau'' = 15''$ ,  $v = 2^\times$  та для  $d = 100 \text{ м} = 100000 \text{ мм}$   $\Delta_{ep} = 0,5 \text{ мм}$ .

У нівелірів з компенсаторами, через тертя у з'єднаннях конструктивних частин компенсатора чи різну гнучкість ниток підвісу рухомої частини компенсатора під час наведення на задню та передню рейки, виникає недокомпенсація нахилу осі обертання нівеліра, що викликає випадкову похибку у положенні візирного променя відносно горизонту.

Похибку у відліку за рейкою  $\Delta a$  можна обчислити за формулою

$$\Delta a = d \cdot \text{tgi} \approx d \frac{i''}{\rho''}, \quad (2.92)$$

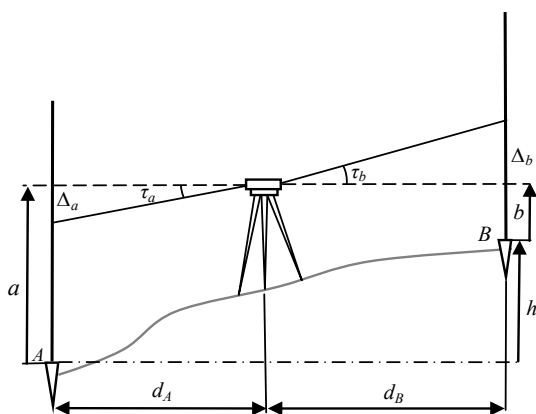
де  $d$  - відстань від нівеліра до рейки (плече),  $i''$  - величина відхилення візирної осі зорової труби від горизонтального положення. Так, для нівеліра Н-ЗК величина  $i'' = 0,5''$  (див. табл.2.10) та для відстані від нівеліра до рейки  $d = 100 \text{ м} = 100000 \text{ мм}$  значення похибки у відліку за рейкою складе  $\Delta a = 0,2 \text{ мм}$ .

Крім того, у нівелірів з повітряним демпфером (пристрій, який гасить коливання рухомої частини



компенсатора) інколи виникає злипання крилець рухомої частини підвісу компенсатора з корпусом демпфера компенсатора.

Для усунення цієї похибки варто перед віддіком рейки легко торкнутися зорової труби - щоб викликати тремтіння зображення рейки у полі зору. Відлік брати після завершення коливання зображення.



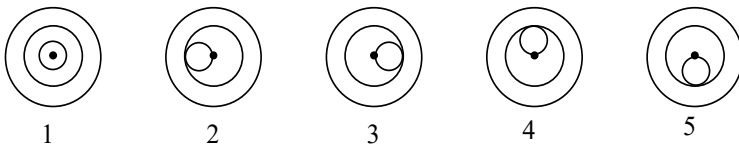
**Рис. 2.93.** Вплив похибки встановлення візирної осі в горизонтальне положення на відліки рейки

Особливістю нівелірів з компенсаторами є можливість появи систематичної (постійно присутньої) похибки недокомпенсації нахилу осі обертання нівеліра. Вона виникає внаслідок порушення допусків під час виготовлення та збирання елементів компенсатора чи впливу ударно-вібраційних навантажень на нівелір під час його експлуатації.

Для виявлення цієї похибки проводять дослідження роботи компенсатора нівеліра. Дослідження виконують у польових умовах. Для цього на відстані

100 м закріплюють на місцевості відрізками арматури, кутника чи труби дві рейкові точки. Нівелір розміщують посередині між закріпленими точками, на які встановлюють рейки. Нівелір приводять у робочий стан та визначають перевищення для п'яти положень бульбашки круглого рівня, як показано на рис. 2.94.

Спочатку підймальними гвинтами нівеліра виводять бульбашку рівня на середину ампули - положення 1 та беруть відліки рейок  $a_1$  та  $b_1$  і обчислюють перевищення  $h_1$ .

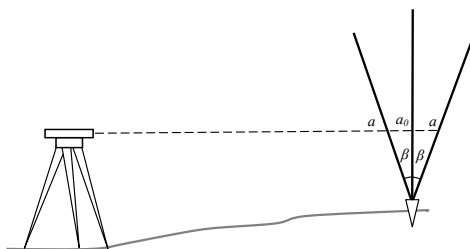


**Рис. 2.94.** До визначення систематичної похибки недокомпенсації

Потім підймальними гвинтами переміщують бульбашку рівня у положення 2 та беруть відліки за рейками  $a_2$  та  $b_2$  і обчислюють перевищення  $h_2$ . Подібні дії виконують для положення бульбашки рівня 2, 3, 4, 5. Це складає один прийом дослідження. Виконують ще 4 прийоми зі зміною висоти нівеліра перед кожним наступним прийомом. Далі, знаходять середні значення перевищень, отриманих для положення бульбашки 2, 3, 4, 5. Ці значення перевищень не повинні відрізнятись від середнього значення перевищення, отриманого для положення бульбашки 1, більш ніж на 10 мм. У протилежному випадку нівелір потребує ремонту у майстерні.

1.3. *Похибка через непрямовисне встановлення рейки.* Нахил рейки у напрямку до нівеліра чи від нівеліра веде до збільшення відліку рейки. Дійсно, з рис. 2.95 видно, що за прямовисного положення рейки відлік дорівнює  $a_0$ , а після нахилу рейки на кут  $\beta$  у напрямку до нівеліра чи від нівеліра відлік дорівнюватиме  $a$ . Причому, як видно з рис. 2.95, відлік  $a_0$  утворює катет прямокутного трикутника, а відлік  $a$  - його гіпотенузу, яка завжди більша за катет. З вказаного прямокутного трикутника можна знайти похибку у відліку рейки  $\Delta a$  через її непрямовисне положення

$$\Delta a = a - a_0 = \frac{a_0}{\cos \beta} - a_0 = a_0 \left( \frac{1 - \cos \beta}{\cos \beta} \right). \quad (2.93)$$



**Рис. 2.95.** До похибки відліку рейки через її непрямовисне положення

Будемо вважати, що величина кута  $\beta$  є малою, а отже у знаменнику  $\cos \beta \approx 1$ , та у чисельнику  $1 - \cos \beta = 2 \sin^2 \frac{\beta}{2}$ , то після підстановки цих значень у формулу (2.93) та відповідних скорочень

$$\Delta a = 0,5 a_0 \left( \frac{\beta}{\rho} \right)^2. \quad (2.94)$$

де  $\rho = 3438'$ .

Користуючись формулою (2.94), можна визначити значення кута  $\beta$ , яке відповідатиме максимальній похибці  $\Delta a$

$$\beta' = \rho' \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta a}{a_0}}. \quad (2.95)$$

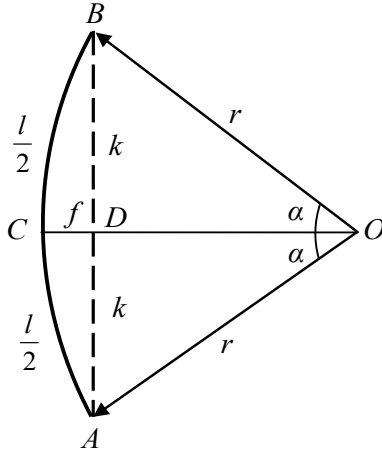
Наприклад, для відліку рейки 3000 мм та максимального значення похибки відліку за рейкою  $\Delta a = 1$  мм значення кута нахилу рейки за формулою (2.95) складе  $1,5^\circ$ . На рівні зросту людини, наприклад, 1,7 м відхиленню рейки від вертикалі в  $1,5^\circ$  буде відповідатиме відхилення  $\Delta b = 1700 \text{ мм} \frac{90'}{3438} = 45 \text{ мм}$ . Таке відхилення рейки від вертикалі можна відчутти, якщо нахилити рейку, встановлену на рейковій точці, в напрямку на нівелір та від нівеліра відносно її вертикального положення. Крім того, такий прийом дозволяє визначити мінімальний відлік за рейкою, який відповідає вертикальному її положенню.

1.4. *Похибка через прогин рейки.* Внаслідок неправильного зберігання рейок виникає стійкий прогин її корпусу (рис. 2 96).

Прогин рейки має радіус  $r$  та характеризується стрілкою прогину  $CD = f$ . Різниця довжин дуги  $l$  та хорди  $k$  дорівнює

$$\Delta l = l - 2k. \quad (2.96)$$

З прямокутних трикутників  $ACO$  та  $CBO$  значення  $\Delta l = l - 2r \cdot \sin a$  та після розкладання  $\sin a$  в ряд з утриманням двох перших членів ряду вираз (2.96) запишеться у вигляді



**Рис. 2.96.** До впливу прогину рейки на відлік

$$\Delta l = l - 2r \left( \alpha - \frac{\alpha^3}{6} \right). \quad (2.97)$$

З рис. 2.96 зрозуміло, що  $\alpha = \frac{1}{2r}$ , а підстановка цього виразу у формулу (2.97) та після скорочень, дозволяє отримати

$$\Delta l = -\frac{l^3}{24r^2}. \quad (2.98)$$

З трикутника  $BDO$   $r^2 = k^2 + (r-f)^2$ , а з трикутника  $CBD$   $k^2 + f^2 \approx \frac{l^2}{4}$ . Після додавання цих виразів та виконання перетворень, значення радіусу прогину рейки дорівнює

$$r = \frac{l^2}{8f}. \quad (2.99)$$

Підстановка (2.99) у формулу (2.98) дозволяє отримати похибку у відліку за рейкою

$$\Delta l = -\frac{8f^2}{3l}. \quad (2.100)$$

Наприклад, для допустимого значення стрілки прогину рейки  $f = 10$  мм для рейки довжиною 3000 мм похибка у відліку за рейкою складе  $\Delta l = -0,1$  мм.

*2. Похибки, викликані дією навколишнього середовища.*

*2.1. Похибка, викликана кривиною Землі та рефракцією.* Під час опису геометричного нівелювання були використані наступні припущення:

- рівневі поверхні є горизонтальними площинами;
- рейки на реєчних точках встановлені вертикально і паралельно одна до одної;
- відліки за рейками утворені перетином горизонтальних візирних променів з площинами рейок.

Строго кажучи, це є ідеалізована модель геометричного нівелювання. В дійсності перетини рівневих поверхонь вертикальною площиною, яка проходить через створ нівелірних рейок на станції нівелювання, можна вважати дугами концентричними кіл, центром яких є центр Земної кулі радіусом  $R \approx 6400$  км. Так, на рис. 2.97 прямі  $l$  та  $l'$  є візирними променями згідно з ідеальною моделлю, які відтинають відліки за рейками  $a$  та  $b$ . Відстані  $d_A$ ,  $d_B$  від нівеліра до рейок є дугами, які утворюють рівневу поверхню точки  $A$ , а криві  $2$  та  $2'$  є горизонтом інструмента. Дугами на рис. 2.95 є відстані  $d_A$ ,  $d_B$  від

нівеліра до рейок, які утворюють рівневу поверхню точки  $A$ . Відрізки на рейках  $k_a$  та  $k_b$  – поправки за кривину Землі.

