

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/348849104>

# Практикум з геодезії та землеустрою

Book · December 2020

CITATIONS

0

READS

218

## 1 author:



**Serhii Vynohradenko**

V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University

19 PUBLICATIONS 20 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Experience of developed countries in environmental safety policy [View project](#)



УДК 528.23  
ББК 26.12Я7  
В 49

*Схвалено і рекомендовано до видання рішенням вченої ради  
агрономічного факультету (протокол № 2 від 25.09.2020 р.)*

**Рецензенти:** *Петренко О.Я.* завідувач кафедри землевпорядного проектування, кандидат економічних наук, доцент (ХНАУ ім. В.В. Докучаєва);  
*Байназаров А.М.* доцент кафедри фізичної географії і картографії, кандидат географічних наук, доцент (ХНУ ім. В.Н. Каразіна)

### **С. О. Винограденко**

В 49 Практикум з геодезії та землеустрою: методичні вказівки для виконання практичних робіт / С.О. Винограденко / Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х., 2020. – 77 с.: іл.

У практикумі висвітлені питання, передбачені програмою дисципліни “Геодезія та землеустрій”, яку вивчають здобувачі агрономічного факультету: теоретичні положення та загальні поняття геодезії, вивчення топографічної карти, номенклатури топографічних карт та рішення задач за ними, вивчення будови теодолітів та теодолітне знімання, вивчення будови та робота з нівелірами.

Призначено для здобувачів вищих навчальних закладів III – IV рівнів акредитації за спеціальністю 201 «Агрономія» освітнього рівня бакалавр під час виконання практичних завдань.

**ББК 26.12Я7**  
**УДК 528.23**

© Винограденко С.О., 2020  
© Харківський національний  
аграрний університет ім.  
В.В. Докучаєва, 2020

## ЗМІСТ

<b>Вступ .....</b>	<b>4</b>
<b>Завдання №1 Масштаби, умовні знаки масштабів і карт.....</b>	<b>5</b>
<b>Завдання №2 Рішення задач за топографічними картами .....</b>	<b>12</b>
<b>Завдання №3 Визначення номенклатури топографічних карт масштабів 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000.....</b>	<b>27</b>
<b>Завдання №4 Теодоліт, його будова та робота з ними.....</b>	<b>34</b>
<b>Завдання №5 Обчислення координат точок замкнутого теодолітного ходу.....</b>	<b>50</b>
<b>Завдання №6 Нівелір його будова і перевірки нівелірів, вимірювання перевищень.....</b>	<b>59</b>
<b>Список рекомендованої літератури. ....</b>	<b>68</b>
<b>Додатки.....</b>	<b>69</b>

## ВСТУП

Земля є основним природним ресурсом, матеріальною основою життя і діяльності людей, базою для розміщення і розвитку всіх галузей народного господарства, головним засобом виробництва в сільському господарстві і основним джерелом одержання продовольства.

На сучасному етапі в Україні стоїть завдання щодо організації використання землі, щоб, з одного боку, покінчити з деградацією земель, здійснити встановлення та покращення їх родючості, а з другого – добитись підвищення ефективності виробництва за рахунок правильного використання, правильного землеволодіння та землекористування. Це можна вирішити за допомогою землеустрою.

Раціональне використання землі, правильний облік, упорядкування потребує певних знань з геодезії та землеустрою.

У результаті вивчення дисципліни «Геодезія та землеустрій» студент повинен:

1. **знати** задачі, які вирішуються за допомогою геодезії та землеустрою;

2. **володіти** певними знаннями з геодезії, складання планів та карт. В польових умовах зробити зйомку та скласти план певної території, який служить геодезичною основою для складання і проведення кадастрових робіт, плану ґрунтів, агрохімічних картограм, раціонального використання землі;

3. **уміти** на підставі знань про землеустрій і землевпорядне проектування користуватись відповідними практичними рекомендаціями, визначити місце і роль землі в суспільному виробництві, як засобу праці та товару в ринковій економіці, здійснювати контроль і моніторинг використання землі в господарстві. При освоєнні проектів землеустрою вміти здійснювати землевпорядні та організаційні заходи, дотримуючись правових вимог щодо використання та надання земель в користування.

## Завдання №1

### МАСШТАБИ, УМОВНІ ЗНАКИ МАСШТАБІВ І КАРТ

**Мета завдання:** вивчити види масштабів, правила їх застосування та нанесення на карту; придбати навички читання топографічних карт.

**Матеріали та обладнання:** карти масштабу 1:1000, 1:2000, 1:5000, олівець, вимірник, масштабна лінійка, навчальні плакати, підручники.

**Теоретичні відомості та методика виконання завдання**

#### 1. Масштаби: чисельні, графічні та іменовані.

**Масштабом** називається відношення довжини лінії на плані (карті) до довжини горизонтального прокладення відповідної лінії на місцевості. У свою чергу, *горизонтальним прокладенням лінії* називається проекція відповідної похилої лінії на місцевості на горизонтальну площину. За допомогою масштабу розв'язуються дві задачі:

1. Визначення довжини лінії на топографічному плані (карті);
2. Побудова заданої лінії на топографічному плані (карті).

Застосовується три типи масштабу: чисельний, графічний (лінійний і поперечний) та іменований. **Чисельним масштабом** називається масштаб, який виражається дробом, чисельник якого рівний одиниці, а знаменник показує, в скільки разів горизонтальне прокладення лінії місцевості зменшено при зображенні горизонтального прокладення лінії на плані або карті. Чисельний масштаб – величина неіменована. Він записується так: 1:1000, 1:2000, 1:5000 і т.д., причому в такому записі 1000, 2000 і 5000 називається **знаменником масштабу М**.

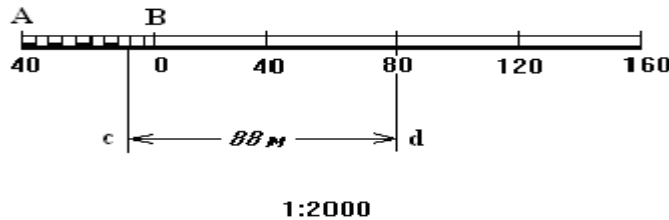
Чисельний масштаб говорить про те, що в одній одиниці довжини лінії на плані (карті) міститься точно стільки ж одиниць довжини на місцевості. Так, наприклад, в одній одиниці довжини лінії на плані 1:5000 міститься точно 5000 таких же одиниць довжини на місцевості, а саме: один сантиметр довжини лінії на плані 1:5000 відповідає 5000 сантиметрам на місцевості (тобто 50 метрам на місцевості); в одному міліметрі довжини лінії на плані 1:5000 міститься 5000 міліметрів на місцевості (тобто в одному міліметрі довжини лінії на плані 1:5000 міститься 500 сантиметрів або 5 метрів на місцевості) і т.д.

Для зручності користування масштабами та уникненні розрахунків замість чисельного масштабу використовують графічні

масштаби, які бувають лінійні та поперечні. При роботі з планом у ряді випадків користуються лінійним масштабом.

**Лінійний масштаб** – графік, (рис. 1) який є зображенням певного чисельного масштабу.

**Основою лінійного масштабу** називається відрізок АВ



лінійного масштабу (основна частка масштабу), який рівний 2 см. Він переводиться у відповідну довжину на місцевості і підписується. Крайню ліву основу масштабу ділять на 10 рівних частин.

Рис. 1. Графік лінійного масштабу

Найменша поділка основи лінійного масштабу дорівнює  $1/10$  основи масштабу.

**Приклад:** для лінійного масштабу (що використовується при роботі на топографічному плані масштабу 1:2000), показаного на рис.1, основа масштабу АВ рівна 2 см (тобто 40 метрам на місцевості), а найменша поділка основи рівна 2 мм, що в масштабі 1:2000 відповідає 4 м на місцевості. Відрізок *cd* (рис. 1), узятий з топографічного плану масштабу 1:2000, складається з двох основ масштабу і двох найменших основ, що, у результаті, відповідає на місцевості  $2 \times 40 \text{ м} + 2 \times 2 \text{ м} = 88 \text{ м}$ .

У ході виконання завдання, користуючись лінійним масштабом на бланку, відкласти довжини заданих відрізків, показати один з них на самому графіку лінійного масштабу, а два інших – під поперечним масштабом. Кінці їх наколотити голкою та обвести кружками діаметром 1,5 – 2,0 мм. Практична точність лінійного масштабу 0,02 – 0,03 основи масштабу. Для більш точних графічних робіт на картах користуються поперечним масштабом, який дає змогу вимірювати відрізки з точністю 0,01 його основи. Більш точне графічне визначення і побудову довжин ліній можна зробити за допомогою іншого графіка – поперечного масштабу (рис. 2).

**Поперечний масштаб** – графік для максимально точного вимірювання і відкладання відстаней на топографічному плані (карті). Для побудови поперечного масштабу на прямій лінії відкладають рівні відрізки, що їх приймають за основу масштабу. Ліву крайню основу, як правило, ділять на 10 рівних частин. Цю частину приймають за десятку основи. Із точок основ масштабу вгору

відкладають перпендикуляри довжиною, що рівна довжині основи, які ділять на десять рівних між собою відрізків. Верхній лівий крайній відрізок, що рівний довжині основи, також ділять на 10 частин. Кінець похилої лівої крайньої основи; з першим вліво від кінця верхнім лівим крайнім відрізком, що дорівнює  $1/10$  частини основи. Паралельно до цієї лінії з'єднують інші відрізки за допомогою *трансверсалей*.

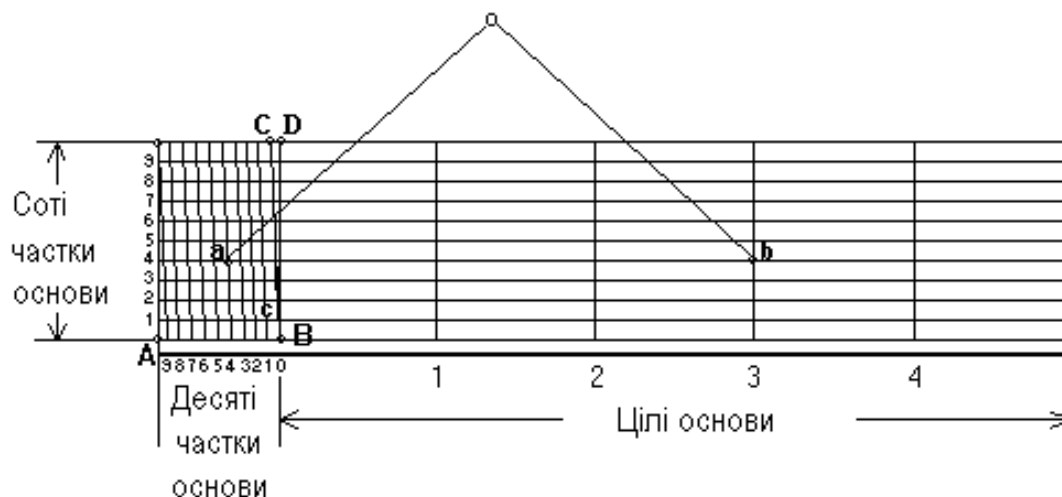


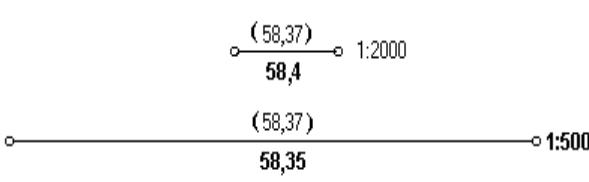
Рис. 2. Графік поперечного масштабу

Основа АВ нормального поперечного масштабу дорівнює, як і в лінійному масштабі, також 2 см. Найменша поділка основи дорівнює  $CD = \frac{1}{10} AB = 2$  мм. Найменша поділка поперечного масштабу дорівнює  $cd = CD = AB = 0,2$  мм (що виходить з подібності трикутника BCD і трикутника Bcd). Таким чином, для чисельного масштабу 1:2000 основа поперечного масштабу відповідатиме 40 м, найменша поділка основи ( $\frac{1}{10}$  основи) дорівнює 4 м, а найменша поділка масштабу  $\frac{1}{100} AB$  дорівнює 0,4 м.

**Приклад:** відрізок ab (рис. 2), узятий з плану масштабу 1:2000, відповідає на місцевості 137,6 м (3 основи поперечного масштабу ( $3 \times 40 = 120$  м), 4 найменші поділки основи ( $4 \times 4 = 16$  м) і 4 найменші поділки масштабу ( $0,4 \times 4 = 1,6$  м), тобто  $120 + 16 + 1,6 = 137,6$  м).

**Точністю масштабу** називається горизонтальний відрізок на місцевості, який відповідає величині 0,1 мм на плані даного масштабу. Ця характеристика залежить від роздільної здатності неозброєного людського ока, яка дозволяє розглянути мінімальну відстань на топографічному плані в 0,1 мм. На місцевості ця величина буде рівна  $0,1 \text{ мм} \times M$ , де  $M$  – знаменник масштабу. Поперечний масштаб, зокрема, дозволяє виміряти довжину лінії на плані (карті) масштабу 1:2000 саме з точністю даного масштабу.

**Приклад:** в 1 мм плану 1:2000 міститься 2000 мм місцевості, а в 0,1 мм, відповідно,  $0,1 \times M$  (мм) =  $0,1 \times 2000$  мм = 200 мм = 20 см, тобто 0,2 м.

<p>Тому при вимірюванні (побудові) на плані довжини лінії її значення слід округляти з точністю масштабу.</p> <p><b>Приклад:</b> при вимірюванні (побудові) лінії завдовжки 58,37 м (рис. 2 а), її значення в масштабі 1:2000 (з точністю масштабу 0,2 м) округляється до 58,4 м, а в масштабі 1:500 (точність масштабу 0,05 м) – довжина лінії округляється вже до 58,35 м.</p>	 <p>Рис. 2 а. Округлення довжини лінії залежно від величини масштабу</p>
--	--

### 1. Значення поділок нормального поперечного масштабу залежно від величини масштабу

Пор. №	Чисельний масштаб	Величина масштабу, см	Кількість метрів			Гранична графічна точність плану (карти), м
			в основі (2 см) масштабу	в одній поділці зліва від нуля (1/10 частина)	у найменшій поділці по трансверсалі (1/100 частина)	
1	1:500	5	10	1	0,1	0,05
2	1:1000	10	20	2	0,2	0,10
3	1:2000	20	40	4	0,4	0,20
4	1:5000	50	100	10	1,0	0,50
5	1:10000	100	200	20	2,0	1,00
6	1:25000	250	500	50	5,0	2,50
7	1:50000	500	1000	100	10,0	5,00
8	1:100000	1000	2000	200	20,0	10,00
9	1:200000	2000	4000	400	40,0	20,00
10	1:500000	5000	10000	1000	100,0	50,00
11	1:1000000	10000	20000	2000	200,0	100,00

### 2. Читання топографічних планів

Для користування топографічними планами необхідно вивчити умовні знаки, прийняті для даного масштабу. **Умовні знаки** –

графічні позначення, які показують місцеположення предметів і явищ, а також їх кількісні і якісні характеристики. Вони видаються у вигляді окремих таблиць або таблиць на учбових планах. Умовні знаки діляться на масштабні (контурні), і позамасштабні.

**Масштабними** називаються умовні знаки, якими місцеві предмети зображуються в масштабі даного плану, тобто крупні об'єкти, наприклад, рілля, луки, ліси, моря, озера і т.п.

**Позамасштабні умовні знаки** – знаки, що показують предмети, які унаслідок свого малого розміру не можуть бути зображені в масштабі плану (ширина доріг, колодязі, джерела, мости, опори ЛЕП, стовпи електромережі і т.д.). Величина цих знаків не відповідає істинним розмірам предметів, що зображуються.

**Лінійні знаки** – картографічні умовні знаки, які застосовуються для зображення об'єктів лінійного характеру, довжина яких виражається в масштабі карти, але ширина значно перевищує їх фактичну ширину.

**Площинні умовні знаки** – картографічні умовні знаки, які застосовуються для заповнення площ об'єктів, що виражаються в масштабі карти.

**Позамасштабні лінійні знаки** – картографічні умовні знаки, які застосовуються для зображення об'єктів лінійного характеру, довжина яких не виражається в масштабі карти.

**Позамасштабні площинні умовні знаки** – картографічні умовні знаки, які використовують для зображення об'єктів, площі яких не виражаються в масштабі карти (плану).

**Підписи пояснень** – підписи, що пояснюють вигляд або рід зображених на карті об'єктів, а також їх кількісні і якісні характеристики.

**Штрихові елементи карти (плану)** – елементи карти (плану), виконані лініями, штрихами або точками.

**Фонові елементи карти (плану)** – елементи карти (плану), виконані яким-небудь колірним фоном.

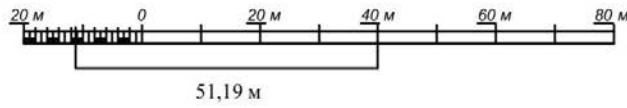
### **Здавальні матеріали.**

1. Вивчити масштаби: чисельний, графічний, іменований.

а) по чисельних масштабах 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000 визначити число метрів, відповідне основі нормального поперечного масштабу, його десятим і сотим часткам. Визначити точність цих масштабів, отримані значення занести в табл. 2

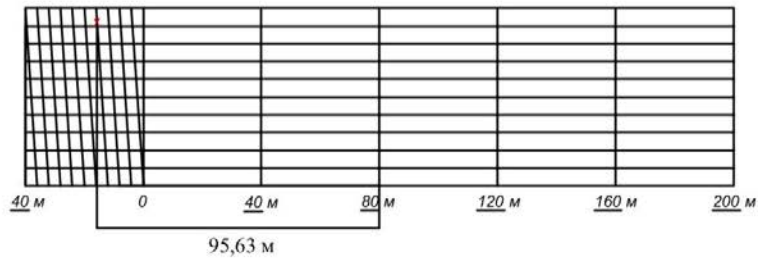
## ЛІНІЙНИЙ МАСШТАБ

1 : 1 000, в 1 см 10 м



## ПОПЕРЕЧНИЙ МАСШТАБ

1 : 2 000, в 1 см 20 м



1 : 5 000, в 1 см 50 м

265,85 м

239,30 м

1 : 10 000, в 1 см 100 м

533,75 м

311,50 м

Індивідуальне  
завдання

1:10 000	339.50	117.25	5.55 x N	5.55 x 35 = 194.25	533.75	311.50
1:5 000	71.60	45.05	5.55 x N	5.55 x 35 = 194.25	265.85	239.30
1:2 000	ГМ	56.78	1.11 x N	1.11 x 35 = 38.85	ГМ	95.63
1:1 000	ЛМ	12.34	1.11 x N	1.11 x 35 = 38.85	ЛМ	51.19
№ номер сесії/завдання	1 група	Додати	Григорій	Лілія	Григорій	Лілія

## МАСШТАБИ

ВАРІАНТ 35

ВИКОНАВ

ПЕРЕВІРИВ

КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ,  
КАРТОГРАФІЇ та ГЕОІНФОРМАТИКИ

ФІЗ, 1 к. 1 ГР.

Рис. 3. Зразок оформлення завдання

Таблиця 2

Масштаб	Число метрів, відповідне			Точність масштабу, м
	основі масштабу	десятим часткам основи	сотим часткам основи	
1:1000				
1:2000				
1:5000				
1:10000				

б) користуючись поперечним масштабом, побудувати довжину ліній за індивідуальним завданням в масштабах 1:5000 і 1:10000.

Індивідуальне завдання (довжини ліній):

1:1000:  $ЛМ = 1,11 * N + 12,34;$

1:2000:  $ПМ = 1,11 * N + 56,78;$

1:5000:  $5,55 * N + 71,60;$

$5,55 * N + 45,05;$

1:10000:  $5,55 * N + 339,50;$

$5,55 * N + 117,25.$

Під час здачі завдання проводять співбесіду з кожним студентом, у ході якої виявляється вміння вільно користуватися графічними масштабами під час вимірювання та відкладання відрізків на топографічних картах будь-якого масштабу.



### Контрольні питання:

1. Що називається масштабом?
2. Який масштаб називається чисельним, лінійним, поперечним?
3. Що називається основою лінійного і поперечного масштабів?
4. Чому дорівнює основа нормального поперечного масштабу?
5. Чому дорівнює найменша поділка основи нормального поперечного масштабу?
6. Чому рівна найменша поділка нормального поперечного масштабу?
7. Що називається точністю масштабу?
8. Які умовні знаки називаються масштабними і які позамасштабними?

## Завдання №2

### РІШЕННЯ ЗАДАЧ ЗА ТОПОГРАФІЧНИМИ КАРТАМИ

**Мета роботи:** придбати навички визначення прямокутних та географічних координат, відміток точок, довжини лінії, азимутів, дирекційних кутів, румбів.

**Матеріали та обладнання:** карта масштабу 1:10000 або 1:25000, навчальні плакати, масштабна лінійка, олівець, транспортир, вимірник, калькулятор.

#### Методика виконання завдання

*Задачі, які вирішуються по топографічному плану.* По топографічному плану можна вирішити ряд задач, у тому числі визначити: прямокутні координати, географічні координати точок; довжину лінії; дирекційний кут і румб лінії; відмітку точки; ухил, крутизну схилу і ін.

**Визначення прямокутних координат точок.** На топографічних планах наноситься координатна сітка, яка створює квадрати зі сторонами 10 см (для масштабу 1:10000). Вертикальні лінії сітки паралельні осі абсцис, а горизонтальні – осі ординат. Координати вершин квадратів координатної сітки підписуються.

