

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО АГРОПРОМИСЛОВОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ  
УМАНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**С. В. Романчук, В. П. Кирилюк, М. В. Шемякін**

# ГЕОДЕЗІЯ

*Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів  
вищих навчальних закладів*

Київ  
«Центр учбової літератури»  
2008

ББК 26.1я73  
Р 69  
УДК 528 (075.8)

*Гриф надано  
Міністерством освіти і науки України  
(Лист № 14/18-Г-2021 від 19.11.2007)*

**Рецензенти:**

**Кожушко Л. Ф.** — доктор технічних наук, професор;

**Будз М. Д.** — доктор географічних наук, професор;

**Шлапак В. П.** — доктор сільськогосподарських наук, професор;

**Балабак А. Ф.** — доктор сільськогосподарських наук, професор

**Романчук С. В., Кирилюк В. П., Шемякін М. В.**

Р 69 Геодезія. Навчальний посібник. — К.: Центр учбової літератури, 2008. — 296 с.

ISBN 978-966-364-758-6

В книзі наведені загальні відомості з геодезії, будова геодезичних приладів їх перевірки та технологія вимірювання ними відповідних елементів на місцевості. Розглядаються питання побудови планових знімальних геодезичних мереж методами теодолітних ходів і полюсним. Наведена методика побудови висотного обґрунтування технічним і тригонометричним нівелюванням.

Висвітлені всі методи топографічного знімання місцевості, винос у натуру проектних точок, рішення інженерних задач на місцевості та загальні відомості садово-паркового господарства.

Книга розрахована служити посібником для студентів за напрямом «Лісове і садово-паркове господарство».

УДК 528 (075.8)  
ББК 26.1я73

ISBN 978-966-364-758-6

© Романчук С. В., Кирилюк В. П., Шемякін М. В., 2008  
© Центр учбової літератури, 2008

# З М І С Т

<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>10</b>
-----------------------	-----------

## **Р О З Д І Л 1**

<b>ВИВЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ .....</b>	<b>12</b>
--------------------------------------	-----------

1.1. Форма і розміри Землі .....	12
1.2. Застосування проєкцій в геодезії.....	13
1.3. План, карта і профіль місцевості за заданим напрямком ...	15
1.4. Визначення планового і висотного положення точки на земній поверхні .....	17
1.5. Встановлення величини поправки за кривизну Землі .....	19

## **Р О З Д І Л 2**

<b>ВИВЧЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ .....</b>	<b>24</b>
--	-----------

2.1. Числовий масштаб .....	24
2.2. Лінійний масштаб .....	25
2.3. Поперечний масштаб .....	26
2.4. Точність масштабу .....	28
2.5. Розграфка і номенклатура топографічних карт .....	28
2.6. Прямокутна система координат Гаусса-Крюгера .....	34

## **Р О З Д І Л 3**

<b>ОРІЄНТУВАННЯ.....</b>	<b>40</b>
--------------------------	-----------

3.1. Вимірювання дирекційних кутів за топографічною картою	40
3.2. Приклад вимірювання дирекційних кутів за топографічною картою .....	42

## **Р О З Д І Л 4**

<b>ЗОБРАЖЕННЯ МІСЦЕВОСТІ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ.....</b>	<b>46</b>
---	-----------

4.1. Основні форми рельєфу місцевості .....	46
4.2. Зображення рельєфу місцевості горизонталями .....	48
4.3. Проведення горизонталей за висотами точок .....	50
4.4. Крутизна схилу і масштаб закладень .....	52

4.5.	Обґрунтування висоти перерізу рельєфу .....	54
4.6.	Розв'язання задач за топографічною картою .....	56
4.7.	Умовні знаки на топографічних картах .....	60

## **Р О З Д І Л 5**

### **МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ**

<b>ВИМІРЮВАННЯ .....</b>	<b>64</b>	
5.1.	Введення в теорію похибок .....	64
5.2.	Види похибок вимірювання .....	65
5.3.	Принцип арифметичної середини .....	69
5.4.	Середня квадратична похибка одного виміру .....	70
5.5.	Визначення похибок функцій виміряних величин .....	72
5.6.	Нерівноточні виміри величин .....	74
5.7.	Оцінка точності за відхиленнями окремих вимірів .....	77

## **Р О З Д І Л 6**

### **ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИН ЛІНІЙ .....**

6.1.	Компарування сталеві стрічки .....	78
6.2.	Вимірювання довжин ліній .....	79
6.3.	Визначення відстаней нитковим віддалеміром .....	81
6.4.	Вимірювання віддалей світловіддалеміром .....	83

## **Р О З Д І Л 7**

### **БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ ТЕОДОЛІТІВ .....**

7.1.	Будова теодоліта Т30 .....	85
7.2.	Будова теодоліта 2Т30 .....	90
7.3.	Загальні відомості про теодоліти 2Т30 і 2Т30П .....	93
7.4.	Пристрої для центрування теодолітів .....	94
7.5.	Перевірка оптичного центра .....	95
7.6.	Перевірки теодоліта Т30 .....	97

## **Р О З Д І Л 8**

### **ВИМІРЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ І**

### **ГОРИЗОНТАЛЬНИХ КУТІВ .....**

8.1.	Визначення місця нуля (МО) вертикального круга теодоліта	101
------	--	-----

та вимірювання кутів нахилу .....	101
8.2. Вимірювання магнітного азимута .....	104
8.3. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів ...	105
8.4. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів .....	109

## **Р О З Д І Л 9**

<b>БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ НІВЕЛІРІВ.....</b>	<b>111</b>
9.1. Будова нівеліра Н-3 .....	111
9.2. Перевірки і юстування нівеліра Н-3 .....	114
9.3. Перевірки і юстування нівеліра Н-ЗК з компенсатором ...	118
9.4. Перевірки нівелірних рейок .....	120

## **Р О З Д І Л 10**

### **ПОБУДОВА ПЛАНОВИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ**

<b>МЕТОДОМ ПОЛІГОНОМЕТРІЇ.....</b>	<b>121</b>
10.1. Координатна площина .....	121
10.2. Рішення прямої геодезичної задачі .....	122
10.3. Рішення оберненої геодезичної задачі .....	123
10.4. Схеми побудови теодолітних мереж .....	125
10.6. Обчислення координат точок в замкнутому теодолітному ході .....	132

## **Р О З Д І Л 11**

### **ПОБУДОВА ПЛАНОВОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО**

<b>ОБГРУНТУВАННЯ ПОЛЮСНИМ МЕТОДОМ .....</b>	<b>136</b>
11.1. Польові роботи при побудові полюсної мережі .....	136
11.2. Прив'язка полюсних мереж до вихідних геодезичних пунктів .....	137
11.3. Економічна ефективність використання полюсних мереж .....	140
11.4. Камеральні роботи польових результатів полюсної мережі .....	140
11.5. Приклад камеральної обробки польових вимірювань полюсної мережі .....	142

## **РОЗДІЛ 12**

### **ПОБУДОВА ВИСОТНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО**

#### **ОБГРУНТУВАННЯ ..... 147**

- 12.1. Польові роботи при технічному нівелюванні ..... 147
- 12.2. Камеральна обробка результатів технічного нівелювання 149
- 12.3. Урівнювання розімкненого нівелірного ходу технічного нівелювання ..... 150
- 12.4. Урівнювання замкнутого полігону ..... 153

## **РОЗДІЛ 13**

### **ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ ..... 155**

- 13.1. Теодолітне знімання місцевості ..... 155
- 13.2. Полярний спосіб ..... 155
- 13.3. Спосіб перпендикулярів ..... 157
- 13.4. Спосіб кутової засічки ..... 158
- 13.5. Спосіб лінійної засічки ..... 159
- 13.6. Спосіб створної засічки ..... 160
- 13.7. Побудова горизонтального плану ..... 161

## **РОЗДІЛ 14**

### **ТОПОГРАФІЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ**

#### **МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ..... 166**

- 14.1. Нівелювання поверхні за квадратами ..... 166
- 14.2. Нівелювання поверхні за паралельними лініями ..... 168
- 14.3. Нівелювання поверхні за полігонами і створами ..... 169
- 14.4. Побудова топографічного плану за результатами нівелювання поверхні ..... 170

## **РОЗДІЛ 15**

### **ТАХЕОМЕТРИЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ..... 172**

- 15.1. Загальні відомості про тахеометричне знімання ..... 172
- 15.2. Основні формули тахеометрії ..... 173
- 15.3. Польові роботи при тахеометричному зніманні місцевості ..... 175
- 15.4. Побудова топографічного плану за матеріалами тахеометричного знімання ..... 176

## **РОЗДІЛ 16**

<b>МЕНЗУЛЬНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ .....</b>	<b>177</b>
16.1. Суть мензульного знімання .....	177
16.2. Основні перевірки кіпрегеля КА-2 .....	178
16.3. Перевірки кіпрегеля КН .....	181
16.4. Підготовка мензули до роботи .....	182
16.5. Знімання ситуації і рельєфу .....	184

## **РОЗДІЛ 17**

### **ПОНЯТТЯ ПРО ФОТОГРАМЕТРИЧНІ**

<b>ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ .....</b>	<b>189</b>
17.1. Основні відомості про аерофотознімання .....	189
17.2. Аерофотознімання місцевості .....	191
17.3. Визначення масштабу аерофотознімку .....	195
17.4. Поняття про дешифрування .....	197
17.5. Трансформування аерофотознімків .....	201
17.6. Складання фотопланів .....	201
17.7. Обладнання для цифрової фотограмметрії і картографії ..	202

## **РОЗДІЛ 18**

### **ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ПЕРЕНЕСЕНІ**

<b>ПРОЕКТІВ В НАТУРУ .....</b>	<b>205</b>
18.1. Побудова на місцевості проектного кута .....	205
18.2. Побудова на місцевості проектної лінії .....	207
18.3. Побудова на місцевості точки з заданою висотою .....	208
18.4. Побудова на місцевості лінії і площини заданих ухилів .....	210
18.5. Перенесення проектної точки в натуру полярним способом та оцінка його точності .....	212
18.6. Перенесення проектної точки в натуру способом перпендикулярів та його оцінка точності .....	213
18.7. Перенесення проектної точки в натуру способом кутової засічки та його оцінка точності .....	214
18.8. Перенесення проектної точки в натуру способом лінійної засічки та його оцінка точності .....	215

## **РОЗДІЛ 19**

### **КАМЕРАЛЬНІ І ПОЛЬОВІ РОБОТИ ПРИ**

<b>ТРАСУВАННІ ЛІНІЙНИХ СПОРУД .....</b>	<b>216</b>
19.1. Камеральне трасування осі лінійної споруди .....	216
19.2. Польове трасування об'єктів лінійних споруд .....	218
19.3. Закріплення основних точок кругової кривої за її віссю .....	222
19.4. Розмічування пікетажу по осі лінійної споруди .....	225
19.5. Розрахунок пікетажних значень точок кругових кривих .....	228
19.6. Детальне розмічування на місцевості кругової кривої .....	232
19.7. Спосіб прямокутних координат .....	232
19.8. Перенесення пікету на криву .....	234
19.9. Спосіб продовження хорд .....	235
19.10. Спосіб кутів .....	237
19.11. Розмічування поперечників на місцевості .....	238
19.12. Заповнення пікетажного журналу в польових умовах .....	239
19.13. Технічне нівелювання по осі лінійної споруди .....	240
19.14. Камеральна обробка журналу технічного нівелювання ...	243
19.15. Побудова поздовжнього і поперечного профілів лінійної споруди .....	243
19.16. Проектування за профілем .....	248
19.17. Безпікетний спосіб трасування по осі лінійних споруд .....	250

## **РОЗДІЛ 20**

### **ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З САДОВО-ПАРКОВОГО**

<b>ГОСПОДАРСТВА .....</b>	<b>253</b>
20.1. Основні задачі садово-паркового господарства .....	253
20.2. Розвиток садово-паркового господарства .....	254
<b>Література .....</b>	<b>267</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>270</b>

### Український алфавіт

Аа – а	Зз – зе	Нн – ен	Хх – ха
Бб – бе	Ии – и	Оо – о	Цц – це
Вв – ве	Іі – і	Пп – пе	Чч – ча
Гг – ге	Її – ї	Рр – ер	Шш – ша
Дд – де	Йй – й	Сс – ес	Щщ – ща
Ее – е	Кк – ка	Тт – те	Юю – ю
Єє – є	Лл – ел	Уу – у	Яя – я
Жж – же	Мм – ем	Фф – еф	Ьь – ь

### Російський алфавіт

Аа – а	Зз – зэ	Пп – пэ	Чч – че
Бб – бэ	Ии – и	Рр – эр	Шш – ша
Вв – вэ	Йй – и краткое	Сс – эс	Щщ – ща
Гг – гэ	Кк – ка	т – тэ	Ъь – твёрдый знак
Дд – дэ	Лл – эль	Уу – у	Ыы – ы
Ее – е	Мм – эм	Фф – эф	Ьь – мягкий знак
Ёё – ё	Нн – эн	Хх – ха	Ээ – э обратное
Жж – жэ	Оо – о	Цц – цэ	Юю – ю
			Яя – я

### Латинський алфавіт

Аа – а	Nn – ен
Bb – бе	Oo – о
Cc – це	Pp – пе
Dd – де	Qq – ку
Ee – е	Rr – ер
Ff – еф	Ss – ес
Gg – же	Tt – те
Hh – аш	Uu – у
Ii – і	Vv – ве
Jj – йот	Ww – дубль ве
Kk – ка	Xx – ікс
Ll – ель	Yy – ігрек
Mm – ем	Zz – зет

### Грецький алфавіт

Aα – альфа	Nn – ню
Bβ – бета	Ξξ – ксі
Γγ – гамма	Οο – омікрон
Δδ – дельта	Ππ – пі
Eε – епсілон	Ρρ – ро
Zζ – дзета	Σσ – сігма
Ηη – ета	Ττ – тау
Θθ – тета	Φφ – фі
Iι – йота	Χχ – хі
Κκ – каппа	Υυ – іпсілон
Λλ – лямбда	Ψψ – псі
Μμ – мю	Ωω – омега

## ПЕРЕДМОВА

Книга призначена в якості учбового посібника з геодезії для студентів першого курсу вищих навчальних закладів за напрямом «Лісове і садово-паркове господарство».

В книзі висвітленні відомості, вивчення яких дає змогу студенту самостійно виконувати наземні знімання всіх основних видів на невеликій території. Програма курсу «Геодезія» для підготовки студентів вищих навчальних закладів за напрямом «Лісове і садово-паркове господарство» побудована за принципом розглядання окремих видів геодезичних робіт, тобто після викладення попередніх і загальних відомостей, а також питань, пов'язаних із змістом топографічних карт приводяться розділи «Теодолітні роботи», «Нівелірні роботи», «Тахеометричні роботи», «Мензольне знімання місцевості» тощо.

Послідовне розкриття різних способів побудови геодезичного обґрунтування і виконання знімачів місцевості значно полегшить студентам засвоєння предмету.

На сучасному етапі розвитку суспільства геодезичні організації забезпечені новітніми приладами і устаткуванням, які вимагають від виконавця високої фахової підготовки. Методика роботи з новітніми приладами забезпечує високу точність і продуктивність праці. Інноваційні технології внесли значні зміни в технологічний процес інженерно-геодезичних вишукувань.

Фахівець садово-паркового господарства повинен володіти традиційними методами геодезичних вимірювань та систематично використовувати новітні геодезичні прилади і технології.

В посібнику вдало систематизовані і розглянуті питання загальних відомостей з геодезії, будова та перевірки

геодезичних приладів, робота з ними на станції. Широко викладена методика побудови планового і висотного геодезичного обґрунтування. Приведений полюсний метод побудови планового геодезичного обґрунтування, який забезпечує отримання віддалей між точками шляхом обчислення, що значно прискорює визначення прямокутних координат точок мережі. Розглянуто існуючі способи побудови топографічного плану місцевості, виносу проекту в натуру, основи використання аерофотограмметрії при побудові фотосхем та фотопланів.

На завершення, автори виносять велику подяку к.т.н., доценту Кахничу П. Ф. за підтримку і плідну роботу та цінні рекомендації щодо покращення рукопису книги.

Автори вважають своїм обов'язком виразити щиросердечну подяку науковому редактору книги зав. кафедрою землеустрою, геодезії та геоінформатики НУВГП д.т.н., професорові Чернязі П.Г.

В даному посібнику розділи 1, 2, 6 і 7 написані к.с.н., доц. Кирилюком В.П., 3, 4, 8 і 9 – к.с.н., доц. Шемякіним М.В., 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 і додатки - к.т.н., доц. Романчуком С.В.

# РОЗДІЛ 1

## ВИВЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ

### 1.1. Форма і розміри Землі

Фізична поверхня Землі є надто складною, тому виразити її математичною формулою неможливо. Вона не відповідає ні одному існуючому фізичному закону. Оскільки людство використовує територію фізичної поверхні для своїх потреб, то виникла необхідність в створенні надійного її обліку. На цій основі виникла ідея підібрати та прийняти форму і розміри типової геометричної фігури, яка є строгою математичною поверхнею і за своєю величиною буде найближчою до існуючої фігури Землі. В подальшому науку спрямували на вивчення елементів відхилень між підбраною типовою геометричною фігурою і існуючою фізичною поверхнею Землі.

Прийняту фігуру Землі рахують за рівневу поверхню, твірна якої співпадає з поверхнею води океанів в спокійному стані і уявно продовжена під материками. Така поверхня має властивість, що в кожній її точці прямовисна лінія перпендикулярна до твірної. Вона не співпадає ні з однією поверхнею математичної фігури і сама є неправильною формою, яку називають *г е о ї д о м*.

На основі проведених досліджень встановлено, що математична форма Землі нагадує більше поверхню еліпсоїда, який утворюється від оберту еліпса навколо своєї малої осі (рис.1).

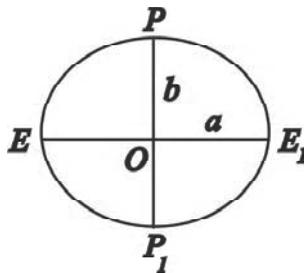


Рис.1. Земний еліпсоїд

Обчисленням півосей  $a$  і  $b$  еліпсоїда займались багато вчених із різних країн в тому числі і російський вчений Ф.Н. Красовський, який отримав наступні результати:  $a=6\ 378\ 245\text{м}$ ;  $b=6\ 356\ 863\text{м}$ ;  $\alpha=(a-b)/a \approx 1/300$ .

Даний еліпсоїд називають референц-еліпсоїдом Красовського. Його поверхня відрізняється від рівневої на величину не більше 150 м.

## 1.2. Застосування проєкцій в геодезії

В технічних розрахунках при зображенні на папері просторових форм користуються методом проєкцій. При зображенні земної поверхні в геодезії використовують ортогональну проєкцію (рис. 2.).

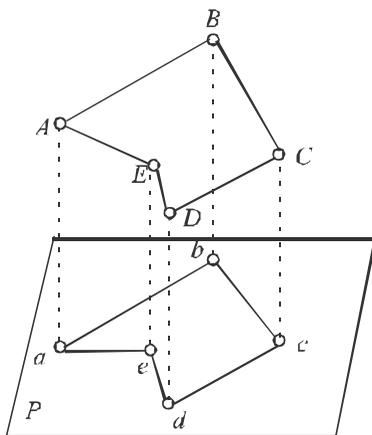


Рис. 2. Зображення в ортогональній проєкції

Нехай на рис. 2 приведено многокутник  $ABCDE$  частини фізичної поверхні Землі, який спроектовано прямовисними лініями на горизонтальну площину  $P$  та отримано многокутник  $abcde$

ортогональною проекцією. Лінії  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ , і  $de$  є ортогональними проекціями ліній  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  і  $DE$ , а кути  $abc$ ,  $bcd$ ,  $cde$  і  $dea$  є ортогональними проекціями кутів  $ABC$ ,  $BCD$ ,  $CDE$  і  $DEA$ .

В геодезії велике значення має центральна проекція, сутність якої полягає в наступному: з довільно вибраної точки  $S$  проводимо проєктуючі лінії  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$  і  $SD$  (рис. 3). Відповідно

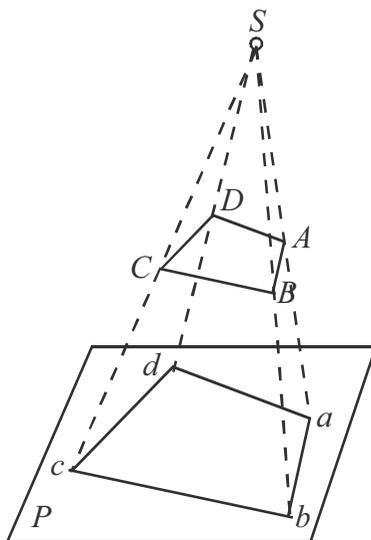


Рис. 3. Зображення в центральній проекції

точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$  є точками перетину прямих  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$  і  $SD$  з площиною  $P$ . Тому можна сказати, що багатокутник  $abcd$  є центральною проекцією просторового багатокутника  $ABCD$  із центру проекції  $S$  на площину проекції  $P$ . Під час фотографування місцевості центром проекції  $S$  є оптичний центр об'єктива фотоапарату, а площина проекції  $P$  – фотознімок.