Розподіл густини повітря в нижніх прошарках атмосфери змінюється зі зміною висоти відносно Землі. В цих умовах візирний промінь зазнає викривлення. Таке явище називається *рефракцією*. Викривлення візирного променя у вертикальній площині називається *вертикальною рефракцією*, яка і впливає на відліки рейки під час нівелювання. За звичайних умов, коли в приземних прошарках густина повітря зменшується з висотою, кінці рефракційної кривої вгнуті до земної поверхні – криві  $Z$  та  $Z'$ . Вона відтинає на рейках відрізки  $r_a$  та  $r_b$  (див. рис. 2.97).

Перевищення точки  $B$  над точкою  $A$  згідно з рис.2.97 де  $a_k$  та  $b_k$  – відліки рейок, що відповідають візирним променям, спотвореним кривиною Землі, дорівнює

$$h = a_k - b_k. \quad (2.101)$$

Обчислене перевищення з урахуванням дії рефракції на відліки за рейками, дорівнює

$$h_r = a_r - b_r. \quad (2.102)$$

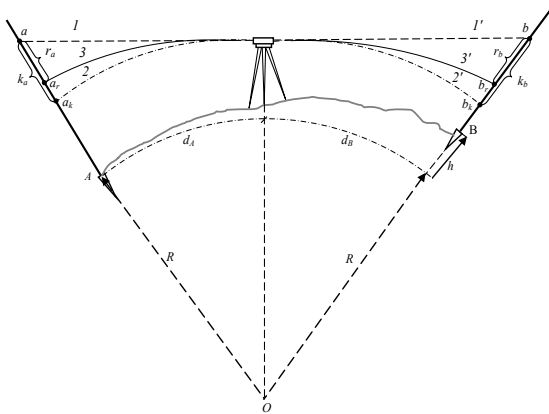
З рис. 2.97 зрозуміло, що  $a_r = a_k + k_a - r_a$ ,  $b_r = b_k + k_b - r_b$ , звідки

$$\begin{aligned} a_k &= a_r - (k_a - r_a), \\ b_k &= b_r - (k_b - r_b). \end{aligned} \quad (2.103)$$

Сумісний вплив рефракції та кривини Землі на відліки рейок дорівнює

$$f_a = (k_a - r_a),$$

$$f_b = (k_b - r_b). \quad (2.104)$$



**Рис. 2.97.** Вплив кривини Землі та рефракції на візирні промені під час нівелювання

Тоді, перевищення точки  $B$  над точкою  $A$  згідно з формулою (2.101) з урахуванням формул (2.103) та (2.104), дорівнює

$$h = (a_r - f_a) - (b_r - f_b) = (a_r - b_r) - (f_a - f_b). \quad (2.105)$$

Відповідно до формули (1.11) поправка за кривину Землі у відлік за рейкою обчислюється за формулою

$$k = \frac{d^2}{2R}, \quad (2.106)$$

де  $d$  – відстань від нівеліра до рейки,  $R$  – радіус земної кулі.



Вважаючи, що рефракційна крива є дугою кола радіуса  $R_r$ , - по аналогії з (2.106), поправка у відлік за рейкою через вертикальну рефракцію дорівнює

$$r = \frac{d^2}{2R_r}. \quad (2.107)$$

Співвідношення між радіусом Землі та радіусом кривини рефракційної кривої виражається залежністю

$$K = \frac{R}{R_r}, \quad (2.108)$$

де  $K$  – коефіцієнт Земного заломлення (рефракції).

Якщо з формули (2.108) визначити радіус кривини рефракційної кривої, підставити його у формулу (2.107), то поправка за кривину Землі та рефракцію у відлік за рейкою згідно з формулою (2.104) та з врахуванням формул (2.106) і (2.107) набуде вигляду

$$f_a = \frac{d_a^2}{2R}(1 - K),$$

$$f_b = \frac{d_b^2}{2R}(1 - K). \quad (2.109)$$

Значення коефіцієнта земного заломлення залежить від параметрів атмосфери – тиску, температури повітря та ряду інших чинників. Для попередніх розрахунків приймається  $K = 0,16$ . В таблиці 2.12 наведено кілька значень поправки за кривину Землі та рефракцію для радіуса земної кулі  $R = 6400$  км.

Таблиця 2.12 показує, що під час виконання нівелювання способом «вперед», поправка за кривину

Землі та рефракцію для відстаней 100 м – 120 м складає величину 1 мм. Тому такі відстані можна вважати максимальними значеннями для нівелювання способом «вперед».

Якщо застосовувати для виконання нівелювання спосіб із «середини», то як видно з формули (2.109) та (2.105) за рівних значень плечей нівелювання поправки за кривину Землі та рефракцію мають однакові величини та компенсуються після визначення перевищення на станції. Та навіть для різниці плечей близько 100 м сумарна поправка у перевищення складатиме близько 1 мм.

У жаркі літні дні найближчі до поверхні Землі прошарки повітря ближче до полудня сильно прогріваються. Це веде до перерозподілу густини повітря в нижніх шарах, коли його густина збільшуються з висотою. Тоді рефракційна крива вигнута своїми кінцями догори.

Для послаблення дії рефракції на результати нівелювання, його слід виконувати у ясні сонячні дні через 1 – 1,5 години після сходу Сонця та до 10 -11 години і продовжувати з 16, 17 години до 1 – 1,5 години до заходу Сонця.

Таблиця 2.12

Значення поправки за кривину Землі та рефракцію в залежності від величини плеча нівелювання

Величина плеча $d$ , м	Значення поправки $f$ , мм
10	0,007
50	0,2
100	0,7
120	1,0
150	1,5
200	2,6
300	5,9
400	10,5

*2.2. Похибки, викликані коливанням зображень поділок рейки(вплив вертикальної рефракції)*  
Виконання нівелювання у сонячні жаркі дні часто супроводжується нестабільним положенням зображення поділок рейок, які спостерігаються у зорову трубу. Особливо це відчутно, якщо візирний промінь нівеліра проходить над асфальтованою дорогою чи тротуаром, нагрітим сонцем. Коливання зображення візирного променя обумовлені турбулентними рухами нагрітого повітря над підстилаючою поверхнею.

В такі періоди нестійкої стратифікації атмосфери не рекомендується виконувати нівелювання.

*2.3. Похибки через вплив перепадів температури повітря на положення візирного променя нівеліра.*

Згідно з технічними умовами нівеліри повинні бути придатними для використання в температурних умовах від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Але поза періодом польових робіт нівеліри, як інші геодезичні прилади, зберігаються, зазвичай, у приміщеннях з плюсовою температурою. Однак, інколи виникає необхідність їх використання, наприклад, взимку під час морозів. Корпуси нівелірів виготовлені з легких металевих сплавів, не здатних намагнічуватись. Оптичні деталі виготовлені зі скла. Причому об'єктиви та окуляри містять по кілька лінз – для зменшення *аберацій* (похибок) оптичних систем. Сітка ниток має металеву оправу, в якій знаходиться скляна плоскопаралельна платівка, на якій розташована власне сітка ниток, вигравіювана тонкими порізами на оптичному склі, які зафарбовані темною фарбою. Коефіцієнти лінійного розширення корпусу нівеліра та оправ лінз та сітки ниток мають більші значення ніж

коефіцієнти лінійного розширення оптичного скла та більшу теплопровідність. Тому за низьких температур відбувається стиснення скляних оптичних деталей оправами та корпусом приладу. Це призводить до деформацій опричних деталей та їх взаємного зміщення у складі набірних оптичних систем. Такі деформації та зміщення ведуть, у свою чергу, до зміщення оптичних центрів лінз та перехрестя сітки ниток і у підсумку – до переміщення просторового положення візирної осі нівеліра. Встановлено, що зміна температури на  $1^\circ$  веде до зміни положення візирного променя нівеліра у вертикальному напрямку в середньому на  $0,5''$ . Тому, якщо нівелір зберігався при температурі  $+ 20^\circ\text{C}$ , а повинен застосовуватись при температурі  $- 10^\circ\text{C}$ , то зміна положення візирного променя може скласти  $15''$ , що є суттєвою величиною.

З часом, після припинення деформацій, візирна вісь може зайняти інше просторове положення, ніж вона займала до термічних деформацій. Тому у настановах з використання геодезичних приладів рекомендують утримувати їх за температури проведення вимірювань не менше 2 годин – для стабілізації термічних деформацій, а також виконати їх перевірки та у разі необхідності – провести виправлення.

### *3. Особисті похибки спостерігача.*

*3.1. Похибка візування, викликана специфічністю органів зору спостерігача.* Встановлено, що роздільна здатність ока людини в середньому становить одну кутову мінуту. Тоді предмети, які знаходяться у полі зору людини в межах кута в  $1'$  є невидимі оку. Виконавець, спостерігаючи у зорову трубу, яка має збільшення  $\Gamma^x$ , збільшує роздільну здатність ока

обернено пропорційно до величини збільшення. Тому для оцінки похибки візування застосовують формулу, яка відповідає роздільній здатності зорової труби

$$\gamma = \frac{60''}{\Gamma^x}. \quad (2.110)$$

Похибка візування у лінійній мірі визначається за формулою

$$\Delta_\gamma = \frac{60''}{\rho'' \cdot \Gamma^x} d. \quad (2.111)$$

Наприклад, для нівеліра Н-3, який має збільшення зорової труби 30<sup>x</sup> (див. табл. 2.10), похибка візування на відстані  $d = 100 \text{ м} = 100000 \text{ мм}$  згідно з (2.111) складає 1,0 мм.

Взагалі, похибка візування залежить також від форми, розмірів, освітленості, контрасту та кольору малюнка візирної цілі (у даному випадку – поділок рейки), відстані до неї, товщини сітки ниток.

*3.2. Похибки відліку рейки.* Встановлено, що окомірний поділ відрізка на десяті частки виконується з похибкою 0,15 від видимої довжини цього відрізка. Тож поділку рейки 10 мм спостерігач окомірною оцінює з точністю 1,5 мм.