**Приклад:** запис 79,2 (рис. 4) означає, що абсциса лінії сітки  $X = 79,2$  км, тобто стоїть по осі  $X$  від початку координат на 79200 м. Запис 66,2 означає, що ордината лінії сітки  $Y = 66,2$  км, тобто стоїть по осі  $Y$  від початку координат на 66200 м.

Для швидкого знаходження якої-небудь точки на топографічному плані указують нижній лівий кут відповідного квадрата сітки координат.

Користуючись координатною сіткою, циркулем і поперечним масштабом, по топографічному плану можна визначити прямокутні координати точки А (рис. 4), що знаходиться в квадраті 79,2 – 66,2. Необхідно пам'ятати, що абсциси зростають на північ, а ординати – на схід.

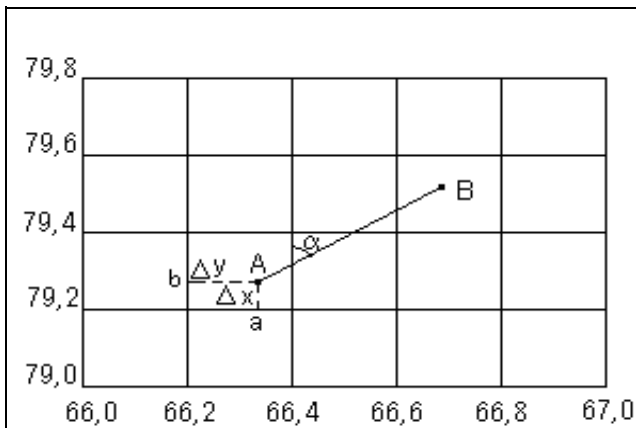


Рис. 4. Визначення прямокутних координат точки А за координатною сіткою топографічної карти

Спочатку записують в метрах абсцису  $X_{\text{південної лінії сітки нижньої (південної) лінії квадрата}}$ , в якому знаходяться точка А, тобто  $X_{\text{південної лінії сітки}} = 79200,0$  м. Циркулем за поперечним масштабом визначають відстань  $\Delta x = a - A$  також в метрах з точністю масштабу. Отриману величину  $\Delta x = 64,8$  м додають до абсциси нижньої (південної) лінії квадрата  $X_{\text{південної лінії сітки}} = 79200,0$  м і знаходять абсцису точки А:  $X_A = 79200,0 + 64,8 = 79264,8$  м.

Аналогічно визначають ординату точки А: до значення ординати західної лінії сітки квадрата  $Y_{\text{західної лінії сітки}} = 66200,0$  м додають довжину відрізка  $D = b - A$ , рівну 141,6 м, і одержують  $Y_A$  точки А  $= 66200,0 + 141,6 = 66341,6$  м.

**Визначення геодезичних координат точок.** На топографічних картах підписують геодезичні координати – широту і довготу, величину яких визначають розмірами і орієнтацією референц-еліпсоїда Красовського, прийнятого в Україні при виконанні картографо-геодезичних робіт в якості фігури Землі.

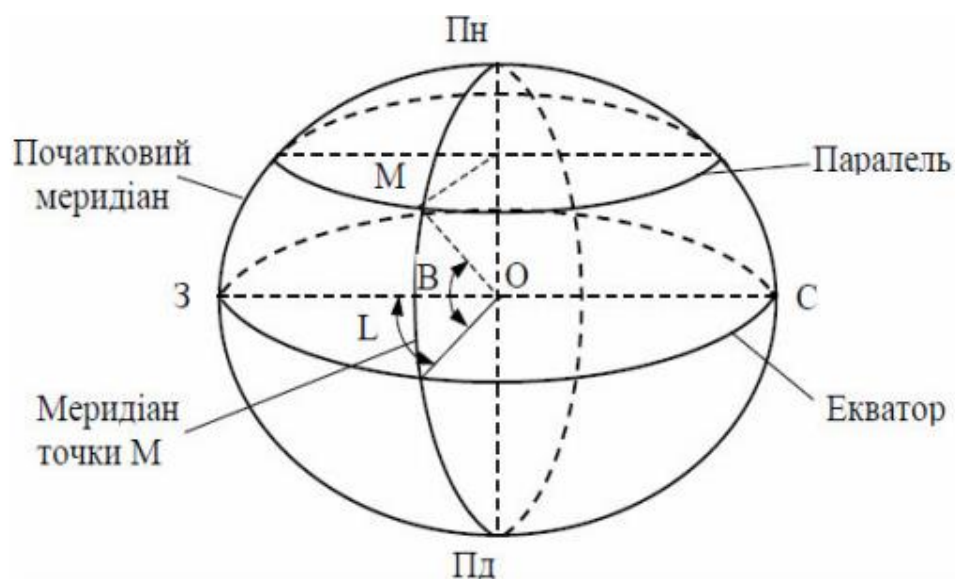


Рис. 5. Географічні координати точки М ( $B, L$ )

**Геодезичною широтою  $V$**  точки (рис. 5) називають кут  $V$ , що утворений нормаллю до поверхні еліпсоїда в цій точці з площиною екватора. Широти точок розміщені на північ від екватора називають північними, а на південь – південними.

**Геодезичною довготою  $L$**  точки називають двогранний кут  $L$ , що утворений площиною геодезичного меридіана цієї точки і площиною меридіана, що прийнятий за початковий. Довготи обчислюють від початкового меридіана на схід та захід і, відповідно, називають східною та західною.

Геодезичну широту  $V$  і довготу  $L$  заданої точки на карті визначають за допомогою картографічної сітки. На топографічних картах масштабу 1:200000 і більше картографічною сіткою служать лінії паралелей і меридіанів, що обмежують картографічне зображення.

На кожному аркуші топографічної карти підписані широти і довготи кутів внутрішніх рамок аркуша. Крім того, мінутна рамка карти розбита на міноти, а кожна мінута довготи і широти на топографічних картах масштабів 1:10000 – 1:100000 крапками поділена на шість рівних частин, відстань між якими відповідає  $10''$  довготи або широти (рис. 6).

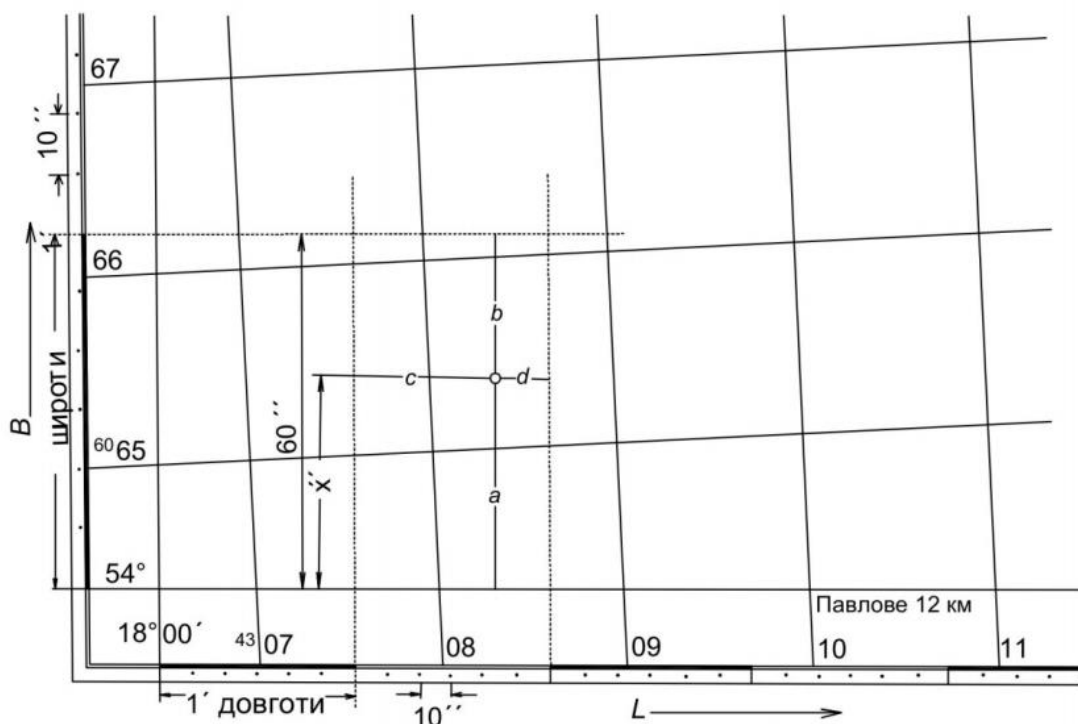


Рис. 6. Визначення геодезичних координат

**Приклад:** Для наближеного визначення геодезичних координат необхідно через задану точку провести (або прикласти лінійку) паралель і меридіан цієї точки і визначити їх значення на мінутній

рамці на око. Для більш точного визначення координат з урахуванням точності карти і деформації паперу через мінутні поділки рамки проводять найближчі до точки лінії меридіанів і паралелей і за допомогою поперечного масштабу вимірюють відрізки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  (рис. 6). Координати обчислюють за формулами:

$$B = B_1 + \frac{a}{a+b} \cdot 60''; \quad (1)$$

$$L = L_1 + \frac{c}{c+d} \cdot 60'', \quad (2)$$

де  $a$  і  $b$  – відстані за меридіанами  $L$  від певної точки до найближчих паралелей  $B_1$ , а  $c$  і  $d$  – паралелі  $B$  до найближчих меридіанів  $L_1$ . Якщо, наприклад:

$$a = 44,0 \text{ мм}; \quad B_1 = 54^\circ 40';$$

$$b = 30,0 \text{ мм}; \quad L_1 = 18^\circ 01';$$

$$c = 31,0 \text{ мм};$$

$$d = 11,5 \text{ мм},$$

тоді

$$B_T = 54^\circ 40' 35,7'';$$

$$L_T = 18^\circ 01' 43,8''.$$

Отримані значення прямокутних і географічних координат заносять до табл. 3, у яку будуть записані і всі наступні розраховані величини.

**Вимірювання довжин відрізків за картою.** Відстань між точками  $A$  і  $B$  (рис. 4) вимірюється циркулем, значення довжини лінії  $AB$  знаходиться по поперечному масштабу і записується з точністю масштабу. Проконтролювати правильність вимірювання відрізка на карті і попереднього визначення прямокутних координат його кінців можна за формулою:

$$D = \sqrt{(X_n - X_k)^2 + (Y_n - Y_k)^2}, \quad (3)$$

де  $D$  – відстань між точками з прямокутними координатами початкової  $X_n$ ,  $Y_n$  та кінцевої  $X_k$ ,  $Y_k$  точок, м.

Для визначення криволінійних ліній на планах і картах, особливо довжин горизонталей рекомендується використовувати **курвіметр** – найпростіший геодезичний прилад, який застосовується для вимірювання довжин кривих ліній на топографічних планах і картах (рис. 7).



Рис. 7. Вимірювання курвіметром довжини лінії по карті

Курвіметр складається із зубчатого ролика відомого діаметра на ручці і лічильника пройденої кількості зубців. Принцип дії приладу заснований на визначенні довжини шляху, пройденого зубчатим роликом при русі по лінії, що вимірюється. Довжину шляху легко обчислити, якщо знати довжину кола коліщатка і скільки обертів воно зробило.

Знаючи довжину лінії на карті (плані, схемі) і масштаб зображення, визначають дійсну величину відстані, що вимірюється (в метрах і кілометрах). Для вимірювання довжини кривої по ній прокочують роликом курвіметра.

**Визначення дирекційних кутів, істинних і магнітних азимутів та румбів.** **Орієнтувати лінію** – означає визначити її напрям щодо іншого напрямку, прийнятого за початковий. Напрямок визначається величиною кута орієнтування (орієнтирного кута), тобто, кута між початковим напрямком і напрямком лінії. Кутами орієнтування є *дирекційні кути, румби, істинні та магнітні азимуту*.

В геодезії орієнтування ліній здійснюють відносно меридіанів. Розрізняють географічні або істинні, магнітні та осьові меридіани. На рис. 8 показані географічний і осьовий меридіани в проекції Гаусса-Крюгера. На карті напрямок осьового меридіану зони вказують вертикальні лінії кілометрової сітки, а напрямок географічного меридіану – вертикальні лінії внутрішньої рамки.

**Дирекційним кутом** (рис. 9) називається горизонтальний кут, який відраховується за годинниковою стрілкою від північного напрямку осьового меридіана або лінії паралельної йому, до заданого напрямку та позначається грецькою літерою „ $\alpha$ ” (альфа) з відповідними індексами –  $\alpha_{AB}$ .

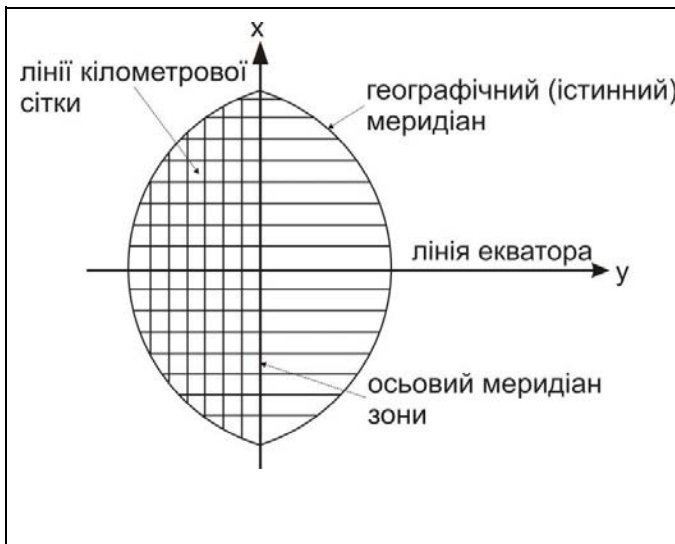


Рис. 8. Географічний та осьовий меридіани в проекції Гаусса-Крюгера

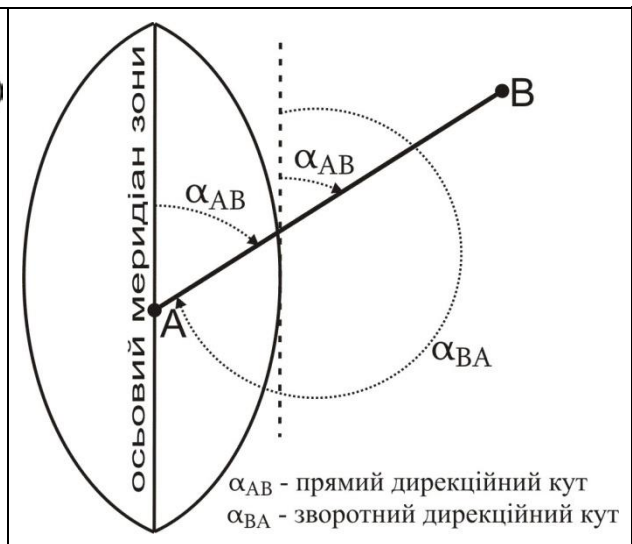


Рис. 9. Дирекційний кут

Він змінюється в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Оскільки напрям осьового меридіана для зони один, то дирекційний кут прямої лінії однаковий в різних її точках. Дирекційний кут  $\alpha_{AB}$  лінії  $AB$  називається **прямим**, а дирекційний кут  $\alpha_{BA}$  для тієї ж лінії  $AB$  називається **зворотним**. Прямі і зворотні дирекційні кути відрізняються між собою на  $\pm 180^\circ$  (рис. 10). На карті чи плані дирекційний кут відраховується від північного напрямку осьового меридіану або лінії до нього паралельної, за допомогою геодезичного транспорту з точністю  $15'$ . Для визначення дирекційного кута напрямку  $1-2$  (рис. 10) з'єднаємо точки прямою лінією.

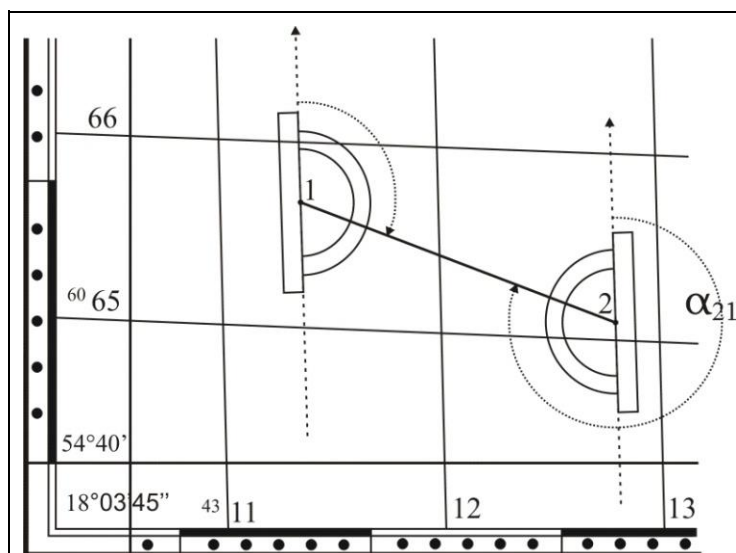
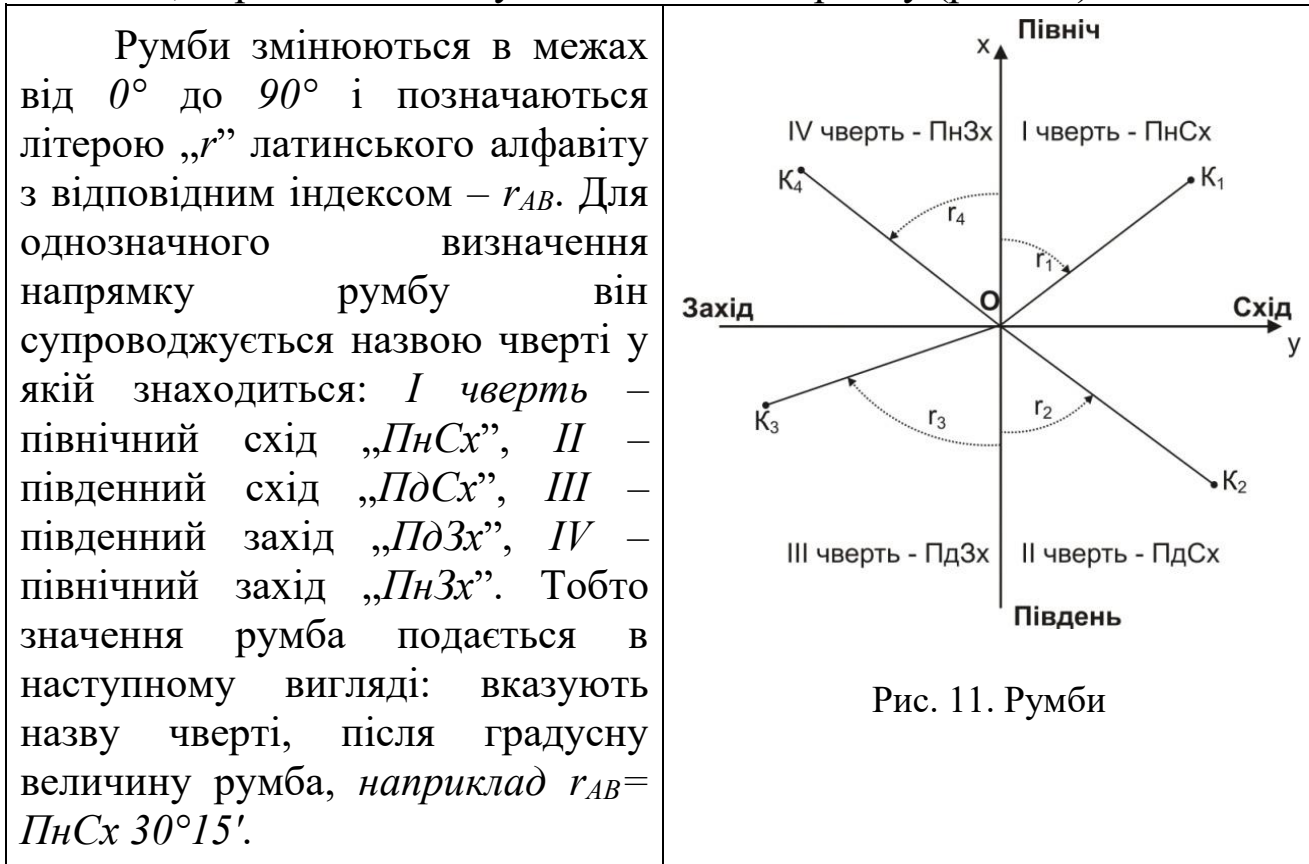


Рис. 10. Вимірювання дирекційного кута на карті транспортом

В точці  $1$  проводимо лінію паралельну вертикальній лінії координатної сітки, прикладаємо нуль транспорту в точку  $1$  і сумістивши його нульовий діаметр з вертикальною лінією сітки, відраховуємо  $\alpha_{1-2}$ . Зворотний дирекційний кут  $\alpha_{2-1}$  визначаємо в точці  $2$ .

**Румбом** називається гострий кут, який відраховується від ближнього *північного* або *південного* напрямку осьового меридіану або лінії, паралельної йому до заданого напрямку (рис. 11).



**Бусоль БГ-1** (рис. 12) призначена для вимірювання румбів і азимутів, горизонтальних кутів на геодезичних полігонах. Також ж бусоль БГ-1 застосовується при проведенні різноманітних топографічних і інженерно-геодезичних робіт, при рекогносцировочних і землевпорядних роботах.