### 1.3. План, карта і профіль місцевості за заданим напрямком

Між планом і картою існує вагома різниця. Відомо, що план і карта – зменшене зображення на аркуші паперу горизонтальних проекцій ділянок місцевості.

*Планом* називається зменшене і подібне зображення горизонтальної проекції ділянки місцевості розміром до  $20 \times 20$  км на аркуші паперу. Зображення такої горизонтальної проекції отримане без спотворень, а тому можна сказати, що горизонтальна проекція невеликої ділянки місцевості і її зменшене зображення на аркуші паперу подібні.

*Картою* називається зменшене і спотворене за рахунок кривизни Землі зображення горизонтальної проекції значної частини або всієї земної поверхні на аркуші паперу та побудоване за відповідними математичними законами. При зображенні на аркуші паперу горизонтальних проекцій значних ділянок Землі або всієї її поверхні, яку приймають за поверхню еліпсоїда оберту, кривизною рівневої поверхні нехтувати не можна. Тому горизонтальна проекція і її зменшене зображення на папері не будуть подібними.

В залежності від призначення карти під час її побудови вибирається певна картографічна проекція. Картографічні проекції будуються за відповідними математичними законами, за якими горизонтальна проекція зображується на площині.

За характером спотворення відомі рівновеликі і рівнокутні картографічні проекції. Рівновеликі дозволяють зобразити на карті площі великих ділянок місцевості. Рівнокутні (конформні) дозволяють зобразити картографічні проекції на карті без спотворення кутів між лініями місцевості.

Якщо через точки  $A$  і  $B$ , які закріплені на місцевості провести прямовисну площину, то отримаємо профіль місцевості за відповідним напрямком  $AB$  (рис.4).

На рис. 4:  $h$  - перевищення точки  $B$  над точкою  $A$ ;  $H_{A_1}$ - умовна висота точки  $A$ ;  $H_A$ - абсолютна висота точки  $A$ .

Зменшене зображення перетину земної поверхні на аркуші паперу теж називається профілем. Профіль місцевості зображують при проектуванні лінійних споруд та при вирішенні багатьох інженерних задач.

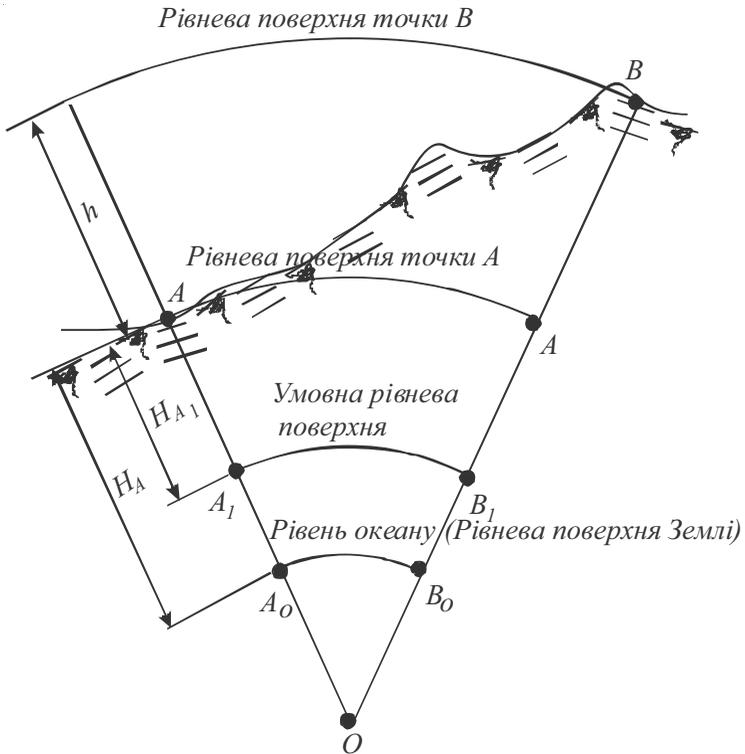


Рис. 4. Профіль місцевості

#### 1.4. Визначення планового і висотного положення точки на земній поверхні

Планове і висотне положення будь-якої точки розташованої на фізичній поверхні Землі визначається просторовими координатами. Так, точка  $A$  на сфері визначається географічними координатами:  $\varphi$  - географічною широтою та  $\lambda$  - географічною довготою її горизонтальної проекції та висотою  $H_A$  (рис. 4 і 5).

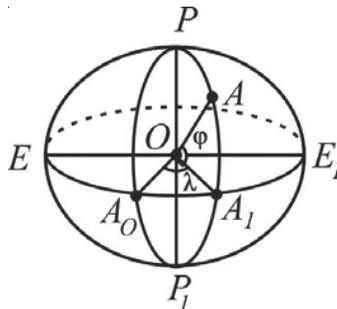


Рис. 5. Географічна система координат

*Географічною широтою  $\varphi$*  називається кут, який відлічується від площини екватору до прямовисної лінії, яка проходить через задану точку  $A$  на сфері і змінюється від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Широта точки називається північною, якщо вона розташована в північній півкулі, і південною, якщо вона розташована в південній півкулі.

*Географічною довготою  $\lambda$*  називається кут, який відлічується від площини початкового меридіану, який проходить через Грінвіч до площини географічного меридіану, який проходить через дану точку  $A$  земної поверхні і змінюється від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  на схід або захід в залежності від розташування точки на сфері. Довгота буває східною і західною. Географічні координати  $\varphi$  і  $\lambda$  на місцевості визначають шляхом астрономічних вимірювань.

У вищій геодезії широко використовується система геодезичних координат на поверхні еліпсоїда (рис. 6).

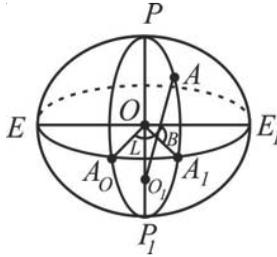


Рис. 6. Геодезична система координат

*Геодезичною широтою  $B$*  називається кут, який відлічується від площини екватору до нормалі  $AO_1$  точки  $A$  на еліпсоїді оберту і змінюється від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Широта буває північною і південною, в залежності від того в якій півкулі знаходиться точка.

*Геодезичною довготою  $L$*  називається кут, який відлічується від площини початкового меридіану (Грінвіч) до площини геодезичного меридіану, який проходить через дану точку  $A$  та змінюється від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Довгота точок розташованих від початкового меридіану на схід (проти годинникової стрілки) називаються східною, а довгота точок розташованих від початкового меридіану на захід (за годинниковою стрілкою) називаються західною.

Положення точки  $A$  розташованої на фізичній поверхні Землі визначається географічними координатами  $\varphi$  і  $\lambda$  її горизонтальної проекції і висотою  $H_A$  (рис. 4 і рис. 5).

Висотою точки називається відстань від рівневої поверхні (поверхні прийнятої за  $0,00$  м) до верху знаку закріпленої точки. Висоти бувають абсолютні, умовні і відносні (або перевищення). Розрахунок абсолютних висот в нашій державі ведуть від нуля Кронштадтського футштоку. Назва футшток походить від поєднання англійського слова *foot* (*фум*) з німецьким *stock* (*палиця, жердина*).

На рис. 4 точка  $A$  має абсолютну висоту  $H_A$ , а умовна висота цієї точки буде  $H_{A1}$ . За умовну рівневу поверхню можна приймати будь-яку поверхню. Так в будівництві будівельники приймають за висоту  $\pm 0,00$  м поверхню, яка співпадає з рівнем чистої підлоги

першого поверху кожної будівлі. Таким чином кожна будівля має свою початкову висоту.

Висота однієї точки відносно висоти другої точки називається відносною або перевищенням і позначається буквою  $h$ . Таким чином, перевищення дорівнює різниці висот двох точок з абсолютними або відносними висотами. Геодезичні вимірювання, за результатами яких обчислюють перевищення між двома точками місцевості, називається нівелюванням.

### 1.5. Встановлення величини поправки за кривизну Землі

При вивченні фігури Землі встановлено, що вона в наближеному варіанті має геометричну форму сфери. Виникає питання, а яку ділянку рівневої поверхні Землі з необхідною точністю для практичних робіт можна вважати площиною?

Розглянемо частину рівневої поверхні Землі, яка приймається за сферу радіусом  $R$  (рис. 7).

На рис. 7 довжина дуги сфери  $A_1 i B_1$  позначена через  $s$ . В точках  $A_1 i B_1$  проведені радіуси  $R$  сфери, які мають продовження до дотичної в точках  $A i B$ ,  $AB = d$ . Знайдемо, чому дорівнює похибка від заміни дуги  $s$  відрізком дотичної  $d$ . Різницю між довжиною дотичної  $d$  і дугою обчислюють за формулою

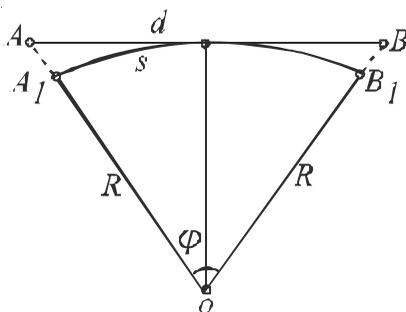


Рис. 7. Частина сфери

$$\Delta d = d - s. \quad (1)$$

Оскільки дуга  $s$  опирається на центральний кут  $\varphi$ , то

$$d = 2R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

тоді

$$\Delta d = 2R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} - s. \quad (3)$$

Величину  $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$  розкладемо в ряд і зупинимося на другому члені, тобто

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2} + \frac{1}{3} \left( \frac{\varphi}{2} \right)^3 + \dots, \quad (4)$$

де  $\varphi$  – центральний кут виражений в радіанній мірі, який обчислюється за формулою

$$\varphi = \frac{s}{R}, \quad (5)$$

а тому формула (4) прийме вид

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{s}{2R} + \frac{1}{3} \left( \frac{s}{2R} \right)^3. \quad (6)$$

Підставляючи (6) в (3), отримаємо

$$\Delta d = 2R \left( \frac{s}{2R} + \frac{s^3}{24R^3} \right) - s = \frac{s^3}{12R^2}. \quad (7)$$

Аналізуючи формулу (7) приходимо до висновку, що дотична  $d$  довша за дугу  $s$ .

Знайдемо відносну похибку різниці  $\Delta d$  за формулою

$$\frac{\Delta d}{s} = \frac{1}{12} \left( \frac{s}{R} \right)^2. \quad (8)$$

Якщо прийняти  $R=6371,11$  км та надати різні значення  $s$ , то можна обчислити величини за формулами (7) і (8). Результати обчислень представимо в табл.1.

Таблиця 1

Результати абсолютних і відносних похибок при заміні дуги  $s$  відрізком дотичної  $d$

$S, \text{ км}$	$\Delta d, \text{ см}$	$\frac{\Delta d}{s}$	$S, \text{ км}$	$\Delta d, \text{ см}$	$\frac{\Delta d}{s}$
10	0,21	1:4 870 000	50	26	1:195 000
20	1,64	1:1 218 000	100	205	1:49 000
30	5,55	1:541 000	200	1643	1:12 200
40	13,1	1:30 400	300	5545	1:5 410

Аналізуючи результати табл.1 можна зробити наступні висновки.

1. Сучасний рівень техніки геодезичних вимірювань довжин ліній  $10 - 20$  км характеризує найвищу точність відносної похибки, біля  $1:1000 000$ .

2. Дугу сферичної поверхні Землі довжиною  $s = 20$  км можна замінити дотичною  $d$  тому, що відносна похибка різниці дуги і

дотичної менша (1:1 218 000) сучасних технічних можливостей вимірювань (1:1 000 000).

3. Ділянку рівневої поверхні Землі діаметром 20 км, або площею 300 – 320 км<sup>2</sup>, можна прийняти за площину з незначною похибкою, а кривизною поверхні Землі в цих границях можна нехтувати.

Розглянемо вплив кривизни Землі на вертикальне положення точки. На рис. 8 приведений фрагмент сфери, на якій  $s$  – дуга сфери,  $t$  – дотична в точці  $A$  до сфери та  $\Delta h$  похибка впливу кривизни Землі на вертикальне положення точки  $B$ .

Розглядаючи рис. 8, на основі теореми Піфагора можна записати

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2, \quad (9)$$

звідки

$$t^2 = 2R\Delta h + \Delta h^2. \quad (10)$$

Якщо замість  $t$  підставити  $s$ , то величину  $\Delta h$  обчислюють за формулою

$$\Delta h = \frac{s^2}{2R + 1}. \quad (11)$$

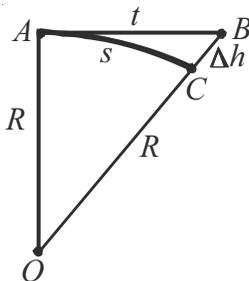


Рис. 8. Вплив кривизни Землі на вертикальне положення точки

Враховуючи те, що одиниця значно менша величини  $2R$ , то кінцеве значення  $\Delta h$  можна записати

$$\Delta h = \frac{s^2}{2R}. \quad (12)$$

За формулою (12) виконаємо розрахунки, а результати приведемо в табл.2.

Таблиця 2

Вплив кривизни Землі на висоту точки

<i>s, км</i>	<i>Δh, м</i>	<i>s, км</i>	<i>Δh, м</i>	<i>s, км</i>	<i>Δh, м</i>
<i>1</i>	<i>0,0785</i>	<i>10</i>	<i>7,85</i>	<i>50</i>	<i>196,1981</i>
<i>5</i>	<i>1,9619</i>	<i>20</i>	<i>31,3917</i>	<i>100</i>	<i>784,7926</i>

Аналізуючи табл. 2 можна зробити наступний висновок.

Похибкою за вплив кривизни Землі на вертикальне положення точки нехтувати не слід тому, що висоти обчислюють з точністю до *0,1 мм*.

## РОЗДІЛ 2

### ВИВЧЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ

#### 2.1. Числовий масштаб

Оскільки фігура Землі за своїми розмірами є надто великою, то виготовлення її моделі в натуральну величину неможливо. При виготовленні будь-якої моделі добиваються, щоб вона була подібна оригіналу в зменшеному або в збільшеному (що рідко трапляється) виді і з точністю похибок вимірювання. Щоб цього досягнути необхідно проектувати і будувати модель в горизонтальній проекції. *Масштабом називається ступінь зменшення горизонтальних прокладень ліній місцевості при зображенні їх на плані або карті.* Масштаб записується дробовим числом. В чисельнику обов'язково ставлять одиницю, а в знаменнику число в скільки разів зменшується горизонтальне прокладення ліній на місцевості.

Наприклад,  $\frac{1}{500}$ ,  $\frac{1}{1000}$ ,  $\frac{1}{2000}$ ,  $\frac{1}{5000}$ , або  $1:500$ ,  $1:1000$ ,  $1:10000$ ,

$1:25\ 000$ . Таким чином, виміряна лінія на місцевості наноситься на план або карту в зменшеному виді відповідно у  $500$ ,  $1000$ ,  $2000$ ,  $5000$ ,  $10\ 000$  і  $25\ 000$  разів. Правдива і наступна інформація. Якщо на плані або карті викреслити відрізок довжиною  $1\text{ см}$ , то цьому відрізку на місцевості буде відповідати відрізок  $500$ ,  $1000$ ,  $2000$ ,  $5000$ ,  $10\ 000$  і  $25\ 000\text{ см}$ .

Основна формула масштабу має наступний вигляд

$$d = s \times M, \quad (13)$$

де  $s$  – кількість сантиметрів на плані або карті;  $M$  – знаменник масштабу.

**Задача 1.** На карті масштабу  $1:10\ 000$  довжина відрізка  $s = 2,34\text{ см}$ . Визначити довжину відповідного йому горизонтального прокладання лінії на місцевості  $d$ . Згідно формули (13), отримаємо

$$d = 2,34 \text{ см} \times 10\,000 = 23400 \text{ см} = 234 \text{ м.}$$

**Задача 2.** Довжина горизонтального прокладення лінії на місцевості  $d = 374 \text{ м}$ . Визначити її довжину на карті масштабу  $1:5000$ . За формулою (13) визначаємо  $s$

$$s = \frac{d}{M} = \frac{37400 \text{ см}}{5000} = 7,48 \text{ см}.$$

На основі вище приведеного можна зробити наступні висновки.

1. Чим більший знаменник  $M$  числового масштабу, тим масштаб мілкіший.
2. Чим менший знаменник  $M$  числового масштабу, тим масштаб крупніший.
3. Масштаб  $1:50\,000$  мілкіший масштабу  $1:25\,000$  в два рази, а масштаб  $1:2000$  крупніший масштабу  $1:10\,000$  в п'ять разів.

## 2.2. Лінійний масштаб

При користуванні числовим масштабом необхідно виконувати певний обсяг обчислювальних робіт, а це при великих об'ємах значно обтяжливо. Тому часто користуються лінійним масштабом. Лінійний масштаб за своєю конструкцією простий у виготовленні та користуванні (рис. 9).

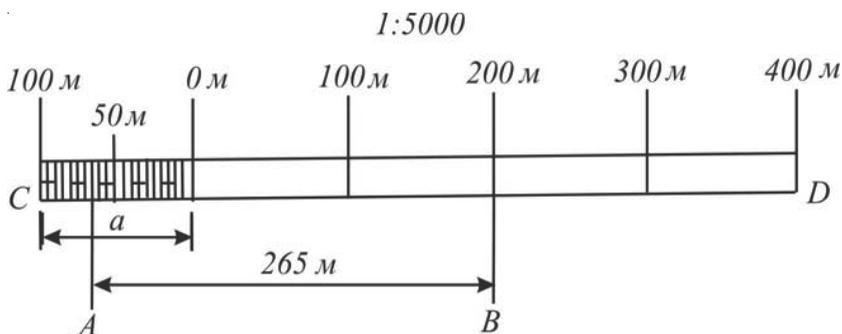


Рис. 9. Лінійний масштаб

Для побудови на папері лінійного масштабу необхідно накреслити лінію  $CD$ , на якій відкласти відрізки однакової довжини, наприклад  $2\text{ см}$ . Зліва одне ділення ділять на  $10$  частин і отримують десяти частини, які в свою чергу дорівнюють  $2\text{ мм}$ . Кожних  $2\text{ мм}$  поділили на дві частини і отримали величину найменшого ділення рівного  $1\text{ мм}$ . Підписують лінійний масштаб згідно прийнятого числового масштабу. Для масштабу  $1:5000$  в двох сантиметрах на плані або карті буде відповідати на місцевості  $100\text{ м}$ , а одне найменше ділення відповідає  $5\text{ м}$ . Тому віддаль  $AB = 265\text{ м}$ . Одне велике ділення  $a = 2\text{ см}$  називається основою масштабу. Якщо основа відповідає  $2\text{ см}$ , то такий масштаб називають нормальним.

Лінійний масштаб за своєю точністю не перевищує  $0,5$  найменшого ділення масштабу плану. В нашому випадку ця точність буде становити  $2,5\text{ м}$ . Як бачимо точність лінійного масштабу відповідно низька, а тому його можна використовувати безпосередньо при рекогностуванні місцевості під час побудови планового і висотного геодезичного обґрунтування, вибору площі для розробки проектів сівозмін, меліоративного осушення та зрошення територій, попереднього вибору осі автомобільної дороги і т. ін.

### 2.3. Поперечний масштаб

Поперечний масштаб є самим точним, а тому його постійно використовують в інженерних розрахунках. Будують лінійку поперечного масштабу наступним чином. На відрізок  $CD$  будують декілька основ масштабу  $a$  рівних  $2\text{ см}$  (рис. 10).