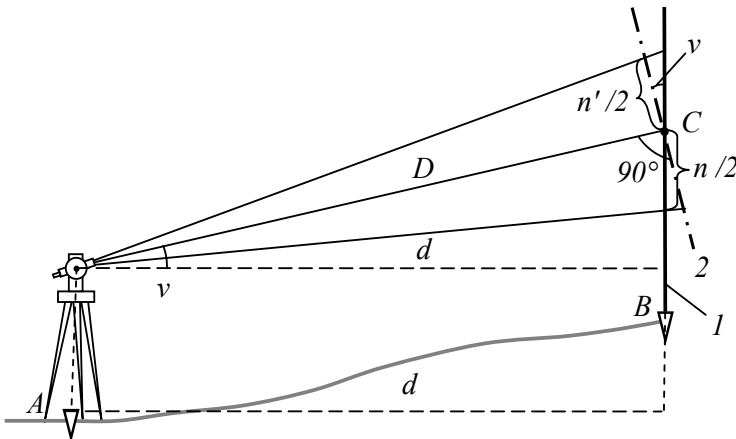
Крім того, деякі спостерігачі мають уподобання відлічувати непарні (парні) частки сантиметра: 1, 3, 5, 7, 9 міліметрів, або: 2, 4, 6, 8 міліметрів - за одного і того ж положення горизонтальної нитки сітки відносно крайок поділки рейки. Тому один і той же відлік рейки у двох різних спостерігачів може відрізнятись на 1 мм. Висновок - відліки рейки на станції нівелювання повинен виконувати один конкретний спостерігач.

Крім того на точність відлічування впливає і емоційний стан спостерігача. Роздратований, знервований спостерігач не матиме терпіння на точне встановлення бульбашки рівня у нуль-пункт, точного відлічування рейки тощо.

#### 2.4.10. Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання виконується для створення висотної основи топографічних зніманих у горбистій та гірській місцевостях, там де недоцільно виконувати геометричне нівелювання. Важливою особливістю тригонометричного нівелювання є можливість передачі висот на значні відстані.

Під час тригонометричного нівелювання, як правило, вимірюється похила відстань між пунктами визначення перевищень за допомогою ниткового віддалеміра (рис. 2.98).



**Рис. 2. 98.** До вимірювання нитковим віддалеміром похилих відстаней

Нехай необхідно виміряти похилу відстань  $D$  між пунктами нівелювання  $A$  та  $B$ . Візирний промінь теодоліта, встановленого над точкою  $A$ , перетне площину рейки 1, встановлену на точці  $B$ , в точці  $C$ . Віддалемірні нитки сітки утворять різницю відліків за рейкою, яка дорівнює  $n$  (на рис. 2.98 показано половину різниць відліків за рейкою  $n/2$ ). Якби нівелірна рейка знаходилась перпендикулярно до візирного променя (положення 2), то різниця відліків за віддалемірними нитками складала б  $n'$  (на рис. 2.98 показано половину різниць відліків рейки  $n'/2$ ). З прямокутного трикутника, утвореного перетином рейок у точці  $C$  в положенні 1 та 2, кут між якими дорівнює  $v$ , випливає, що

$$n' = n \cdot \cos v. \quad (2.112)$$

Похила відстань, згідно з формулою 2.63 (для  $h = n$ ), яка відповідає положенню рейки 2, дорівнює

$$D = Kn' = Kn \cdot \cos v. \quad (2.113)$$

Згідно з рис. 2.98, горизонтальне прокладення визначається за формулою

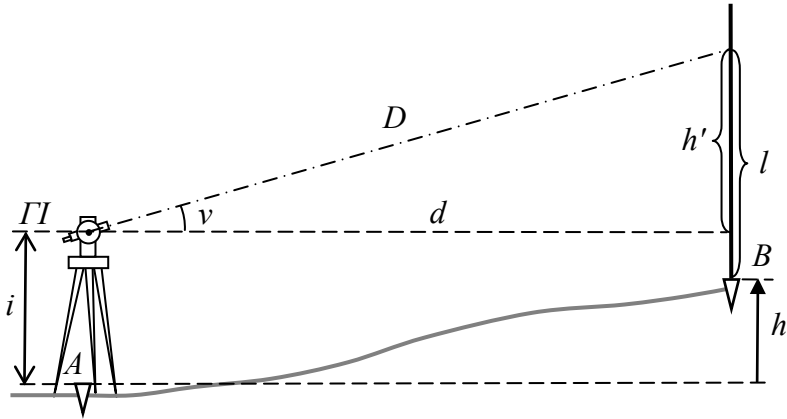
$$d = D \cos v = Kn \cdot \cos^2 v. \quad (2.114)$$

Для  $K = 100$  формула (2.114) прийме вигляд

$$d = 100n \cdot \cos^2 v. \quad (2.115)$$

Для виконання тригонометричного нівелювання (рис. 2.99) над точкою  $A$  встановлюють теодоліт,

приводять його у робочий стан, а на точці  $B$  розміщують вертикально рейку.



**Рис. 2. 99.** Схема тригонометричного нівелювання на коротких відстанях

Для коротких відстаней між теодолітом і рейкою рівневі поверхні, які проходять через точку  $A$  та горизонт інструменту ( $\Gamma\Pi$ ), можна вважати паралельними, а візорний промінь не спотворений вертикальною рефракцією. З рис. 2. 99 випливає, що для висоти інструменту  $i$ , висоти відліку за рейкою  $h'$  над  $\Gamma\Pi$ , перевищення  $h$  точки  $B$  над точкою  $A$  та відліку за рейкою  $l$ , справедливе співвідношення

$$i + h' = l + h, \quad (2. 116)$$

**з якого** визначається перевищення

$$h = h' + i - l. \quad (2.117)$$



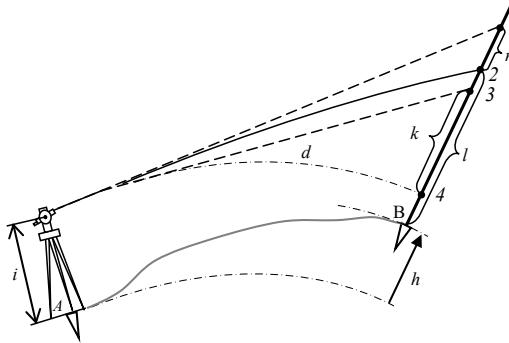
З рис. 2.99 видно, що

$$h' = d \cdot \operatorname{tg} \nu, \quad (2.118)$$

То ж з урахуванням (2.117) та (2.118) величина перевищення для коротких відстаней від теодоліту до рейки визначається за формулою

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - l. \quad (2.119)$$

Для випадку значної відстані до рейки необхідно враховувати кривину Землі та рефракцію. На рис. 2.100 візирний промінь від теодоліта мав би перетнути площину рейки в точці 1. Однак, візирний промінь буде викривлено дією рефракції, тож він перетне площину рейки в точці 2. Дотична до рівневої поверхні, яка проходить через вертикальну вісь обертання теодоліту, перетне площину рейки в точці 3. Сама ж рівнева поверхня перетне площину рейки в точці 4. Встановлено, що для відстані  $d = 5$  км, дотична до рівневої поверхні утворює кут з площиною рейки в точці 3, який відрізняється від прямого кута лише на  $3'$ .



**Рис. 2. 100.** Вплив кривини Землі та рефракції на результати тригонометричного нівелювання

Тож цей кут можна вважати практично рівним  $90^\circ$ . Тому за аналогією з рис. 2.99 можна вважати, що відрізок за рейкою  $(1 - 3) = h' = d \cdot \operatorname{tg} v$ . Величини  $k$  та  $r$  є відповідно поправками за кривину Землі та рефракцію. Рівнева поверхня точки  $B$  над точкою  $A$  має перевищення  $h$ .

Тож згідно з рис. 2.100 випливає, що

$$h + l + r = i + k + h', \quad (2.120).$$

звідки

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - l + k - r, \quad (2.121)$$

а з врахуванням формули (2.104) значення перевищення визначається за формулою

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - l + f. \quad (2.122)$$

Для обчислення перевищення за формулою (2.122) необхідно спочатку визначити горизонтальне прокладення за формулою (2.114) чи (2.115) для вимірюванні відстані нитковим віддалеміром. Однак, можна визначити перевищення  $i$  за іншою формулою, без попереднього обчислення горизонтального прокладення. Для цього у формулу (2.122) необхідно підставити значення  $d$  згідно з формулою (2.114) та з урахуванням, того що  $\sin v \cdot \cos v = \frac{1}{2} \sin 2v$ , отримаємо кінцеву формулу

$$h = \frac{1}{2} Kn \cdot \sin 2v. \quad (2.123)$$

Перевищення, визначені методом тригонометричного нівелювання, обчислюють із заокругленням до 0,01 м. Тому, як видно з табл. 2.12, поправку  $f$  за кривину Землі та рефракцію починають враховувати у перевищенні для відстаней понад 300 м.

Граничне значення похибки за результатами тригонометричного нівелювання в ході з числом ліній  $n$  обчислюється за формулою (в метрах)

$$f_{\text{доп}} = \pm (0,04S\sqrt{n}), \quad (2.124)$$

де  $S$  – середня довжина лінії, виражена у сотнях метрів.

#### **2.4.11. GNSS – нівелювання**

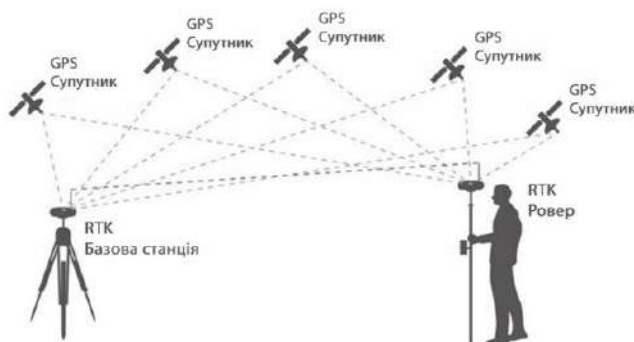
Наразі для позиціонування у просторі та часі, визначення напрямку та швидкості руху різноманітних об'єктів застосовується глобальна супутникова навігаційна система – ГНСС (GNSS — Global Navigation Satellite System). ГНСС включає мережу наземних станцій спостереження за супутниками, угруповання супутників, приймачі користувачів та інформаційна радіосистема для передачі користувачам поправок.

Для геодезичних цілей широко застосовується технологія RTK (Real Time Kinematic) - метод визначення місцезнаходження в просторі з сантиметровою точністю за допомогою супутникової навігації сумісно з передачею поправок від базових станцій.

Щоб отримати поправки використовується базова станція, координати якої відомі заздалегідь з високою точністю. Базова станція приймає сигнали від супутників та за допомогою спеціалізованого

програмного забезпечення вираховуються похибки визначення місцезнаходження станції, в наслідок чого формуються поправки. Поправки по інтернету, або з використанням радіомодему чи по стільниковому зв'язку, надсилаються на ровер (приймач). Ровер також приймає сигнали від тих самих супутників, що й базова станція (рис. 2.101).