Зв'язок між дирекційними кутами і румбами в залежності від чверті наступний (рис. 13):

$$\begin{aligned}
 \text{I чверть } r_1 &= \alpha_1; \alpha_1 = r_1; \\
 \text{II чверть } r_2 &= 180^\circ - \alpha_2; \alpha_2 = 180^\circ - r_2; \\
 \text{III чверть } r_3 &= \alpha_3 - 180^\circ; \alpha_3 = 180^\circ + r_3; \\
 \text{IV чверть } r_4 &= 360^\circ - \alpha_4; \alpha_4 = 360^\circ - r_4.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

**Істинним (географічним) азимутом** називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку істинного (географічного) меридіану за годинниковою стрілкою від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Істинний азимут позначається літерою „*A*”.



Рис. 12 Бусоль БГ-1

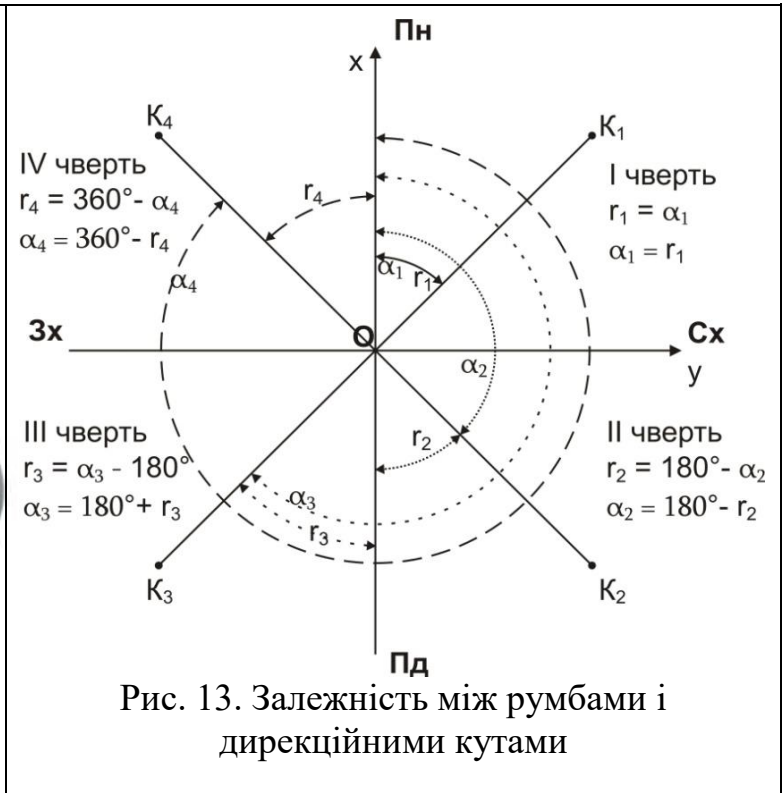


Рис. 13. Залежність між румбами і дирекційними кутами

**Магнітним азимутом** називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку магнітного меридіану за годинниковою стрілкою від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Магнітний азимут позначається літерою „ $A_M$ ”.

Істинний азимут можна виміряти безпосередньо на карті. Для цього транспортер суміщають з північним напрямком карти (паралельно вертикальній лінії внутрішньої рамки) і за рухом годинникової стрілки відраховують горизонтальний кут (рис. 14).

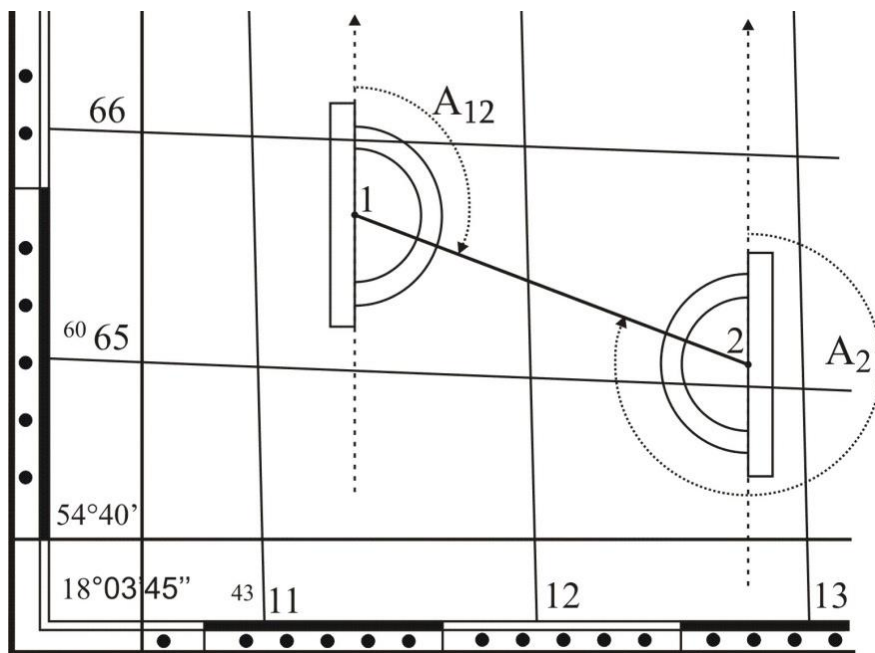


Рис. 14. Вимірювання істинного азимута на карті транспортером

Оскільки меридіани на земній кулі не паралельні між собою, то дирекційні кути та істинні азимуты відрізняються між собою на кут  $\gamma$ . **Кут  $\gamma$  це кут зближення меридіанів**, тобто кут між осьовим і істинним меридіанами (позначається грецькою літерою „ $\gamma$ ” (гамма) (рис. 15). В залежності від розташування відносно осьового меридіану кут зближення меридіанів може бути східним або західним (рис. 16).



Зв'язок між дирекційними кутами та істинними азимутами виражається формулою:

$$A = \alpha \pm \gamma, \quad (5)$$

де  $A$  – істинний азимут;  $\alpha$  – дирекційний кут;  $\gamma$  – кут зближення меридіанів.

Знак „+” використовується, коли зближення меридіанів східне; знак „-” – коли зближення меридіанів західне. Географічні меридіани проходять від північного до південного географічного полюсу. Магнітні меридіани проходять від північного до південного магнітного полюсу. Оскільки географічні і магнітні полюси Землі знаходяться в різних точках нашої планети, то географічний і магнітний меридіани в кожній точці земної поверхні не співпадають, а перетинаються під деяким кутом  $\delta$ , який називають **кутом схилення магнітної стрілки** (позначається грецькою літерою „ $\delta$ ” (дельта)). Схилення магнітної стрілки  $\delta$  може бути східне (рис. 17, а) або західне (рис. 17, б), в залежності від того, в який бік відхиляється магнітна стрілка компасу по відношенню до істинного (географічного) меридіана.

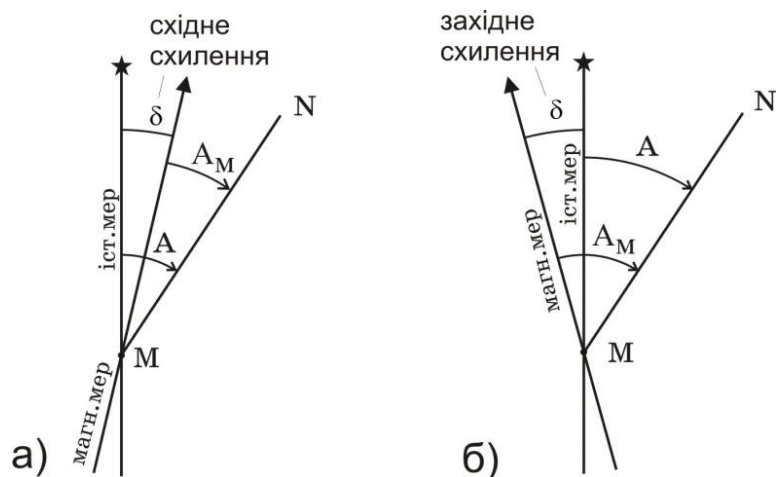


Рис. 17. Схилення магнітної стрілки:  
а) східне; б) західне

Зв'язок між магнітними та істинними азимутами виражається формулою:

$$A_M = A - \delta, \quad (6)$$

де  $A_M$  – магнітний азимут;  $A$  – істинний азимут;  $\delta$  – схилення магнітної стрілки.

Знак „+” використовується коли схилення магнітної стрілки східне; знак „-” – коли схилення магнітної стрілки західне. Середні значення зближення меридіанів і схилення магнітної стрілки, на зображену на карті територію, наводяться на топографічних картах у вигляді спеціальних написів, що подаються внизу кожного листа карти, ліворуч за рамкою карти (рис. 18). Оскільки величина схилення магнітної стрілки може змінюватись протягом доби на величину до  $15'$ , то також зазначають дату, на яку наводиться схилення магнітної стрілки та величину річної зміни схилення магнітної стрілки.

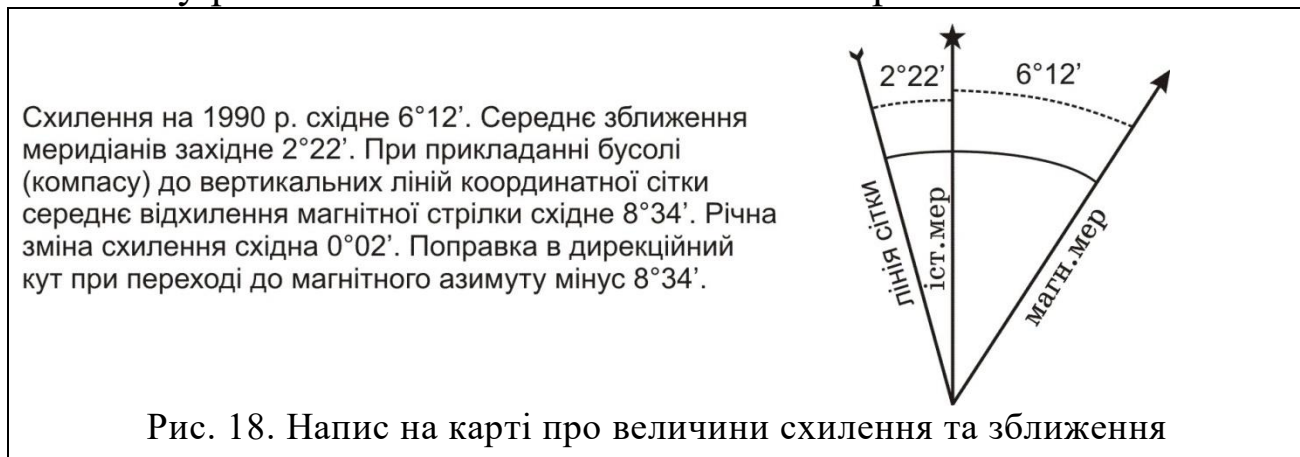


Рис. 18. Напис на карті про величини схилення та зближення

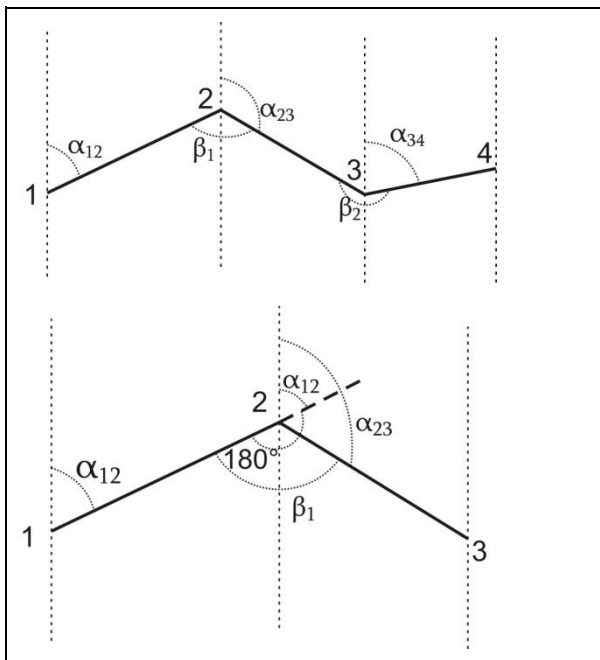


Рис. 19. Передача дирекційного кута на наступну лінію ходу

Наприклад дирекційний кут  $\alpha_{AB} = 30^{\circ}15'$ . Необхідно визначити істинний та магнітний азимут лінії  $AB$  на 2020 рік для карти наведеної на рис. 19. Оскільки зближення меридіанів західне, то істинний азимут рівний:

$$A_{AB} = 30^{\circ}15' - 2^{\circ}22' = 27^{\circ}53'$$

Схилення магнітної стрілки східне, отже приймати його необхідно зі знаком „+”. Враховуючи, що величина схилення наведена на 1990 рік, а річна зміна також східна і становить  $0^{\circ}02'$ , то на 2020 рік зміна становитиме  $0^{\circ}02' \times 30 = 1^{\circ}00'$ . Тому магнітний азимут лінії  $AB$  на 2020 рік становитиме:

$$A_{m AB} = 27^{\circ}53' - 6^{\circ}12' - 1^{\circ}00' = 20^{\circ}41'$$

**Завдання.** Визначити за топографічною картою прямі та обернені дирекційні кути, румби, істинні та магнітні азимуты, за заданою викладачем, лінії 1-2. Вимірювання проводять в порядку описаному вище. Результати вимірювань та обчислень заносять в табл. 3.

Таблиця 3

### Рішення задач за топографічною картою

№ пп	Вимірювані величини	Позначення	Номери точок	
			A	B
1	2	3	4	5
1	Географічні координати			
	- широта	$\varphi$	$54^{\circ}40'35,7''$	$54^{\circ}41'35,5''$
	- довгота	$\lambda$	$18^{\circ}01'43,8''$	$18^{\circ}02'43,3''$
2	Прямокутні координати			
	- абсциса	X	79264,8 м	79275,6 м
	- ордината	Y	66341,6 м	66352,4 м
3	Відстань між точками	d	16,8 м	

1	2	3	4	5
4	Дирекційний кут - прямий - зворотний	$\alpha_{1-2}$ $\alpha_{2-1}$	30°15' 210°15'	
5	Зближення меридіанів дійсне	$\gamma$	- 2°22'	
6	Азимут дійсний	$A_d$	27°53'	
7	Схилення магнітної стрілки	$\delta$	+ 7°12'	
8	Азимут магнітний	$A_m = A_d - \delta$	20°41'	
9	Румб	r	Пн. Сх.: 30°15'	
10	Висота точок	$H_1; H_2$	162 м	161 м
11	Перевищення	$h = H_2 - H_1$	- 1 м	
12	Ухил місцевості	$i = \frac{h}{d}$	0,0595	
13	Крутизна схилу	$v^\circ = \frac{\rho^\circ \cdot h}{d}$	3° 24,6'	

### Визначення відміток точок і крутизни схилу лінії місцевості.

**Висотою точки  $H$  місцевості** називається відстань по напрямку прямовисної лінії від точки до рівневої поверхні. Наприклад,  $HA = Aa$  – висота точки  $A$  над рівневою поверхнею  $PQ$ ,  $HB = Bb$  – висота точки  $B$  над рівневою поверхнею  $PQ$  (рис. 20).

**Відміткою точки місцевості** називається чисельне значення висоти точки. Наприклад,  $HA = 150$  м,  $HB = 149$  м.



Рис. 20. Метод зображення рельєфу горизонталями

На топографічному плані рельєф зображується написами відміток окремих характерних точок, умовними знаками (промоїна, обрив і т. п.) і горизонталями.

**Горизонталями** називаються замкнуті криві лінії, які сполучають точки місцевості з однаковими відмітками. Горизонталі утворюються шляхом перетину поверхні місцевості січними горизонтальними площинами, проведеними через задану відстань, яка називається **висотою перетину рельєфу  $h$** .

**Закладенням** називається відстань  $d$  на плані між двома сусідніми горизонталями. По відмітках двох суміжних (сусідніх) горизонталей можна визначити відмітку точки, що лежить між ними. Наприклад: відмітка першої точки В на нижній (рис. 21) горизонталі  $H_1 = 161$  м, відмітка другої точки А на верхній (рис. 21) горизонталі  $H_2 = 162$  м (тобто висота перетину рельєфу  $h = 1$  м), заставляння  $d = 16,8$  м, відстань від першої горизонталі до точки С рівно  $c = 7,6$  м (рис. 21).

Тоді (з необхідною точністю до 0,1 м) обчислюємо відмітку  $H_C$  точки С за формулою:

$$H_C = H_i + \frac{c}{d} \cdot h = 161 + \frac{7,6}{16,8} \cdot 1 = 161,4 \text{ м.} \quad (7)$$

**Крутизна схилу** – це кут, який утворений напрямом схилу з горизонтальною площиною в даній точці А. Схил  $i$  лінії місцевості – це тангенс кута нахилу  $v$  лінії місцевості (тангенс крутизни схилу) до горизонтальної площини (рис. 22). Крутизна схилу визначається за формулою:

$$v^\circ = \operatorname{arctg} \frac{h}{d}. \quad (8)$$

Крутість схилу, яка не перевищує  $20^\circ - 25^\circ$ , можна визначити за формулою:

$$v^\circ = \frac{\rho^\circ \cdot h}{d}, \quad (9)$$

де  $\rho^\circ = 57^\circ,3$ ;  $h$  – висота схилу (перевищення між точками), м;  $d$  – закладання схилу, м.

У нашому прикладі згідно рис. 21  $v^\circ = \frac{57^\circ,3 \cdot 1}{16,8} = 3,41 = 3^\circ 24,6'$ .

	
Рис. 21. Визначення висот точок	Рис. 22. Визначення крутизни схилу

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d}. \quad (10)$$

Чим більше кут нахилу, тим схил крутіше. Для нашого прикладу схил лінії місцевості між горизонталями рівний:

$$i = \frac{1}{16,8} = 0,0595.$$

**Побудова поздовжнього профілю земної поверхні за заданим напрямом. Профіль місцевості** – це проекція сліду умовного перерізу місцевості вертикальною площиною, яка проходить через задані точки, на проекційну площину (рис. 23). Тобто це креслення на папері (частіше на міліметровому), яке зображує в зменшеному вигляді (у масштабі) умовний розріз місцевості вертикальною площиною. За топографічною картою (планом) профіль місцевості будують на міліметровому папері в такій послідовності. На карті олівцем викреслюють *профільну лінію* (це лінія, уздовж якої будується профіль місцевості), тобто з'єднують прямою лінією дві задані точки, а на міліметровому папері – лінію умовного горизонту.

Нижче лінії умовного горизонту креслять *профільну сітку*, яка складається з чотирьох граф: "Ухили", "Висоти", "Відстані", "План місцевості". За підписами горизонталей визначають висоти цих точок, одержаних на лінії профілю, і виписують їх у графу "Висоти" проти відповідних точок перпендикулярно до лінії розграфлення профілю. У графі "Відстані" записують відстані між усіма точками, попередньо визначені за допомогою циркуля і поперечного масштабу.

За допомогою графіка закладань визначають уклони всіх відрізків між горизонталями. Установлюють (підбирають) висоту лінії умовного горизонту з таким розрахунком, щоб точка профілю з мінімальною висотою розміщувалася вище від лінії умовного горизонту на 3 – 4 см. Із точок, відмічених на лінії умовного горизонту, будують перпендикуляри, на яких відкладають висоти всіх точок у вертикальному масштабі профілю, який повинен бути більшим від горизонтального (масштабу

топографічної карти) у слаборозчленованій місцевості у десять і більше разів, а у гірських – у п'ять разів.

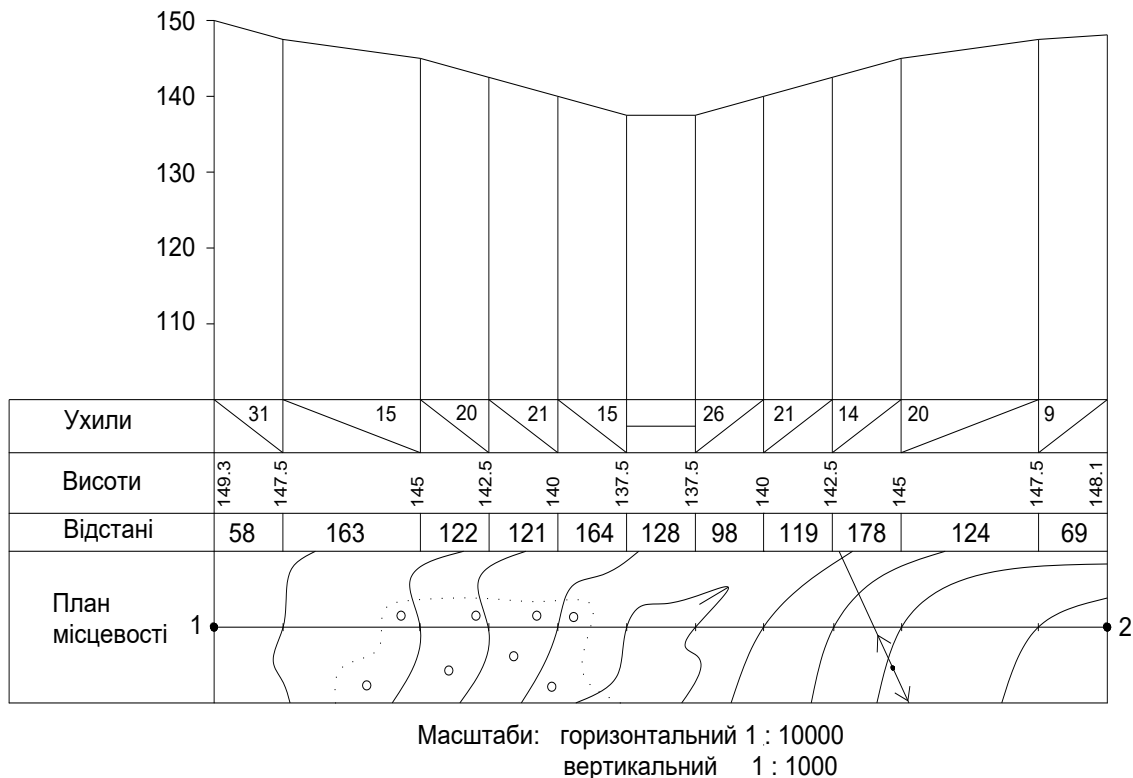


Рис. 23. Приклад оформлення поздовжнього профілю

Кінці перпендикулярів послідовно з'єднують прямими лініями і одержують лінію поздовжнього профілю місцевості за заданим напрямом на карті у графі "План місцевості". Уздовж траси профілю креслять план місцевості за допомогою спеціального столу в умовних знаках топографічної карти. Нижче профільної сітки підписують значення вертикального і горизонтального масштабів профілю, а вище профілю – його назву „Поздовжній профіль земної поверхні за напрямом 1 – 2.”