В точках фіксації основ встановлюють перпендикуляри і підписують  $0, 2, 4, 6, 8$ . Одну основу зліва від підписаного  $0$  лінійки ділять на  $10$  рівних поділок і отримують десяти частини основи. Для того, щоб отримати соті частини основи необхідно одну десяту частину поділити на  $10$  частин. Це досягається тим, що проводять десять ліній паралельних між собою і лінії  $CD$  та на однакових відстанях одна від другої. На верхній лінії від

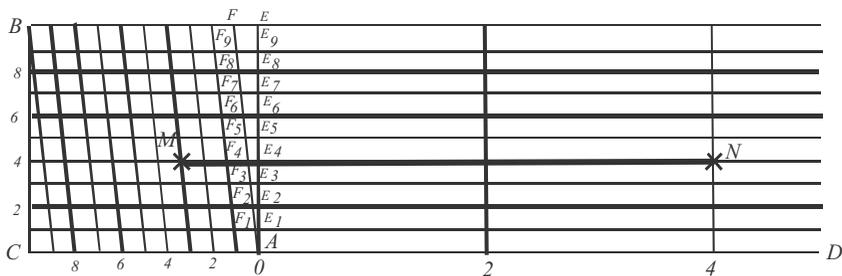


Рис.10. Лінійка поперечного масштабу

перпендикуляру з підписом  $0$  відкладаємо величину відрізка рівного  $0,1$  частини основи. В нашому випадку таким відрізком буде  $FE$ . Точку  $F$  сполучають з точкою  $A$  і отримують трансверсаль  $AF$ . Через нанесені точки ділення на  $10$  частин відрізків  $CA$  і  $BF$  проводять паралельні лінії трансверсали  $AF$ . Утворений прямокутний трикутник  $AEF$  поділений на  $10$  частин і кожна така частина є  $0,01$  вибраної основи. Таким чином відрізки відповідають сотим основі наступні:

$$\begin{array}{lll}
 F_1E_1 = 0,01 CA; & F_4E_4 = 0,04 CA; & F_7E_7 = 0,07 CA; \\
 F_2E_2 = 0,02 CA; & F_5E_5 = 0,05 CA; & F_8E_8 = 0,08 CA; \\
 F_3E_3 = 0,03 CA; & F_6E_6 = 0,06 CA; & F_9E_9 = 0,09 CA.
 \end{array}$$

Для вимірювання віддалей між двома точками на топографічній карті поступають наступним чином. Одну ніжку вимірника ставлять в центр однієї точки, а другу ніжку вимірника ставлять в центр другої точки та не змінюючи розхилу вимірника кладуть його на лінію  $CD$  лінійки поперечного масштабу так, щоб одна ніжка співпала з перпендикуляром основи, а друга була обов'язково в районі десятих ділень основи. Пересувають розхил вимірника вгору і паралельно лінії  $CD$  так, щоб ніжка вимірника співпала з трансверсальною. Після цього рахують цілі основи, які відділяють комою і після коми записують кількість десятих та сотих. Досвідчені виконавці на око визначають тисячні долі основ.

Наприклад, в нашому випадку між точками  $M$  і  $N$  на топографічному плані масштабу  $1:5000$  лінійці поперечного масштабу відповідає  $2,34$  основ (рис. 10). Оскільки основа має

довжину 2 см, то її на місцевості буде відповідати 100 м. Щоб визначити скільки буде метрів між точками  $M$  і  $N$  на місцевості необхідно  $2,34 \times 100 \text{ м} = 234 \text{ м}$ . Згідно правила *віддалей визначають шляхом множення кількості основ на кількість метрів в одній основі*.

Таким чином відрізок  $MN$  приведений на лінійці поперечного масштабу для планів і карт різних масштабів буде відповідати різним віддалям (рис.10). Наприклад, для нижче приведених масштабів віддалі, становлять:

$$1:500 \text{ відповідно } 10 \text{ м} \times 2,34 = 23,4 \text{ м};$$

$$1:1000 \text{ відповідно } 20 \text{ м} \times 2,34 = 46,8 \text{ м};$$

$$1:2000 \text{ відповідно } 40 \text{ м} \times 2,34 = 93,60 \text{ м};$$

$$1:5000 \text{ відповідно } 100 \text{ м} \times 2,34 = 234 \text{ м};$$

$$1:10\ 000 \text{ відповідно } 200 \text{ м} \times 2,34 = 468 \text{ м};$$

$$1:25000 \text{ відповідно } 500 \text{ м} \times 2,34 = 1170 \text{ м}.$$

## 2.4. Точність масштабу

В геодезичній практиці часто ставлять питання, а з якою точністю виконані виміри? Очевидно точність масштабу це відстань на місцевості яка відповідає довжині відстані найменшого відрізка, який людина може розпізнати на топографічному плані, або карті відповідного масштабу.

Відомо, що на плані можна розпізнати неозброєним оком відрізок довжиною 0,1 мм. Такий відрізок відповідає уколу зробленого гострою голкою на аркуші паперу. Тому довжина горизонтального прокладення лінії місцевості, яка відповідає на карті даного масштабу 0,1 мм, називається точністю масштабу. Так, точність масштабів 1:500, 1:1000, 1:2 000 і 1:5 000 дорівнює відповідно 0,05 м, 0,1 м, 0,2 м і 0,5 м.

## 2.5. Розграфка і номенклатура топографічних карт

Для визначення адреси певної ділянки земної поверхні виконують розграфку земної кулі шляхом умовного ділення

паралелями через  $4^\circ$ , починаючи від екватора на північ і південь (рис. 11). В результаті такого поділу отримують ряди, які



Рис.11. Поділ земної кулі на зони

позначають великими буквами латинського алфавіту від *A* до *U*, починаючи від екватора до північного і південного полюсів. Умовне ділення меридіанами виконують через  $6^\circ$ , починаючи від Грінвіцького меридіану проти ходу годинникової стрілки.

Такий поділ за меридіанами співпадає з поділом земної кулі на зони. Виконану нумерацію зон арабськими числами 1, 2, 3, ..., 60 за

напрямок проти годинникової стрілки починаючи від меридіану з довготою  $180^\circ$  називають колонами.

Таким чином, поверхня Землі поділена на сферичні трапеції з розмірами сторін по широті  $\Delta\varphi = 4^\circ$  і по довготі  $\Delta\lambda = 6^\circ$ . Кожна така трапеція представляє собою ділянку горизонтальної проекції в масштабі 1:1 000 000 (рис. 11).

*Номенклатурою називається система топографічних карт різних масштабів та їх взаємне розташування згідно прийнятої розграфки (рис. 11). Номенклатура листів карти масштабу 1:1000 000 створюється із букви, якою позначений ряд і із номера колони. Так заштриховані трапеції на рис.11 мають номенклатуру Q - 37 і L - 49.*

В нашій державі лист карти в масштабі 1:1000 000 прийнятий за основу. Для того, щоб отримати лист карти в масштабі 1:500 000, необхідно лист карти 1:1 000 000 поділити на

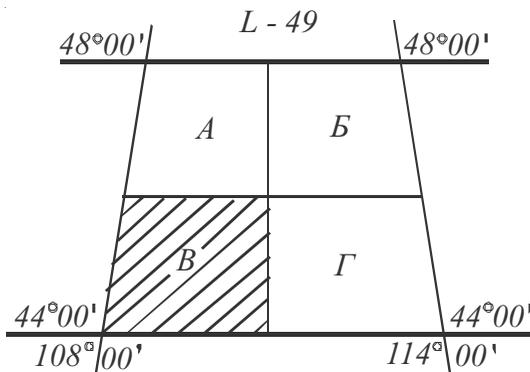


Рис.12. Лист карти масштабу 1:1 000 000

чотири частини і кожную частину позначити буквами українського алфавіту A, Б, В, Г (рис.12).

За таким поділом номенклатура листа карти 1:500 000 буде мати позначення L-49-B, яке складається із номенклатури листа карти 1:1000 000 та його четвертої частини позначеної відповідною буквою. В нашому випадку четверта частина позначена буквою В

та заштрихована.

Розграфка листів карт масштабів  $1:300\,000$ ,  $1:200\,000$  і  $1:100\,000$  виконується шляхом ділення кожного листа карти масштабу  $1:1\,000\,000$  меридіанами і паралелями відповідно на 9, 36 і 144 частин (рис. 13). Номенклатура листів карт приведених масштабів складається із номенклатури відповідного мільйонного листа і безпосередньо номера, який у листів карт масштабу  $1:300\,000$  записується зліва, а у листів карт масштабів  $1:200\,000$  і  $1:100\,000$  – справа від номенклатури мільйонного листа. На рис. 13 заштриховані наступні листи VI-L49, L-49-VI, L-49-133.

Листи карти масштабу  $1:50\,000$  отримують шляхом ділення листів карти масштабу  $1:100\,000$  на чотири частини і позначаються великими буквами українського алфавіту А, Б, В, Г. Номенклатура листа карти приведеного на рис. 14 L-49-133-В.

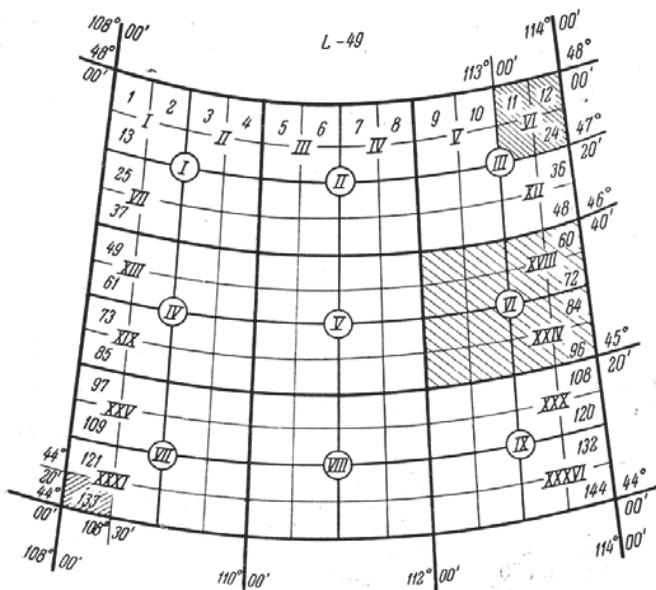


Рис. 13. Розграфка листів карти масштабів  $1:300\,000$ ,  $1:200\,000$  і  $1:100\,000$

Листи карти масштабу  $1:25\ 000$  отримують шляхом ділення листів карти масштабу  $1:50\ 000$  на чотири частини, кожна з яких позначається прописною буквою українського алфавіту *а, б, в, г*, (рис.14). Номенклатура такого листа *L-49-133-Б-в*

Листи карти масштабу  $1:25\ 000$  ділять на чотири частини і отримують листи карти масштабу  $1:10\ 000$  та позначають їх арабськими числами *1, 2, 3, 4*. Номенклатура такого листа *L-49-133-Б-г-4* (рис.14).

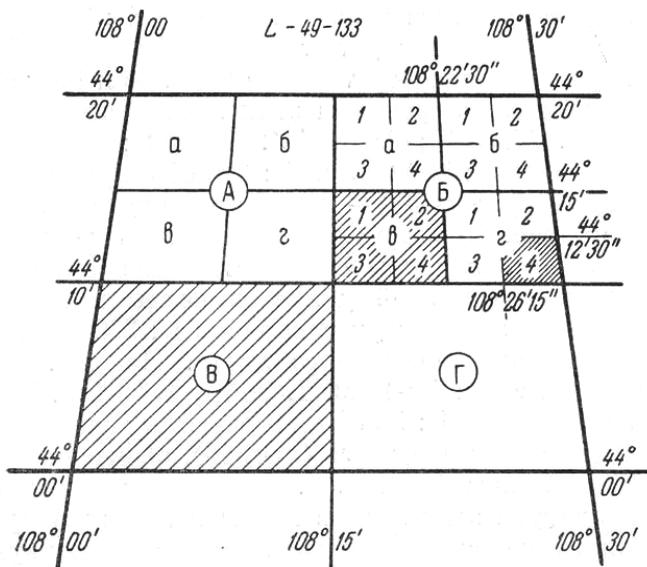


Рис. 14. Розграфка листів карти  $1:50\ 000$ ,  $1:25\ 000$  і  $1:10\ 000$

Розграфка листів карти масштабу  $1:5000$  виконується діленням листа карти масштабу  $1:100\ 000$  на 256 частин і нумерують їх арабськими числами взятими в дужки (рис.15). Номенклатура такого листа карти *L-49-133-(16)*.

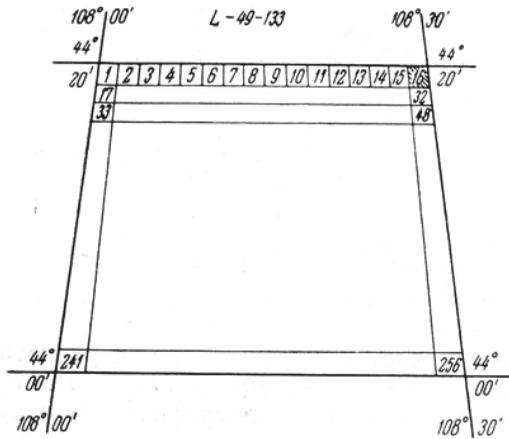


Рис. 15. Розграфка листів карти масштабу 1:5000

Для того, щоб отримати номенклатуру листа карти масштабу 1:2000, то необхідно лист карти масштабу 1:5000 розділити на дев'ять частин і кожен з них позначити прописними буквами українського алфавіту взятих в дужки (рис. 16). Номенклатура такого листа *L-49-133-(16-i)*.

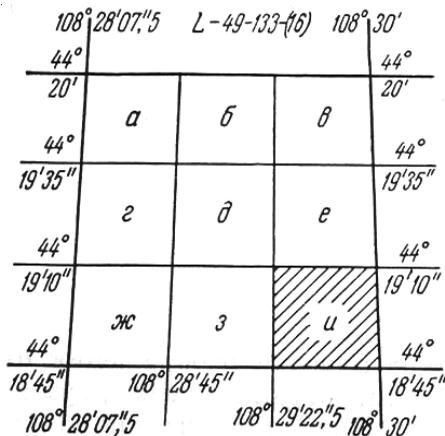


Рис. 16. Розграфка листів карти масштабу 1:2000

Під час топографічного знімання місцевості в крупних масштабах території площею менше  $20 \text{ км}^2$  складають топографічні плани за квадратною розграфкою, яка не пов'язана з державною номенклатурою. Існуючою Інструкцією з топографічних зніманих місцевості пропонуються наступні розміри рамок:  $40 \times 40 \text{ см}$  для листів планів в масштабі 1:5000 і  $50 \times 50 \text{ см}$  – для листів планів в масштабах 1:2000, 1:1000 і 1:500.

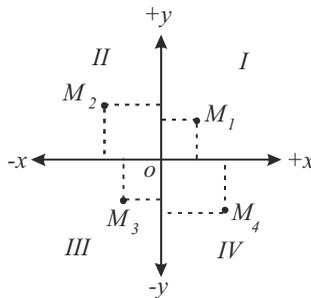
За основу розграфки приймають лист плану масштабу 1:5000, який позначений умовно арабським числом. Даний лист ділять на чотири частини та отримують лист плану в масштабі 1:2000 і позначають їх великими буквами українського алфавіту А, Б, В, Г.

Кожний лист плану в масштабі 1:2000 ділять на чотири частини і позначають римськими числами I, II, III, IV та отримують лист плану в масштабі 1:1000.

Лист плану масштабу 1:2000 ділять на шістнадцять частин і отримують лист плану в масштабі 1:500.

## 2.6. Прямокутна система координат Гаусса-Крюгера

Довгий час людство шукало простішу систему координат, ніж географічна, для визначення положення точки, яка закріплена на фізичній поверхні Землі. В 1637 р. французький математик Р. Декарт опублікував свою книгу "Геометрія", в якій приведена структура системи прямокутних координат. Дану систему називають декартовою системою координат (рис. 17).



### Рис.17. Система прямокутних координат

В математиці прийнято за вісь  $x$  горизонтальну лінію, а за вісь  $y$  вертикальну лінію, які перетинаються під прямим кутом. Точку перетину осей приймають за нуль. Таким чином створено чотири четверті і їх рахунок ведуть проти годинникової стрілки, починаючи від позитивного кінця осі  $x$ .

Дана система прямокутних координат може доцільно використовуватися на порівняно малих ділянках місцевості, коли їх приймають за площину. Це буде своя місцева система координат. Координати точок, які обчислені відносно різних їх початків, тобто в різних системах не можуть бути використані для складання точних планів і топографічних карт на великі ділянки, якщо попередньо не встановити зв'язок між цими системами. Якщо питання стоїть про великі ділянки місцевості або всієї земної кулі, то зручно використати одну загальну систему координат. Тут постає питання, як врахувати кривизну земної поверхні?

Теорію прямокутних координат для визначення положення точок на земній поверхні розробив в 1825 – 1830 рр. відомий німецький вчений – геодезист К. Гаусс. Методику практичного використання цієї теорії розробив і запропонував німецький геодезист Л. Крюгер в 1912 р. Ось чому дану систему координат називають системою координат Гаусса – Крюгера.

Суть даної системи прямокутних координат Гаусса – Крюгера полягає в наступному. Поверхню еліпсоїда ділять на частини шляхом проведенням меридіанів через  $6^\circ$  починаючи з початкового меридіану, який проходить через обсерваторію м. Грінвіча. Перша зона обмежена меридіанами  $0^\circ$  і  $6^\circ$ , друга -  $6^\circ$ - $12^\circ$  і т.д., тобто рахунок виконують із заходу на схід. Таких зон на земній кулі буде  $60$ .

Щоб отримати плоске зображення зони, то необхідно уявити, що земну кулю розмістили в циліндр необхідної величини та на внутрішню його поверхню проєктують зони розгорнуті на площині, а після цього розрізають за твірною циліндр і розгортають його на площині (рис.18).

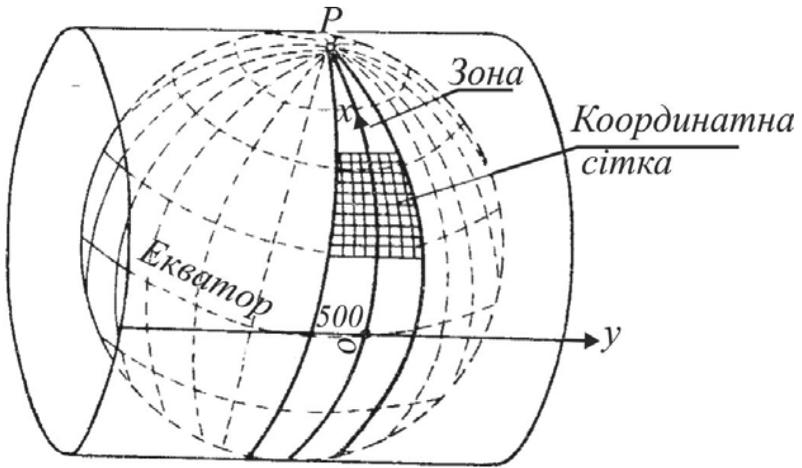


Рис. 18. Проекція на поверхню циліндра

Після цього відбитки зон на площині будуть мати вигляд приведений на рис.19.

Якщо з'єднати північний і південний полюси в кожній зоні, то ми отримаємо їх осьові меридіани, які будуть перпендикулярні до лінії екватора. Ці лінії приймають за осі плоских прямокутних координат в системі Гаусса – Крюгера.

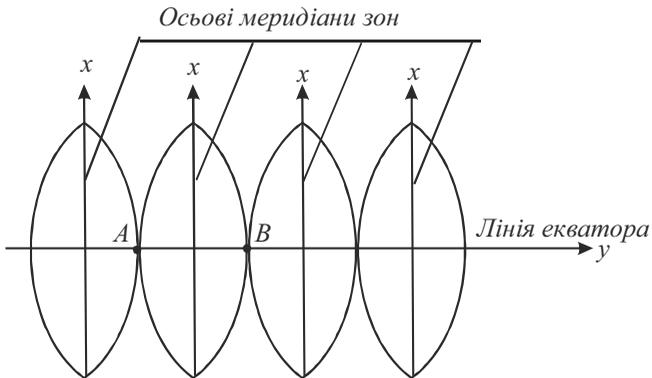


Рис. 19. Проекція зон на площині

Осьовий меридіан приймають за вісь абсцис і позначають буквою  $x$ , лінію екватора приймають за вісь ординат і позначають буквою  $y$ . За початок координат приймають точку перетину осей і позначають буквою  $0$ . Таким чином в кожній зоні буде своя система прямокутних координат. Координати абсцис точок відраховуються від їх початку до північного і південного полюсів та можуть змінюватися до 10 000 км. На північ від екватора вони додатні, а на південь – від’ємні. Ординати  $y$  відраховуються від осьового меридіану вправо (на схід) і мають додатній знак та вліво (на захід) – від’ємний знак.

Територія нашої держави розташована в північній частині земної кулі, а тому абсциси будуть додатними. Для того, щоб ординати кожної зони були теж додатними, то початок ординат приймають за 500 км. Тобто, перетин абсцис і ординат в кожній зоні прийняті ( $x=0$ ;  $y=500$  км).

Відомо, що точка земної поверхні може займати положення як на заході зони від осьового меридіану, так і на сході. Ширина зони між точками  $A$  і  $B$  за лінією екватора дорівнює 670 км, а довжина меридіану зони від південного полюсу до північного становить 20 000 км (рис.19). Тоді довжина меридіану від екватору до будь-якого полюса становить 10 000 км. В градусній мірі південна чи північна півкулі становлять  $90^\circ$ . Дуга меридіану в  $1^\circ$  становить в середньому 10 000 км :  $90 = 111,1$  км. На цій основі дуга меридіану в  $1'$  становить  $111,1$  км :  $60 = 1850$  м, а дуга в  $1''$  становить 31 м.

Найбільш віддалена точка на екваторі від осьового меридіану зони до її границі становить  $3^\circ$ , або  $y=111,1$  км  $\times$   $3 = 333,3$  км. Таким чином ордината  $y$  зони може бути найменшою  $500$  км  $- 333,3$  км  $= 166,7$  км, або найбільшою  $500$  км  $+ 333,3$  км  $= 833,3$  км (рис. 20). Такі ординати називаються перетвореними.