Програмне забезпечення ровера опрацює сигнали супутників та з урахуванням поправок від базової станції визначити своє місцезнаходження з точністю до 1-2 см в режимі реального часу.

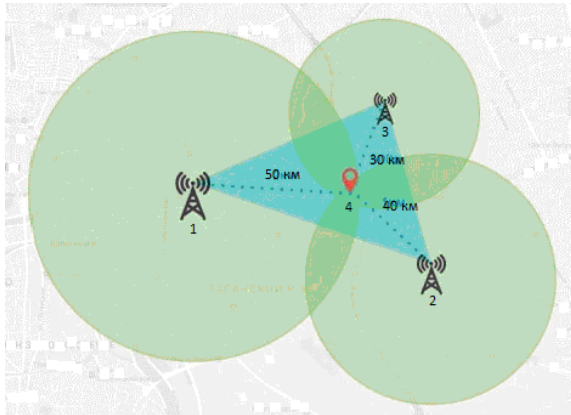


**Рис. 2.101.** Складові технології RTK

Наразі на території України існує розвинута мережа перманентних (постінодіючих) базових станцій, які знаходяться на відстані близько 70 - 100 км одна від одної. Кожна базова станція передає данні, отримані від одних і тих же супутників про своє місцезнаходження на сервер, який формує поправки і надсилає їх на ровер (рис. 2.102). Програмне

забезпечення ровера поєднує дані від сервера та сигнали від супутників, вибирає базову станцію та визначає від неї власне місцезнаходження.

Роверний приймач (рис. 2.103) містить штангу, у верхній частині якої розташовано приймач сигналів від супутників, нижня частина штанги має конусоподібну форму – для центрування над геодезичним пунктом чи точкою місцевості. До штанги прикріплено круглий рівень – для встановлення осі штанги у вертикальне положення під час центрування фазового центра антени над точкою.

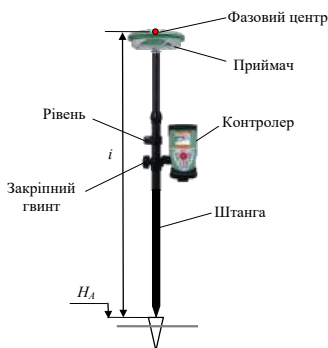


**Рис. 2.102.** Взаємне розташування системи базових станцій 1, 2, 3 та приймача користувача (ровера) 4

Контролер (комп'ютер) кріпиться до штанги за допомогою пересувного механізму, який має закріпний гвинт – для фіксації корпусу контролера на потрібній висоті під час роботи з ним. Під час роботи на станції визначається висота інструменту  $i$  – висота розташування фазового центру відносно точки встановлення штанги.

Після ініціалізація контролера та приймача відбувається визначення просторових геоцентричних координат фазового центра та з урахуванням висоти інструменту  $i$  контролер перераховує ці координати у координати точки місцевості, на яку встановлена штанга ровера. З використанням спеціалізованого програмного забезпечення за просторовими геоцентричними координатами точки обчислюються її геодезичні координати: широта, довгота і висота -  $H_A$ .

Перевищення точок місцевості можна визначити безпосередньо за результатами GNSS-нівелювання, а саме – за їх геодезичними висотами.



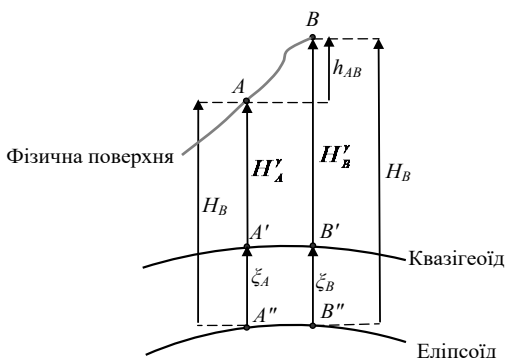
**Рис. 2.103.** До визначення геодезичної висоти точки місцевості на роверній станції

На рис. 2.104 зображено дві точки місцевості  $A$  та  $B$ , перевищення між якими складає  $h_{AB}$ . Точки  $A$  та  $B$  проєктуються на поверхню квазігеоїда та еліпсоїда та зображаються відповідно точками  $A'$ ,  $A''$  та  $B'$ ,  $B''$ . Нормальні висоти цих точок, які вимірюються від поверхні квазігеоїда, дорівнюють  $H_{A'}^{\gamma}$ ,  $H_{B'}^{\gamma}$ , геодезичні

висоти, що вимірюються від поверхні еліпсоїда, складають  $H_A$  та  $H_B$ . Аномалії висот вказаних точок, як відстані від поверхні еліпсоїда до поверхні квазігеоїда, дорівнюють  $\zeta_A$  та  $\zeta_B$ . Перевищення точки  $B$  над точкою  $A$  з урахуванням нормальних висот дорівнює

$$h_{AB} = H_B^\gamma - H_A^\gamma. \quad (2.125)$$

На локальній території, яка до того ж є рівнинною місцевістю, не має аномальний розподіл мас в земній товщі, можна вважати, що відрізки  $A'B'$  та  $A''B''$ , що лежать на практично плоских поверхнях квазігеоїда та еліпсоїда, є прямими лініями, а тому



**Рис. 2.104.** До визначення перевищень точок місцевості за результатами GNSS-нівелювання

$$\zeta_A = \zeta_B. \quad (2.126)$$

Тоді перевищення точки  $B$  над точкою  $A$  з урахуванням геодезичних висот дорівнює

$$h_{AB} = H_B - H_A = H_B^\gamma + \zeta_B - (H_A^\gamma + \zeta_A) = H_B^\gamma - H_A^\gamma. \quad (2.127)$$

З урахуванням (2.127) можна визначити і нормальну висоту точки  $B$  за відомою нормальною відміткою точки  $A$  за перевищенням, визначеним за результатами GNSS-нівелювання як різниці геодезичних висот цих точок  $H_B - H_A$

$$H_B^{\eta} = H_A^{\eta} + (H_B - H_A). \quad (2.128)$$

В загальному випадку рівність (2.126) не зберігається. Тому, щоб визначити перевищення точки  $B$  над точкою  $A$  за формулою (2.125), необхідно, крім геодезичних висот точок  $A$  та  $B$ , визначеними за результатами GNSS-нівелювання, знати складові  $\xi_A$  та  $\xi_B$ . Для цього використовуються моделі поверхні квазігеоїда, які періодично уточнюються.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які види нівелювання існують ?
2. Вкажіть класифікацію нівелірів та особливості їх маркування.
3. Яку функцію несе компенсатор нівеліра?
4. Назвіть осі та вкажіть перевірки нівелірів.
5. Які перевірки виконують стосовно нівелірних рейок?
6. Як взяти відлік за контрольною лінійкою?
7. Як взяти відлік за рейкою?
8. Назвіть способи нівелювання та вкажіть на їх особливості.
9. Які похибки має геометричне нівелювання?













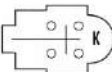









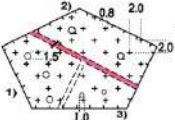
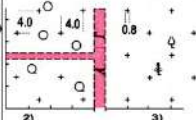
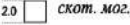



# ДОДАТКИ

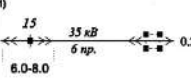
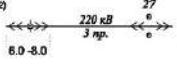
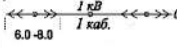
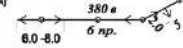
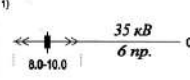
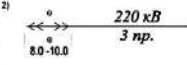
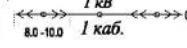
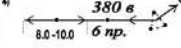


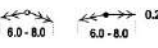













Додаток А















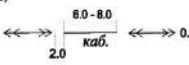
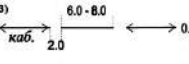
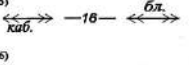
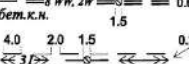
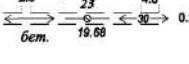
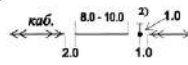


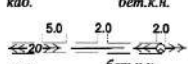
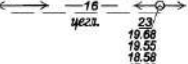

## Умовні знаки


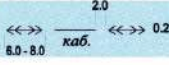
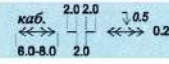

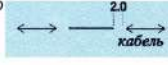

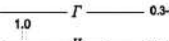
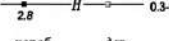

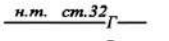
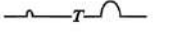

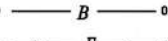
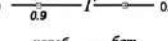
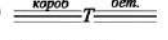
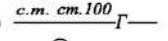

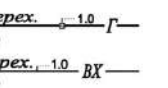
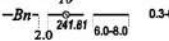

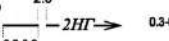

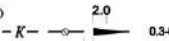
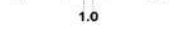
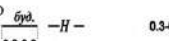
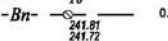
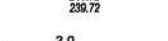
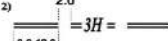




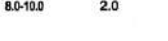

№ знака таблиць	Назва й характеристика топографічних об'єктів	Умовні знаки топографічних об'єктів для планів масштабів	
		1:5000, 1:2000	1:1000, 1:500
<b>ГЕОДЕЗИЧНІ ПУНКТИ</b>			
1	Пункти державної геодезичної мережі (в чисельнику - висота центра, у знаменнику - висота землі, зліва - назва пункту)		
3	Пункти геодезичних мереж згущення та їхні номери		
5	Точки планових знімальних мереж: 1) довготривалого закріплення на місцевості 2) тимчасового закріплення на місцевості	 	 
11	Знаки нівелірії: 1) репери фундаментальні (у чисельнику - висота головки марки, у знаменнику - висота землі; зліва - номер знака) 2) репери ґрунтові 3) репери ґрунтові координовані 4) репери ґрунтові будівельні довготривалого закріплення 5) репери ґрунтові будівельні тимчасового закріплення 6) репери й марки стінні	    	    
12	Перетин координатних ліній (колір ліній-зелений)		
<b>БУДИНКИ, БУДІВЛІ ТА ЇХ ЧАСТИНИ</b>			
		1:5000	1:2000, 1:1000, 1:500
13	Будівлі житлові вогнетривкі (цегляні, кам'яні, бетонні, жужелеві та ін.)		 