**Здавальні матеріали:** бланк з вирішеними завданнями за індивідуальним варіантом (табл. 3), топографічна карта, профіль (рис. 23). Під час здачі виконаних завдань проводять співбесіду, у ході якої кожен студент повинен відповісти на питання з методики вирішення задач за топографічними картами.



### Контрольні питання

1. Що називається горизонталями ?
2. Для чого призначений курвіметр ?
3. Що називається висотою перетину рельєфу ?
4. Що називається відміткою точки місцевості ?
5. Що називається закладенням між двома сусідніми горизонталями ?

6. Як визначити крутизну схилу ?
7. Орієнтування ліній. Поняття про дирекційний кут.
8. Румби напрямків, зв'язок румбів з дирекційними кутами.
9. Істинний і магнітний азимути напрямків, зв'язок між ними.
10. Що називають профілем місцевості ?

### **Завдання № 3**

## **ВИЗНАЧЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ МАСШТАБІВ 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000**

**Мета завдання** – набути практичних навичок щодо визначення номенклатури топографічних карт під час виконання геодезичних робіт у землеустрої.

**Прилади і матеріали** – бланк із завданням, олівець, лінійка, гумка.

### **Методика виконання завдання**

Топографічні плани і карти – це багатоаркушні картографічні твори. Кожний аркуш топографічної карти має рамку у вигляді трапеції, верхня і нижня сторони якої є паралелями, а бічні – меридіанами. Такий розподіл карти на окремі аркуші називається *розграфленням*.

Завдяки географічній сітці, покладеній в основу розподілу карти на аркуші, можна досить точно визначити місцеположення на земній кулі будь-якої ділянки місцевості, що відображена на певному аркуші карти. Крім того, збіг сторін рамки з меридіанами і паралелями визначає розміщення аркушів карти відносно сторін горизонту: верхня сторона рамки є північною, нижня – південною, ліва – західною і права – східною.

Щоб швидко знаходити потрібні аркуші карт того чи іншого масштабу і району, кожному аркушу за встановленим правилом присвоєно своє цифрове і буквене позначення – *номенклатуру*.

Номенклатуру кожного аркуша вказують над північною стороною його рамки (посередині або праворуч). Поряд із номенклатурою аркуша подають назву найбільшого з розташованих на ньому населеного пункту, а за відсутності – назву найбільш важливого географічного об'єкта. На кожному аркуші також зазначають номенклатуру суміжних аркушів, що безпосередньо

прилягають до нього. Ці написи розміщують посередині зовнішньої рамки з усіх її чотирьох сторін.

Номенклатура сучасних топографічних карт являє собою злагоджену систему, єдину для карт будь-якого масштабу.

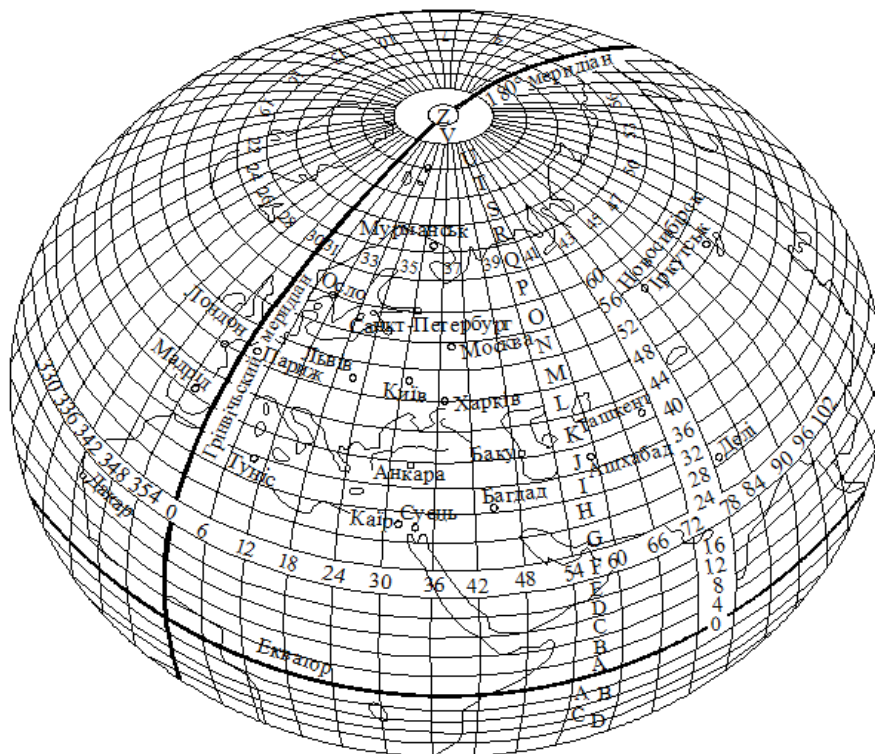


Рис. 24. Умовне розграфлення земної кулі на колони та пояси М 1 : 1 000 000

Розрізняють трапецієподібне і прямокутне розграфлення. При трапецієподібному за основу приймають розграфлення аркушів міжнародної карти масштабу 1 : 1 000 000. Для того щоб одержати один аркуш топографічної карти масштабу 1 : 1 000 000, усю поверхню земної кулі умовно розділяють меридіанами на колони через  $6^\circ$  за довготою від меридіана  $180^\circ$  та паралелями на пояси через  $4^\circ$  за широтою на північ і південь від лінії екватора (рис. 24).

Усього отримують 60 колон для всієї земної кулі та по 22 пояси для Північної та Південної півкуль. Пояси позначають великими буквами латинського алфавіту. Унаслідок такого розподілу утворюються трапеції розміром  $6^\circ$  за довготою і  $4^\circ$  за широтою. Номер колони і номер шестиградусної зони відрізняються на 30 одиниць. Відлік колон іде від меридіана з довготою  $180^\circ$  проти ходу годинникової стрілки, тобто із заходу на схід.

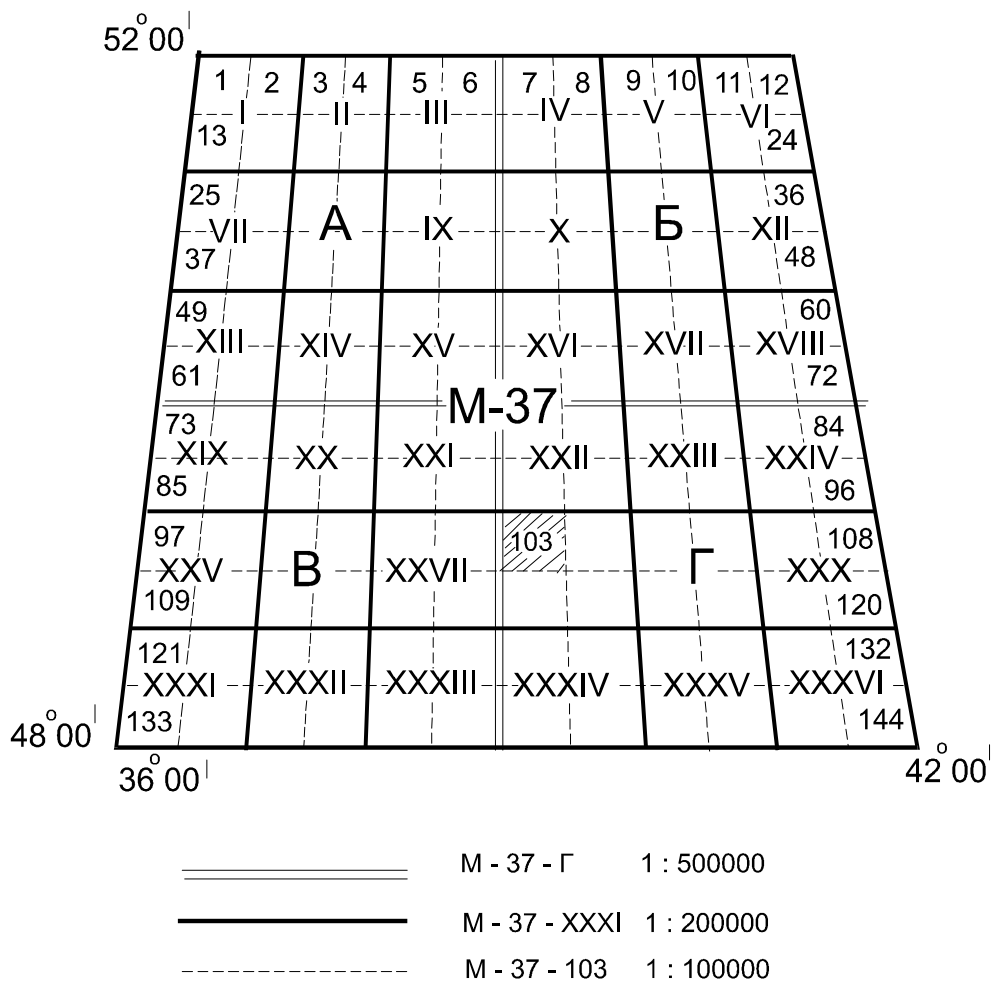


Рис. 25. Схема розграфлення аркушів карт масштабів 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000 на аркуші карти масштабу 1 : 1 000 000

Правило подальшого розграфлення топографічних карт полягає в постійному поділі аркуша карти дрібнішого масштабу меридіанами і паралелями на ціле число трапецій аркушів карти більшого масштабу (табл. 4). Приклад розграфлення масштабного ряду топографічних карт показано на рис. 25.

Аркуш карти масштабу 1 : 1 000 000, наприклад, М-37 розмірами за довготою  $6^{\circ}$  і широтою  $4^{\circ}$  ділять на:

а) чотири аркуші карти масштабу 1 : 500 000, що позначають великими буквами кирилиці – А, Б, В, Г. Розміри кожного аркуша –  $3^{\circ}$  за довготою і  $2^{\circ}$  за широтою. Номенклатура окремого аркуша включає номенклатуру аркуша карти масштабу 1 : 1 000 000 і одну з чотирьох букв – А, Б, В або Г. Наприклад: М-37-А;

б) 36 аркушів карти масштабу 1 : 200 000, які позначають римськими цифрами I, II, ..., XXXVI. Розміри аркуша за довготою –  $1^{\circ}$  і широтою –  $40'$ . Номенклатура аркуша карти масштабу 1 : 200 000 – М-37-І;

в) 144 аркуші карти масштабу 1 : 100 000, що позначають

арабськими цифрами від 1 до 144. Розміри аркуша за довготою – 30' і широтою – 20'. Номенклатура аркуша – М-37-103.

Для розграфлення аркушів карт більших масштабів за основу беруть аркуш карти масштабу 1 : 100 000, наприклад, М-37-103, розмірами за довготою – 30' і широтою – 20'; ділять на чотири аркуші карти масштабу 1 : 50 000, які позначають великими буквами кирилиці А, Б, В, Г. Розміри аркуша карти масштабу 1 : 50 000 дорівнюють 15' за довготою і 10' за широтою.

Номенклатуру аркуша одержують шляхом додавання до номенклатури карти масштабу 1 : 100 000 відповідної букви, наприклад, М-37-103-Г.

Аркуш карти масштабу 1 : 50 000 ділять на чотири аркуші карти масштабу 1 : 25 000, які позначають малими літерами а, б, в, г. Номенклатура аркуша карти масштабу 1 : 25 000 містить номенклатуру карти масштабу 1 : 50 000 із додаванням малої букви, наприклад, М-37-103-Г-а. Розміри аркуша за довготою – 7'30", за широтою – 5'.

Кожний аркуш карти масштабу 1 : 25 000 ділять на чотири аркуші карти масштабу 1 : 10 000 і позначають арабськими цифрами 1, 2, 3, 4, наприклад, М-37-103-Г-а-2. Розміри аркуша за довготою – 3'45", за широтою – 2'30".

Завдання виконують за індивідуальними формулами:

$$B = 48^{\circ} + N + 11'11'' \cdot n;$$

$$L = 23^{\circ} + N + 22'22'' \cdot n,$$

(11)

де  $N$  – номер групи;  $n$  – номер варіанта за списком.

Приклад оформлення роботи показано на рис. 26, 27.

**Здавальні матеріали:** бланк з вирішеними завданнями за індивідуальним варіантом (рис. 26, 27). Під час здачі виконаних завдань проводять співбесіду, у ході якої кожен студент повинен відповісти на питання з методики визначення номенклатури топографічних карт різних масштабів.



### Контрольні запитання

1. Що називається розграфленням карти ?
2. Яка протяжність аркуша карти по широті та довготі в масштабах 1:1000000 – 1:10000 ?
3. Особливості розграфлення карт в масштабі 1:500000, 1:200000.

Широта В -  $48^{\circ} + N^{\circ} + 11'11'' * n = 53^{\circ} 39'35''$

Довгота L -  $23^{\circ} + N^{\circ} + 22'22'' * n = 33^{\circ} 19'10''$

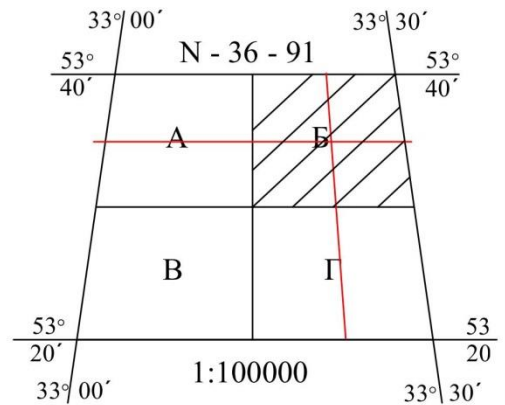
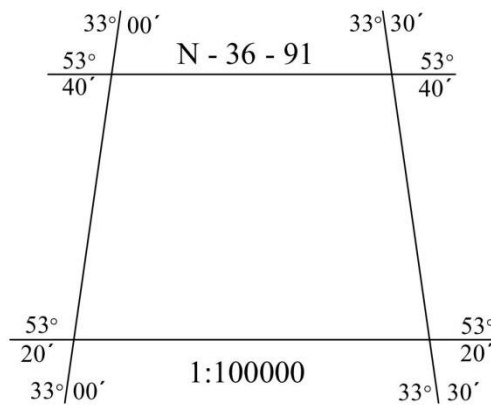
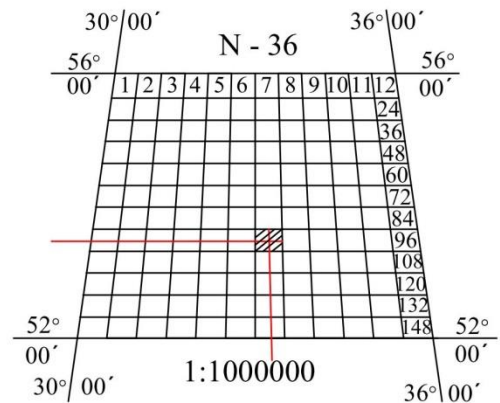
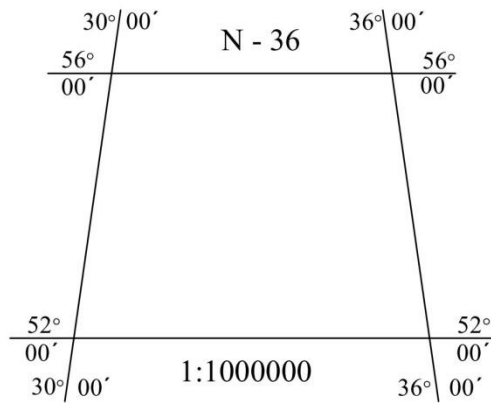
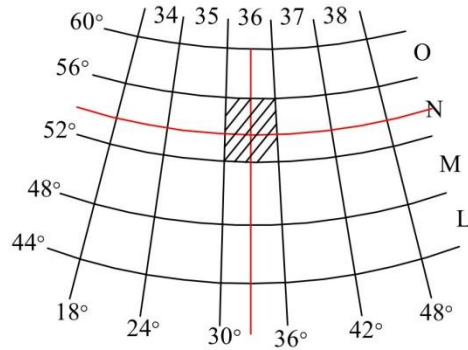


Рис. 26. Приклад оформлення визначення номенклатури топографічних карт масштабів 1 : 1 000 000 – 1 : 100 000

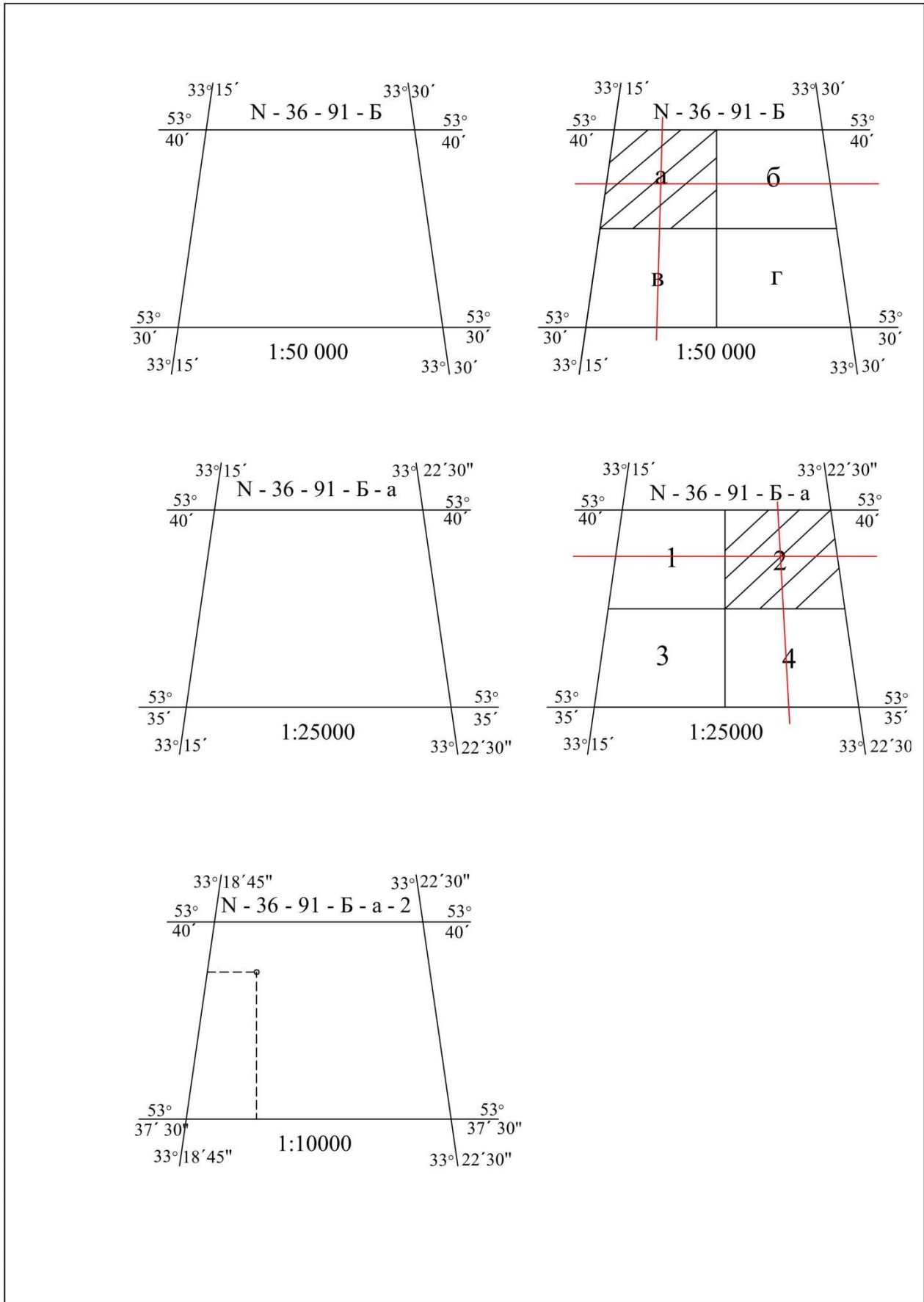


Рис. 27. Приклад оформлення визначення номенклатури топографічних карт масштабів 1 : 50 000 – 1 : 10 000

**Розміри і номенклатури аркушів топографічних карт  
різних масштабів**

Масштаб карти	Кількість аркушів	Розміри аркуша		Приклад номенклатури	Щільність кілометро- вої сітки на карті	Розміри аркуша, км		Площа аркуша, км <sup>2</sup>
		за широ- тою	за довго- тою			за широ- тою	за довго- тою	
1:1 000 000	1	4 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>	M-36		430	445	191 287
1:500 000	4	2 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	M-36-Г		220	222	48 828
1:200 000	36	40'	1 <sup>0</sup>	M-36-XXXI	2 см (4км)	74	74	5 496
1:100 000	144	20'	30'	M-36-136	2 см (2км)	37	37	1 379
1:50 000	4	10'	15'	M-36-136-B	2 см (1км)	18,5	18,5	345
1:25 000	4	5'	7',5	M-36-136-Г-а	4 см (1км)	9,7	9,7	86
1:10 000	4	2',5	3',75	M-36-136-Г-г-4	5 см (500м)	4,7	4,7	21

## Завдання № 4

### ТЕОДОЛІТ, ЙОГО БУДОВА ТА РОБОТА З НИМ

**Мета роботи:** вивчити будову теодоліта та його складових частин, ознайомитися з методикою вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

**Матеріали та обладнання:** теодоліт, екер, навчальні плакати,

#### Теоретичні відомості та методика виконання завдання

При складанні карт, планів і профілів на місцевості доводиться вимірювати горизонтальні і вертикальні кути, відстані і перевищення між точками. Горизонтальні і вертикальні кути можна побудувати і виміряти за допомогою теодоліта.