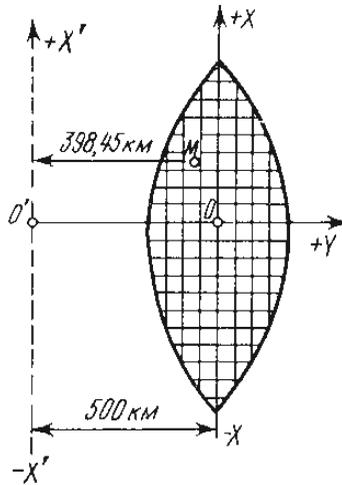


Рис.20. Зональна система координат

На практиці може трапитися так, що точки розташовані на одній лінії паралельної екватору і на однаковій віддалі від осьових меридіанів зон. Це говорить про те, що ординати будуть однаковими для цих точок. Для того, щоб кожна точка земної поверхні мала тільки свою адресу, то перед дійсною ординатою будь-якої точки приписують номер зони. Наприклад,  $y = 9612,00$  км. Це свідчить про те, що точка знаходиться в  $9^{-й}$  зоні і на сході від осьового меридіану. Точка  $M$  земної поверхні має прямокутні координати  $x_M = 6083,00$  км;  $y_M = 17\ 357,00$  км. За даними прямокутних координат точка характеризується наступним чином. Точка  $M$  знаходиться в північній півкулі на віддалі  $6083$  км від лінії екватора, в  $17^{-й}$  зоні і на захід від осьового меридіану.

Сітка прямокутних координат нанесена на всіх топографічних картах. Горизонтальні лінії сітки проведені паралельно лінії екватора, а вертикальні – паралельно осьовому меридіану зони.

Дану сітку ще називають кілометровою тому, що вона проведена через ціле число кілометрів. Для кожного масштабу топографічних карт прийняті свої розміри сторін квадратів кілометрових сіток.

Коли постає питання визначення прямокутних координат точки  $K$  на топографічній карті, то це виконують наступним чином (рис.21).

Випишують координати в кілометрах нижнього лівого кута квадрату в якому знаходиться точка  $K$  і перетворюють в метри та додають до них відповідно  $\Delta x$  і  $\Delta y$  в метрах.

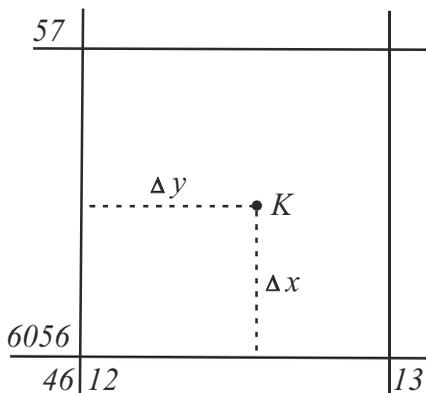


Рис. 21. Визначення прямокутних координат точки  $K$  на карті

Нехай  $\Delta x = 247$  м і  $\Delta y = 844$  м, тоді повні прямокутні координати точки будуть  $x_k = 6056247$  м;  $y_k = 4612844$  м. Цифри перед тризначним числом кілометрів ординати відповідають номеру зони, тому число кілометрів в кожній зоні не буває більше трьохзначного числа. В нашому випадку точка  $K$  знаходиться в  $4^{\text{ї}}$  зоні на схід від осового меридіану на відстані  $612,844$  км.

Запропонована система прямокутних координат Гаусса – Крюгера дозволяє звести спотворення за кривизну Землі до незначної похибки.

## РОЗДІЛ 3

### ОРІЄНТУВАННЯ

#### 3.1. Вимірювання дирекційних кутів за топографічною картою

Всі роботи які пов'язані з обстеженням територій і вишукуваннями, проектуванням та будівництвом об'єктів народного господарства нашої держави вимагають їх орієнтування відносно сторін світу і існуючих об'єктів на місцевості. Орієнтування виконують відносно початкових орієнтирних напрямків. Початковими орієнтирними напрямками в геодезії прийняті наступні: істинний, магнітний і осьовий меридіани. Таким чином через будь-яку точку на місцевості можна провести істинний, магнітний та осьовий меридіани або лінію паралельну осьовому меридіану. Розташування всіх меридіанів відносно один одного може бути будь-яке тому, що воно залежить від місця розташування самої точки на земній поверхні. Орієнтування лінії на земній поверхні полягає в визначенні горизонтального кута між початковим орієнтирним напрямком і даною лінією. Оскільки існує три початкових напрямки, то горизонтальні кути визначені відповідно них мають свої назви. Все залежить від того, відносно якого початкового напрямку виконують орієнтування.

Коли орієнтування виконують відносно істинного меридіану то визначають істинний азимут.

*Істинним азимутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку істинного меридіану за ходом годинникової стрілки та напрямом на предмет і змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  позначається великою буквою А.*

Якщо орієнтування виконують відносно магнітного меридіану то визначають магнітний азимут.

*Магнітним азимутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку магнітного меридіану за ходом годинникової стрілки та напрямком на предмет і*

змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  позначається великою буквою  $A_M$

Якщо орієнтування виконують відносно осьового меридіану то визначають дирекційний кут.

Дирекційним кутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку осьового меридіану або лінії паралельної йому за ходом годинникової стрілки та напрямом на предмет і змінюється від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  позначається грецькою буквою  $\alpha$ .

На рис. 22 приведено положення точок  $B$  і  $M$ , які розташовані на земній поверхні, та їх азимути і дирекційні кути.

Істинний і магнітний меридіани, як правило, не співпадають.

а)

б)

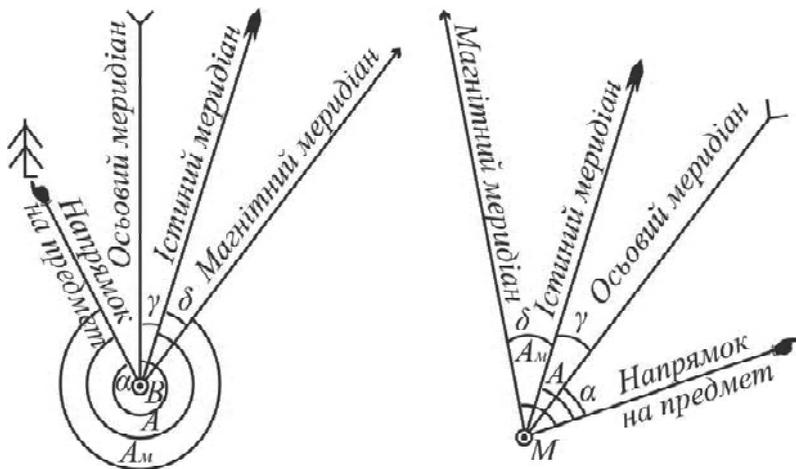


Рис. 22. Схема взаємозв'язку дирекційних кутів і азимутів

Горизонтальний кут, який відлічується від істинного меридіану до магнітного меридіану називається схиленням магнітної стрілки і позначається малою грецькою буквою  $\delta$ .

Якщо магнітний меридіан відхиляється від істинного на схід, то схилення магнітної стрілки називається східним і має знак

додатній (+), коли магнітний меридіан відхиляється від істинного на захід, то схилення магнітної стрілки називається *західним* і має знак від'ємний (-)

Так, на рис.22, *а* схилення магнітної стрілки східне і має знак додатній (+), а на рис.22, *б* схилення магнітної стрілки західне і має знак від'ємний (-).

*Горизонтальний кут, який відлічується від істинного меридіану до осьового меридіану або лінії паралельної йому називається зближенням меридіанів і позначається малою грецькою буквою  $\gamma$ .*

Якщо осьовий меридіан відхиляється від істинного на схід, то його називають східним зближенням, а коли осьовий меридіан відхиляється від істинного на захід, то його називають західним зближенням.

Так, на рис.22, *а* зближення меридіанів західне і має знак від'ємний (-), а на рис.22, *б* зближення меридіанів східне, а тому має знак (+).

Між істинним і магнітним азимутами та дирекційними кутами при відомих схиленнях магнітної стрілки і зближеннях меридіанів існує наступна математична залежність

$$\begin{aligned} A &= A_M + \delta; \\ A &= \alpha + \delta. \end{aligned} \tag{14}$$

### **3.2. Приклад вимірювання дирекційних кутів за топографічною картою**

Дирекційні кути на топографічній карті вимірюють при допомозі геодезичного транспортира.

Для того, щоб виміряти дирекційний кут  $\alpha_{AF}$  в точці *A* (рис.23) за допомогою геодезичного транспортира через точку *A* необхідно провести лінію *AB* паралельну вертикальним лініям сітки прямокутних координат, які в свою чергу паралельні осьовому меридіану. Аналогічно його можна виміряти в точках *C*, *D*, або *E*, з рисунка видно, що дирекційні кути в будь-якій точці однієї лінії постійні.

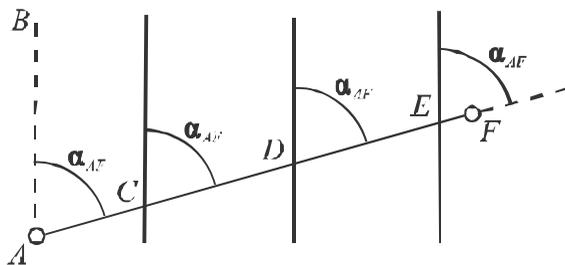


Рис. 23. Схема вимірювання дирекційних кутів

Якщо питання стоїть визначення істинного ( $A$ ) або магнітного ( $A_M$ ) азимутів, то їх обчислюють за відомими дирекційними кутами ( $\alpha$ ), схиленням магнітної стрілки ( $\delta$ ) та зближенням меридіанів ( $\gamma$ ) за формулами (14).

Дирекційні кути можна обчислювати в замкнутих або розімкнутих геометричних фігурах, якщо відомі праві або ліві горизонтальні кути відносно ходу. На рис.24 приведена

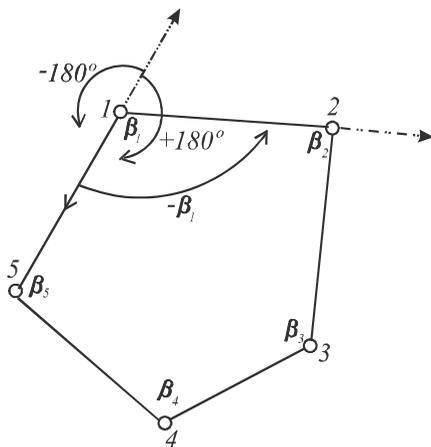


Рис.24. Схема за якою обчислюють дирекційні кути

замкнута фігура в якій відомі праві по ходу кути. Відомий, дирекційний кут  $\alpha_{5-1}$  лінії  $d_{5-1}$  та внутрішні горизонтальні кути  $\beta$  замкнутої геометричної фігури. Якщо лінію  $d_{5-1}$  продовжити, то

дирекційний кут її не змінюється. Продовження цієї лінії на рисунку показано точковим пунктиром. Лінію точкового пунктиру можна обертати навколо осі в точці  $l$  на  $360^0$  за годинниковою стрілкою або проти неї.

Для обчислення дирекційних кутів ліній многокутника необхідно обов'язково мати початковий відомий дирекційний кут. В нашому випадку такий кут є  $\alpha_{5-1}$ . Після цього лінію точкового пунктиру повертають за вказаною стрілкою на рисунку на  $180^0$  за годинниковою стрілкою або проти стрілки годинника так, щоб вона співпала із стороною  $d_{1-5}$ . В цьому випадку ми отримаємо дирекційний кут лінії  $d_{1-5}$ , тобто це буде обернений дирекційний кут лінії  $d_{5-1}$ . Із рисунка видно, що між лініями  $d_{1-5}$  і  $d_{1-2}$  відомий кут  $\beta_1$ . Щоб отримати дирекційний кут лінії  $d_{1-2}$  достатньо лінію точкового пунктиру повернути за вказаною стрілкою на рисунку так, щоб вона співпала з лінією  $d_{1-2}$ . Якщо лінію точкового пунктиру повертати за годинниковою стрілкою на відповідний кут, то його необхідно додати, а коли її повертають проти годинникової стрілки то цей кут слід відняти.

На основі вище приведеної інформації можна стверджувати, якщо відомі в геометричній фігурі праві кути по ходу, то обчислення дирекційних кутів виконують за наступними формулами

$$\begin{aligned}
 \alpha_{1-2} &= \alpha_n \pm 180^0 - \beta_1; \\
 \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} \pm 180^0 - \beta_2; \\
 \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} \pm 180^0 - \beta_3; \\
 \alpha_{4-5} &= \alpha_{3-4} \pm 180^0 - \beta_4; \\
 &\text{Контроль} \\
 \alpha_{5-1} &= \alpha_{4-5} \pm 180^0 - \beta_5.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Якщо в геометричній фігурі відомі ліві кути по ходу, то дирекційні кути сторін фігури обчислюють за формулами

$$\alpha_{1-2} = \alpha_n \pm 180^0 + \beta_1;$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} \pm 180^\circ + \beta_2; \\
\alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} \pm 180^\circ + \beta_3; \\
\alpha_{4-5} &= \alpha_{3-4} \pm 180^\circ + \beta_4. \\
&\text{Контроль} \\
\alpha_{5-1} &= \alpha_{4-5} \pm 180^\circ + \beta_5.
\end{aligned}
\tag{16}$$

## РОЗДІЛ 4

### ЗОБРАЖЕННЯ МІСЦЕВОСТІ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ

#### 4.1. Основні форми рельєфу місцевості

Комплексним вивченням природних умов будівництва і експлуатації інженерних споруд займається інженерна геологія. Однак, в рамках інженерно-геологічних вишукувань, дані про рельєф, його будову, походження і динаміку займають значне місце про правомірність геоморфологічного обґрунтування будівництва.

*Сукупність нерівностей поверхні Землі називається рельєфом місцевості.* Рельєф місцевості значно впливає на життєдіяльність людини. При проектуванні і будівництві доріг, каналів, гідротехнічних споруд, ліній електропередач та інших об'єктів народного господарства необхідно враховувати характер рельєфу місцевості,

Слід відзначити, що точне зображення рельєфу місцевості на топографічних планах або картах неможливо без знання закономірностей його походження і розвитку. Вона розглядається такою наукою як морфологія. Тому в даному розділі ми знайомимо читача із суттю способу зображення рельєфу на топографічних картах з геоморфологічної точки зору. Для досконалого вивчення рельєфу його поділяють на п'ять основних форм (рис.25).

1. Гора. Це підвищення над навколишньою місцевістю конусоподібної форми рельєфу. Найвища точка її називається вершиною. Бокова поверхня гори складається із скатів. Лінія яка зливається з навколишньою місцевістю називається підшовою або основою гори. Інколи на скаті гори утворена горизонтальна ділянка, яку називають уступом. При висоті гори до 200 м її називають горб (пагорбок).

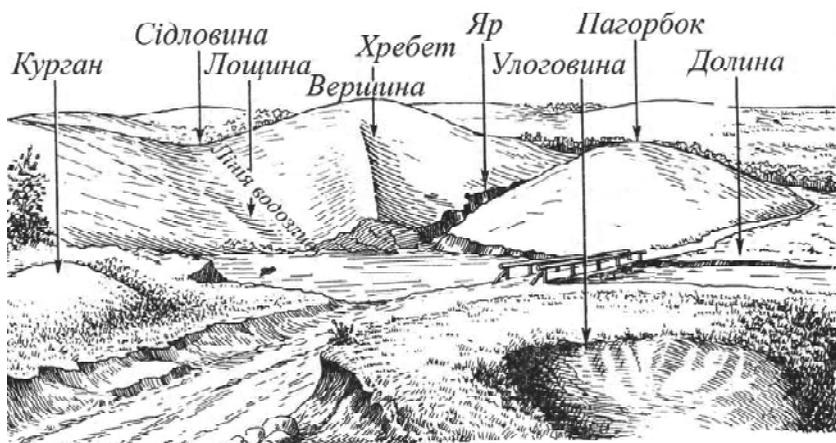


Рис. 25. Основні форми рельєфу

2. Улоговина. Замкнене заглиблення земної поверхні називається улоговиною. Сама низька точка улоговини називається дном. Бокова поверхня улоговини складається із схилів, які у верхній частині улоговини закінчуються бровкою. Невеликі улоговини, які мають незначні заглиблення і плоске дно, називаються блюдцями або западинами.

3. Хребет. Витягнуте підвищення земної поверхні, яка поступово знижується в одному напрямку називається хребтом. Лінія вздовж хребта, яка проходить по самих високих точках, утворює вододіл.

4. Лощина. Витягнуте заглиблення земної поверхні, яке поступово понижається в одному напрямку називається лощиною. Лінія вздовж лощини, яка проходить по самих низьких точкам, створює водостік або тальвег.

5. Сідловина. Понижена частина місцевості між двома сусідніми підвищеннями називається сідловиною. Сідловини в гірській місцевості називаються перевалами.

## 4.2. Зображення рельєфу місцевості горизонталями

Зображення рельєфу на топографічній карті має велике значення для вирішення будь-яких задач народного господарства країни. До зображення рельєфу місцевості на топографічних картах висувається ряд суттєвих вимог: а) швидке визначення абсолютних висот точок місцевості; б) визначення напрямків схилів та їх крутизну; в) чітке визначення основних форм рельєфу та їх взаємне розташування.

Найбільш достовірним і точним зображенням рельєфу місцевості є спосіб горизонталей, який на сьогодні використовується світовою практикою. *Горизонталлю називається крива, всі точки якої мають однакову висоту.* Горизонталі на топографічній карті проводять через рівні проміжки в лінійній мірі по висоті і цей проміжок називають перерізом рельєфу та позначають малою буквою латинського алфавіту *h*. Горизонталь можна ототожнити з береговою лінією в озері при спокійному стані води в ньому. Горизонталь – це слід кривої лінії простору в ортогональній проекції на площині. Віддаль між горизонталями залежить від крутизни схилів. Чим крутіший схил тим віддаль між горизонталями менша і навпаки чим схил пологіший, тим віддаль між горизонталями більша.

Основною задачею вивчення рельєфу місцевості по карті є ясне і чітке просторове уявлення про його форми. Зображення рельєфу горизонталями не характеризується великою оглядністю. Потрібно мати добре розвинуте просторове уявлення, щоб по горизонталях об'ємно уявити рельєф місцевості.

Схили крутих і пологих форм рельєфу можуть мати в профілі саму різноманітну форму: рівнину, випуклу, вигнуту, хвилясту тощо. Але в будь-якій формі рельєфу схили складаються із поєднання трьох елементарних форм: рівнинної, вигнутої і випуклої.

На рис. 26 приведено зображення цих форм в профілі і горизонталями.

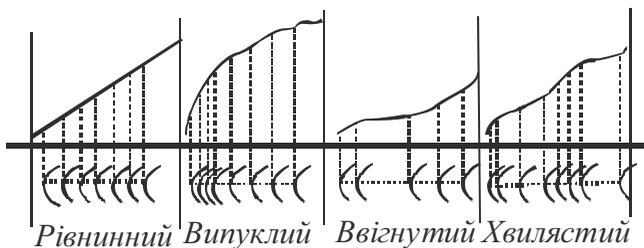


Рис. 26. Зображення схилів різної форми горизонталями

Рівнинні схили зображуються горизонталями з різними закладеннями. У випуклих схилів закладення збільшується догори, в сторону підвищення, а у ввігнутих – в сторону пониження місцевості. Уміння уявляти форму схилів за величиною закладень між горизонталями досягається практикою побудови профілів місцевості за топографічним планом або картою.

На рис.26 приведено зображення горизонталями основних форм рельєфу місцевості. Із рисунка видно, що зображення гори і улоговини та хребта і лощини між собою подібні. Щоб розрізнити їх один від одного біля деяких горизонталей ставлять *бергштрихи* – риски величиною  $0,5 \text{ мм}$  перпендикулярні горизонталі, які вказують напрямок схилу.

Кожну п'яту горизонталь, висоти яких кратні цілим метрам на топографічному плані проводять подвійною товщиною  $0,2 \text{ мм}$  і підписують. Для підпису горизонталей розривають і в місці розриву пишуть її висоту так, щоб верх цифри був розташований в сторону збільшення. Таким чином за підписом числа висоти горизонталі визначають напрямок підвищення. За відомою висотою одної горизонталі і вказаного перерізу рельєфу визначають висоти будь-яких горизонталей. На всіх топографічних планах і картах обов'язково внизу посередині пишуть числовий масштаб, а під ним симетрично до нього пишуть "Суцільні горизонталі проведені через  $0,5 \text{ метрів}$ ".

### 4.3. Проведення горизонталей за висотами точок

При топографічному зніманні місцевості встановлюють рейку в характерних точках рельєфу і визначають їх полярні координати та висоту. Визначені висоти точок на плані або карті підписують і відстані між сусідніми висотами інтерполюють та визначають місце проходження горизонталі з відповідною висотою (рис. 27).