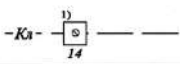
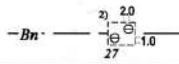


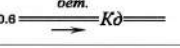

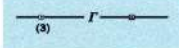
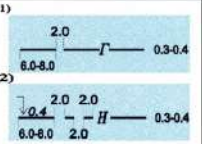
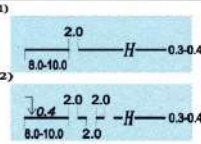
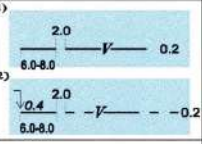
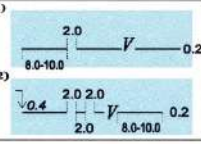
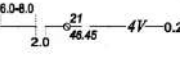
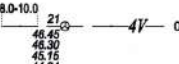
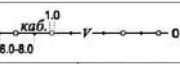
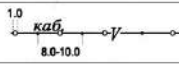
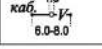
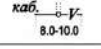
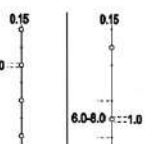
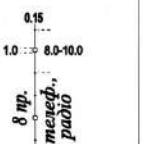


14	Будівлі нежитлові вогнетривкі			
15	Будівлі житлові невогнетривкі			
16	Будівлі нежитлові невогнетривкі			
25	Висоти: підлоги першого поверху (всередині контуру будівлі); відмостки, землі або тротуару на розі будинку			
		1:5000	1:2000	1:1000, 1:500
26	Споруди вежового типу капітальні	 вод. бази.	 вод. бази.	 вод. бази.
28	Церкви, костьоли кам'яні			
		1:5000, 1:2000	1:1000, 1:500	
66	Скульптури, тури, кам'яні стовпи висотою 1 м і вище	 СК.  тур	 тур  СК.	
67	Пам'ятники, монументи			
68	1) Могили окремі 2) Знаки з релігійними зображеннями, які мають значення орієнтирів	 1)  2)	 2)	
71	Кладовища і доріжки на них: 1) з густою рослинністю 2) з рідколіссям 3) з окремими деревами (зафарбування доріжок – рожево)			
73	Скотомогильники	 СКОТ. МОГ.	 СКОТ. МОГ.	











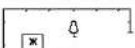


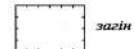

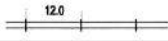
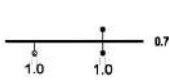
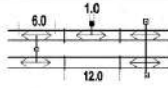


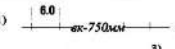
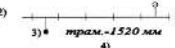

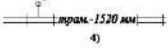
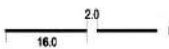

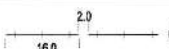
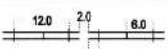
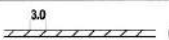
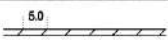
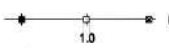

ОБ'ЄКТИ ПРОМИСЛОВІ, КОМУНАЛЬНІ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ		
84	Укоси закріплені (написи - способи закріплення; цифри - висоти, м)	
87	Розробки твердих корисних копалин відкриті, матеріал (цифри - глибини, м)	
88	Торфовища та способі добування	
96	Бензocolонки, колонки дизельного палива	
106	Опори дерев'яні: 1) стовпи й ферми дерев'яні 2) стовпи дерев'яні з підкосами або відтяжками	
107	Опори металеві: 1) стовпи і ферми металеві 2) стовпи фермові	
108	Опори (стовпи й ферми) залізобетонні	
112	1) Будки трансформаторні, їхні номери 2) Підстанції електричні, їхні номери	
113	Трансформатори на стовпах і постаментях	

114	<p>Лінії електропередачі (ЛЕП) на незабудованій території:</p> <p>1) ЛЕП високої напруги на металевих фермах (цифри - висоти ферм в м., напруга ЛЕП в кВ та кількість проводів)</p> <p>2) ЛЕП високої напруги на залізобетонних фермах (цифри - висоти ферм в м., напруга ЛЕП в кВ та кількість проводів)</p> <p>3) кабельна повітряна ЛЕП високої напруги на залізобетонних і дерев'яних стовпах (цифри - напруга ЛЕП в кВ та кількість кабелів)</p> <p>4) ЛЕП низької напруги на дерев'яних та металевих стовпах (цифри - напруга ЛЕП в вольтах, кількість проводів та їх провис., м)</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p>
115	<p>Лінії електропередачі (ЛЕП) на забудованій території:</p> <p>1) ЛЕП високої напруги на металевих фермах (цифри - висоти ферм, м)</p> <p>2) ЛЕП високої напруги на дерев'яних фермах (цифри - висоти ферм, м)</p> <p>3) ЛЕП високої напруги на стовпах</p> <p>4) кабельна повітряна ЛЕП високої напруги на стовпах</p> <p>5) ЛЕП низької напруги на стовпах</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p>
116	<p>Перехід від повітряних ЛЕП до кабельних підземних ЛЕП</p>	<p></p>	<p></p>
118	<p>Колодязі оглядові (люки) підземних комунікацій:</p> <p>1) зруйновані</p> <p>2) замощені або заасфальтовані</p>	<p>1) </p> <p>2) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p>

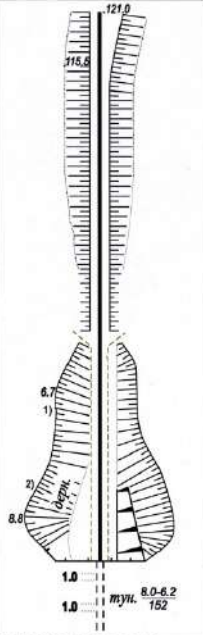
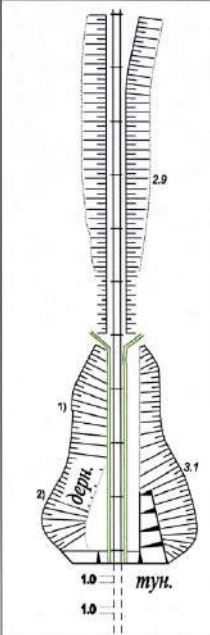
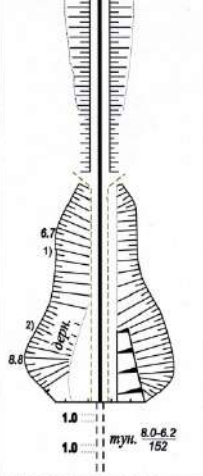
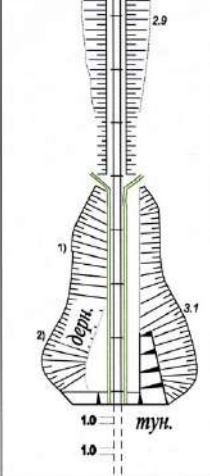
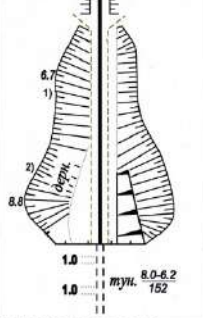
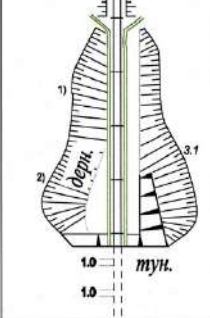
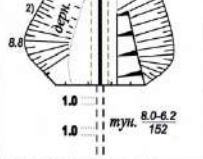
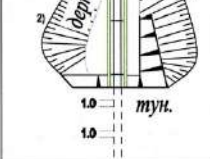
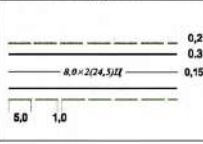
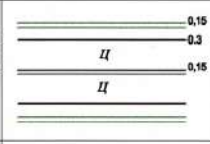
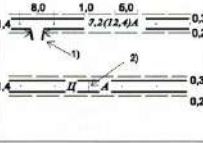
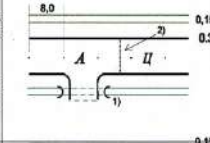

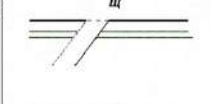
117	<p>Колодязі оглядові (люки) підземних комунікацій:</p> <p>1) без розподілу за призначенням</p> <p>2) з розподілом за призначенням: на водоводах</p> <p>на каналізаційних мережах (побутових, виробничо-дошових, умовно чистих вод, хімічних забруднених стоків тощо)</p> <p>на каналізаційних мережах дошових</p> <p>на дренажних грубоводах</p> <p>на газоводах</p> <p>на нафтоводах</p> <p>на тепломережах</p> <p>на електрокабелях</p> <p>на кабелях за'язку та технічних засобів керування</p> <p>на повітроводах</p> <p>на мазутоводах</p> <p>на бензоводах</p> <p>на золоводах</p>	<p>1.5</p>  <p>1.5</p> 	<p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p>  <p>2.0</p> 
119	<p>Електрокабелі підземні</p> <p>1) високої напруги (закладені в траншею)</p> <p>2) кабельні стовпчики-сторожки</p> <p>3) низької напруги (закладені в траншею)</p> <p>4) висоти землі та закладення труби кабелю</p> <p>5) високої та низької напруги в блоках (цифри - кількість прокладок у блоці)</p> <p>6) високої та низької напруги в каналах; матеріал каналів, колодязі оглядові, їхні номери та висоти (цифри в розриві знака - кількість прокладок, індекси WW - висока напруга, W - низька)</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>

120	<p>Електрокабелі підводні:</p> <p>1) високої напруги на поверхні дна</p> <p>2) низької напруги на поверхні дна</p> <p>3) високої та низької напруги, прокладені під дном або перекритті наносами ( цифри біля стрілки - глибини від поверхні дна, м) (колір водоймища – голубий)</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p>
121	<p>Трубоводи наземні</p> <p>1) на ґрунті (букви - індекси призначення трубоводів)</p> <p>2) на опорах (цифри - висоти опор, м)</p> <p>3) у коробах (напис - матеріал короба)</p> <p>4) матеріал труб та їхній внутрішній діаметр у мм, категорія тиску для газоводів</p> <p>5) вигини трубоводів компенсаційні</p> <p>6). переходи трубоводів аркові (через перепони)</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>
122	<p>Трубоводи підземні:</p> <p>1) трубоводи з колодязями оглядовими (букви - індекси призначення трубоводів, цифри - номери і висоти колодязів)</p> <p>2) трубоводи, прокладені поруч в одній траншеї (цифри - кількість прокладок)</p> <p>3) напрям течії рідин в самопливних прокладках</p> <p>4) в стадії будівництва</p> <p>5) недіючі</p> <p>6) глибини закладення труб, м (до їх верху)</p> <p>7) ковери</p> <p>8) бункери і будки оглядові</p> <p>9) пункти контрольно-розподільвальні</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p> <p>7) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p> <p>7) </p> <p>8) </p> <p>9) </p>