**Теодолітом** називається прилад, призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, відстаней за віддалемірними нитками, а також азимутів (румбів) за допомогою накладної бусолі.

Теодоліти бувають: високоточні – Т1; точні – Т2 і Т5; технічної точності – Т15 і Т30. Т – означає теодоліт, а цифра – точність вимірювання кутів, виражену в секундах.

Ми вивчатимемо теодоліт технічної точності Т30, 2Т30П (рис. 28). Тут 2 – модифікація теодоліта, П – означає, що зорова труба теодоліта дає пряме зображення.

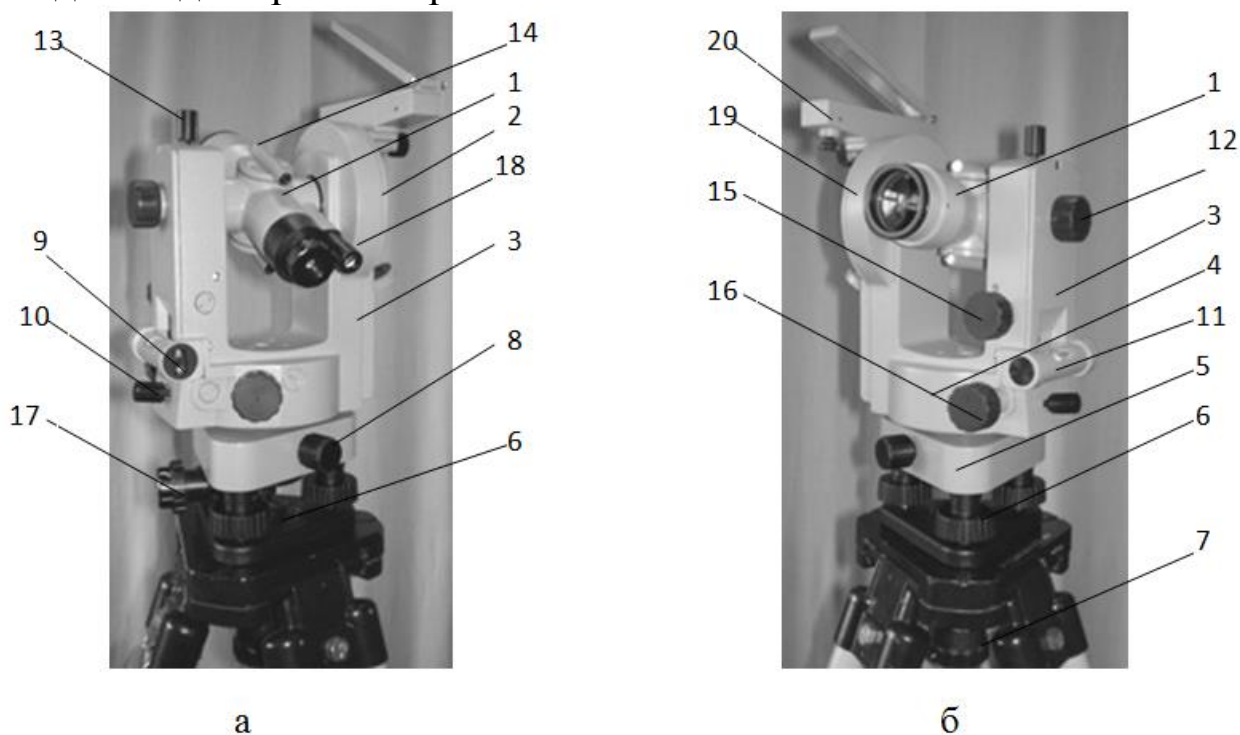


Рис. 28. Технічний теодоліт 2Т30П:

1 – зорова труба; 2 – вертикальний круг; 3 – колонки труби; 4 – горизонтальний круг; 5 – підставка теодоліта (трегер); 6 – підйомні гвинти; 7 – становий гвинт; 8 – закріпний гвинт лімба горизонтального круга; 9 – виправні гвинти циліндричного рівня; 10 – закріпний гвинт аліадади горизонтального круга; 11 – циліндричний рівень; 12 – гвинт кремальєри; 13 – закріпний гвинт труби; 14 – візир зорової труби; 15 – мікрометричний (навідний) гвинт зорової труби; 16 – мікрометричний (навідний) гвинт аліадади горизонтального круга; 17 – мікрометричний (навідний) гвинт лімба горизонтального круга; 18 – окуляр відлікового мікроскопа; 19 – дзеркальце; 20 – орієнтир-бусоль

На рисунку 28 (а, б) позначені основні частини технічного теодоліта 2ТЗ0П. Для отримання відліків потрібно за допомогою дзеркальця підсвічування (19), що знаходиться на одній з колонок, запустити світло в оптичну систему теодоліта. В комплекті з теодолітом є: штатив, орієнтир-бусоль (20), окулярні насадки.

Штатив потрібен для установки теодоліта над вершиною кута, що вимірюються. Орієнтир-бусоль дозволяє на місцевості виміряти магнітні азимути ліній. Окулярні насадки, що одягають на окуляри зорової труби і відлікового мікроскопа, дозволяють спостерігати предмети, розташовані під кутом більше  $45^\circ$  до горизонту, і виконувати вимірювання на ці предмети. Зорова труба теодоліта може переводитися через зеніт і окуляром і об'єктивом. Її фокусування на ціль здійснюється обертанням кремальєри (12). Обертанням діоптрійного кільця на окулярі зорової труби досягають чіткої видимості сітки ниток (рис. 29).

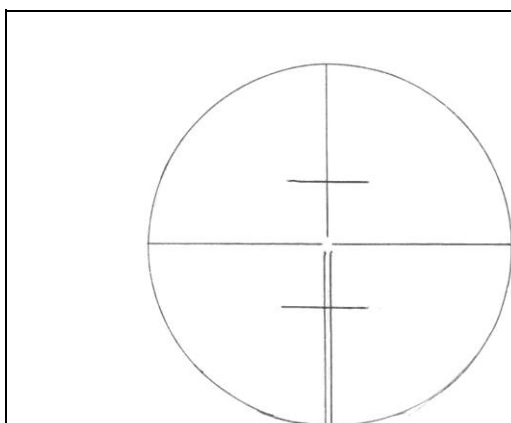


Рис. 29. Сітка ниток зорової труби

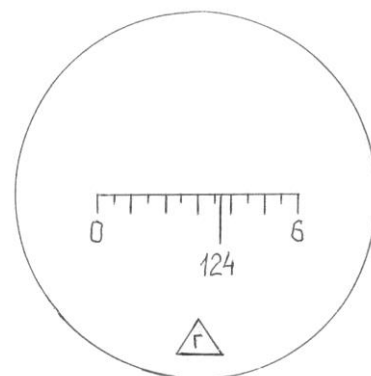


Рис. 30. Відлік по шкалі горизонтального круга

Два горизонтальні короткі штрихи сітки ниток вище і нижче за перетин горизонтальної і вертикальної ниток є нитяним віддалеміром. Корпус зорової труби складає єдине ціле з горизонтальною віссю, встановленою в лагерах колонок (3). Коліматорний візир (14) призначений для грубого наведення труби на ціль. При користуванні візиром око повинно бути на відстані 25-30 см від нього. Точне наведення зорової труби на предмет в горизонтальній площині здійснюється навідним гвинтом (16) після закріплення алідади гвинтом (10), а у вертикальній площині – навідним гвинтом (15) після закріплення труби гвинтом (13).

Для того, щоб теодоліт плавно повертався разом з горизонтальним кругом (лімба), необхідно обернути навідний гвинт лімба на підставці. При цьому закріпний гвинт лімба (8) повинен бути затиснений.

Горизонтальний і вертикальний круги розділені через  $1^\circ$ . Горизонтальний круг (лімба) має кругову оцифровку від  $0^\circ$  до  $359^\circ$  по напрямку годинникової стрілки, а вертикальний – секторну, від  $0^\circ$  до  $75^\circ$  і від  $0^\circ$  до  $-75^\circ$ .

Зображення штрихів і цифр обох кругів передаються в полі зору відлікового мікроскопа, окуляр (18) якого встановлюється по оку до появи чіткого зображення шкал обертанням діоптрійного кільця мікроскопа. Відлік по кругах проводиться по відповідних шкалам мікроскопа (В – вертикальна, Г – горизонтальна). Приклад відліку по шкалі горизонтального круга (лімба) наведений на рис. 30.

#### **Порядок взяття відліку на станції.**

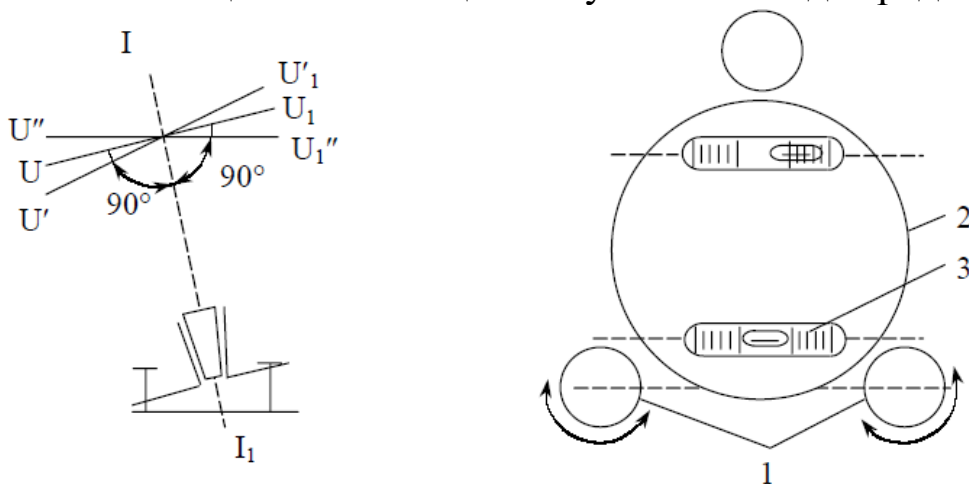
Перед початком роботи теодоліт необхідно привести у горизонтальне (робоче) положення. Установка теодоліта в робоче положення (нівелювання), коли вісь обертання теодоліта стає прямовисною, проводиться обертанням підйомних гвинтів (6) підставки (5) з використанням циліндричного рівня на алідаді (11).

Відлік береться таким чином. Кількість градусів відповідає напису штриха лімба, який проектується на шкалу, а кількість хвилин визначається як дуга від нульового розподілу шкали до градусного штриха лімба. При цьому потрібно пам'ятати, що ціна розподілу шкали рівна 5 хвилинам. На рис. 30 відлік рівний  $124^\circ 37'$ .

**Перевірки і юстирування теодоліта.** Перед проведенням теодолітного знімання роблять огляд, дослідження і перевірки приладів, які передбачається використовувати під час виконання польових робіт. При прийомі із заводу або перед роботою теодоліт піддають випробуванням, які включають перевірки виконання низки умов. Для виконання перевірок та під час вимірювання кутів і визначення довжин ліній теодоліт встановлюють на штатив, прикріпивши теодоліт до головки штатива становим гвинтом.

**1. Перевірка рівнів на алідаді горизонтального круга.** Вісь циліндричного рівня  $U-U_1$  на алідаді має бути паралельною площині лімба або перпендикулярною до вертикальної (основної) осі  $I-I_1$  теодоліта (рис. 31).

Для перевірки цієї умови необхідно алідаду повернути так (рис. 31), щоб вісь рівня  $U-U_1$  розмістилась паралельно лінії, що проходить через підйомні гвинти. Можливі положення осі циліндрового рівня показані на рис. 31:  $U'-U_1'$ ,  $U''-U_1''$ . Обертаючи ці гвинти в протилежних напрямках, бульбашку рівня переміщують на середину. Потім алідаду повертають на  $90^\circ$  і третім підйомним гвинтом бульбашку рівня виводять на середину. Після чого алідаду повертають на  $180^\circ$  і оцінюють зміщення бульбашки від середини.



**Рис. 31. Перевірка рівня при алідаді горизонтального круга:**  
*1 – підйомні гвинти; 2 – алідада; 3 – циліндричний рівень*

Якщо бульбашка рівня змістилася від середини більше ніж на одну поділку через нерівність підставок рівня, то при повороті лімба або алідади вісь приладу  $I-I_1$  і площина лімба збережуть своє похиле положення. Щоб виправити помилку виправними

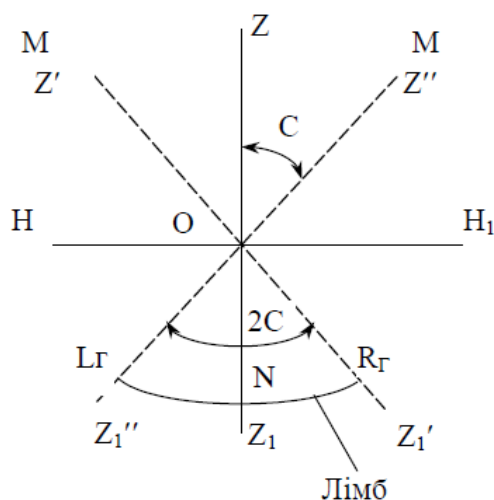
(юстировочними) гвинтами рівня, виводять бульбашку на половину відхилення від середини. Вісь рівня  $U-U_1$  розміститься паралельно площин лімба (рис. 31). Проте лімб не буде в горизонтальному положенні. На другу половину відхилення бульбашку встановлюють двома підйомними гвинтами, обертаючи їх у різні сторони. Лімб при цьому набуде горизонтального положення.

Для контролю перевірку повторюють доти, поки бульбашка рівня, повернутого на  $180^\circ$ , сходитиме з середини не більше як на одну поділку.

**2. Перевірка взаємного положення візирної осі труби та осі обертання труби (визначення колімаційної помилки).** Візирна вісь труби  $ZZ_1$  повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби  $HH_1$  (рис. 32), тобто колімаційна похибка мусить дорівнювати нулю або не перевищувати подвійну точність приладу:

$$C = \frac{(a_l + a_n) \pm 180^\circ}{2} \leq 2t, \quad (12)$$

де  $a_l, a_n$  – відліки по лімбі горизонтального круга при крузі “ліво” (КЛ) і крузі “право” (КП);  $t$  – точність теодоліта.



**Рис. 32. Схема визначення колімаційної похибки**

Неперпендикулярність візирної осі зорovo труби до горизонтальної осі обертання визначають у такій послідовності: теодоліт приводять у робоче положення, закріплюють алідаду, вибирають віддалену й добре помітну точку  $M$ , що знаходиться на рівні осі обертання (рис. 32). Візують на неї трубу при крузі “ліво”.

Закріпивши закріпні гвинти й діючи навідними гвинтами алідади й труби, суміщають центр сітки з точкою, яку спостерігають. Беруть відлік по горизонтальному колу. Відкріпивши алідаду і перевіривши трубу через зеніт, візують на ту саму точку М при крузі “право”. Знову роблять відлік по лімбі горизонтального кола.

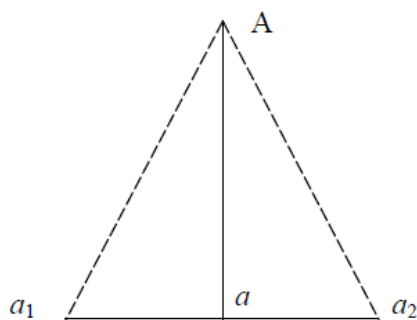
Після цього обчислюють колімаційну похибку (С). Якщо вона не перевищує подвійну точність теодоліта – умова виконується. У протилежному випадку виконують юстировку. Щоб позбутися похибки, з обох відліків обчислюють середнє значення. Навідними гвинтами алідади встановлюють на лімбі відлік, який дорівнює середньому арифметичному з двох отриманих відліків. Центр сітки ниток зорової труби зійде зі спостережуваної точки М. Послабивши юстировочні гвинти сітку ниток переміщують до суміщення її центру з зображенням точки М. Після цього сітку ниток закріплюють.

Для контролю перевірку повторюють доти, поки колімаційна похибка не перевищуватиме подвійну точність теодоліта.

Після закінчення перевірки захисний ковпачок юстирувальних гвинтів сітки ниток ставлять на місце.

**3. Перевірка взаємного положення осі обертання труби та осі обертання приладу.** Горизонтальна вісь обертання зорової труби має бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта (рис. 33).

Теодоліт встановлюють за 20-30 м від стіни високої будівлі й приводять його у робочий стан. Вибирають і відмічають на стіні точку А (рис. 33).



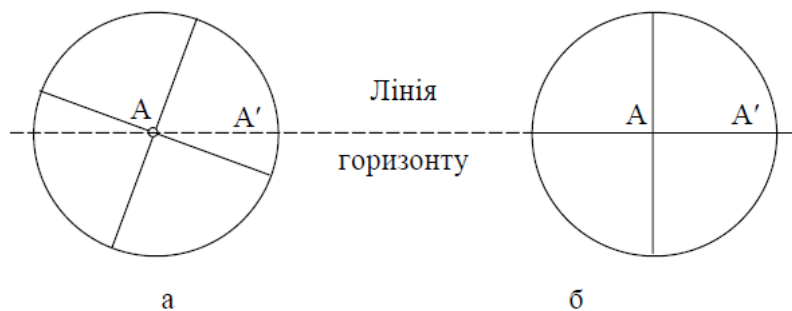
**Рис. 33. Визначення нахилу горизонтальної осі обертання зорової труби**

Кут нахилу на точку А повинен дорівнювати 25-35°. Зорову трубу візують на точку А й закріплюють алідаду. Опускають трубу до горизонтального положення, і проєкціюють на стіну центр сітки

ниток. Позначають на стіні точку  $a_1$ . Переводять трубу через Zenit, і при іншому положенні вертикального круга знову візують трубу на точку  $A$ . Закріпивши алідаду, опускають трубу до горизонтального положення і позначають на стіні точку  $a_2$ . Якщо точки  $a_1$  і  $a_2$  не сумістяться – умова не виконується. Відстань між  $a_1$  і  $a_2$  для технічних теодолітів не повинна перевищувати 1:5000 висоти точки  $A$  над горизонтом приладу (відрізок  $aA$ ).

Необхідні у теодоліті виправлення виконуються в майстернях.

**4. Перевірка положення сітки ниток зорової труби.** Одна з ниток сітки має бути горизонтальною, а інша вертикальною. Приводять теодоліт у робочий стан. Горизонтальність нитки сітки перевіряють у такій послідовності. Наводять центр сітки ниток на точку, віддалену від теодоліта на 5-10 м, що перебуває на висоті приладу. Навідним гвинтом лімба переміщують сітку ниток уздовж точки (рис. 34) і стежать за положенням горизонтальної сітки ниток відносно точки. Якщо зображення центра сітки ниток зміщується відносно точки більше ніж на величину потрійної товщини штриха – умова не виконується.



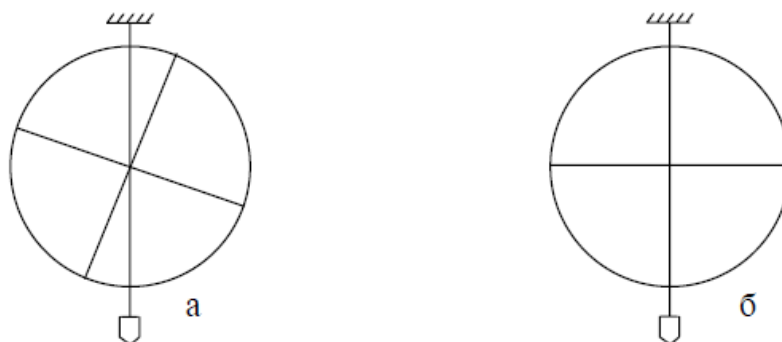
**Рис. 34. Перевірка правильності встановлення сітки ниток наведенням на точку:**

*а – умову не виконано; б - виконано*

Вертикальну сітку ниток можна перевірити за допомогою виска, підвішеного на відстані 20–30 м (рис. 35). Якщо після візування на висок вертикальна сітка ниток суміститься з шнурком виска – умова виконується. В іншому разі треба виконати юстировку.

Для виконання юстировки відгвинчують ковпачок, що закриває виправні (юстировочні) гвинти сітки на окулярній частині зорової труби. Відкручують виправні гвинти й рукою повертають корпус ниток сітки так, щоб виконувалися умови горизонтальності й вертикальності сітки

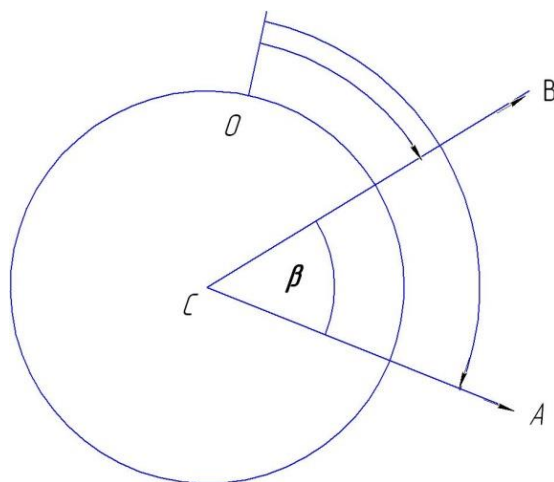
ниток. Після закінчення перевірки повторюють перевірку перпендикулярності осі візування до горизонтальної осі зорової труби.