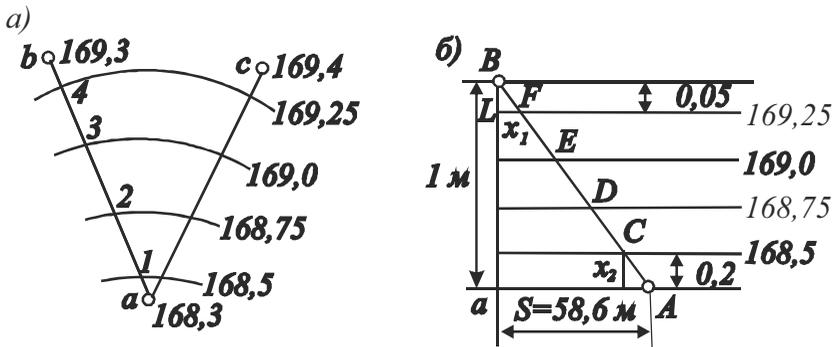


Рис. 27. Інтерполювання горизонталей

Інтерполювання горизонталей виконують наступним чином. На рис. 27, а топографічного плану існують точки  $a$  з висотою  $168,3$  м та  $b$  з висотою  $169,3$  м. Необхідно провести між ними горизонталі з висотою перерізу рельєфу  $h = 0,25$  м. Для вирішення цієї задачі роблять мітки на лінії між цими точками де повинна пройти горизонталь при допомозі гострого кінчика олівця. Нанесення міток за таким принципом називають інтерполюванням горизонталей.

*Інтерполювання горизонталей можна проводити між двома точками тільки на одному схилі.*

На рис. 27, б точки скату  $A$  і  $B$  відповідають точкам  $a$  і  $b$  карти. По висотах точок  $A$  і  $B$  і заданому перерізу рельєфу  $h$  видно, що між ними слід провести горизонталі з висотами  $168,5$  м,  $168,75$  м,

169,0 м та 169,25 м. Із подібності трикутників  $BaA$  і  $BLF$  випливає

$$\frac{LF}{aA} = \frac{BL}{aB}, \quad (17)$$

де  $aA$  – віддаль між точками на місцевості;  $aB$  – різниця висот точок  $a$  і  $B$  ( $H_B - H_a = 1, \text{ м}$ );  $BL$  – різниця висот точок  $B$  і  $L$  ( $H_B - H_L = 0,05 \text{ м}$ ). Підставимо дані значення в формулу (17), отримаємо  $x_1 = (58,6 \times 0,05) : 1 = 2,93 \text{ м}$ . Відклавши від точки  $b$  в масштабі карти 2,93 м, отримаємо точку  $F$ . Аналогічним шляхом отримаємо віддаль  $aC = x_2 = (58,6 \times 0,2) : 1 = 11,72 \text{ м}$ .

Приведене числове інтерполювання горизонталей є надто складним і трудомістким. Значно скоріше і з необхідною точністю можна виконати графічне інтерполювання при допомозі палетки. Палетка виготовляється досить швидко. Викреслюють на прозорому папері або плівці паралельні лінії на однаковій віддалі одна від одної, приблизно 0,5 – 1,0 см (рис.28). Виходячи із відомих висот точок і перерізу рельєфу, виконують підпис висот кожної лінії палетки. Висоти між підписаними паралельними лініями інтерполюють на око, тобто визначають десяті перерізу рельєфу. Користуються палеткою наступним чином. Палетку накладають на точки  $a$  і  $b$  так, щоб висоти їх відповідали відповідному положенню на палетці. На перетині лінії між точками  $a$  і  $b$  з лініями палетки роблять укол

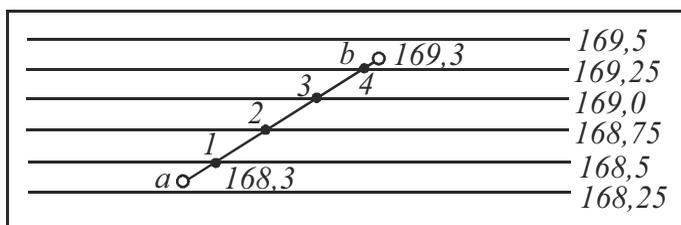


Рис. 28. Палетка

голкою та отримують точки 1, 2, 3 і 4. Після цього переходять до

наступних пар точок та аналогічно виконують інтерполювання. Горизонталі проводять шляхом з'єднання кривою лінією міток з однаковими висотами м'яким олівцем. Коли з'єднання міток з однаковою висотою виконано, то приступають до укладення горизонталей. При цьому слідкують, щоб не було гострих поворотів горизонталей та дотримуються, щоб вони були якомога паралельніші між собою.

Досвідчені виконавці інтерполювання горизонталей виконують графічно на око під час знімання місцевості або в камеральних умовах. Слід пам'ятати, що інтерполювання горизонталей не потрібно ототожнювати з замальовкою рельєфу. Рельєф зображений горизонталями повинен віддзеркалювати закономірності його розвитку і геоморфологічні особливості.

#### 4.4. Крутизна схилу і масштаб закладень

В результаті нерівності земної поверхні при проведенні горизонталей на топографічному плані або карті відстань між ними буде неоднакова. Це говорить про те, що відбувається зміна схилів за своєю крутизною. Чим менша відстань між горизонталями тим крутизна більша і навпаки.

Розглянемо частину схилу між двома сусідніми горизонталями, зображеними на топографічному плані або карті (рис. 29).

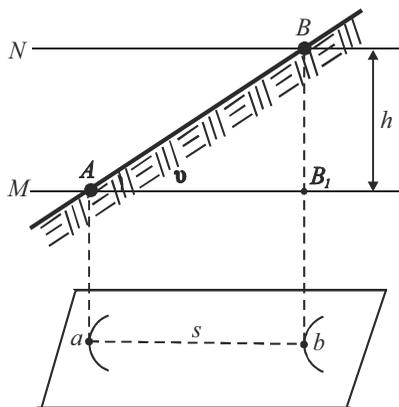


Рис. 29. Крутизна і закладення

Через точки  $A$  і  $B$  проведемо рівневі поверхні  $M$  і  $N$ . Крутизну лінії  $AB$  на місцевості можна характеризувати вертикальним кутом  $v$ . Кут  $v$  можна визначити за формулою

$$v = \arctg \frac{h}{s}, \quad (18)$$

де  $h$  – переріз рельєфу;  $s$  – горизонтальне прокладення лінії  $AB$ , яке називається закладенням.

Із формули (18) видно, що чим менше закладення між горизонталями тим більша крутизна схилу і навпаки. Напрямок схилу нормальний (перпендикулярний) до горизонталі.

Крутизна лінії місцевості може визначатися ухилом  $i$ , який можна визначити за формулою

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{s}. \quad (19)$$

Ухил лінії можна виражати в тисячних ( $i = 0,0035$ ) по формулі (19), в відсотках (0,35%) і промілях (3,5‰). Проміля – це тисячні долі одиниці.

Крутизну ліній місцевості за топографічною картою можна визначати при допомозі спеціальних графіків, які називають масштабом закладень.

Масштаб закладень для кутів ухилу будують за результатами обчислень за наступною формулою

$$s = h \times \operatorname{ctg} v \quad (20)$$

Закладення  $s$  обчислюють за формулою (20) якщо задатися необхідними кутами ухилу  $v$  і певним перерізом рельєфу  $h$ . Для побудови масштабу закладень на аркуші паперу наносять лінію

*AB*. Дану лінію ділять на рівні відрізки, які називають основою масштабу закладень, і в точках поділу встановлюють перпендикуляри та відкладають на них в масштабі карти закладення  $s$  і підписують під ними кути ухилу (рис.30) .

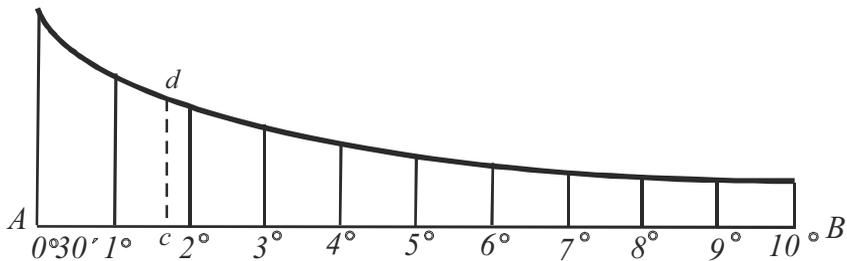


Рис. 30. Масштаб закладень для кутів ухилу

Аналогічно будують масштаби закладень для ухилів в тисячних, процентах і промілях. Таким чином масштаб закладень будують для конкретного масштабу і перерізу рельєфу.

#### 4.5. Обґрунтування висоти перерізу рельєфу

При побудові топографічних планів або карт важливе значення приділяється зображенню рельєфу місцевості. Детальність зображення рельєфу залежить від об'єкту, проектування. Так, для проектування полів рисових чеків із зрошенням заливним способом, необхідно рельєф деталізувати якомога точніше. Тому для таких робіт виконують топографічне знімання місцевості в масштабі  $1:5000$  з перерізом рельєфу через  $0,25$  м. Чим менший переріз рельєфу, тим точніше і детальніше зображують його на топографічних планах або картах. Проте при цьому збільшується число горизонталей (збільшується навантаження плану або карти), а віддалі між ними зменшуються. Окрім цього віддалі між горизонталями залежать від крутизни схилів і масштабу карти. Прийнято зображати горизонталями схили крутизна яких не перевищує  $45^\circ$ . Зображення на картах рельєфу крутизна, яких

більша  $45^\circ$  виконується при допомозі спеціальних умовних знаків.

Для того, щоб проведені горизонталі на карті не зливалися, їх проводять, коли закладення між ними становить не менше  $0,2 \text{ мм}$  на плані. На місцевості цьому відповідає максимальне закладення схилу  $s = 0,2 \text{ мм} \times M$ , де  $M$  – знаменник числового масштабу карти. Якщо в формулу (19) підставити максимальні значення кута нахилу і закладення горизонталей, то отримаємо

$$h = s_{\min} \times \operatorname{tg} \nu_{\max} . \quad (21)$$

Підставимо в формулу (21) замість  $s = 0,2 \text{ мм}$  і  $\nu = 45^\circ$ , то отримаємо

$$h = 0,2 \text{ мм} \times M. \quad (22)$$

За формулою (22) обчислюють висоту перерізу рельєфу, який називають нормальним.

Так, нормальний переріз рельєфу становить для наступних масштабів

$1:5000$ .....	$h = 1 \text{ м}$
$1:10\ 000$ .....	$h = 2 \text{ м}$
$1:25\ 000$ .....	$h = 5 \text{ м}$
$1:50\ 000$ .....	$h = 10 \text{ м}$
$1:100\ 000$ .....	$h = 20 \text{ м}$

На територіях місцевості де ухил рельєфу не перевищує  $6^\circ$ , на топографічних картах переріз рельєфу приймається в залежності від його характеру і вимог замовника.

Коли виразити рельєф горизонталями прийнятого перерізу неможливо, то його показують півгоризонталями і четверть горизонталями. Такі горизонталі проводяться пунктирною лінією відповідно через половину і четверту частину прийнятого на карті перерізу рельєфу. На рис.31 приведений приклад, коли півгоризонталями виражений мікрорельєф місцевості, який неможливо виразити основним перерізом.

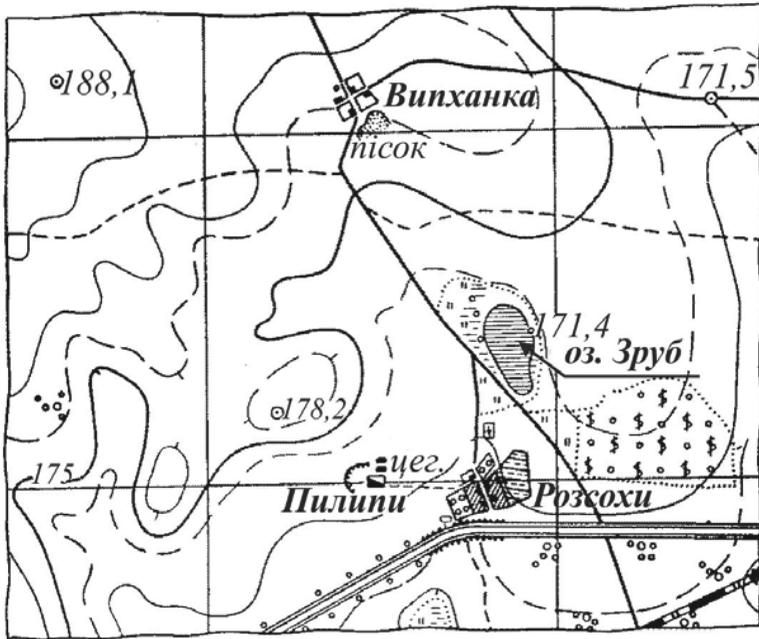


Рис. 31. Зображення мікрорельєфу півгоризонталями

Для полегшення читання топографічної карти, де зображена велика кількість горизонталей, проводять потовщені горизонталі. При висотах перерізу рельєфу в 1, 5, 10, 20 і 40 м прийнято потовщувати кожну п'яту горизонталь з висотами кратними відповідно: 5, 25, 50, 100 і 200 м. При перерізі рельєфу в 2,5 м потовщують кожну четверту горизонталь з висотами кратними 10 м.

#### 4.6. Розв'язання задач за топографічною картою

**Задача 1.** Визначення висоти горизонталі, коли відома висота точки і переріз рельєфу (рис. 32).

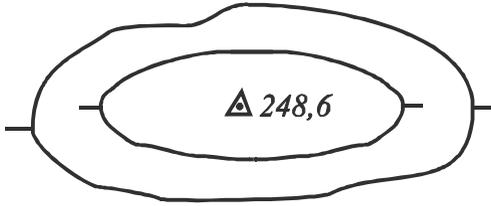


Рис. 32. Визначення висоти горизонталі  $h=2,5$  м

Задачу можна вирішити, якщо задовольняються наступні умови:

– висота горизонталі повинна бути кратною висоті січення рельєфу;

– різниця між висотою даної точки і висотою найближчої до неї горизонталі повинна бути меншою висоти перерізу рельєфу (або рівна їй).

Очевидно, що висота найближчої горизонталі до висоти  $248,6$  м буде висота  $247,5$  м тому, що вона задовольняє вище поставленим умовам. Якщо допустити, що її висота рівна  $245,00$  м, то перша умова виконується, а друга ні.

**Задача 2.** Визначення висот точок за горизонталями карти.

– Висота точки, яка знаходиться на горизонталі дорівнює висоті горизонталі.

– Якщо точка, яка розташована між горизонталями з різними висотами, то її висота визначається інтерполяванням на око.

На рис.33 приведений фрагмент карти масштабу  $1:25\ 000$  з перерізом рельєфу  $5$  м. Необхідно визначити висоту точки  $k$ , яка розташована між горизонталями з висотами  $185$  м і  $190$  м. Очевидно її висота буде більшою  $185$  м, але меншою  $190$  м. В цьому випадку визначають, на якій частині відстані між горизонталями знаходиться точка  $k$ , наприклад, від горизонталі з висотою  $185$  м. Нехай в нашому випадку точка  $k$  розташована на середині між горизонталями, тобто, віддаль  $tk = 0,5$  тф. Значить висота точки  $k$  буде більшою від висоти  $185$  м на  $0,5 h$ , тобто на  $2,5$  м. Тоді  $H_k = 187,5$  м. Аналогічно

визначають висоту точки  $g$  розташовану між горизонталями з висотами  $160\text{ м}$  і  $165\text{ м}$  (рис.33). В цьому випадку відрізок  $ng = 0,8\text{ м}$ , тоді  $H_g = 160\text{ м} + 0,8h = 164\text{ м}$ .

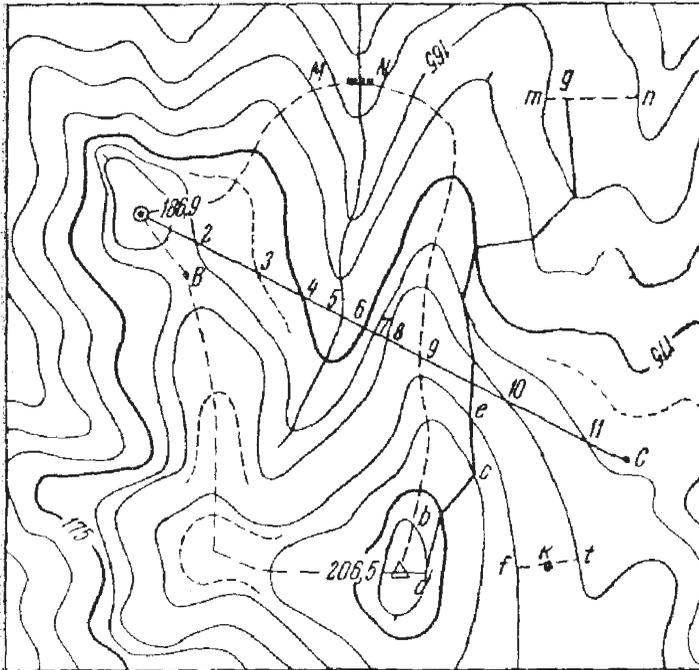


Рис. 33. Рішення інженерних задач по карті

Коли точка розташована між горизонталями з однаковими висотами, або в середині замкнутої горизонталі, то її висоту можна визначити наближено тому, що вона буде більшою або меншою висоти цієї горизонталі на  $0,5 h$  ( $H_g, H_b \approx 182,5\text{ м}$ ).

**Задача 3.** Побудова профілю місцевості за заданим напрямком на карті. Потрібно побудувати профіль місцевості за лінією між точками  $186,9$  і  $C$  (рис.33). Для цього прикладають аркуш паперу за лінією зрізу до точок на карті відповідно  $186,9$  і  $C$ , та при допомозі олівця на папері намічають точки напроти перетину горизонталей з лінією зрізу. Аркуш паперу з відміченими горизонталями

прикладають до викресленої лінії на креслярському аркуші паперу і переносять на неї відмічені точки та нумерують 1, 2, 3, ..., 11. Дана лінія перетинає горизонталі і характерні точки та лінії рельєфу. Наприклад, точка 5 фіксує річку, точка 9 фіксує лінію вододілу (рис.33). Побудована лінія в нашому випадку називається основою профілю. В намічених точках основи профілю встановлюють перпендикуляри і відкладають на них в масштабі висоти визначенні графічно за картою. Вершини перпендикулярів з'єднують між собою прямими лініями і отримують профіль.

Щоб профіль був виразним, то вертикальний масштаб приймають в 10 разів більшим (крупнішим) масштабу карти, і для зменшення його висоти основу профілю приймають за умовний горизонт з такою висотою, щоб сам профіль розташувався вище умовного горизонту на 3 - 4 см (рис. 34).

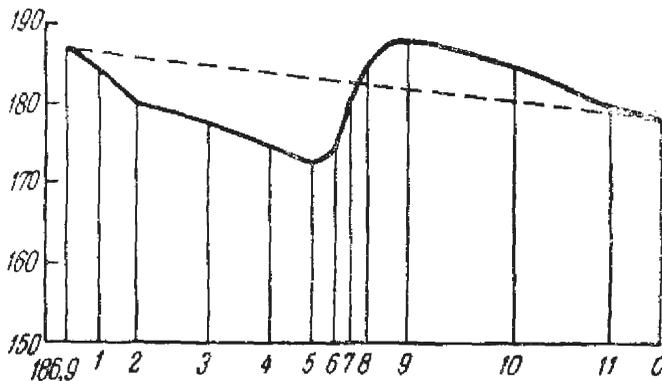


Рис. 34. Профіль за заданим напрямком на карті

При допомозі профілю можна вирішати певні задачі. Наприклад, з'ясовують про те, чи є пряма видимість між крайніми точками місцевості. В цьому випадку ці точки з'єднують прямою лінією, якщо вона не перетинає лінію профілю, то пряма видимість існує, а при перетині вона відсутня. Завдяки профілю можна визначити на яку висоту слід піднятися при відсутності видимості,

щоб встановити пряму видимість між точками.

**Задача 4.** *Проведення на карті лінії з заданим ухилом.* Потрібно побудувати лінію з заданим ухилом 25‰ від точки 206,5 м до точки  $g$  (рис. 33). Таку лінію будують наступним чином. Ухил між точками 206,5 м і  $d$  обчислюють за формулою (19). Після цього набирають його вимірником на масштабі закладень карти, та ставлять одну ніжку вимірника в точку 206,5 м і повертають його так, щоб друга ніжка вимірника співпала з горизонталлю і помічають точку  $d$ . В подальшому на масштабі закладень карти при допомозі вимірника набирають величину ухилу рівного заданому (25‰) і одну ніжку вимірника ставлять на горизонталь в точці  $d$  і повертають вимірник так, щоб друга його ніжка співпала з наступною горизонталлю в точці  $b$ . Не міняючи розхилу вимірника таким же чином знаходять точку  $c$ ,  $e$  і т.д. Щоб потрапити в точку  $g$ , необхідно обчислити ухил між горизонталлю 165 м і точкою  $g$  та за відомою методикою зробити відповідну помітку. Після цього всі помітки з'єднують прямими лініями. Дана ламана і буде лінією побудованою за заданим ухилом.