123	Камери на трубоводах: 1) наземні, їхні номери та колодязі оглядові 2) підземні, їхні номери та колодязі оглядові		
128	Гратки стічні		
129	Каналізація дощова відкрита		
130	Трубоводи надводні на опорах (цифри в лужках - висоти над водою, м) (колір водоймища – голубий)		
131	Трубоводи підводні 1) на поверхні дна 2) прокладені під дном або перекриті наносами (цифри біля стрілки - глибини від поверхні дна в м) (колір водоймища – голубий)		
132	Лінії зв'язку та технічних засобів керування підводні кабельні 1) на поверхні дна 2) прокладені під дном або перекриті наносами (цифри біля стрілки - глибини від поверхні дна в м) (колір водоймища – голубий)		
133	Лінії зв'язку та технічних засобів керування підземні кабельні; колодязі оглядові, їх номери та висоти (цифри в розриві знака - кількість прокладок)		
134	Лінії зв'язку та технічних засобів керування повітряні кабельні на незабудованій території		
135	Лінії зв'язку та технічних засобів керування повітряні кабельні на забудованій території		
136	Лінії зв'язку та технічних засобів керування повітряні дротяні на незабудованій території (цифри - кількість дротів)		
137	Лінії зв'язку та технічних засобів керування повітряні провідні на забудованій території		

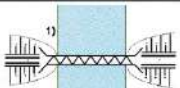
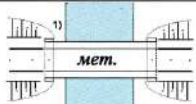
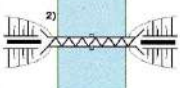
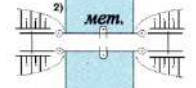
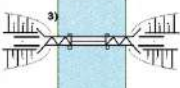
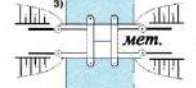
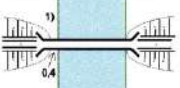



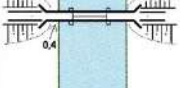
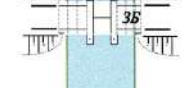


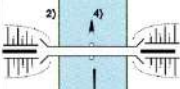
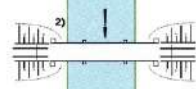
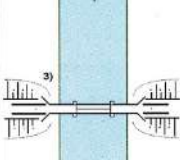
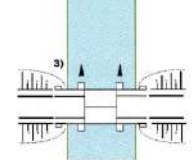
149	Млини вітряні: 1) кам'яні 2) дерев'яні	1)  2) 	1)  2) 
150	1) Млини водяні 2) Лісопилні водяні	1)  2) 	1)  2) 
151	Пасіки	а)  б) 	 пас. кооп. "Світ"
152	Загони для худоби	а)  б) 	 загін
<b>ЗАЛІЗНИЦІ ТА СПОРУДИ ПРИ НИХ</b>			
155	Залізничні		
156	Залізничні електрифіковані, опори контактної мережі		
157	Залізничні монорельсові		
158	1) Залізничні вузькоколійні 2) Трамвайні лінії 3) Опори контактної мережі 4) Призначення лінії та ширина колії	1)  2) 	1)  2) 
159	Залізничні з нормальною колією в стадії будівництва		
160	Залізничні вузькоколійні та трамвайні лінії в стадії будівництва		
161	Полотно розібраних залізниць		
165	Дороги підвісні, їх опорні стовпи та ферми		

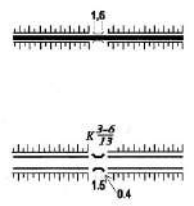
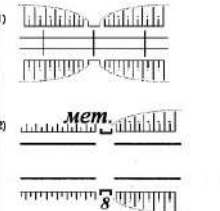
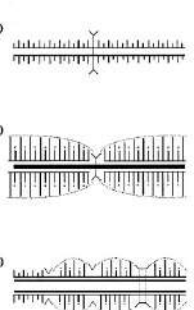
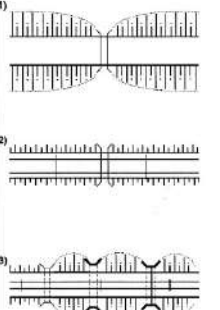


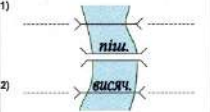
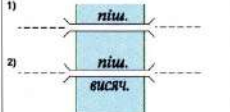
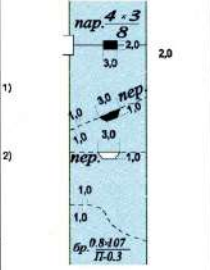
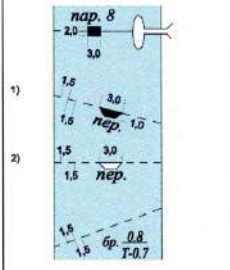
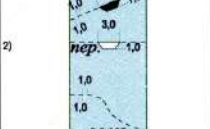

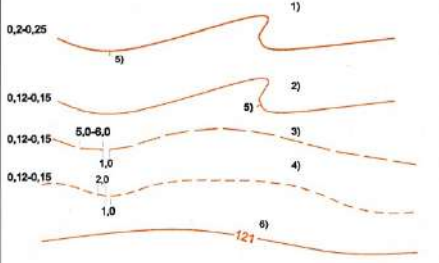
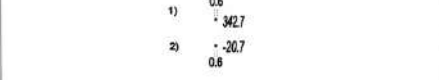

166	Залізничі на насипах (цифри - висоти насипів)		
167	<p>1) Залізничі у виймаках із незакріпленими укосами.</p> <p>2) Залізничі у виймаках із закріпленими укосами (написи - способи закріплення та глибини виймок, м.</p>		
168	Залізничі у виймаках із підпірковими стінками (кам'яними, бетонними та залізобетонними).		
169	<p>Входи до тунелів та галерей.</p> <p>Залізничі в тунелях та їх характеристики (у чисельнику - висота й ширина, у знаменнику - довжина, м.</p>		
АВТОМОБІЛЬНІ І ПРУНТОВІ ДОРОГИ			
186	<p>Автомобільні (автостради) та їх характеристики: ширина проїжджої частини (м) та кількість смуг, загальна ширина дороги (м), матеріал покриття</p>		
(колір ліній водостічних каналів – зелений)			
187	<p>Автомобільні дороги з удосконаленням покриттям (удосконалені шосе) та їх характеристики: ширина проїжджої частини в м, загальна ширина дороги в м, матеріал покриття</p>		
<p>1) Обладнані з'їзди</p> <p>3) Межі зміни покриття</p>			
(колір ліній водостічних каналів – зелений)			
188	<p>Автомобільні дороги з покриттям (шосе) та їх характеристики: ширина проїжджої частини в м, загальна ширина дороги в м, матеріал покриття</p> <p>Примикання доріг нижчих класів без обладнаних з'їздів</p>		
(колір ліній водостічних каналів – зелений)			

189	<p>Пройжджі частини вулиць та тротуари:</p> <p>1) пройжджі частини вулиць з бортовим каменем</p> <p>2) пройжджі частини вулиць без бортового каменя</p> <p>3) тротуари на вулицях та пішохідні доріжки з твердим покриттям ( в парках, на кладовищах та ін.)</p> <p>4) тротуари на вулицях та пішохідні доріжки без покриття</p> <p>Буквені індекс - матеріал покриття, цифри - висоти: у чисельнику - на бортовому камені, у знаменнику - поряд із бортовим каменем.</p> <p>(колір покриття вулиць - рожевий)</p>		
191	<p>Автомобільні дороги без покриття (покращені ґрунтові дороги) та їх характеристики: ширина пройжджі частини в м, матеріал добавок</p> <p>(колір ліній водостічних каналів – зелений)</p>		
193	<p>Грантові дороги:</p> <p>1) п'євіці</p> <p>2) польові та лісні</p>		
195	<p>Стежки пішохідні</p>		
200	<p>Дороги на насипах і дамбах (цифри - висоти насипів в м)</p>		
201	<p>Дороги у виймках (цифри - глибина виймки в м)</p> <p>(колір ліній водостічних каналів – зелений)</p>		
206	<p>Дорожні знаки і арки:</p> <p>1) знаки кілометрові - стовпи та камені (цифри - написи кількості кілометрів)</p> <p>2) покажчик дороги</p> <p>3) знаки дорожні інші</p> <p>4) арки постійні на автомобільних дорогах</p> <p>(колір ліній водостічних каналів – зелений)</p>		
208	<p>Індекси та номери автомобільних доріг</p>		



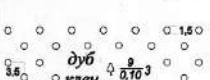



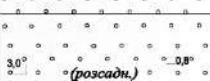
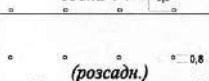
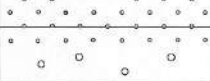
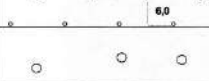




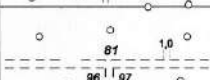
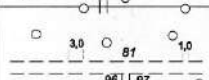
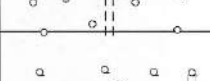
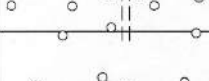
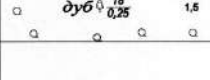
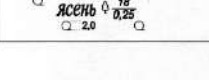
210	<p>Насадження вздовж доріг, рік, каналів та каналів:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>вузькі смуги дерев висотою 4 м і більше (з вказанням породи та висоти, м)</li> <li>вузькі смуги дерев висотою менше 4 м (з вказанням породи та висоти, м)</li> <li>вузькі смуги чагарників</li> <li>ряди окремих дерев</li> <li>окремі дерева</li> <li>окремі чагарники</li> </ol> <p>(колір ліній водостічних канал – зелений)</p>		
<b>ГІДРОГРАФІЯ</b>			
213	<p>Висоти урізів води:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>фактичні дані з датою вимірювань</li> <li>приведені до середнього меженого рівня</li> <li>комбіновані</li> <li>комбіновані</li> </ol> <p>(колір водоїмищ – голубий)</p>		
238	<p>Характеристики водотоків:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>напрямок та швидкість течії, м/с</li> <li>ширина, м</li> <li>глибина (м) та ґрунт дна (поєднання характеристик - ширина в чисельнику, глибина та ґрунт дна в знаменнику)</li> </ol> <p>(колір водоїмищ – голубий) (колір берегових ліній водоїмищ – зелений)</p>		
<b>ОБ'ЄКТИ ГІДРОТЕХНІЧНІ, ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ТА ВОДОПОСТАЧАННЯ</b>			
295	<p>Колодязі та їх характеристики (висота землі біля колодязя, глибина до рівня води і до дна в м, наповнюваність, місяці, в які колодязь має воду)</p>		
298	<p>Колодязі з журавлем (колір гідротехнічних об'єктів – зелений)</p>		
299	<p>Колодязі і свердловини з вітряним двигуном (колір гідротехнічних об'єктів – зелений)</p>		
300	<p>Колодязі і свердловини з механічним піднянням води (колір гідротехнічних об'єктів – зелений)</p>		
301	<p>Колодязі і свердловини артезіанські (колір гідротехнічних об'єктів – зелений)</p>		