**Рис. 35. Перевірка сітки ниток за допомогою виска:**  
*а – умову не виконано; б – виконано*

### **Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.**

Суть даного способу полягає в двократному вимірюванні одного і того ж кута при двох положеннях вертикального круга («круг ліво» і «круг право») і обчисленні середнього значення кута, що вимірюються. Схема вимірювання горизонтального кута показана на рис. 36.



**Рис. 36. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів**

*При оцифровці лімба по ходу годинникової стрілки маємо:*

$$\beta = A - B \quad (13)$$

де,  $A$  – відлік на праву (задню) точку;  $B$  – відлік на ліву (передню) точку.

Якщо відлік на задню точку виявився меншим ніж на передню, то до нього заздалегідь потрібно додати  $360^\circ$ . Теодоліт наводять

послідовно на праву і ліву точки, знімають відліки по горизонтальному колу і записують їх в журнал вимірювання кутів. Вираховують і записують виміряний кут. При наведенні на ціль спочатку виконують грубе наведення по візирі. Потім, затиснувши закріпні гвинти алідади і зорової труби, і відфокусувавши трубу на ціль, роблять точне наведення на ціль навідними гвинтами алідади і зорової труби. *При роботі в полі* наведення роблять на низ віхи, суміщаючи з нею перетин сітки ниток. *При роботі в приміщенні* як візирну ціль використовують наперед підвішені на стіни віхи (або нівелірні рейки).

Перед другим напівприйомом рекомендується «збити» положення лімба на  $1-2^\circ$ . Це можна зробити навідним гвинтом лімба. Після цього трубу переводять через зеніт і всі операції по вимірюванню кута повторюють. Якщо різниця значень кута в напівприйомах не перевищує подвійної точності відлікового пристрою, то обчислюють середнє значення кута. При невиконанні цієї умови роблять повторне вимірювання кута. Оскільки точність взяття відліку у теодоліта 2Т30 рівна  $0,5'$  ( $30''$ ), допустима розбіжність кута в напівприйомах не повинна перевищувати 1 хвилини.

**Порядок роботи по вимірюванню горизонтальних кутів і контроль вимірювань.**

*При роботі в польових умовах* вибирають на місцевості 3-4 точки на відстані 100-150 м і закріплюють їх кілками. Вимірюють горизонтальні кути на кожній точці (вершині) і результати записують в журнал. Потім підсумовують всі виміряні кути і перевіряють виконання умови:

$$\sum \beta_{\text{вим}} - \sum \beta_{\text{теор}} \leq 1' \sqrt{n}, \quad (14)$$

де  $\sum \beta_{\text{вим}}$  – сума всіх виміряних кутів,  $\sum \beta_{\text{теор}}$  – теоретична сума кутів

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ \cdot (n - 2), \quad (15)$$

де  $n$  – число виміряних кутів.

*Аналогічно ведуть роботу в приміщенні*, позначаючи точки на підлозі крейдою. В обмежених умовах невеликого приміщення можна встановити теодоліт в центрі його і виміряти декілька суміжних кутів, які в сумі становлять  $360^\circ$ , використовуючи як візирну ціль наперед

вивішені на стіни віхи. Для того, щоб вимірювання суміжних кутів були незалежними, бажано кожний з кутів виміряти при різних положеннях лімба.

**Вимірювання вертикальних кутів.** *Вертикальним* називається кут між напрямом на предмет і горизонтальним напрямом візирної осі труби теодоліта. Вертикальні кути можуть бути укладені в межах від  $90^\circ$  до  $-90^\circ$ . Вертикальні кути вимірюються для визначення перевищень між точками тригонометричною нівеляцією і для визначення горизонтальних прокладань похилих ліній місцевості. Горизонтальний напрям візирної осі визначається за допомогою місця нуля (МО) вертикального круга.

Вимірювання вертикальних кутів – кутів нахилу виконують за допомогою вертикального круга теодоліта. Для визначення кутів теодолітом Т30 використовують одну із наведених формул:

$$v = \frac{KL - KP - 180^\circ}{2}, \quad (16)$$

$$v = KL - MO, \quad (17)$$

$$v = MO - KL - 180^\circ, \quad (18)$$

де  $v$  – кут нахилу; МО – місце нуля вертикального круга; КЛ і КП – відліки по вертикальному кругу при кругу “ліво” і при кругу “право”.

*Місце нуля* – це відлік по лімбі вертикального круга при горизонтальному положенні візирної осі і осі циліндрового рівня.

Для визначення місця нуля встановлюють за рівнем вісь обертання теодоліта в прямовисне положення. При крузі “ліво” візують трубу на віддалену точку, яку чітко видно й беруть відлік по вертикальному кругу. Переводять трубу через зеніт і візують трубу на ту саму точку й беруть відлік по вертикальному кругу.

У теодоліта Т30 місце нуля обчислюють за формулою:

$$MO = \frac{KL + KP \pm 180^\circ}{2} \leq 2t. \quad (19)$$

Для контролю визначають місце нуля візуванням на іншу точку.

У теодоліта 2Т30 та інших, у яких шкала вертикального круга має два ряди цифр (в одному зі знаком "-", а в другому "+"), місце нуля

$$MO = \frac{KL + KP}{2} \leq 2t. \quad (20)$$

Для зручності обчислення вертикальних кутів ставиться умова: коли візирна вісь зорової труби і вісь рівня горизонтальні, відліки по вертикальному кругу повинні дорівнювати нулю. Ця умова досягається коли місце нуля (МО) дорівнює нулю.

Якщо місце нуля більше за подвійну точність теодоліта, виконують юстировку. Для теодоліта Т30 порядок юстировки такий. Знаходять кут нахилу по відліках, що отримані при візуванні труби на точку при двох положеннях вертикального круга:

$$v = \frac{KL - KP \pm 180^\circ}{2}. \quad (21)$$

Залишивши зорову трубу наведеною на точку, встановлюють навідним гвинтом по вертикальному кругу відлік  $v$ . Виводять на середину бульбашку рівня біля горизонтального круга піднімальними гвинтами. Центр сітки ниток зміститься з точки, яку спостерігають. Відгвинчують ковпачок, який закриває юстировочні гвинти сітки ниток на окулярній частині зорової труби. Вертикальними юстировочними гвинтами при послаблених горизонтальних гвинтах суміщають центр сітки ниток з точкою, яку спостерігають. Для контролю перевірку повторюють доти, поки не буде виконано умову.

Необхідно відзначити, що відліки по вертикальному кругу у теодоліта 2Т30П беруться по шкалі, підписаною буквою В, рівній  $1^\circ$  вертикального круга і поділеної на 12 частин. Отже, ціна поділки шкали рівна  $5'$ . Ділячи її на око на 10 частин, ми можемо брати відлік з точністю  $0,5'(30'')$ . Зліва направо шкала зростає від  $0'$  до  $60'$  (підписано цифрою 6), справа наліво шкала зменшується від  $-0'$  до  $-60'$  (підписано  $-6$ ).

**Відлік по шкалі береться таким чином:** кількість градусів прочитується з підписаного градусного штриха вертикального круга, який проектується на шкалу; кількість хвилин визначається по шкалі від її нуля до градусного штриха вертикального круга. Причому, якщо градусний штрих додатний, то кількість хвилин вираховується зліва направо від 0 шкали до цього штриха, і додається до градусів. Відлік буде додатнім. Наприклад, на рис. 37 а, відлік рівний  $+2^\circ 19'$ .

Якщо градусний штрих вертикального круга від'ємний, то кількість хвилин вираховується справа наліво від  $-0$  до градусного штриха і додається до градусів; відлік буде від'ємним. Наприклад, на рис. 37 б, відлік рівний  $-0^{\circ}52'$ .

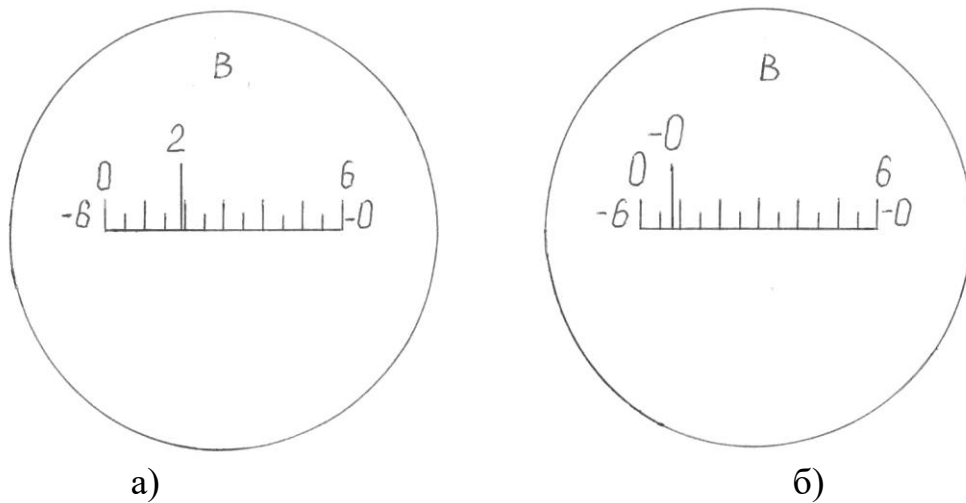


Рис. 37. Відлік по вертикальному кругу

При вимірюванні вертикальних кутів теодолітом 2Т30П ретельно приводять вісь теодоліта в прямовисне положення, потім зорову трубу наводять на точку при «круг право» (КП). Перед узяттям відліку при необхідності потрібно поправити рівень (пухирець вивести на середину) підйомними гвинтами. Потім береться і записується відлік КП по вертикальному кругу. Далі зорова труба переводиться через зеніт і наводиться на ту ж точку при «круг ліво» (КЛ). Підправивши при необхідності рівень підйомними гвинтами, беруть і записують відлік по вертикальному кругу КЛ. По формулах (16, 17, 18 або 21) визначають вертикальний кут  $v$  і місце нуля МО (19, 20).

Місце нуля слід визначити повторно при наведенні на іншу точку, і з двох значень обчислити його середнє арифметичне, якщо середнє значення МО більше  $1'$ , його слід виправити.

В геодезії також для визначення прямих кутів використовуються екери різноманітної конструкції.

**Будова екера.** Екер - прилад для побудови на місцевості прямих кутів. Екери бувають дзеркальні і призматичні. Дзеркальний екер складається з тригранної коробки, одна з бічних граней якої відкрита (рис. 38). До двох інших граней з внутрішньої сторони прикріплені дзеркала. Над дзеркалами вирізані віконця. Внизу екера є гачок для відвісу.

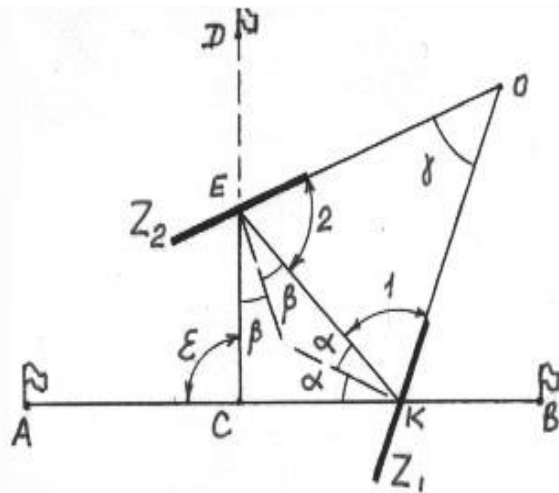


Рис. 38. Дзеркальний екер

Якщо екер встановлений на лінії АВ (рис. 38), то промінь від віхи А потрапляє в дзеркало  $Z_1$ , відображається від нього, падає на дзеркало  $Z_2$ , відображається від нього і потрапляє в око спостерігача, складаючи зі своїм первинним напрямом кут  $\epsilon$ .

Для того, щоб промінь складав з своїм попереднім напрямом кут  $\beta = 90^\circ$  потрібно, щоб кут між дзеркалами був рівний  $45^\circ$ . Око бачить зображення віхи А в дзеркалі  $Z_2$  в напрямі СЕ, перпендикулярному напрямку АВ, а у віконце над дзеркалом видно віху D, яку помічник переставляє по команді спостерігача. Як тільки віха D знаходиться на лінії СЕ, її закріплюють. Якщо віхи закріплені, то за допомогою екера можна знайти на лінії АВ точку С, щоб лінія DC була перпендикулярна АВ; іншими словами, можна знайти основу перпендикуляра, опущеного з точки D на лінію АВ. Узявши в руки екер, переміщаються по лінії АВ, поки зображення віхи А в дзеркалі  $Z_2$  не співпадає з напрямом CD. Потім за допомогою відвісу намічають на землі точку С.

**Перевірка екера.** Кут між дзеркалами повинен бути рівний  $45^\circ$ . Стоячи в точці С, будують прямий кут, спостерігаючи віху А, закріплюють прямий кут першою віхою. Потім, стоячи як і раніше в точці С, будують прямий кут, спостерігаючи віху В, закріплюють прямий кут другою віхою. Якщо віхи виявилися поряд, умова екера виконується. В протилежному випадку намічають середнє положення, ставлять віху в цю точку і юстировочними гвинтами дзеркал змінюють кут між дзеркалами до тих пір, поки зображення віхи А або В не співпадає з напрямом CD. Після цього перевірку повторюють. Екер вважається справним, якщо кут  $\gamma$  відрізняється від  $45^\circ$  не більше, ніж на

$\pm 2.5'$ , тоді помилка побудови кута  $\beta = 90^\circ$  буде не більше  $5'$ . Наразі класичний дзеркальний екер практично втратив значення для геодезії.



**Рис. 39. Ортогональний екер**

На рис. 39 представлена модель ортогонального екера з використанням напівдзеркала. Ортогональний екер має властивість відхиляти візирний промінь рівно на  $90^\circ$ , проте класичне цільне дзеркало з двома направленими всередину дзеркальними поверхнями в даному випадку замінено двома дзеркалами.

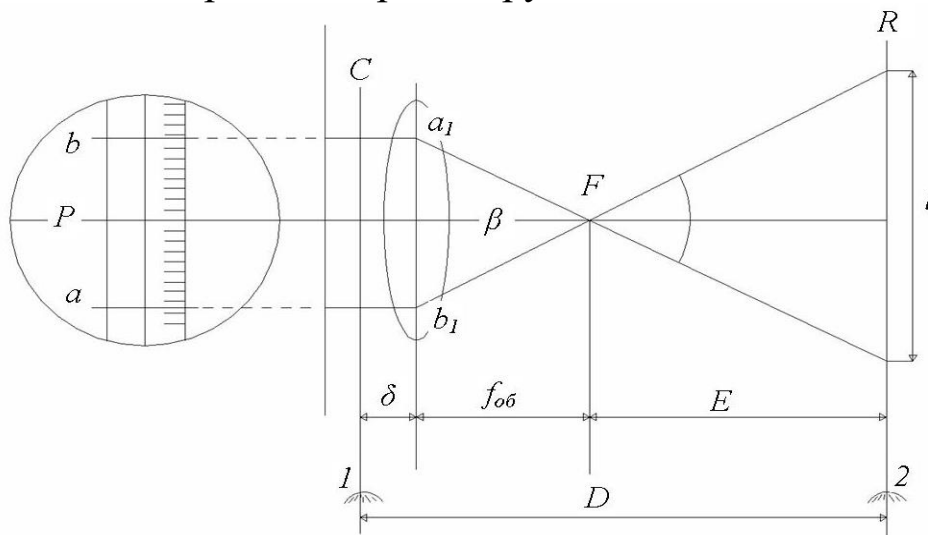
**Визначення відстаней нитковим віддалеміром.** Нитковий віддалемір належить до віддалемірів з постійним паралактичним кутом і змінним базисом. Конструктивно він оформлений у вигляді зорової труби, на сітці якої, окрім центральних, горизонтальної і вертикальної ниток, нанесено два горизонтальні віддалемірні нитки. Паралактичний кут  $\beta$  утворюється променями візування, які проходять через віддалемірні штрихи у точках  $a$  і  $b$ . Величина кута залежить від відстані  $P$  між віддалемірними штрихами; вершина кута знаходиться на оптичній осі в незмінній точці, положення якої різне для різних систем зорових труб. У трубах із зовнішнім фокусуванням незмінна точка знаходиться у проміжку між сіткою ниток і об'єктивом. Відповідним вибором компонентів об'єктива і конструкції зорової труби можливо незмінну точку сумістити з перетином осі обертання приладу і оптичною віссю об'єктива.

Для вимірювання відстані  $D$  між точками  $1$  і  $2$  встановлюють віддалемір так, щоб вісь обертання приладу (теодоліта)  $C$  була відвісна і проходила через початкову точку лінії (точка  $1$ ). На

кінцевій точці лінії (у точці 2) встановлюють віддалемірну рейку. Якщо лінія візування горизонтальна, рейка повинна бути перпендикулярна до неї. Із креслення 40 видно, що відстань, яка вимірюється дорівнює:

$$D = E + f + \delta, \quad (22)$$

де  $E$  – відстань від переднього фокуса об'єктива до рейки;  $f$  – передня фокусна відстань об'єктива;  $\delta$  – відстань від об'єктива до вертикальної осі обертання зорової труби.



**Рис. 40. Схема вимірювання відстаней нитковим віддалеміром**

Нитковий віддалемір дає можливість швидко вимірювати відстані, але точність визначення довжин ліній є значно нижчою в порівнянні з результатами, які одержують при вимірюванні ліній мірними стрічками, рулетками та іншими приладами для безпосереднього вимірювання.

Нитковий віддалемір забезпечує вимірювання довжин ліній з відносною похибкою  $1/200$ - $1/400$ . На точність вимірювання відстаней нитковим віддалеміром впливають похибки: зняття відліків по верхньому і нижньому штрихах по рейці; не вертикального положення рейки при вимірюванні; зміни коефіцієнта  $K$  і постійної поправки  $C$  при зміні фокусування труби з внутрішнім фокусуванням; погодні умови.

**Здавальні матеріали:** бланк з вирішеними завданнями за індивідуальним варіантом (рис. 41). Під час здачі виконаних завдань проводять співбесіду, у ході якої кожен студент повинен відповісти на питання з методики вимірювання горизонтальних, вертикальних кутів, відстаней, будову теодоліта.





### Контрольні питання

1. Призначення теодоліта
2. Будова теодоліта
3. Перевірки і юстирування теодоліта
4. Порядок вимірювання горизонтальних кутів
5. Порядок вимірювання вертикальних кутів
6. Призначення штатива теодоліта
7. Вимірювання прямих кутів та відстаней

### Завдання №5

## ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧОК ЗАМКНУТОГО ТЕОДОЛІТНОГО ХОДУ

**Мета:** навчитися урівнювати горизонтальні кути, обчислювати горизонтальні закладення довжин ліній, прирости координат.

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

**Теодолітним ходом** називається хід, в якому кути вимірюють з точністю  $0,5-1'$ , а довжини сторін металевою стрічкою з відносною похибкою  $1:2000$ . Теодолітний хід, який опирається на одну тверду лінію називається **замкненим** (рис. 42), а хід який опирається на дві тверді лінії називається **розімкненим**. **Тверда лінія** – це лінія в якій відомі координати початкової і кінцевої точок, або координати однієї з точок і дирекційний кут лінії. Тверді лінії на схемі позначаються *подвійними лініями*.

В даній роботі розглядається стандартний замкнутий теодолітний хід. Схема теодолітного ходу наведена на рис. 42. Вихідними даними при прокладанні даного ходу є дирекційний кут вихідного напрямку  $\alpha_{A-B}$  та координати точки В ( $x_B$ ;  $y_B$ ). В процесі польових робіт були виміряні внутрішні (в даному випадку праві по ходу) горизонтальні кути  $\beta_i$ , та довжини сторін  $S_i$ . Прив'язка теодолітного ходу до вихідного напрямку виконувалась шляхом

вимірювання горизонтального примикаючого кута  $\beta_B'$  і контрольного примикаючого кута  $\beta_B''$ .

Обчислення координат точок замкнутого теодолітного ходу виконуємо в наступній послідовності:

1. Обчислюємо суму виміряних кутів в теодолітному ході  $\Sigma\beta_{\text{пр}}$ . ( $\Sigma\beta_{\text{пр}}$  визначається як сума даних, що знаходиться в стовпчику 2 таблиці 5). Для нашого теодолітного ходу маємо:

$$\Sigma\beta_{\text{пр.}} = 204^{\circ}05' + 81^{\circ}24' + 93^{\circ}28' + 151^{\circ}24' + 89^{\circ}40' + 99^{\circ}57' = 719^{\circ}58'.$$

2. Обчислюємо теоретичну суму кутів замкнутого теодолітного ходу за формулою (23):

$$\Sigma\beta_{\text{теор.}} = 180^{\circ} \cdot (n-2) = 720^{\circ}00', \quad (23)$$

де  $n$  – кількість горизонтальних кутів в замкнутому теодолітному ході,  $n = 6$ .