Розглянута задача має декілька варіантів, з яких вибирають найбільш привабливий.

**Задача 5.** *Визначення границі площі водозбору.* На річці побудована гребля  $MN$  (рис. 33). Необхідно намітити на топографічній карті границю площі водозбору (басейну греблі). Така границя проходить по найближчих до річки лініях вододілів і опускається до греблі за напрямком схилів, розташованих з обох сторін (на карті позначена пунктирною лінією).

Площу басейну визначають за картою одним із відомих способів, які будуть розглянуті нижче. За допомогою відомої площі можна підрахувати потужність річки, необхідної для розрахунків штучних споруд: греблі, дамби, мостів, водостічних труб тощо.

#### 4.7. Умовні знаки на топографічних картах

Топографічна карта є надійним способом збереження інформації про існуючий стан споруд і ситуації даної місцевості. Для того, щоб не перевантажувати карту відповідною інформацією,

то споруди і ситуацію на картах зображають умовними знаками. Такі знаки повинні сприяти легкому читанню карти і давати ясне уявлення про насиченість ситуацією місцевості. Тому вони повинні бути наглядними і відображати характер зображених предметів, та бути єдиними для всіх топографічних карт.

Умовні знаки поділяють на три основних групи: контурні, немасштабні і пояснюючі.

*Контурні* умовні знаки використовують для зображення місцевих предметів, які вираженні в масштабі карти і зберігають подібність контурів предметів та їх орієнтування (рис.35).

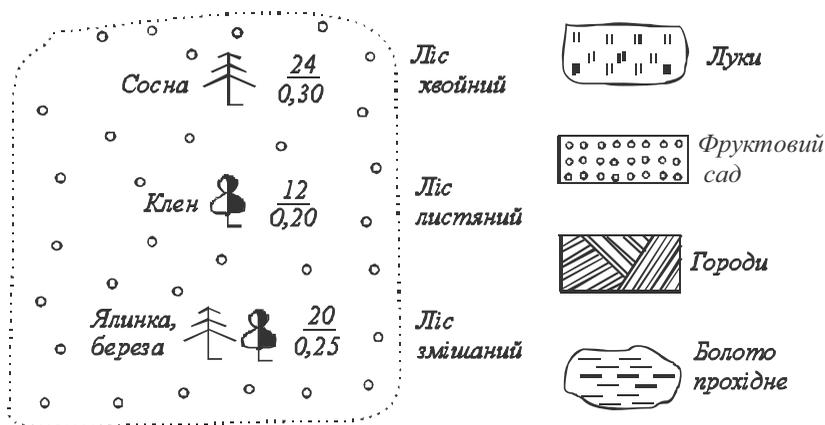


Рис.35. Контурні умовні знаки

*Немасштабні* умовні знаки це знаки, які не зображуються в масштабі карти (рис.36).

За цими знаками неможливо визначити істинні розміри існуючих предметів. Немасштабні умовні знаки наносять на карту за відповідними координатами. Кожен знак має точку, яка відповідає положенню предмета на місцевості. В одних знаках вона розташована в центрі знака (пункти триангуляції, колодязі, склади мастил, заводи і фабрики без труб і т.д.); в інших така точка розташована в середині основи (млини вітряні, дерев'яні і кам'яні, пам'ятники тощо); у

вершині прямого кута в основі знака; (кілометрові стовпи, покажчик доріг вітряні двигуни тощо); в центрі нижньої частини знака (заводи з трубами, радіоантени, будівлі баштового типу тощо).

	<i>Пункт триангуляції</i>		<i>Кілометровий стовп</i>
	<i>Вітряні млини дерев'яні</i>		<i>Колодязі</i>
	<i>Мастильні склади</i>		<i>Радіоантени</i>
	<i>Покажчик доріг</i>		<i>Заводи і фабрики без труб</i>
	<i>Заводи і фабрики з трубами</i>		

Рис. 36. Немасштабні умовні знаки

Зустрічаються умовні знаки, які на топографічних планах крупного масштабу зображаються контурним умовним знаком, а на картах мілкового масштабу зображаються немасштабним умовним знаком.

Існують об'єкти, споруди, види ситуації, які мають велику протяжність і малу ширину (залізниці і автомобільні дороги, річки та їх притоки, границі, огорожі тощо). На топографічних планах або картах довжина зображується в масштабі, а ширина не в масштабі. Такі умовні знаки інколи виділяють в окрему групу і називають лінійними умовними знаками.

*Пояснюючі* умовні знаки використовують для додаткової характеристики зображених предметів місцевості на карті. Наприклад, ширина і матеріал дорожнього покриття, довжина і тонажність мостів, число дворів в населеному пункті, глибина і характер ґрунту броду, напрямок і швидкість течії річки, знаки порід лісу. Різноманітні написи на картах також відносяться до пояснюючих знаків, кожен з яких виконується встановленим

шрифтом і буквами певного розміру.

Топографічні карти видаються в кольорі. Об'єкти гідрографії зафарбовані голубим кольором (моря, озера, річки, джерела, заболочені міста), рослинність - зеленим, шосейні дороги - червоним, покращенні дороги - жовтим, рельєф - коричневим кольором. Фарбування споріднених об'єктів на картах в різні кольори значно полегшує її читання.

Відомо, що схили крутизна яких перевищує  $45^\circ$  на картах зображують спеціально встановленим умовним знаком (рис. 37). Такий вид ситуації, як промоїни, яри, тераси, балки, скали, піски та інші елементи рельєфу не виражаються горизонталями, а їх зображують відповідним умовним знаком. Інколи ці умовні знаки застосовують разом з горизонталями. Наприклад, схили обривистих ярів зображають зубчиками, а по дну проводять горизонталі. Часто зустрічаються види рельєфу, які не можуть зображатися горизонталями (кургани, ями, каміння, карстові ями і т. ін.). Такі елементи рельєфу зображують на картах встановленими немасштабними умовними знаками (рис. 37).



Рис. 37. Встановлені немасштабні умовні знаки

Умовні знаки це норма, якої зобов'язані дотримуватися всі виконавці, а тому видані таблиці умовних знаків є обов'язковими для всіх установ, які займаються створенням топографічних карт.

## РОЗДІЛ 5

### МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

#### 5.1. Введення в теорію похибок

При самих якісних багатократних вимірюваннях однієї і тієї ж величини окремі результати дещо відрізняються між собою в ту чи іншу сторону від її дійсної величини. Все це відбувається через те, що процес вимірювання неминуче супроводжується похибками. Під похибкою результату виміру  $\ell$  розуміють різницю між цим результатом і точним (істинним) значенням  $X$  величини яку вимірюють, тобто

$$\ell - X = \Delta. \quad (23)$$

Вимірюючи будь-яку фізичну величину, ми не розраховуємо отримати її істинне значення. Все ж таки нам необхідно вказати, наскільки отриманий результат є близьким до істинного значення, тобто необхідно вказати точність вимірювання. Тому доцільно разом з отриманим результатом вказати наближену похибку вимірювання. Наприклад, ми виміряли сталюю стрічкою довжину лінії  $AB$ , і отримали  $d_{AB} = 256,46$  м. Відомо, що вимірювання виконані з відносною точністю  $1:2000$ . Для визначення числового значення похибки виконують обчислення за формулою

$$m_d = \frac{d_{AB}}{M} = \frac{256,46}{2000} = 0,128 \approx 0,13 \text{ м}, \quad (24)$$

де  $M$  – граничний знаменник відносної похибки для виконання технічних робіт. Виміряну довжину лінії  $AB$  можна записати

$$256,56 \pm 0,13 \text{ м}. \quad (25)$$

Даний вираз означає, що виміряна довжина лінії  $AB$  знаходиться в межах

$$256,43 \leq 256,56 \geq 256,69. \quad (26)$$

В дійсності рівняння (26) має ймовірний сенс. Ми не можемо впевнено стверджувати, що дана величина лежить в зазначених межах, але наші вимірювання показують, що є деяка ймовірність цього.

Визначати похибки необхідно тому, що не знаючи їх, не можна зробити відповідних висновків із проведених вимірювань. Отримані результати вимірів публікуються і стають загальним надбанням. Кожен може користуватися ними, як йому завгодно. Одні можуть використовувати його в розрахунках для практичної мети, інші – для перевірки теоретичних доведень. Якщо на основі отриманого результату роблять висновки, то важливо знати, в якій мірі можна на них покластися. Все це необхідне для того, щоб можна було відповісти на подібні запитання. Тому виконавець зобов'язаний вказати величину похибки вимірювання.

Можна подумати, що будь-які вимірювання слід проводити якомога точніше, але такий підхід був би неправильним. Тому важливо планувати і виконувати вимірювання так, щоб точність кінцевих результатів відповідала їх меті. Таким чином поняття похибки вимірювання відіграє далеко не другорядну роль при вимірюваннях. Воно має пряме відношення до таких питань, як мета виміру, його метод і значимість та результативність.

## **5.2. Види похибок вимірювання**

Під час геодезичних вимірювань виникають похибки від яких залежить точність отриманих результатів. Відомо, що точність вимірювань повинна бути пов'язана із граничними допусками передбаченими існуючими інструкціями, тому необхідно знати величини похибок і причини їх походження.

Похибки бувають грубими, випадковими і систематичними.

**Грубі похибки** виникають в результаті промахів при вимірюваннях або при обчисленнях. Теорія похибок вимірювань не розглядає грубі похибки (промахи), виникнення яких пов'язано з порушенням правил експлуатації приладів та некомпетенцією працівників і випадковими описками. Тому грубі похибки повинні повністю виключатися під час виявлення їх шляхом контрольних вимірювань і обчислень.

Так, згідно Інструкції горизонтальний кут, перевищення і віддаль вимірюють два рази, відповідно при *КП* і при *КЛ*, по чорній і червоній сторонах рейки, в прямому і зворотньому напрямках. Вимірювання і обчислення контролюють також шляхом обчислення нев'язки, наприклад, кутової в ходах полігонометрії, нівелірних ходах, в приростах координат і т.д.

**Систематичні похибки** виникають за рахунок одноманітної і безперервної дії спотворення кінцевого результату вимірів в процесі вимірювання. *Систематичною похибкою називається похибка, яка залишається постійною на протязі всієї серії вимірювань.* Інколи систематичні похибки непостійні. Наприклад, рулетка 20-метрова виявилася на 20 см довшою. Все це виникло через те, що під час нанесення ділень на полотно стрічки замість величини 1 м нанесли величину 1,01 м. Тоді,  $20 \times 1,01 \text{ м} = 20,20 \text{ м}$ . Похибка даної рулетки є великою, в цьому випадку слід відмовитися від використання її або кожен раз вводити поправку у виміри. Ось чому виконують компарування мірних приладів. До того ж нерідко в такому процесі вимірювань існують декілька причин появи систематичних похибок і не всі із них вдається вивчити і виявити повністю.

**Випадковими похибками** називають такі, поява яких не залежить від нашої волі. Випадкові похибки при вимірах неминучі і причин при їх виникненні існує декілька та неможливо встановити їх дію. Тому завжди визначають, як впливають вони на кінцевий результат вимірів. Випадкові похибки змінюють свій знак в рівній мірі як на додатній так і на від'ємний. При відсутності систематичних похибок вони служать причиною розподілення

повторних вимірів відносно істинного значення (рис. 38).

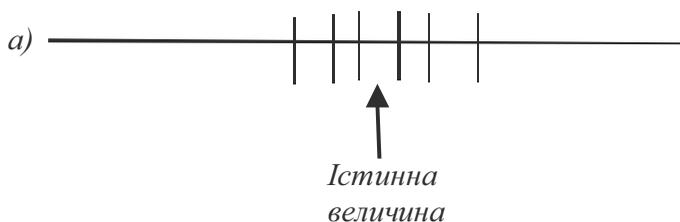


Рис.38. Наявність тільки випадкових похибок

Якщо дана величина буде налічувати і систематичну похибку, то результати вимірів будуть розподілені відносно не істинного, а зміщеного значення (рис. 39).

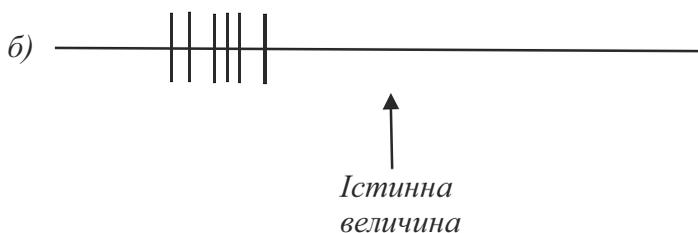


Рис. 39. Наявність не тільки випадкових, але і систематичних похибок

Нехай виміряли лінію багато разів, похибка відліку за штрихом невелика, але нерівномірність зумовлена тим що натяг стрічки не однаковий в усіх вимірах, присутня шерехатість місцевості та зміна температури стрічки під час вимірювань – все це викликає розподілення результатів повторних вимірювань і тому їх відносять до виду випадкових похибок.

Дослідженнями встановлено, що при всіх однакових умовах вимірювань будь-якої однієї величини випадкові похибки мають наступні властивості:

1. За абсолютною своєю величиною вони не будуть

перевищувати будь-якої граничної величини.

2. Чим більша абсолютна величина випадкової похибки, тим рідше вона з'являється в даному ряді вимірів.

3. Похибки із знаком плюс з'являються так же часто, як із знаком мінус.

4. Середнє арифметичне із випадкових похибок на основі третьої властивості, буде необмежено наближатися до нуля із збільшенням числа вимірів даної величини.

На основі цієї властивості випадкових похибок можна стверджувати, що середнє арифметичне із результатів вимірів одної і тої ж величини буде наближатися до істинного значення цієї величини при збільшенні числа вимірів в силу компенсації похибок з різними знаками. Тому вважають, що середнє арифметичне із результатів, навіть невеликого числа вимірів, буде ближче до істинного значення, ніж будь-який окремо взятий результат. На цій основі середнє арифметичне із результатів вимірів прийнято називати ймовірнішим значенням вимірюваної величини, а розходження кожного виміру із середнім арифметичним - ймовірнішою похибкою.

Згідно третьої властивості випадкових похибок вимірювання її можна виразити математично. Так, при вимірюванні  $n$  разів величини  $X$  отримали результати  $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \dots, \ell_n$ , а випадкові похибки цих вимірів становлять відповідно  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$ , то можна це виразити формулою

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} = 0, \quad (27)$$

або

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta_i]}{n} = 0, \quad (28)$$

$$[\Delta_i] = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n. \quad (29)$$

Нехай ми виконуємо серію вимірів одної і тої ж величини без систематичних похибок. Із-за наявності випадкових похибок окремі значення  $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \dots, \ell_n$ , неоднакові, і в якості найкращого значення шуканої величини приймається середнє арифметичне  $x_o$ .

### 5.3. Принцип арифметичної середини

Нехай виміряли  $n$  разів величину  $X$ , то згідно формули (23) можемо записати

$$\begin{aligned} \ell_1 - X &= \Delta_1 \\ \ell_2 - X &= \Delta_2 \\ \ell_3 - X &= \Delta_3 \\ &\dots\dots\dots \\ \ell_n - X &= \Delta_n. \end{aligned} \quad (30)$$

Додамо члени рівняння (30), і суму розділимо на їх число  $n$ , отримаємо

$$\frac{[\ell]}{n} - X = \frac{[\Delta]}{n}. \quad (31)$$

Величина  $\frac{[\ell]}{n}$  називається середнім арифметичним результатів вимірів  $\ell$ , або просто середнім арифметичним, яке позначимо через  $x_o$ . Тоді отримаємо

$$x_o - X = \frac{[\Delta]}{n}. \quad (32)$$

Згідно формули (28)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta_i]}{n} = 0,$$

Тому формула (32) прийме вигляд

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_o = X, \quad (33)$$

тобто, проста арифметична середина прямує до її істинного значення при необмеженому зростанні числа вимірів.

Пояснити це можна приведеними схемами на рис. 40.

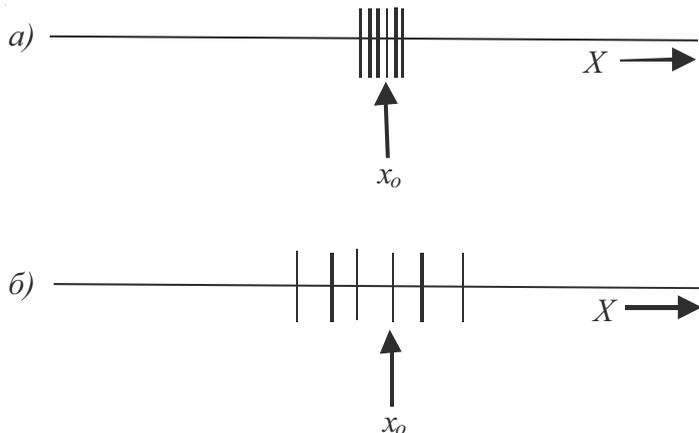


Рис. 40. Результати багаторазових вимірів  
одної і тої ж величини

У випадку, коли величина  $X$  лежить близько до  $x_o$ , то різниця буде малою (рис 40, а), тоді як у випадку представленому на рис.40, б різниця буде великою. Другими словами, чим більше розсіювання результатів, тим більша повинна бути похибка величини  $x_o$ . При цьому вважають, що систематичні похибки відсутні.

#### 5.4. Середня квадратична похибка одного виміру

Карл Фрідріх Гаусс запропонував оцінку точності проведених вимірів в геодезії виконувати за формулою:

$$m = \sqrt{\left[ \frac{\Delta^2}{n} \right]}. \quad (34)$$

Дану похибку К.Ф. Гаусс назвав *середньоквадратичною*.

Середня квадратична похибка є надійним критерієм оцінки точності вимірів. Вона має наступні позитивні властивості.

1. На величину середньої квадратичної похибки сильно впливають великі по абсолютній величині похибки, які по суті і визначають якість виконаних вимірів. Це відбувається тому, що кожна похибка підноситься до квадрату, а їх сума значно зростає за рахунок великих по абсолютній величині похибок.

2. Середня квадратична похибка виявляється стійким критерієм оцінки точності вимірів. Формула (34) передбачає, що число похибок  $n$  прямує до безконечності.

3. По величині середньої квадратичної похибки можна визначити граничну похибку  $\Delta_2$ , яка може бути при даних умовах вимірів. За таким правилом можна визначати граничну похибку, коли похибки вимірів відповідають вище приведеним чотирьом властивостям випадковим похибкам.

При досить великому числі вимірів  $n$ , граничну похибку обчислюють за формулою

$$\Delta_2 \leq 3m. \quad (35)$$

Слід зауважити, що формула (35) значно розширює дію граничної похибки. Тому в технічних інструкціях з виконання геодезичних вимірювань в основному встановлюється більш жорсткіший допуск, тобто

$$\Delta_2 \leq 2m. \quad (36)$$

Інколи для визначення величини граничної похибки використовують формулу

$$\Delta_2 \leq m\sqrt{3}. \quad (37)$$

В деяких випадках доцільно користуватися відносною середньою квадратичною похибкою.

**Відносна похибка** вимірювання дорівнює відношенню абсолютної похибки до істинного або дійсного значення виміряної величини й виражається в частках одиниці. Так, якщо довжина лінії  $d$  виміряна із середньою квадратичною похибкою  $m_d$ , то наглядно точність вимірювань характеризується дробом, тобто

$$\frac{m_d}{d} = \frac{1}{d/m_d} = \frac{1}{M}, \quad (38)$$

де  $M$  – ціле число знаменника.

Відносні похибки зручні для порівняння лінійних характеристик кількох результатів. Справді, порівнюючи абсолютні похибки, важко відразу вирішити, в якому з двох вимірювань отримано вірогідніші результати.

## 5.5. Визначення похибок функцій виміряних величин

На практиці завжди приходиться виконувати оцінку точності не самих виміряних величин, а функцій виміряних величин, наприклад їх суми або різниці, добутку або ділення. Із теорії похибок відомо наступне.

1. *Функція добутку виміряної величини на постійне число.*

$$F = k \times x, \quad (39)$$

де  $x$  – результат виміру;  $k$  – постійне число.

Середня квадратична похибка такого добутку обчислюється за формулою

$$m_F = k \times m_x. \quad (40)$$

2. *Функція суми величин  $x, y, z, \dots, \omega$  (в тому числі і алгебраїчних), виміряних незалежно від другої.*

$$F = x + y - z - \dots - \omega. \quad (41)$$

Тоді

$$m_F^2 = m_x^2 + m_y^2 + m_z^2 + \dots + m_\omega^2,$$

або

$$m_F = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2 + \dots + m_\omega^2}. \quad (42)$$

Якщо похибки рівні між собою  $m_x = m_y = m_z = \dots = m_\omega = m$ , то

$$m_F = m\sqrt{n}, \quad (43)$$

тобто похибка суми однаково точних величин зростає пропорційно кореню квадратному із числа вимірених величин.