		МОСТИ	
313	Мости металеві:		
	1) однопрогонні		
	2) багатопрогонні		
314	3) підіймальні та розвідні (колір водоймищ – голубий) (колір берегових ліній водоймищ – зелений)		
	Мости кам'яні, бетонні, залізобетонні:		
	1) однопрогонні,		
315	2) багатопрогонні		
	3) розвідні		
	4) льодоріз		
	(колір водоймищ – голубий) (колір берегових ліній водоймищ – зелений)		

321	<p>Мости малі: 1) дерев'яні;  2) кам'яні, бетонні, залізобетонні, металеві.</p>		
322	<p>Характеристики малих мостів на автодорогах: 1) у лівій колонці буквенні індекси - матеріал прогонної будівлі; в чисельнику - довжина моста і ширина його проїжджої частини, м; в знаменнику - автомобільне навантаження (вантажопідйомність), т; 2) у правій колонці - вантажопідйомність, т.</p>	$35 \frac{3-6}{13}$	<p>14</p>
323	<p>1) Мости довжиною до 1 м на автомобільних дорогах  2) Лотки на залізницях  3) Труби під дорогами</p>		
324	<p>Характеристики труб під дорогами: 1) на планах універсального призначення: в чисельнику - висота полотна дороги над трубою, в знаменнику - кількість труб та їх внутрішній діаметр (м), праворуч - матеріал труб; 2) на планах меліоративного призначення: ліворуч - внутрішній діаметр труб (м), в чисельнику - висота входу внизу труби та висота виходу вгору труби, в знаменнику - висота полотна дороги над трубою, праворуч - матеріал труби та її довжина (м).</p>	$1) \frac{127,8}{2-0,8} \text{ мет.}$ $2) 2,0 \frac{125,72 - 125,48}{127,83} \text{ бет. (9,8)}$	

325	<p>1) Мости пішохідні</p> <p>2) Мости пішохідні висячі</p> <p>(колір водоймищ – голубий) (колір берегових ліній водоймищ – зелений)</p>		
326	<p>Пароми з механічними двигунами.</p> <p>Характеристики паромів: в чисельнику - розміри вантажної палуби, м; в знаменнику - вантажопідйомність, т (колір водоймищ – голубий) (колір берегових ліній водоймищ – зелений)</p>		
327	<p>1) Перевози човнярські з механічними двигунами</p> <p>2) Перевози човнярські</p> <p>(колір водоймищ – голубий) (колір берегових ліній водоймищ – зелений)</p>		
328	<p>Броди та їх характеристики: в чисельнику - глибина та довжина броду (м), в знаменнику - характер ґрунту дна та швидкість течії, м/с</p>		
<b>РЕЛЬЄФ</b>			
329	<p>Горизонталі:</p> <p>1) горизонталі потовшені (через заданий інтервал основного перерізу)</p> <p>2) горизонталі основні</p> <p>3) горизонталі додаткові (півгоризонталі - на половині висоти основного перерізу)</p> <p>4) горизонталі допоміжні</p> <p>5) покажчики напрямку схилу (бергштрихи)</p> <p>6) підписи горизонталей, м.</p> <p>(колір горизонталей – коричневий)</p>		
330	<p>Висоти</p>		
332	<p>Обриви землі (цифри - глибини, м) (колір – коричневий)</p>		

349	<p>Яри та вимивини:</p> <p>1) яри шириною на плані 1,5 мм і більше</p> <p>2) яри вузькі та вимивини</p> <p>3) борозни ерозійні (шифри біля ярів та вимивин, зображених двома лініями - глибини, м; біля промоя в одну лінію - в чисельнику - ширина зверху, в знаменнику - глибина, м)</p> <p>(колір – коричневий)</p>		
352	<p>Зсуви:</p> <p>1) діючі (цифра - глибина, м)</p> <p>2) недіючі</p> <p>(колір – коричневий)</p>		
353	<p>Обсип</p> <p>(колір – коричневий)</p>		
<b>РОСЛИННІСТЬ</b>			
366	<p>Контури рослинності, сільськогосподарських угідь, ґрунтів та ін.</p> <p>(колір – чорний)</p>		
<b>Деревна рослинність</b>			
367	<p>Характеристики лісових деревостовів:</p> <p>За складом:</p> <p>1) листяні, 2) хвойні, 3) мішані</p> <p>За метричними даними:</p> <p>ліворуч - в чисельнику - середня висота в м, у знаменнику - середня товщина стовбурів, м; праворуч - середня віддаль між деревами, м</p>	<p>1) 2) 3)</p> <p>2.5 1.5 1.5</p> <p>18 0.22 5</p>	<p>1) 3)</p> <p>3.5 2.0</p> <p>12 0.75 3</p>
368	<p>Ліси природні високоствурні</p>	<p>1.5</p> <p>граб 15 0.17 4</p>	<p>1.2</p> <p>бук 8 0.08 5 2.0</p> <p>ялина</p>
369	<p>Ліси пригнічені низькорослі та карликові</p>	<p>1.2</p> <p>сосна 4 0.05 1</p>	<p>1.2</p> <p>клен 2 0.03 5</p>

371	Поросль лісу (окрема цифра або чисельник - середня висота (м), знаменник - середня товщина стовбурів, м)		
372	Ліси саджені високоствовбурні		
373	1) Лісонасадження молоді (цифра - середня висота, м)		
	2) розсадники лісових та декоративних порід		
374	Просіки в лісі:		
	1) шириною 5 м та більше в масштабі плану		
	2) шириною від 1 до 5 м в масштабі плану		
3) шириною від 0,5 до 1 м в масштабі плану (цифри - ширина, м)			
378	Номери лісових кварталів		
379	Рідколіся високоствовбурне		
381	Рідкий поріст лісу		

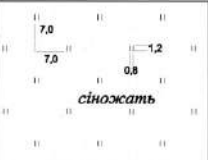
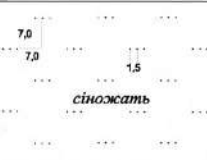




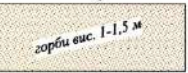
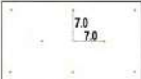






382	<p>Буреломи та вітровали</p> <p>1) зламано та повалено більше половини дерев</p> <p>зламано та повалено менше половини дерева</p>		
		2)	2)
383	<p>1) Ділянки лісу горілі та сухостійні</p> <p>2) Ділянки лісу, пройдені пожежею</p>	1)	
		2)	2)
384	Ділянки лісу вирубані		
386	<p>Смути деревних насаджень:</p> <p>1) шириною менше 2 мм у масштабі плану, висотою до 4 м (цифра - середня висота дерев)</p> <p>2) шириною менше 2 мм у масштабі плану, висотою 4 м і більше (цифра - середня висота дерев)</p> <p>3) шириною від 2 до 10 мм у масштабі плану, висотою до 4 м (цифра - середня висота дерев)</p> <p>4) шириною від 2 до 10 мм у масштабі плану, висотою 4 м і більше (цифра - середня висота дерев)</p> <p>5) шириною 10 мм і більше в масштабі плану, висотою до 4 м (цифра - середня висота дерев)</p> <p>6) шириною 10 мм і більше в масштабі плану, висотою до 4 м і більше</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p> <p>4) </p> <p>5) </p> <p>6) </p>

388	Окремі дерева орієнтирного або культурно-історичного значення: 1) листяні 2) хвойні 3) фруктові	1) $\odot$ 2,5 1,5	2) $\text{⌘}$ 2,5 1,5	3) $\odot$ 2,5 1,5	1) $\text{⌘}$ 3,5 2,0	2) $\text{⌘}$ 3,5 2,0	3) $\odot$ 3,5 2,0
389	Окремі дерева, які не мають орієнтирного або культурно-історичного значення	$\odot$ 1,0			$\text{⌘}$ 3,5 2,0	$\text{⌘}$ 3,5 2,0	$\odot$ 3,5 2,0
390	Породи дерев (позначення в подеревному зніманні): 1) широколисті (дуб, бук, клен, граб, липа, ясен, та ін.) 2) дрібнолисті (береза, верба, вільха, тополя та ін.) 3) фруктові 4) сосни 5) ялини	—	—	—	1) $\text{⌘}$ 3,5 2,0	2) $\text{⌘}$ 3,5 2,0	3) $\text{⌘}$ 3,5 2,0
<b>Чагарникова рослинність</b>							
394	Окремі куші	$0,6 \times 0,8$					
395	Чагарники 1) окремі групи 2) зарості (з указанням породи і середньої висоти, м)						
397	Смуги чагарників та живі огорожі (з вказанням породи та середньої висоти, м)	<p>менше 2 мм в масштабі плану</p> <p style="text-align: center;"><math>5,0</math></p> <p>2-10 мм в масштабі плану</p> <p style="text-align: center;"><math>2,5</math></p> <p>більше 10 мм в масштабі плану</p> <p style="text-align: center;"><i>акація</i> 2,5</p>					

Трав'яна рослинність		
401	Рослинність трав'яна лугова (різно-трав'я)	
402	Рослинність високотравна (парасолькові та ін. висотою 1 м і більше)	
403	Рослинність трав'яна вологолюбива (осока, пушиця та ін.)	
404	Зарості очерету	
406	Рослинність трав'яна степова (ковила, тижчак та ін.)	
407	Рослинність мохова	

Культурна рослинність		
409	Сади фруктові (цифра - середня висота, м)	
410	Ягідники	
411	Виноградники	
412	Сади фруктові з ягідниками	
413	Сади фруктові з виноградниками	
414	Розсадники плодіві	
416	Газони	
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ УГІДДЯ		
417	Рілля	
426	Города	

435	Сіножаті		
442	Сіножаті заболочені (колір елементів гідрографії – зелений)		
444	Пасовища		
<b>ГРУНТИ ТА МІКРОФОРМИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ</b>			
455	Піски: 1) рівні 2) нерівні (горбисті) (колір пісків – коричневий)	1) 	2) 
458	Поверхні глинясті (колір заповнювальних ум. знаків – коричневий)		
459	Поверхні щєбінчасті та кам'яністі розси- пи (колір заповнювальних ум. знаків – коричневий)		
<b>БОЛОТА</b>			
466	Болота непрохідні та важкопрохідні (цифра - глибина, м) (колір елементів гідрографії – зелений)		
467	Болота прохідні (цифра - глибина, м) (колір елементів гідрографії – зелений)		
468	Землі заболочені (колір елементів гідрографії – зелений)		