3. Обчислюємо практичну кутову нев'язку за формулою (24):

$$f_{\beta_{\text{пр.}}} = \Sigma\beta_{\text{пр.}} - \Sigma\beta_{\text{теор.}} = 719^{\circ}58' - 720^{\circ}00' = -0^{\circ}02'. \quad (24)$$

Допустиму кутову нев'язку обчислюємо за формулою (25):

$$f_{\beta_{\text{доп.}}} = \pm 1' \sqrt{n} = \pm 1' \sqrt{6} = \pm 0^{\circ}02,45'. \quad (25)$$

Практична кутова нев'язка не перевищує допустиму  $f_{\beta_{\text{пр.}}} < f_{\beta_{\text{доп.}}}$ , отже можна приступати до ув'язки кутів.

Поправка у виміряні кути повинна дорівнювати нев'язці, взятій з протилежним знаком. Отже у значення виміряних кутів потрібно внести поправку  $+0^{\circ}02'$ . Для спрощення розрахунків вносимо поправки  $0^{\circ}01'$  в два виміряні кути, що утворені найкоротшими сторонами теодолітного ходу, оскільки похибки взяття відліку при вимірюванні таких кутів більша. В нашому випадку кутову нев'язку порівну розділимо між кутами при вершинах теодолітного ходу 2 та В, про що зробимо відповідні записи на рис. 44, стовпчик 3. Після внесення поправок обчислюємо значення виправлених кутів і записуємо отримані результати в «Журнал обчислення координат точок замкнутого теодолітного ходу» (рис. 44, стовпчик 4).

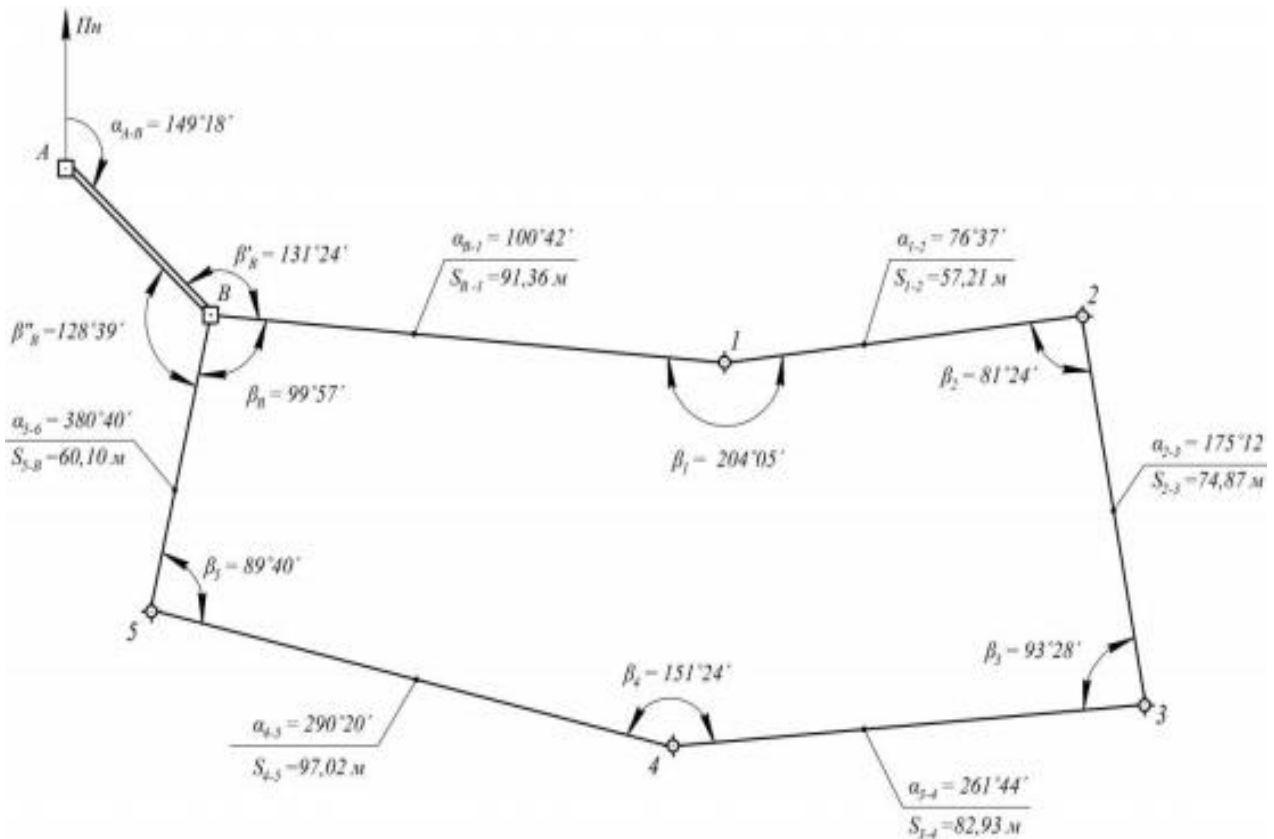


Рис. 42. Схема замкнутого теодолітного ходу із числовими значеннями вимірних та обчислених параметрів

4. Обчислюємо значення дирекційних кутів сторін теодолітного ходу:

– для вимірних лівих кутів обчислення виконуються за формулою:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \beta_{\text{л}} - 180^\circ; \quad (26)$$

– для вимірних правих кутів обчислення виконуються за формулою:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} - \beta_{\text{п}} + 180^\circ. \quad (27)$$

Дирекційні кути сторін теодолітного ходу обчислюємо в такій послідовності: спочатку за дирекційним кутом вихідної сторони  $\alpha_{A-B}$  та примикаючим кутом  $\beta'_B$  необхідно обчислити дирекційний кут першої сторони теодолітного ходу. Згідно рис. 42 маємо:

$$\alpha_{B-1} = 149^\circ 18' + 131^\circ 24' - 180^\circ = 100^\circ 42'.$$

Дирекційні кути всіх наступних сторін теодолітного ходу обчислюємо за отриманим значенням дирекційного кута першої сторони теодолітного ходу  $\alpha_{B-1}$  та по виправленим значенням горизонтальних кутів за формулою (27). Обчислення виконуємо послідовно наступним чином:

$$\begin{aligned}\alpha_{1-2} &= 100^{\circ}42' - 204^{\circ}05' + 180^{\circ} = 76^{\circ}37'; \\ \alpha_{2-3} &= 76^{\circ}37' - 81^{\circ}25' + 180^{\circ} = 175^{\circ}12'; \\ \alpha_{3-4} &= 175^{\circ}12' - 93^{\circ}28' + 180^{\circ} = 261^{\circ}44'; \\ \alpha_{4-5} &= 261^{\circ}44' - 151^{\circ}24' + 180^{\circ} = 290^{\circ}20'; \\ \alpha_{5-B} &= 290^{\circ}20' - 89^{\circ}40' + 180^{\circ} = 380^{\circ}40'.\end{aligned}$$

Останній кут більший ніж  $360^{\circ}$ , тому від отриманого значення кута слід відняти  $360^{\circ}$ :

$$\alpha_{5-B} = 380^{\circ}40' - 360^{\circ}00' = 20^{\circ}40'.$$

Для контролю правильності обчислення дирекційних кутів обчислюємо значення вихідного дирекційного кута, яке повинно дорівнювати заданому:

$$\alpha_{B-1} = \alpha_{5-B} - \beta_B + 180^{\circ} = 20^{\circ}40' - 99^{\circ}58' + 180^{\circ} = 100^{\circ}42'.$$

Умова виконується, отже значення дирекційних кутів обчислені вірно. Отримані значення дирекційних кутів заносимо до Журналу (стовпчик 5 рис. 44).

5. Дирекційні кути сторін переводимо в румби за формулами (28):

$$\begin{aligned}r_{ПнСх} &= \alpha; \\ r_{ПдСх} &= 180^{\circ} - \alpha; \\ r_{ПдЗх} &= \alpha - 180^{\circ}; \\ r_{ПнЗх} &= 360^{\circ} - \alpha.\end{aligned}\tag{28}$$

Запис значень румбів виконуємо в стовпчик 6 (таблиця 5).

6. Прирости координат  $\Delta x$  та  $\Delta y$  обчислюють згідно прямої геодезичної задачі (рис. 43) за формулами:

$$\begin{aligned}\Delta x &= d_i \cdot \cos \alpha; \\ \Delta y &= d_i \cdot \sin \alpha,\end{aligned}\tag{29}$$

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

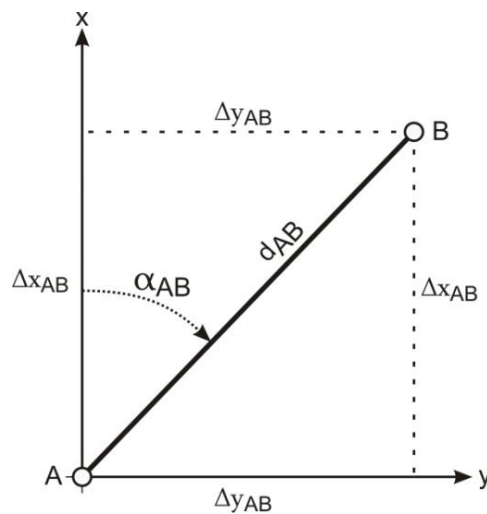


Рис. 43. Пряма геодезична задача

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

Прирости координат визначають з точністю до  $0,01$  м. Вони можуть набувати як додатних так і від’ємних значень, тому біля приросту обов’язково записується його знак. Урівнювання обчислених приростів координат і вираховування координат точок виконується в наступній послідовності:

1. підраховують суму обчислених приростів координат;
2. обчислюють теоретичну суму приростів координат за формулами (30):

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta x_{теор} &= x_k - x_n; \\ \Sigma \Delta y_{теор} &= y_k - y_n, \end{aligned} \tag{30}$$

де  $x_n, y_n$  – координати початкової точки ходу;  
 $x_k, y_k$  – координати кінцевої точки ходу.

Очевидно, що у випадку замкненого ходу початкова і кінцева точки співпадають, тому *дорівнюють нулю*.

3) обчислюють *лінійну нев'язку* за формулами (31):

$$\begin{aligned} f_x &= \Sigma \Delta x_{np.} - \Sigma \Delta x_{теор.}; \\ f_y &= \Sigma \Delta y_{np.} - \Sigma \Delta y_{теор.} \end{aligned} \quad (31)$$

4) на основі  $f_x$  та  $f_y$  обчислюють *абсолютну лінійну нев'язку* за формулою (32):

$$f_{абс.} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad (32)$$

5) *відносну нев'язку* вираховують за формулою (33):

$$f_{відн.} = \frac{f_{абс.}}{P} = \frac{1}{P/f_{абс.}}, \quad (33)$$

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

Відносна нев'язка записується у вигляді натурального дробу, з чисельником рівним одиниці. Критерієм точності прокладеного теодолітного ходу є відносна лінійна нев'язка, значення якої для теодолітного ходу не повинно перевищувати  $1:2000$ ;

б) якщо відносна нев'язка не перевищує встановленої допустимої величини, то нев'язки  $f_x$  та  $f_y$  розподіляються з протилежними знаками між обчисленими приростами координат пропорційно до довжин відповідних їм сторін шляхом введення *поправок*. Поправки в обчислені прирости координат вираховують з точністю до  $0,01$  м та записують червоним кольором над відповідними їм приростами.

Контролюється цей етап умовою: сума поправок повинна дорівнювати лінійній нев'язці з оберненим знаком.

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

7) *виправлені прирости координат*  $\Delta x_{випр.}$ ,  $\Delta y_{випр.}$  знаходять за формулами (34):

$$\begin{aligned}\Delta x_{випр} &= \Delta x_i + v_{\Delta x_i}; \\ \Delta y_{випр} &= \Delta y_i + v_{\Delta y_i},\end{aligned}\tag{34}$$

де  $v_{\Delta x_i}, v_{\Delta y_i}$  - поправки в прирости абсцис та ординат.

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

8) за урівняними приростами координат визначають *координати точок* теодолітного ходу за правилом: *координата наступної точки дорівнює координаті попередньої точки плюс виправлений приріст між ними*, тобто (35):

$$\begin{aligned}x_{i+1} &= x_i + \Delta x_{i_{випр}} \\ y_{i+1} &= y_i + \Delta y_{i_{випр}}.\end{aligned}\tag{35}$$

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

**Завдання 1.** Виконати урівнювання теодолітного ходу та обчислити координати його вершин за завданням наведеним в табл. 5.

Таблиця 5

№ Точки	Кути виміряні, $\beta_{пр.}$	Дирекційний кут, $\alpha_{1-2}$	Довжини сторін (горизонтальні прокладення), $d_i$ (м)	Координати, (м)
1	66°28'	$\alpha_{1-2} = 80^\circ + N^\circ + 20' + n'$ , N – номер групи, n – номер варіанта	58,43	X = +100,00 + n; Y = + 100,00 + n.
2	95°24'		70,25	
3	144°31'		61,17	
4	41°29'		83,41	
5	192°10'		44,82	

**Розв'язок:** Завдання виконується у відомості обчислення координат (координатна відомість) теодолітного ходу, з результатами вимірювань горизонтальних кутів та горизонтальних прокладань, в послідовності описаній в питаннях 1-8.

**Журнал обчислення координат замкнутого теодолітного ходу**

Точка	Вимірний кут	Поправка	Виправлений кут	Дирекційний кут	Румб	Довжина сторони, м	Прирости обчислені, м			Прирости виправлені, м			Координати, м	
							Δx	поп-равка	Δy	Δx	поп-равка	Δy	X	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
B														
1	204°05'	0	204°05'	100°42'	ЛітСх: 79°18'	91,36	-16,96	+0,06	+89,77	+0,03	-16,90	+89,80	+500,00	+500,00
2	81°24'	+0°01'	81°25'	76°37'	ЛітСх: 76°37'	57,21	+13,24	+0,04	+55,66	+0,01	+13,28	+55,67	+483,10	+589,80
3	93°28'	0	93°28'	175°12'	ЛітСх: 04°48'	74,87	-74,61	+0,05	+6,26	+0,02	-74,56	+6,28	+496,38	+645,47
4	151°24'	0	151°24'	261°44'	ЛітЗх: 81°44'	82,93	-11,92	+0,05	-82,07	+0,03	-11,87	-82,04	+421,82	+651,75
5	89°40'	0	89°40'	290°20'	ЛітЗх: 69°4'	97,02	+33,71	+0,07	-90,97	+0,03	+33,78	-90,94	+409,95	+569,71
B	99°57'	+0°01'	99°58'	20°40'	ЛітЗх: 20°40'	60,10	+56,23	+0,04	+21,21	+0,02	+56,27	+21,23	+443,73	+478,77
				100°42'									+500,00	+500,00

$$\sum S = 463,49 \text{ м}$$

$$\sum \Delta x_{np} = -0,31 \text{ м} \quad \sum \Delta y_{np} = -0,14 \text{ м}$$

$$\sum \Delta x_{теор} = 0 \quad \sum \Delta y_{теор} = 0$$

$$f_x = -0,31 \text{ м} \quad f_y = -0,14 \text{ м}$$

$$f_{абс} = \sqrt{(-0,31)^2 + (-0,14)^2} = 0,34 \text{ м}$$

$$f_{відн} = \frac{1}{1363} < f_{доп} = \frac{1}{1000}$$

$$\sum \beta_{np} = 719°58'$$

$$\sum \beta_{теор} = 720°00'$$

$$f_{\beta} = -0°02'$$

$$f_{\beta доп} = \pm 0°02,45'$$

Рис. 44. Координатна відомість замкнутого теодолітного ходу



### Контрольні питання:

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

### Завдання №6

## НІВЕЛІР ЙОГО БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ НІВЕЛІРІВ. ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕВИЩЕНЬ

**Мета:** вивчити будову нівелірів Н-3, Н-3К і нівелірних рейок; навчитися знімати відліки з рейок.

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

Теоретичні відомості

**Нівелір** (від фр. *niveau* — рівень, нівелір) — це оптико-механічний прилад, призначений для побудови в просторі горизонтального променя. За допомогою нівелірів виконують геометричне нівелювання для визначення перевищення між двома точками.

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

У назві нівеліра літера „Н” означає нівелір, „К” — наявність компенсатора кутів нахилу, „Л” — наявність лімба горизонтального

круга. *Цифра* в шифрі нівеліра означає середню квадратичну похибку (в міліметрах) на 1 кілометр подвійного нівелірного ходу.

Нівелір Н-3 (Н-3К) призначений для нівелювання III і IV класів, але його застосовують і при технічному нівелюванні. Загальний вигляд нівелірів Н-3 та Н-3К показаний на рис. 45 та 46.

**Будова нівеліра Н-3.** Основними частинами нівеліра Н-3 (рис. 45) є наступні:

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

2 - *круглий рівень* – призначений для встановлення осі обертання нівеліра в прямовисне положення;

3 - *підставка нівеліра*;

4 - *зорова труба*;

5 - *візир* – призначений для швидкого, приблизного наведення на рейку;

6 - *окуляр*;

7 - *об'єктив*;

8 - *фокусуєчий гвинт (кремальєра)* – призначений для отримання чіткого зображення рейки в полі зору зорової труби;

9 - *затискний (закріпний) гвинт* – призначений для закріплення зорової труби в нерухомому положенні;

10 - *навідний (мікрометричний) гвинт* – призначений для точного наведення зорової труби на рейку в горизонтальній площині (працює при загвинченому затискному гвинті);

11 - *циліндричний рівень* – призначений для встановлення лінії візування в горизонтальне положення;

12 - *елеваційний гвинт* – призначений для приведення кінців бульбашки циліндричного рівня в контакт (нуль-пункт).

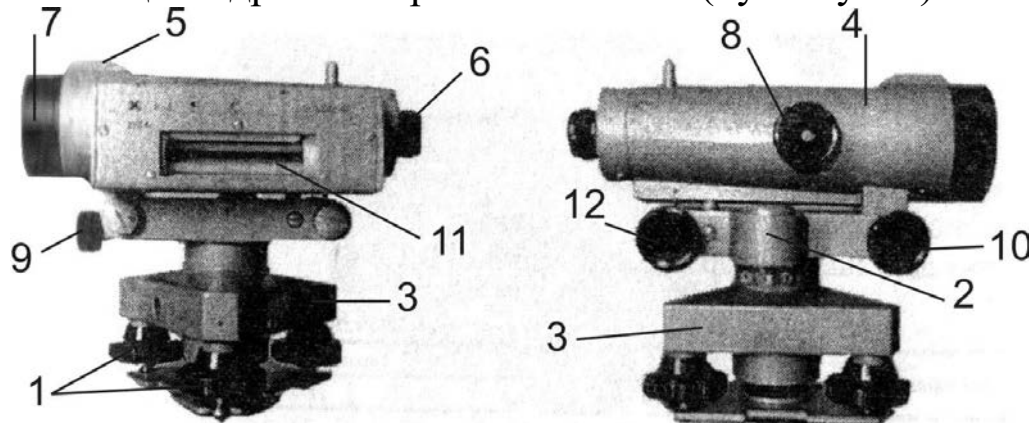


Рис. 45. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3

Над циліндричним рівнем розташований призмий пристрій, який передає зображення положення бульбашки в поле зору труби. Таким чином, спостерігачу, в полі зору труби, видно кінці бульбашки рівня і рейку, з якої знімають відлік (рис. 48). Якщо бульбашка рівня знаходиться в нуль-пункті, то зображення її в полі зору труби утворює в верхній частині один загальний овал.

**Будова нівеліра Н-ЗК.** Основними частинами нівеліра Н-ЗК (рис. 46) є наступні:

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

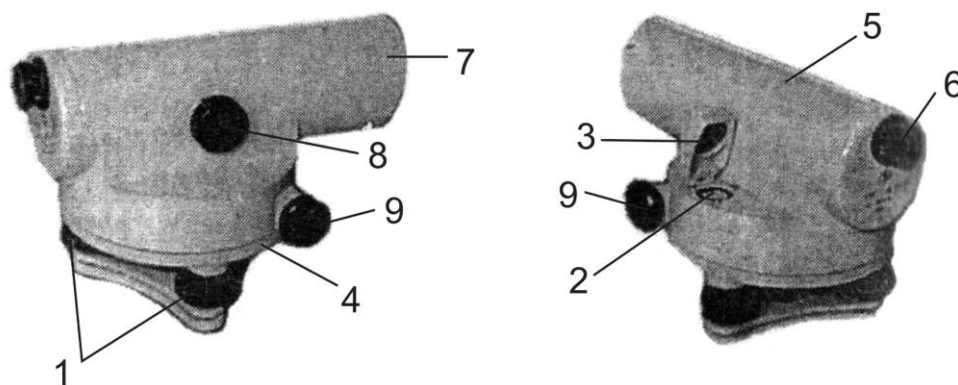


Рис. 46. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-ЗК

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

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

	<p>Рейка РН-10 (рис. 47) – двостороння, шашкова, ціна поділки 10 мм. Являє собою дерев'яний брусок шириною 8-10 см, товщиною 2-3 см, виготовлений з сухої деревини. З боків рейки закріплені дві ручки (2). Кінці рейки для міцності оковують металевими пластинами (1). На одному боці нанесені чорні і білі поділки (чорний бік), на іншому – червоні і білі (червоний бік). Поділ виконаний у вигляді дециметрів, розділених на 10 частин. Кожний дециметр підписаний двозначним числом (3). Початок кожного дециметра фіксується тонким горизонтальним штрихом (4), від якого будується п'ятисантиметрова фігура у вигляді літери „E” (5).</p>
<p>Рис. 47. Рейка РН-10 для нівеліра з оберненим зображенням: а) чорний бік; б) червоний бік</p>	<p>На чорному боці поділки починаються від нуля, який суміщений з нижнім кінцем рейки. На червоному боці поділки зміщені і починаються наприклад з 4683, 4783, 4883.</p>

Число з якого починаються відліки на червоному боці рейки називається **п'яткою рейки**. П'ятка рейки обчислюється як різниця відліків знятих з червоного і чорного боків рейки. В залежності від того, яке зображення буде зорова труба нівеліра дециметрові підписи можуть бути *прямими* або *оберненими* (перевернутими). Як правило виготовляють рейки три- і чотирьохметрові. Рейка РН-3 має аналогічну конструкцію і додатково обладнана круглим рівнем.