3. *Функція добутку незалежно вимірених величин.*

$$F = x \cdot y \cdot \dots \cdot \omega \quad (44)$$

Тоді

$$\left(\frac{m_F}{F}\right)^2 = \left(\frac{m_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{m_y}{y}\right)^2 + \dots + \left(\frac{m_\omega}{\omega}\right)^2 \quad (45)$$

На основі формули (45) видно, що для оцінки точності добутку незалежно вимірених величин необхідно сумувати квадрати не абсолютних, а відносних середніх квадратичних похибок вимірювань.

Приклад. Необхідно обчислити середню квадратичну похибку площі  $F$  прямокутника, сторони якого  $b$  і  $h$  визначені із середніми квадратичними похибками  $m_b$  і  $m_h$ .

$$F = b \times h \quad (46)$$

У випадку, коли  $b = h$ ,  $m_b = m_h = m$ ;

$$\frac{m_F}{F} = \frac{m}{b} \sqrt{2}. \quad (47)$$

## 5.6. Нерівноточні виміри величин

Коли величину вимірюють різними приладами з різною точністю або прийомами, то кінцевий результат буде нерівноточним. При обчисленні середнього значення із нерівноточних результатів враховують вагу кожного результату. Вага – це число, яке характеризує точність будь-якого результату по відношенню до інших результатів. Середнє арифметичне із нерівноточних вимірів називають *загальною арифметичною серединою або середнім ваговим*.

Нехай при вимірюванні лінії отримали  $n$  кінцевих результатів. Отримані результати відрізняються між собою тільки числом вимірів.

$p_1$  раз і отримали середній (кінцевий) результат  $d_1$   
 $p_2$  раз і отримали середній (кінцевий) результат  $d_2$   
 $p_3$  раз і отримали середній (кінцевий) результат  $d_3$   
.....  
 $p_n$  раз і отримали середній (кінцевий) результат  $d_n$

Тоді вагове середнє обчислюють за формулою

$$d_o = \frac{d_1 p_1 + d_2 p_2 + d_3 p_3 + \dots + d_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}. \quad (48)$$

Приклад. Виміряна одна і та ж лінія три, два і чотири рази. Середні значення довжини лінії отримали наступні:

$$d_1 = 234,76; \quad d_2 = 234,70; \quad d_3 = 234,74.$$

Знайти середнє вагове. В довільній формі призначають  $d' = 234,65$ , та обчислюють різниці

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= d' - d_1 = 234,65 - 234,76 = 0,11 \text{ м}; \\ \Delta_1 &= d' - d_1 = 234,65 - 234,70 = 0,05 \text{ м}; \\ \Delta_1 &= d' - d_1 = 234,65 - 234,74 = 0,09 \text{ м}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_o &= d' + \frac{\Delta_1 \times p_1 + \Delta_2 \times p_2 + \Delta_3 \times p_3}{p_1 + p_2 + p_3} = \\ &= 234,65 + \frac{0,11 \times 3 + 0,05 \times 2 + 0,09 \times 4}{3 + 2 + 4} = 234,65 + \frac{0,79}{9} = 234,74 \text{ м}.\end{aligned}$$

Встановлено, що вага виміру обернено пропорційна квадрату середньої квадратичної похибки, тобто

$$p = \frac{1}{m^2}. \quad (49)$$

Загальна вага арифметичної середини дорівнює сумі ваг окремих груп вимірів, тобто

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = [p_i]. \quad (50)$$

При оцінці точності нерівноточних вимірів використовують поняття про середню квадратичну похибку вимірювання, вага якого рівна одиниці

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{n-1}}, \quad (51)$$

де  $\delta$  – відхилення від середнього вагового результату кожної групи вимірів. Наприклад

$$\delta_1 = d_o - d_1; \quad \delta_2 = d_o - d_2; \quad \delta_3 = d_o - d_3; \quad i \text{ т. д.}$$

Середня квадратична похибка середнього вагового обчислюється за формулою

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \pm \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{(n-1)[p]}}. \quad (52)$$

Наприклад, необхідно обчислити середню квадратичну похибку ваги і загальної арифметичної середини за результатами вище приведеного прикладу табл.3.

Таблиця 3

№ групи вимірів	Середній результат вимірів	$p$	$\delta, \text{см}$	$p\delta$	$p\delta^2$
1	234,76	3	-2	-6	12
2	234,70	2	+4	+8	32
3	234,74	4	0	0	0
		9	+2		44

1. Обчислюють середню квадратичну похибку вимірювання

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{44}{8}} = 2,34 \text{ см};$$

2. Обчислюють середню квадратичну похибку середнього вагового

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{2,34}{\sqrt{9}} = \frac{2,34}{3} = 0,8 \text{ см};$$

Кінцевий результат середнього вагового

$$d_o = 234,74 \pm 0,008 \text{ м};$$

Відносна середня квадратична похибка обчислюється за формулою

$$\frac{M}{d_o} = \frac{0,008}{234,74} = \frac{1}{2934}.$$

## 5.7. Оцінка точності за відхиленнями окремих вимірів

Відомо, що істинні значення нам ніколи не відомі, а тому не можуть бути обчисленні випадкові похибки  $\Delta$  за формулою (23) та неможливо обчислити середню квадратичну похибку одного виміру за формулою (34). В таких випадках оцінку точності виконують за відхиленнями  $S$  окремих вимірів від простої арифметичної середини.

Нехай маємо ряд вимірів  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  одної і тої ж величини. Самим надійним значенням є проста арифметична середина  $x_o$ . Знайдемо різниці

$$\begin{aligned} x_o - d_1 &= v_1; \\ x_o - d_2 &= v_2; \\ x_o - d_3 &= v_3; \\ &\dots\dots\dots \\ x_o - d_n &= v_n. \end{aligned} \quad (53)$$

Для встановлення властивостей відхилень  $v_i$  додамо всі ці рівняння та отримаємо

$$nx_o - [d] = [v]. \quad (54)$$

Якщо всі члени формули (54) розділити на  $n$ , то отримаємо

$$x_o = \frac{[d]}{n} \quad i \quad \frac{[v]}{n} = 0. \quad (55)$$

*Сума відхилень окремих результатів вимірів від простої арифметичної середини рівна нулю.*

В теорії похибок вимірів доводиться, що за відхиленнями  $v_i$  можна обчислювати середню квадратичну похибку одного виміру за формулою, яка запропонована німецьким математиком Фрідріхом Вільгельмом Бесселем.

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}. \quad (56)$$

## РОЗДІЛ 6

### ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИН ЛІНІЙ

#### 6.1. Компарування сталеві стрічки

Компарування – це порівнювання сталеві стрічки з наперед відомою мірою-еталоном і визначення її дійсної довжини. Перед початком польових робіт лінійні прилади слід компарувати на відповідних компараторах. Спочатку перевірку стрічки виконують візуально. Тобто візуально встановлюють наявність дефектів, які погіршують зовнішній вигляд і якість нанесення штрихів і підписів (рис. 41). Потім виконують компарування. Мірну стрічку кладуть по всій довжині на еталон так, щоб початок стрічки співпав з початком еталону і натягують стрічку з силою  $98.07H$  ( $10\text{ кгс}$ ). Якщо розходження стрічки з еталоном не перевищують  $2\text{ мм}$ , то робоча стрічка буде правильною. Якщо це розходження більше  $2\text{ мм}$ , то обчислюють поправку за компарування за формулою

$$\Delta L_{\kappa} = L - L_e, \quad (57)$$

де  $L$  і  $L_e$  - відповідно довжини робочі стрічки і еталону в метрах.

Після цього складають рівняння мірної стрічки

$$L = L_o + \Delta L_{\kappa} + \alpha_o(t_0 - t_k), \quad (58)$$

де  $L_o$  – номінальна довжина стрічки (наприклад,  $20\text{ м}$ );  $t_0$  і  $t_k$  – температура стрічки відповідно при вимірюванні лінії і компаруванні;

$\alpha_o = \alpha \times L_o$  - лінійне розширення стрічки при зміні температури на  $1^\circ\text{C}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення, для сталі  $\alpha = 12.5 \times 10^{-6}$ .

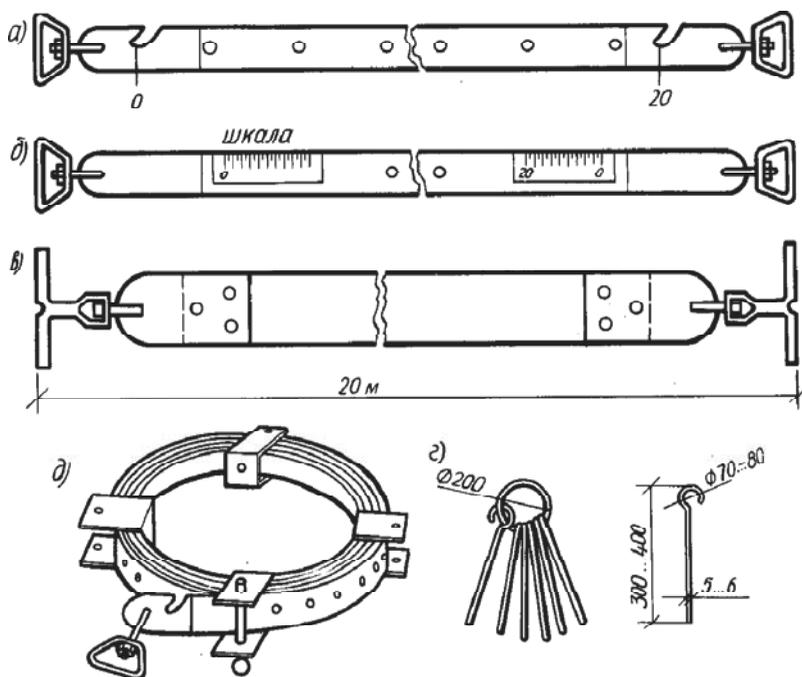


Рис. 41. Мірні сталеві стрічки:  
*а* – штрихова; *б* – шкалова; *в* – кінцева;  
*г* – шпильки; *д* – стрічка на кільці

## 6.2. Вимірювання довжин ліній

Вимірювання довжин ліній сталевую 20-метровою стрічкою або рулеткою відбувається при умові, що вона вкладається послідовно від початкового до кінцевого пункту. Цю роботу виконують два чоловіки. Один з них називається переднім, а другий - заднім мірятьником.

Порядок вимірювань наступний. Задній мірник устромлює в землю шпильку в початковій точці *A* лінії *AB*, стає на коліно, та притримує початок стрічки і зачіплює її вирізом за шпильку. Передній мірник бере інші десять шпильок і йде вперед по лінії *AB*, тримаючи другий кінець стрічки. Задній, продовжує тримати

правою рукою початок стрічки без шпильки, а рухами лівої руки направляє переднього по створу лінії. Передній, дивлячись на сигнали заднього, в створі лінії *AB*, утримує стрічку і слідкує за тим, щоб вона лягла прямо, не зачіплюючись за траву, і з силою  $98,07\text{H}$  ( $10\text{ кг с}$ ) натягує її. Нарешті стрічка лежить в створі лінії *AB*. По сигналу заднього мірника “Є!” передній вставляє шпильку в виріз стрічки проти штриха і устромляє її в землю, потім бере ручку стрічки і іде вперед (рис.42). Задній виймає шпильку в точці *A* і бере за ручку стрічки іде за

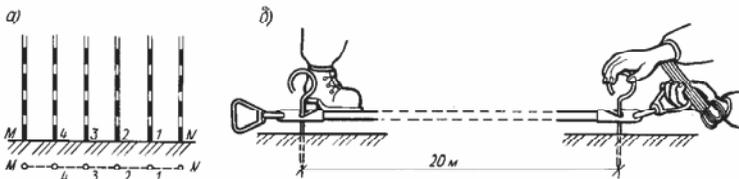


Рис. 42. Вимірювання лінії сталюю стрічкою:  
*a* – провішування лінії; *б* – вимірювання лінії

переднім, підходить до шпильки, яку тільки що устроїв передній, і командує: “Стій!”. Прикладає стрічку вирізом до шпильки і знову направляє переднього мірника по створу лінії *AB*.

Таким чином прокладається одна стрічка за другою вздовж лінії до тих пір, поки всі одинадцять шпильок не будуть у заднього мірника. Потім він передає десять шпильок передньому мірнику. Не важко здогадатися, що це відбувається через кожні  $200\text{м}$ . Коли вся лінія виміряна, задній мірник підходить до точки *B*, причому ще до цього передній мірник повинен протягнути стрічку мимо точки *B*, потім вернутися, прикласти до точки стрічку і подивитись, або як говорять “взяти відлік” на стрічці з точністю до сантиметра. Після цього рахують кількість шпильок у заднього мірника (без шпильки, яка встроєна в землю).

Нехай довжина виміряного відрізка становить  $6\text{ м } 56\text{ см}$ , а в руці заднього мірника дві шпильки і мінявся він шпильками з переднім тільки один раз. Вираховуємо довжину всієї лінії *AB*:  $200\text{ м}$  (одна

передача шпильок) + 40 м (дві шпильки в руках заднього мірника) + 6,56 м (залишок на останній стрічці) дорівнює 246,56 м.

Тепер нам зрозуміло, чому для роботи потрібно мати не десять, а одинадцять шпильок. Одна шпилька завжди устромлена в землю для зберігання безперервного вимірювання, а десятьма шпильками підраховують прокладені стрічки. Причому цей рахунок чисто автоматичний. Необхідно рахувати тільки передачі і задньому мірнику не забувати витягувати шпильки. Якщо акуратно дотримуватися цих вимог, то не буде помилок при визначенні відстаней.

Лінії мірною стрічкою вимірюються в залежності від місцевості з відносною похибкою від 1:1000 до 1:3000. Відносну похибку вираховують за формулою

$$f_{\text{від}} = 1 / (d_n / (d_n - d_{\text{об}})) \quad (59)$$

де  $d_n$  і  $d_{\text{об}}$  - виміряні відстані відповідно прямо і обернено.

Наприклад:  $d_n = 246,56\text{м}$ ;  $d_{\text{об}} = 246,64\text{м}$ .  $f_{\text{від}} = 1 / (246,60 / (246,56 - 246,64)) = 1/3082$ .

**Примітка:** Базиси в триангуляції вимірюють з точністю, відносна похибка яких не повинна бути меншою  $f_{\text{від}} = 1/3000$ .

### 6.3. Визначення відстаней нитковим віддалеміром

Якщо розглянути (рис. 43), то відстань між двома точками, тобто від приладу до рейки, дорівнює

$$D = D' + f + \delta, \quad (60)$$

де  $f$  - фокусна відстань об'єктива,  $m$ ;  $\delta$  - відстань від оптичного центра об'єктива до осі обертання приладу,  $m$ .

За допомогою сітки ниток відстань на рейці  $AB$  можна виразити в поділках рейки, тобто кількість таких поділок дорівнює різниці відліків по верхній (в) і нижній (н) нитках.

$$n = v - n. \quad (61)$$

Відношення  $f/ab$  називають коефіцієнтом ниткового віддалеміра і позначають буквою  $K$ , тоді

$$D' = K \times n. \quad (62)$$

Теодоліт конструюють так щоб  $K=100$ . Це дає змогу полегшити підрахунки при визначенні відстані.

Величини  $\delta$  і  $f$  - постійні, а їх суму позначають через  $C$ , і, як правило, цією величиною нехтують. Якщо врахувати її, то

$$D = K \times n + C. \quad (63)$$

Слід пам'ятати, що точність при вимірюванні відстаней нитковим віддалеміром невелика, а відносна похибка складає:

- а) при сприятливих умовах  $1:300 \dots 1:400$ ;
- б) при несприятливих умовах  $1:100 \dots 1:200$ .

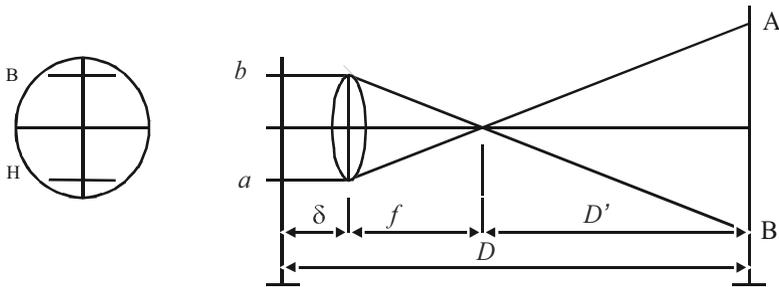


Рис. 43. Хід променів у зоровій трубці

Цей спосіб вимірювання відстаней застосовують тоді, коли необхідно знати її з точністю  $0,5 \dots 2$  м. Чим більша відстань тим більша похибка.

Якщо потрібно визначити горизонтальне прокладення, то використовують формулу

$$d = K \times n \times \cos^2 \nu. \quad (64)$$

#### 6.4. Вимірювання віддалей світловіддалеміром

Вимірювання віддалей світловіддалеміром полягає в тому, що в дійсності вимірюють час за який проходить світло від джерела до відбивача та в зворотньому напрямі. На цій основі побудували прилад, який назвали світловіддалеміром (рис. 44).

Світловіддалемір є джерелом світла і в ньому вмонтований пристрій, який приймає світло від відбивача. В цьому випадку віддаль визначають за формулою

$$D = \frac{vt}{2}, \quad (65)$$

де  $t$  – час поширення світлової хвилі;  $v$  – швидкість поширення світла в атмосфері, яка обчислюється за формулою

$$v = c/n, \quad (66)$$

де  $c$  – швидкість поширення світла у вакуумі,  $c = 299792458 \pm 1,2 \text{ м/с}$ ;  
 $n$  = коефіцієнт заломлення оптичного середовища – атмосфери.

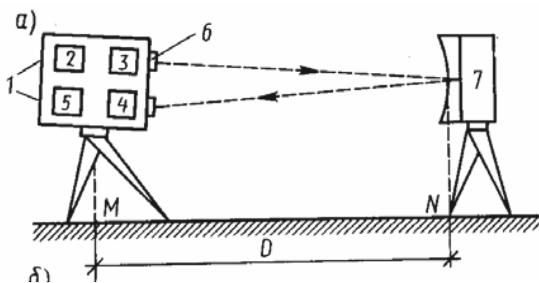


Рис.44. Світловіддалемір

Вимірювання довжин ліній сучасними світловіддалемірами на напівпровідникових лазерах забезпечують високу точність вимірювання ( $\sim 5$  мм), ними можна вимірювати великі віддалі (5 – 15 км) і вони мають малу вагу (2 – 3 кг) та високий рівень автоматизації.

Комплект, який складається із віддалеміра і відбивача, працює на місцевості, а тому атмосферні умови впливають на точність вимірювання ліній. Основними атмосферними факторами, які впливають на точність і довжину вимірюваної лінії є: прозорість атмосфери, ступінь її забруднення, заповишеності, задимлення, турбулентності повітряного шару і т. ін. Туман, опади, димка (коли частинки перевищують 1 мкм) також знижують границі виміру відстаней.

Оскільки світловіддалеміри є в основному переносними польовими приладами, а часто модулями, які встановлюють на теодоліти то зниження ваги, споживання потужності, розширення діапазону робочих температур набуває важливого значення.

Пучок променів, який сформований об'єктивом передаючої системи, направляється до відбивача. Для оптимального використання випромінювання лазера необхідно, щоб відбивач захватив максимальну частину світлового потоку і відбив його назад з найменшими витратами. Відбивачами можуть бути плоскі дзеркала, дзеркально-лінзові системи різних конструкцій і кутові відбивачі, тріпель-призми. Найбільшого розповсюдження набули відбивачі з тріпель – призмами завдяки зручності роботи з ними: малої чутливості до перекосів відносно вимірювання, надійності і т. ін.

Одною з основних експлуатаційних вимог до світловіддалемірів є зменшення ваги і споживання потужності. Мініатюризація електронних блоків, створення малоспоживаючих елементів, мікросхем високого ступеню інтеграції, впровадження мікропроцесорів в схему приладу, дозволили значно скоротити габаритні розміри.

## РОЗДІЛ 7

### БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ ТЕОДОЛІТІВ

#### 7.1. Будова теодоліта Т30

Теодоліти розпізнаються за точністю вимірювання кутів і конструктивним особливостям. Згідно БНіП 10529-86, теодоліти поділяють за точністю у відповідності з середньою квадратичною похибкою вимірювання кута одним прийомом в лабораторних умовах (табл.4).