ПРИКЛАДИ ПОСДНАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ РОСЛИННОСТІ І ГРУНТІВ		
Поступовий перехід від лісу до рідколісся		
Рідколісся на кам'янистій поверхні (колір каміння – коричневий)		
1). Ліс на піску 2). Рідколісся на піску (колір пісків – коричневий)	1) 2)	
<b>ОГОРОЖІ</b>		
472	Огорожі кам'яні і залізобетонні висотою 1 м і більше, стіни історичні	
473	Огорожі кам'яні і залізобетонні висотою менше 1 м, стіни глинобитні, ворота в огорожах	
474	Огорожі металеві: 1) висотою 1 м і більше, із воротами 2) висотою менше 1 м 3) на кам'яному бетонному або цегляному фундаменті	1)
475	Огорожі дерев'яні: 1). суцільні з воротами 2). ґратка (із штахетника та ін.) 3). на кам'яному бетонному або цегляному фундаменті 4). з капітальними опорами	
476	Огорожі дротяні: 1). з колючого дроту 2). з «гладкого» дроту 3). з дротяної сітки (вольєри) 4). дротяні (електропастухи)	1)
477	Горожі, тини, трельяжі	

КОРДОНИ (МЕЖІ)		
478	Кордони державні, прикордонні знаки та їхні номери, копці	
480	Межі областей	
482	Межі районні	
483	Межі міських земель	
484	Межі територій селищних і сільських рад	
485	Межі землекористувань і відводів	
486	Межі заповідників	
487	Межі державних заказників природних національних парків та пам'яток природи	

ЗРАЗКИ ШРИФТІВ НАПИСІВ

Топографічний півжирний (Т - 132)	
488	<p>Назви міст</p> <p>Назви сіл та селищ дачного типу:</p> <p>1) із кількістю мешканців 1 000 і більше</p> <p>2) із кількістю мешканців від 500 до 1 000</p> <p>3) із кількістю мешканців від 100 до 500</p> <p>4) із кількістю мешканців менше 500</p>
<p>Древній курсив півжирний (Д - 432)</p>	
489	<p>Назви містечок</p> <p>Назви суднохідних рік, каналів, озер заток та водосховищ</p> <p>Назви селищ при промислових підприємствах, залізничних станціях, пристанях та ін., не віднесених офіційно до розряду містечок.</p> <p>Назви несуднохідних рік, каналів, озер та ін.: хребтів, гір скель, пагорбів, ярів, балок, островів, мисів, солончаків, боліт, урочищ та ін.</p>

**ЧЕРНІГІВ** 6,0

- 1) **Болотня** 5,0    2) **Іванівка** 4,5  
 3) **Жуків** 4,0    4) **Лапшин** 3,5

**ПІДГАЙЦІ** 6,0 - 4,0    **Р. ПІВДЕННИЙ БУГ**

**Новий Розділ**  
 оз. *Бережанське*    ур. *Каштанівка*

Рублений (Р - 131)		
490	<p>Назви частин міста, його районів та мікрорайонів; другі і повторні назви та написи за рамками планів для міст.</p> <p>Назви державних заповідників, заказників та парків.</p> <p>Назви селищ, які входять до складу міста чи підпорядкованих йому, другі і повторні назви і написи за рамками планів для сіл та селищ дачного типу.</p>	<p style="text-align: center;"><b>ЛЬВІВ</b> 5.0 <b>ТЕРНОПІЛЬ</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Болотня</b> 4.0 <b>Іванівка</b> 3.5</p> <p style="text-align: center;"><b>Жуків</b> 3.0 <b>Лапшин</b> 2.5</p>
491	<p>Другі й повторні назви та написи за рамками планів для:</p> <p>1) селищ міського типу; суднохідних рік каналів, озер, заток та водосховищ селищ при промислових підприємствах, залізничних станціях, пристанях та ін.; несудохідних рік, каналів, озер та ін.; хребтів, гір скель, пагорбів, ярів, балок, островів, мисів, солончаків, боліт, урочищ та ін.</p>	<p>1) <b>ПІДГАЙЦІ</b> 6.0-4.0 <b>Р.ПІВДЕННИЙ БУГ</b></p> <p>2) <b>Новий Розділ</b> 5.0-3.0 оз. <i>Бережанське</i> ур. <i>Каштанівка</i></p>
БСАМ курсив малокоонтрастний (Бм - 431) 3,0 - 1,6		
492	<p>Назви станцій, роз'їздів, платформ, пристаней, санаторіїв, турбаз.</p> <p>Назви окремих дворів, будинків та геодезичних пунктів.</p> <p>Пояснювальні написи до умовних знаків геодезичних пунктів, будівель, споруд, доріг, огорож, гідрографії, рельєфу, рослинності та ґрунтів.</p> <p>Написи спеціалізації сільськогосподарських та промислових підприємств.</p> <p>Буквені індекси матеріалу покриття доріг та відмостей будинків, призначення трубопроводів, виду прокладок у тунелях, напрямки електромереж, матеріалу мостів, гребель, труб, ґрунту дна рік, озер та морів (у зоні шельфу).</p>	<p><i>Підзамче Черче</i></p> <p><i>Адамівка Дибце</i></p> <p><i>телеф. тон. відсх. пошта</i></p> <p><i>МТФ астр. ст. ніс.</i></p> <p><i>А Ц 2Н,Г ЗБ жж т ко п</i></p>
Рублений (Р - 131)		
493	<p>Назви вулиць, провулків, площ.</p> <p>Написи райрад, селищних та сільських рад (під назвами населених пунктів).</p> <p>Буквені індекси житлових та нежитлових будинків, матеріалу їхньої побудови.</p> <p>Написи горизонталей та ізобат, поверховості будинків та кількості мешканців у населених пунктах.</p> <p>(колір шрифту для елементів гідрографії – зелений, для елементів рельєфу – коричневий)</p>	<p style="text-align: center;">3,0 - 1,6</p> <p style="text-align: center;"><i>пр. Незалежності пл. Галицька вул. Сахарова</i></p> <p style="text-align: center;"><b>СР РР СР РР</b></p> <p style="text-align: center;"><b>9КЖ 2Ж Н н</b></p> <p style="text-align: center;">2,0 - 1,6</p> <p style="text-align: center;">50 75 100 125 150 80 75 100 125 150</p>



Визначення довжини метрових інтервалів рейки №21 (чорна сторона)

Інтервал рейки	Контрольна лінійка №0123, рівняння лінійки $L=1000+0,01+0,018(t-16,8^{\circ}\text{C})$ , мм						Температура лінійки, $^{\circ}\text{C}$	Поправка за $t$ , мм	Довжина інтервалу, мм
	Відліки по контрольній лінійці			Середнє П-А, мм	Температура лінійки, $^{\circ}\text{C}$	Поправка за $t$ , мм			
	А	П	П-А						
Прямий хід									
01-10	0,00	900,14	900,14						
	0,44	900,54	900,10	900,12			-0,12	900,00	
10-20	0,10	1000,24	1000,14			+8,6			
	0,36	1000,55	1000,19	1000,16			-0,14	1000,02	
20-29	0,08	900,06	899,98						
	0,30	900,24	899,94	899,96			-0,12	899,84	
Зворотній хід									
29-20	0,14	900,10	899,96						
	0,28	900,18	899,90	899,93			-0,12	899,81	
20-10	0,00	1000,10	1000,10			+8,7			
	0,50	1000,64	1000,14	1000,12			0,14	999,98	
10-01	0,12	900,22	900,10						
	1,36	900,48	900,12	900,11			-0,12	899,99	
Сума	3,68	11204,49	11200,81	5600,40			-0,66	5599,64	
Середня довжина метрових інтервалів рейки №21 складає: 5599,64/5,6=999,94 мм (чорна сторона)									

Додаток Б

Визначення різниці висот нулів пашкових рейок № 1, 2							
№ прийома	№ кілка	Відліки по рейці №1			Відліки по рейці №2		
		чорний бік	червоний бік	п'ятка	чорний бік	червоний бік	п'ятка
1	1	363	5150	4787	362	5151	4789
	2	412	5200	4788	311	5099	4788
	3	491	5277	4786	491	5278	4787
	4	592	5379	4787	591	5379	4788
2	1	409	5196	4787	410	5199	4789
	2	457	5245	4788	458	5247	4789
	3	538	5325	4787	539	5327	4788
	4	638	5426	4788	636	5425	4789
	Сума відліків	3900	42198	38298	3798	42105	38307
	Середнє	487.5	5274.8	4787.3	474.7	5263.1	4788.4
Різниця висот нулів червоної і чорної сторін: рейки 1 4787 мм.; рейки 2 4788 мм. Різниця висот нулів рейок (1 - 2): 4787 - 4688 = -1 мм; (2 - 1): 478 - 4787 = +1 мм;							

## Список використаних джерел

1. Топографо-геодезична та картографічна діяльність : Законодавчі та нормативні акти : в 2 ч. – Вінниця : Антекс, 2002. – Ч. 2. – 656 с.

2. Геодезія / Могильний С. Г. та ін.; за ред. С. Г. Могильного та С. П. Войтенка. – Київ, 2001. – 465 с.

3. ДСТУ 268-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення. – [Чинний від 1995-01-01]. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 68 с.

4. Терещук О. І. Геодезія та землевпорядкування : навч. посіб. / О. І. Терещук, В. І. Мовенко, Ю. В. Щербак. – Чернігів, 2021. – 162 с.

5. Богом'я В. І. Супутникові радіонавігаційні системи : навч. посіб. / В. І. Богом'я, С. П. Корнієнко, О. І. Терещук. – Чернігів : Національний університет «Чернігівська політехніка», 2014. – 280 с.: іл.

6. Інженерна геодезія підручник / за ред. д.т.н., проф. С. П. Войтенка. – Чернігів : Видавництво «Чернігівська політехніка», 2022. – 700 с.

7. Геодезія. Частина перша. Топографія : навч. посіб. / А. Л. Островський, О. І. Мороз, З. Р. Тартачинська, І. Ф. Герасимчук. – Львів : Видавництво «Львівська політехніка», 2011. – 440 с.

8. GPS-приймачі [Електронний ресурс] // Навгеотекс. – Режим доступу: <http://navgeotech.com/ua/gps-priemniki>.

9. Супутникова навігація: основні принципи роботи. Проблеми та методи їх вирішення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://xn--j1ahb.xn--j1amh/articles/GPS\\_GLONASS\\_AGPS\\_RTK](https://xn--j1ahb.xn--j1amh/articles/GPS_GLONASS_AGPS_RTK).

**НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

**Терещук** Олексій Іванович  
**Крячок** Сергій Дмитрович

**ГЕОДЕЗІЯ**  
**ЧАСТИНА ПЕРША**  
**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

Підписано до друку 03.11.2024. Формат 60×84/16.  
Ум. друк. арк. 15,58. Тираж 100. Замовлення № 24/24.

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету  
«Чернігівська політехніка»  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і  
розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 7128 від  
18.08.2020 р.