В полі зору труби (рис. 48) видно: вертикальний штрих (1) сітки ниток; середній (2), верхній (3) і нижній (4) – горизонтальні штрихи сітки ниток; а також кінці бульбашки циліндричного рівня (5) і рейку з поділками (6).

*Перед зніманням відліку з рейки необхідно:*

1. встановити нівелір на штатив і за допомогою піднімальних гвинтів вивести бульбашку круглого рівня на середину (в нуль-пункт);
2. приблизно навести зорову трубу на рейку за допомогою візиру та зафіксувати напрям наведення закріпним гвинтом;

3. досягнути чіткого зображення рейки в полі зору труби за допомогою фокусуючого гвинта;
4. досягнути чіткого зображення сітки ниток в полі зору труби за допомогою діоптрійного кільця окуляра;
5. точно навести зорову трубу на рейку (сумістити вертикальний штрих сітки ниток з центром рейки) за допомогою навідного гвинта;
6. привести бульбашку циліндричного рівня на середину за допомогою елеваційного гвинта. При цьому зображення кінців бульбашки циліндричного рівня в полі зору труби повинні утворити параболу – (5) (рис. 48).

Відлік з рейки знімається в міліметрах і складається з чотирьох значущих цифр. Відлік являє собою відстань від нуля шкали рейки до променя даного штриха сітки. *Перші дві цифри* – номер дециметра, *третья* – число повних сантиметрових поділок від початку дециметра до даного штриха, *четверта* – десяті долі наступної сантиметрової поділки (знімаються на око). В нашому випадку маємо на рис. 48 – за верхнім штрихом – 0472, за середнім – 0559, за нижнім – 0646 мм.

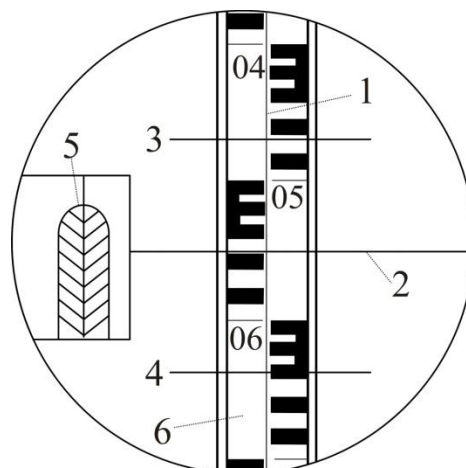


Рис. 48. Поле зору труби нівеліра Н-3

За допомогою віддалемірних штрихів сітки ниток можна визначати віддалі від нівеліра до рейки. Віддалемірні відстані вираховують як *різниці між відліками за нижнім та верхнім штрихами* (в нівелірів з прямим зображенням навпаки – верхній мінус нижній), помножених на коефіцієнт віддалеміра ( $K=100$ ). В нашому випадку на рис. 48:

$$D = (646 - 472) \times 100 = 17400 \text{ мм} = 17,4 \text{ м.}$$

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

Під **перевірками** розуміють контроль правильності взаємного положення осей і частин приладу. У випадку виявлення

невідповідності її усувають шляхом юстирування (виправлення).  
Схема основних осей нівеліра показана на рис. 49.

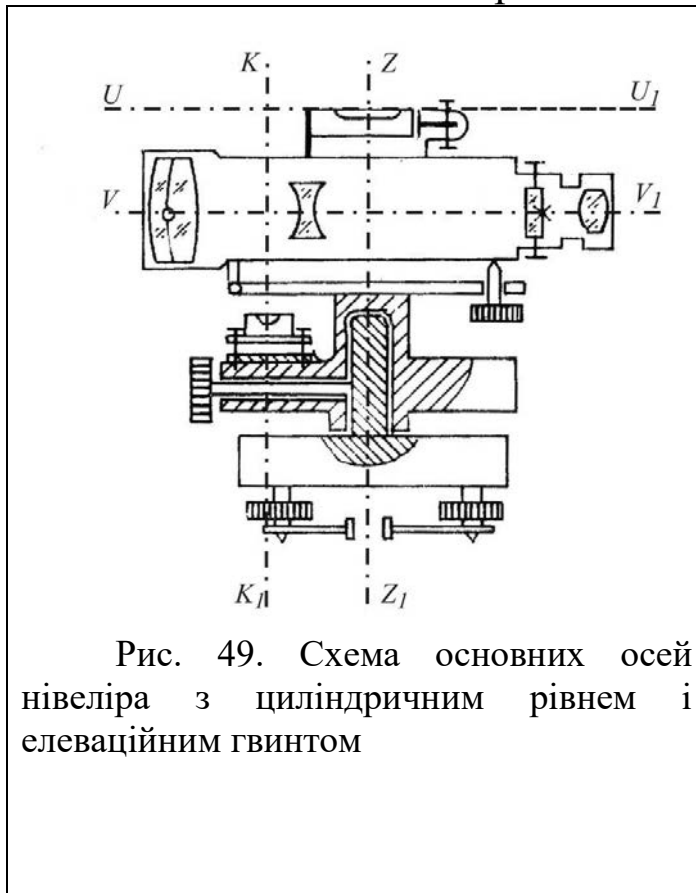


Рис. 49. Схема основних осей нівеліра з циліндричним рівнем і елеваційним гвинтом

**Основні геометричні осі нівеліра наступні:**

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

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

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

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

### Перевірки нівеліра Н-3

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

**Виконання перевірки.** За допомогою трьох піднімальних гвинтів бульбашку круглого рівня приводять в нуль-пункт і повертають нівелір на  $180^\circ$ . Якщо бульбашка залишилась на середині, то умова виконана, а якщо бульбашка виходить за межу круга рівня, то виконують виправлення.

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

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

**Виконання.** Приводять нівелір в робоче положення і на відстані 20-30 м підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска. Якщо вертикальна нитка сітки співпадає з ниткою

виска, то умова виконана. Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска, то виконують виправлення.

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

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

**Виконання перевірки.** Перевірка виконується подвійним нівелюванням: з середини та вперед. На місцевості закріплюють дві точки  $A$  та  $B$  на відстані одна від одної приблизно  $70-80$  м (рис. 50, а). Нівелір встановлюють строго посередині між точкам  $A$  і  $B$  та знімають відліки з чорних боків рейок встановлених на цих точках –  $a_1^{чор}$  і  $b_1^{чор}$  за середнім штрихом сітки ниток. Після цього рейки на точках повертають навколо своєї осі та знімають відліки за червоними боками рейок –  $a_1^{чер}$  і  $b_1^{чер}$ . За знятими відліками обчислюють перевищення за чорним та червоним боками: від відліку за задньою рейкою віднімають відлік за передньою рейкою, тобто:

$$\begin{aligned} h_1^{чор} &= a_1^{чор} - b_1^{чор}; \\ h_1^{чер} &= a_1^{чер} - b_1^{чер}. \end{aligned} \quad (35)$$

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

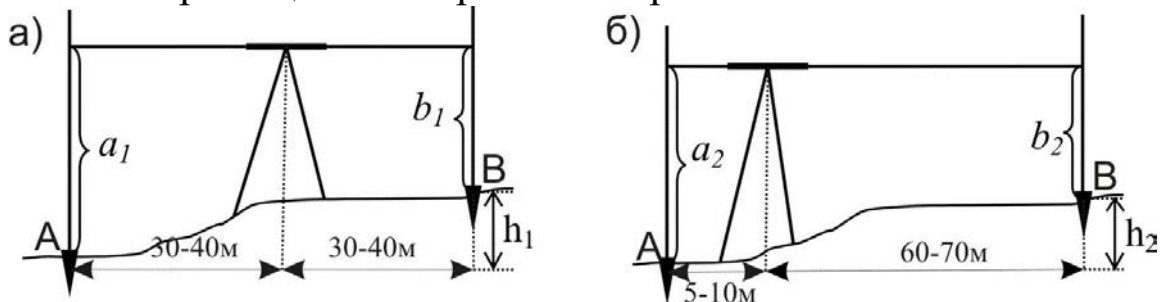


Рис. 50. Перевірка головної умови нівеліра:

а) нівелювання при рівності плеч; б) нівелювання при нерівності плеч

Після цього нівелір переносять та встановлюють ближче до задньої рейки так, щоб відстань до неї була приблизно  $5...10$  м (рис. 50, б). Знімають відліки на задній і передній рейках за чорним –

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

$$\begin{aligned}h_1^{чор} &= a_1^{чор} - b_1^{чор}; \\h_1^{чер} &= a_1^{чер} - b_1^{чер}.\end{aligned}\tag{36}$$

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

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

$$x = h_2 - h_1.\tag{37}$$

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

**Виправлення.** Безпомилковий відлік  $b_0^{чор}$  обчислюють за ф. 38:

$$b_0^{чор} = a_2^{чор} - h_1.\tag{38}$$

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

### Перевірки нівеліра Н-3К

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

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

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

**Виконання перевірки.** Встановлюють нівелір посередині створу між рейками, що розміщені на відстані 80-100 м. Визначають перевищення між ними п'ятьма прийомами, при положеннях бульбашки круглого рівня, як показано на рис. 51.

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

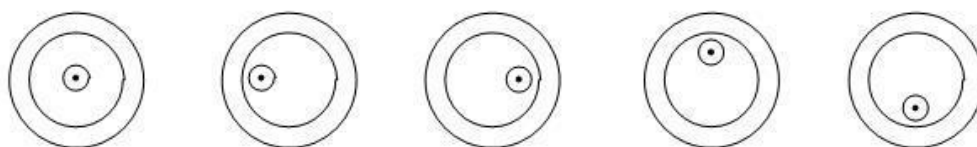


Рис. 51. Положення бульбашки круглого рівня при визначенні похибки компенсації

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

$$h_{\text{сер.}} = (h_2 + h_3 + h_4 + h_5) / 4. \quad (39)$$

Після чого знаходять різницю:

$$\Delta h = h_{\text{сер.}} - h_1. \quad (40)$$

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

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

**Завдання 1.** Вивчити будову нівеліра. Привести його в робоче положення. Взяти відліки з рейок, визначити перевищення між ними.

**Розв'язок:** Вивчити розміщення і призначення основних частин нівеліра. Привести нівелір в робоче положення та зняти відліки з рейок. Замалювати в журналі технічного нівелювання поле зору зорової труби та зняті відліки занести до журналу, обчислити перевищення між рейками (дод. В).

**Завдання 2.** Виконати перевірки нівеліра.

**Розв'язок:** Виконати перевірки приладу. Виконання перевірки головної умови нівеліра оформити як показано в табл. 6 та 7.

Перевірка головної умови нівеліра Н-3

Таблиця 6

## Визначення перевищення нівелюванням з середини

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

Таблиця 7

## Визначення перевищення нівелюванням вперед

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

Позначеннями (1)-(14) показана послідовність запису відліків та обчислень. Похибка за непаралельність осі циліндричного рівня до візирної осі становить:  $x = h_2^{сер} - h_1^{сер} = 526 - 254 = 2 \text{ мм} < 4 \text{ мм}$ . Отже перевірка головної умови нівеліра виконується.

**Контрольні питання**

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

## Список рекомендованої літератури

1. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). Затверджена Наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України №56 від 9 квітня 1998 р.
2. Голубева З.С., Калошина О.В., Соколова Н.И.. Практикум по геодезии. Изд. 3-е, перераб. М., Колос, 1969. – 240 с.
3. Кравченко В.П., Герасименко П.І., Порицький Г.О. Меліорація з основами геодезії. - Київ: Вища школа, 1983 - 264 с.
4. Левицкий И. Ю., Крохмаль Е. М., Реминский А. А. Геодезия с основами землеустройства. М., «Недра», 1977. 256 с.
5. Маслов А.Г. Геодезические работы при землеустройстве. М., 1976.
6. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Инженерная геодезия". Днепропетровск. Гос. агр. Ун-т. Днепропетровск, 1995. - 40 с.
7. Неумывакин, Ю.К., Практикум по геодезии: Учебное пособие /Ю.К. Неумывакин, А.С. Смирнов. - М.; Картгеоцентр - Геодезиздат. 2005. - 315 с.
8. Остапчук С.М., Романчук С.В. Камеральні геодезичні роботи. – Рівне, 194. – 126 с.
9. Польшина С.М. Польові дослідження та картування ґрунтів. Навчальний посібник – Чернівці: Рута, 2004. – 88 с.
10. Практичний посібник з питань земельної реформи (збірник документів). Держкомзем України. Українська академія аграрних наук. Міжнародний фонд. Підприємства України, Центр "Реформи і право", 1996.
11. Романчук С.В., Кирилюк В.П., Шемякін М.В. Геодезія. навчальний посібник. К.: Центр учбової літератури., 2008. – 296 с.
12. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов.-М.: Недра, 1988. – 77 с.
13. Топографія. Геодезія. Аерокосмічні методи дослідження Землі. Картографія: Словник-довідник. Видання друге, доповнене / Укладач М.В. Потокій. – Тернопіль, 2002. – 122 с.
14. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001.

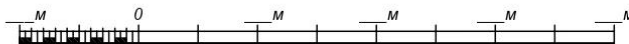






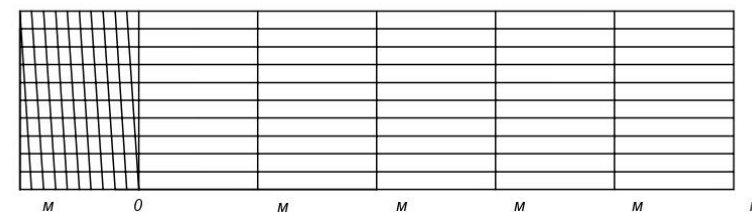
### ЛІНІЙНИЙ МАСШТАБ

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



### ПОПЕРЕЧНИЙ МАСШТАБ

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

#### Індивідуальне завдання

№ номер варіанта	1:1 000	1:2 000	1:5 000	1:10 000	
1 група	ЛМ 12.34	ЛМ 56.78	ЛМ 71.60 45.05	339.50 117.25	
Додатки	1.11 x N		5.55 x N		
Приклад для варіанту 35 зупинка 1	1.11 x 35 = 38.85 ЛМ 51.19	ЛМ 95.63	5.55 x 35 = 194.25 ЛМ 239.30	533.75 311.50	

## МАСШТАБИ

ВАРІАНТ \_\_\_\_\_

ВИКОНАВ \_\_\_\_\_

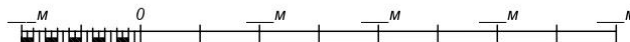
ПЕРЕВІРИВ \_\_\_\_\_

КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ,  
КАРТОГРАФІЇ та ГЕОІНФОРМАТИКИ

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ К. \_\_\_\_ ГР.

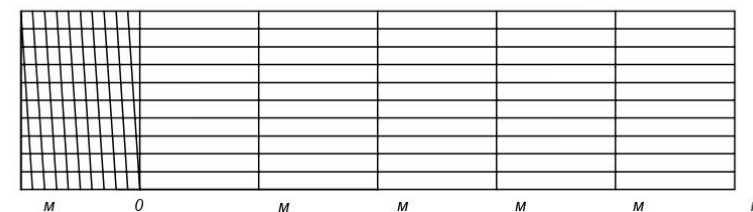
### ЛІНІЙНИЙ МАСШТАБ

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



### ПОПЕРЕЧНИЙ МАСШТАБ

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

Індивідуальне завдання

1:50 000	1797.0 686.0	27.8 x N	2770.0 1659.0
1:25 000	408.0 275.0	27.8 x 35 = 973.0	1381.0 1248.0
1:10 000	ЛМ 263.90	5.55 x N	ЛМ 458.15
1:5000	ЛМ 51.70	5.55 x 35 = 194.25	ЛМ 245.95
№ номер варіанта	2 група	Додатки	Приклад для варіанту 35 зв'язка 2

## МАСШТАБИ

ВАРІАНТ \_\_\_\_\_

ВИКОНАВ

ПЕРЕВІРИВ

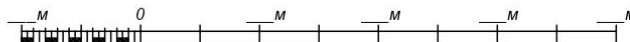
КАФЕДРА

ГЕОЛЕЗІЇ та КАРТОГРАФІЇ

\_\_\_\_\_, \_\_К. \_\_ГР.

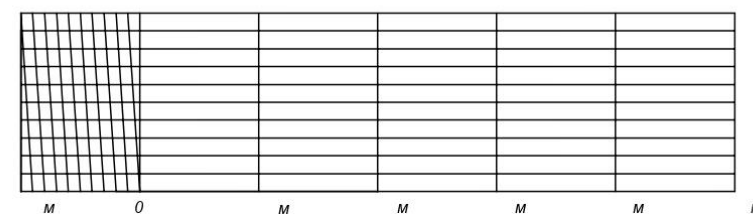
### ЛІНІЙНИЙ МАСШТАБ

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



### ПОПЕРЕЧНИЙ МАСШТАБ

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

Індивідуальне завдання

№ номер варіанта	1:50 000	ЛМ 1220.0	27.8xN	ЛМ 2193.0
3 група	1:25 000	ЛМ 208.5	27.8x 35 = 973.0	ЛМ 1181.5
Додатки	1:2 000	75.89 31.45	1.11 x N	114.74 70.30
Приклад для варіанту 35 зривта.3	1:1 000	18.32 13.01	1.11 x 35 = 38.85	57.17 51.86

## МАСШТАБИ

ВАРІАНТ \_\_\_\_\_

ВИКОНАВ \_\_\_\_\_

ПЕРЕВІРИВ \_\_\_\_\_

КАФЕДРА \_\_\_\_\_

ГЕОЛЕЗІЇ та КАРТОГРАФІЇ

\_\_\_\_\_, \_\_К. \_\_ГР.

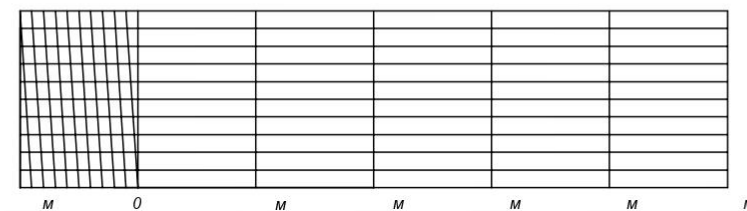
**ЛІНІЙНИЙ МАСШТАБ**

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



**ПОПЕРЕЧНИЙ МАСШТАБ**

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

**Індивідуальне завдання**

№ номер варіанта	1:10 000	319.60	5.55 x N	513.85
4 група	1:5 000	61.60 35.05	5.55 x 35 = 194.25	291.60
Додати	1:2 000	ГМ 62.78	ГМ	101.63
Приклад	1:1 000	ЛМ 14.34	1.11 x N 1.11 x 35 = 38.85	53.19
врізати 35 зліва 4				

**МАСШТАБИ**

ВАРІАНТ \_\_\_\_\_

ВИКОНАВ \_\_\_\_\_  
ПЕРЕВІРИВ \_\_\_\_\_

КАФЕДРА  
ГЕОЛЕЗІЇ та КАРТОГРАФІЇ

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_к. \_\_\_\_гр.

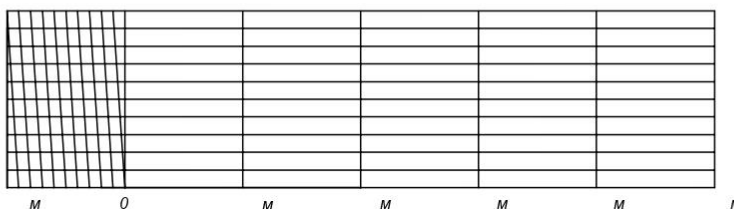
**ЛІНІЙНИЙ МАСШТАБ**

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



**ПОПЕРЕЧНИЙ МАСШТАБ**

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м



1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

1: \_\_\_\_\_, в 1 см \_\_\_\_\_ м

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ● \_\_\_\_\_

**Індивідуальне завдання**

1:50 000	1797.0 686.0	27.8 x N	2770.0 1639.0
1:25 000	408.0 275.0	27.8 x 35 = 973.0	1381.0 1248.0
1:10 000	ЛМ 263.90	5.55 x N	ЛМ 458.15
1:5000	ЛМ 51.70	5.55 x 35 = 194.25	ЛМ 245.95
№ номер варіанта	5 група	Додати	Приклад ввірніту 35 злугла 5

**МАСШТАБИ**

ВАРІАНТ \_\_\_\_\_

ВИКОНАВ		КАФЕДРА	_____ К. _____ ГР.
ПЕРЕВІРИВ		ГЕОЛЕЗІЇ та КАРТОГРАФІЇ	



Навчальне видання

**Винограденко Сергій Олександрович**  
*доцент кафедри геодезії, картографії та геоінформатики,*  
*к.е.н., доцент*

## **ПРАКТИКУМ З**

# **ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСРОЮ**

Редактор і коректор  
Комп'ютерний набір і верстка – С.О. Винограденко

---

Підпис. до друку . . . 2020 Формат 60×84/16. Гарнітура Таймс.  
Друк офсетний. Обсяг: 4,6 ум.друк. арк.; 4,7 обл.-вид. арк.  
Тираж 100 п. Замовлення №

---

Виробник – редакційно-видавничий відділ Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва. 62483, Харківська обл., Харківський р-н, п/в «Докучаєвське-2», навч. містечко ХНАУ, тел. 99-72-70

---

Виготовлювач – дільниця оперативного друку ХНАУ