Таблиця 4

Технічна характеристика теодолітів

Параметри	Тип теодоліта					
	T1	T2	T5	T15	T30	T60
Середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом, <i>сек.</i> : горизонтального	1	2	5	15	30	60
вертикального	1,5	3	12	25	45	-
Збільшення зорової труби	30	25	25	25	18	15
Кут зору, <i>в градусах</i>	1	1,5	1,5	1,5	2	2
Найменша віддаль візування, <i>м</i>	5	2	2	1,5	1,2	1
Коефіцієнт далекоміра	-	100	100	100	100	100
Вага, <i>кг.</i> : теодоліта	11	5	4,5	3,5	2,5	2
комплекту в упаковці	16	9	8,5	6,6	3,5	3,5
Ціна ділення рівня, <i>сек. на 2мм.</i> : при алідаді ГК	10	10	30	45	45	60
при алідаді ВК	10	15	15	-	-	-

Шифр теодоліту має велику букву Т і цифри, які відповідають величині середньої квадратичної похибки вимірювання кута. Наприклад, шифр теодоліта, яким можна виміряти кут одним

прийомом з похибкою 30", пишуть як Т30. БНіП передбачено виготовлення теодолітів із наступним цифрами:

- 1) високоточні – Т05, Т1;
- 2) точні – Т2, Т5;
- 3) технічної точності – Т15, Т30.

За призначенням розпізнають теодоліти: маркшейдерські, проектуючі, кодові, спеціальні і універсальні.

Теодоліт, який має вертикальний круг, пристрій для вимірювання віддалей (віддалемір), сумісне обертання лімба з алідадою і гніздо для закріплення бусолі, називається теодолітом – тахеометром. Деякі типи теодолітів мають накладний рівень, який встановлюється на вісь оберту труби для більш точного приведення її в горизонтальне положення.

Теодоліт Т30 виготовлений у відповідності з ДБНУ 10529-63 і призначений для вимірювання кутів в теодолітних і тахеометричних ходах, а також для виконання розмічувальних робіт при будівництві.

#### Основні оптико-механічні дані теодоліта

1.	Збільшення зорової труби.....	20 <sup>x</sup>
2.	Довжина труби , мм.....	137
3.	Кут поля зору труби, <i>град.</i> .....	2
4.	Діаметр вільного отвору об'єктива, мм.....	29
5.	Найменша віддаль візування, м.....	1,1
6.	Кутова віддаль бісектора сітки ниток, <i>сек.</i> .....	57
7.	Діаметри горизонтального і вертикального кругів мм .....	72
8.	Ціна ділення горизонтального і вертикального кругів <i>мін.</i> .....	10
9.	Похибка відліку за індексом, <i>мін.</i> .....	1
10.	Ціна ділення рівня при алідаді горизонтального круга, <i>сек.</i> .....	46 на 2мм
11.	Вага теодоліта, <i>кг.</i> .....	2,3
12.	Вага металевого футляра, <i>кг.</i> .....	1,1

Загальний вид теодоліта приведений на рис.45. В прямовисне

положення прилад приводиться при допомозі циліндричного рівня 7, для юстування якого є два гвинти 5. Підставка 12 теодоліта жорстко скріплена з дном футляра. Хід піднімальних гвинтів 13 підставки регулюються гайкою. Закріпний 4 і навідний 14 гвинти лімба розташовані в корпусі підставки. Закріпний 6 і навідний 11 гвинти аліади розташовані з однієї сторони теодоліта. Закріпний гвинт 9 зорової труби 1 знаходиться у верхній частині колонки приладу, а навідний гвинт 10 – біля її основи. Для наближеного наведення на ціль на трубі закріплені два оптичних візирі 2. Будь-який із візирів можна зняти, а на його місце прикріпити

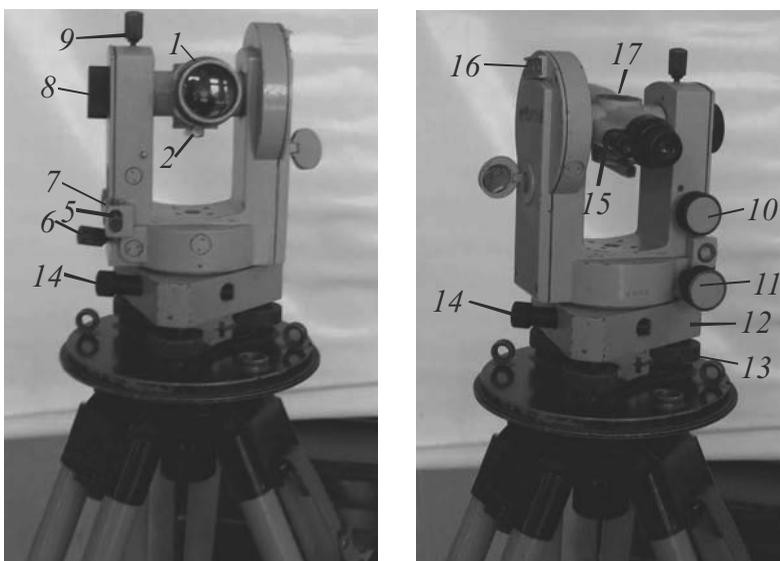


Рис.45. Загальний вид теодоліта Т30

циліндричний рівень 17 з дзеркалом 20 (рис.46). Юстування рівня на трубі виконується гвинтами 18. Зорова труба теодоліта складається із об'єктива 21 (рис.49), фокусуючої лінзи 22, сітки ниток 23 і двокомпонентного окуляра 24. Головка 8 гвинта фокусоної

лінзи (рис.45) розташована на колонці теодоліта. Горизонтальний і вертикальний круги теодоліта скляні. Ділення на них нанесені

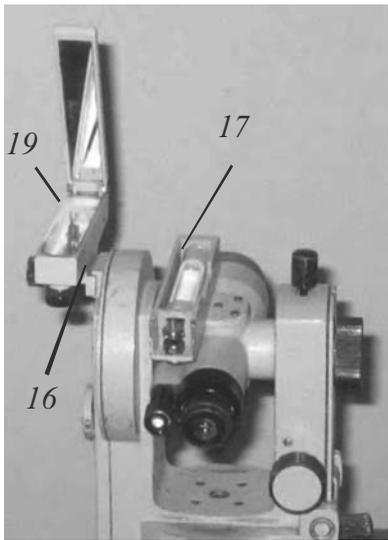


Рис. 46. Верхня частина теодоліта

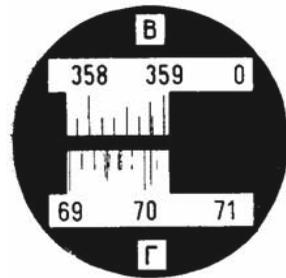


Рис. 47. Поле зору труби

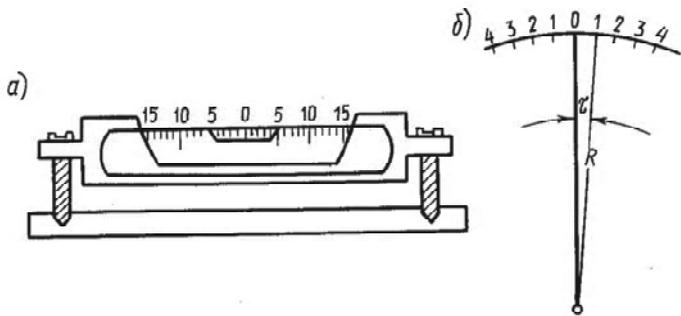


Рис. 48. Циліндричний рівень:  
*a* – будова рівня; *б* – ціна ділення рівня

через  $10'$ , кожне градусне ділення підписано. Відліки по кругах знімають з точністю до  $1'$  за допомогою мікроскопа 15, розташованого поряд з окуляром зорової труби. В полі зору мікроскопа одночасно видно зображення штрихів вертикального

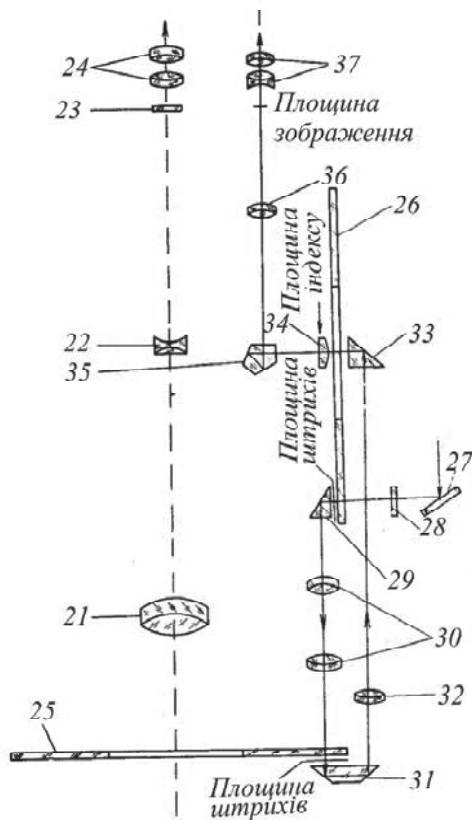


Рис.49. Оптична схема теодоліта Т30

і горизонтального кругів (рис. 47). Для вимірювання з великим ухилом зорової труби, а також для центрування теодоліта

зоровою трубою використовуються насадки на окуляри зорової труби і мікроскопа. На боковій кришці колонки теодоліта є посадочний паз 16 для прикріплення орієнтир - бусолі 19 (рис.46).

Оптична схема теодоліта Т30 одноканальна. Промінь світла, відбившись від дзеркала 27 (рис. 49), через захисне скло 28 освітлює штрихи вертикального круга 26. Зображення штрихів вертикального круга призмою 29 через двокомпонентну лінзу 30 передаються в площину зображення штрихів горизонтального круга 25. В подальшому зображення штрихів обох кругів призмою 31, лінзою 32 і призмою 33 передається в площину колективу 34, на якому нанесений індекс для оцінки долей ділення кругів. Зображення штрихів обох кругів і зображення індексу безпосередньо пентапризми 35 і об'єктиву мікроскопа 36 передаються в площину зображення і розглядаються через окуляр 37 мікроскопа.

Теодоліт укладається у футляр, дно якого одночасно служить основою підставки. Для перенесення теодоліта і розміщення додаткових деталей в основному комплекті крім футляра є чохол з заплічними пасками. В комплект теодоліта Т30 входить розсувний штатив.

## **7.2. Будова теодоліта 2Т30**

Теодоліт 2Т30 розроблений згідно ДБНУ 10529-79 і призначається для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів в теодолітних, тахеометричних ходах, побудови планових і висотних знімальних геодезичних мереж, вимірювання віддалей за допомогою ниткового віддалеміра зорової труби, визначення магнітних азимутів за допомогою бусолі, а також для нівелювання горизонтальним променем (рис.50).

### Технічні характеристики

1.	Середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом:	
	а) горизонтального.....	20"
	б) вертикального.....	30"
2.	Середня квадратична похибка вимірювання перевищення при допомозі рейки, віддаленої від приладу на 100 м...	15 мм
3.	Похибка (випадкова) визначення азимуту напрямку за допомогою бусолі.....	$\leq 10'$
4.	Границі вимірювання вертикальних кутів..	$+55 \div -55^\circ$
5.	Збільшення зорової труби.....	20 <sup>x</sup>
6.	Кут поля зору труби.....	2°
7.	Границі візування .....	1,2 м $\div$ $\infty$
8.	Коефіцієнт віддалеміра.....	100 $\pm$ 0,5
9.	Ціна ділення лімбів горизонтального і вертикального кругів.....	1°
10	Ціна ділення шкал мікроскопу.....	5'
11	Ціна ділення циліндричних рівнів:	
	а) на алідаді горизонтального круга.....	45"
	б) на візирній трубі.....	20"
12	Вага:	
	а) теодоліту.....	2,3 кг
	б) комплекту.....	3,5 кг
13	Габарити:	
	а) теодоліту.....	175 $\times$ 235 мм
	б) футляра.....	175 $\times$ 204 $\times$ 285 мм

Для зручності спостережень предметів, розташованих під кутом нахилу до горизонту більше  $45^\circ$ , і центрування теодоліту в комплект приладу входять насадки на зорову трубу і відліковий мікроскоп. На зоровій трубі прикріплений коліматорний візир для наближеного наведення перетину сітки ниток на необхідну точку.

Вертикальний круг оцифрований від  $0^\circ$  до  $+75^\circ$  і від  $0^\circ$  до  $-75^\circ$ . Зображення штрихів і цифр горизонтального і вертикального кругів

передаються в поле зору відлікового мікроскопу (рис. 51).

В відліковій системі теодоліту 2Т30 використовується шкаловий мікроскоп замість мікроскопу з індексом застосованого в теодоліті Т30. Відлік знімають з одної сторони лімба. У верхній частині поля зору мікроскопу, видно позначення буквою „В”, що вказує на вікно фрагменту лімба вертикального круга; в нижній частині буквою “Г” горизонтального круга (рис. 51). Шкали мікроскопу мають найменшу ціну ділення  $5'$ . Відліки беруть за шкалами з точністю до  $0,1$  найменшого ділення, що становить  $30''$ . Індексом для відліку є штрихи лімба з підписаними градусами. Шкала вертикального круга має два ряди цифр. Нижній ряд має знак “-”, а верхній – знак “+”. Коли знімають відлік з вертикального круга, то записують градуси із своїм знаком, а мінuti беруть за шкалою того ряду, який має знак відповідний знаку градусів. В приведеному прикладі на рис. 51 відлік з горизонтального круга дорівнює  $125^{\circ}05,5'$ , а з вертикального -  $0^{\circ}26,0'$ .



Рис.50. Теодоліт 2Т30

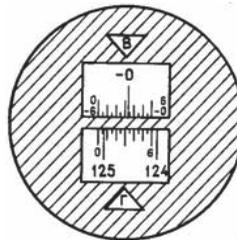


Рис.51. Поле зору мікроскопу:  
а) відлік з горизонтального  
    круга-  $125^{\circ}05,5'$ ;  
б) відлік з вертикального круга  
    -  $0^{\circ}26,0'$

Вертикальна вісь приладу пола, що дає змогу центрувати теодоліт над точкою місцевості при допомозі зорової труби, встановленої за прямовисною лінією.

Теодолітом 2Т30 можна виміряти горизонтальні кути способом прийомів і способом кругових прийомів. Вертикальні кути обчислюють за формулами

$$\begin{aligned}v &= 0,5(KЛ - КП); \\v &= КЛ - МО = МО - КП; \\МО &= 0,5(KЛ + КП).\end{aligned}\tag{67}$$

Під час вимірювання вертикального кута слід пам'ятати, що перед тим, коли знімати відліки необхідно бульбашку циліндричного рівня аліади горизонтального круга привести в нуль-пункт.

### 7.3. Загальні відомості про теодоліти 2Т30 і 2Т30П

На виробництві виконавці зустрічаються з різними модифікаціями теодолітів. Так основною модифікацією теодоліту Т30 є теодоліти 2Т30 і 2Т30П. Вони відрізняються від теодоліту Т30 високою точністю, а теодоліт 2Т30П, крім того, має зорову трубу прямого зображення. В комплект цих теодолітів входить орієнтир-бусоль, на зоровій трубі прикріплений циліндричний рівень, яким користуються при нівелюванні горизонтальним променем.

В подальшому технічні характеристики теодолітів 2Т30 і 2Т30П відповідають теодоліту Т30. Призначення цих теодолітів аналогічні теодоліту Т30. Середня квадратична похибка вимірювання кутів одним прийомом дорівнює 18-20".

Конструкція теодолітів 2Т30 і 2Т30П в основному повторює конструкцію теодоліту Т30 (рис. 51), але в той же час ця конструкція має ряд особливостей, які дозволяють значно підвищити точність приладів.

Теодоліти 2Т30 і 2Т30П влаштовані шкаловим відліковим мікроскопом, в якому замість пентапризми встановлена прямокутна призма. Лімба горизонтального круга складається із двох склеєних

лінз, розташованих всередині кронштейна. В зоровій трубці теодоліта 2Т30П встановлений обертаючий блок Аббе завдяки якому ми бачимо пряме зображення.

Високі вимоги щодо точності забезпечили підвищену точність виготовлення деталей осьової системи і лімбів.

#### 7.4. Пристрої для центрування теодолітів

Для встановлення центру лімба горизонтального круга над центром точки місцевості використовують нитковий висок, механічний центрир і оптичний центрир (рис. 52).

Найпростішим пристроєм для центрування є нитковий висок, який складається із міцної нитки і металевого тягара. Один кінець нитки прив'язують до гачка прикріпленого до станового гвинта, а другий – до тягара, гострий кінець якого центрують над центром точки закріпленої на місцевості (рис. 52, *a*). Центрування тягара над точкою відбувається за допомогою пересування підставки теодоліту на головці штативу, яку пересувають після дещо відкритого станового гвинта. Точність такого центрування становить *0,5 см*.

При погоді з сильним вітром нитковим виском користуватися не зручно. В таких випадках доцільно користуватися механічним виском (рис.52, *б*). Він складається із розсувної (телескопічної) трубки 3 і круглого рівня 1. Для встановлення центра лімба в центр точки місцевості, необхідно верхній кінець механічного центрира прикріпити до станового гвинта 2, а нижній встановити гострим кінцем в центр точки місцевості. Після цього дещо відкручують станований гвинт і пересувають підставку разом з приладом на головці штатива так, щоб бульбашка круглого рівня механічного виска була на середині (в районі великого кола круглого рівня). Точність такого центрування становить *1 см*.

Значним досягненням є виготовлення теодолітів з оптичним центриром (рис.52, *в*).

Оптичний центрир складається із наступних частин: призми 1, яка повертає промінь на  $90^\circ$ , кремальєри 2, прозорої пластинки 3 на

якій нанесена сітка ниток, окуляра 4, фокусної лінзи 5, об'єктива 6.

Для встановлення центра лімба над центром точки місцевості необхідно бульбашку циліндричного рівня на алідаді горизонтального круга привести на середину при допомозі

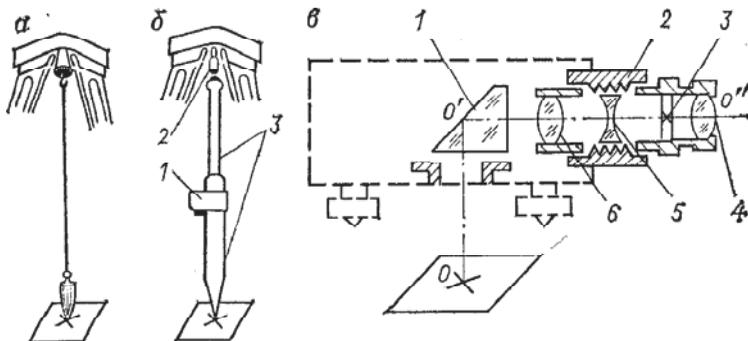


Рис.52. Пристрій для центрування :  
а) нитковий висок; б) механічний центрир;  
в) оптичний центрир

піднімальних гвинтів. В цьому випадку віссю оптичного центрира  $O'O''$  займе горизонтальне положення, і в точці  $O'$  відіб'ється під кутом  $45^\circ$  та попаде в точку  $O$ . В полі зору центрира видно центр точки місцевості і хрест сітки ниток центрира. Для суміщення хреста сітки ниток центрира з центром точки місцевості необхідно дещо відкрити становий гвинт і пересунути підставку разом з теодолітом на головці штативу до їх співпадання. Середня квадратична похибка такого центрування становить  $0,5$  мм.

## 7. 5. Перевірка оптичного центрира

Оптичний центрир – це пристрій, за допомогою якого центрують геодезичний прилад (теодоліт, електротaxeометр, світловіддалемір) над точкою.

**Перевірка.** Візирна вісь зорової трубки оптичного виска повинна бути продовженням осі обертання алідади

горизонтального круга.

**Виконання.** На віддалі 3-4 м від стіни будинку (кімнати) прикріплюють теодоліт до стола або верстака, так щоб вісь обертання теодоліту була паралельною горизонтальній площині стола (верстака) і підставка його оберталася вільно навколо осі теодоліту. До стіни прикріплюють аркуш паперу, так щоб на нього попала проекція точки перетину ниток сітки трубки оптичного виска (рис.53).

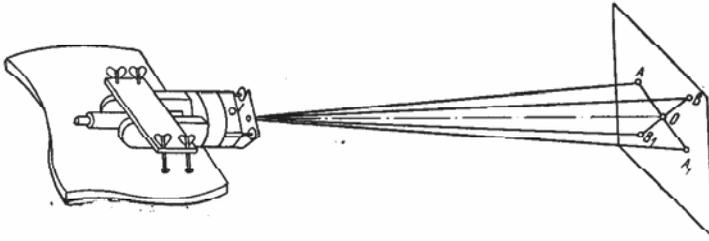


Рис.53. Підготовка оптичного центру для перевірки

За допомогою закріпного гвинта лімба горизонтального круга закріплюють підставку і дивляться в трубочку оптичного виска, а помічник спостерігача фіксує проекцію точки перетину ниток оптичного виска олівцем або ручкою на аркуші паперу прикріпленого до стіни. Нехай це буде точка  $A$ . Після цього відкріплюють закріпний гвинт лімба теодоліту і повертають підставку приблизно на  $90^\circ$ . Закріплюють підставку і фіксують на папері точку  $B$ . За такою методикою фіксують точки  $A_1$  і  $B_1$ . Нанесенні точки на папері з'єднують  $A$  з  $A_1$  та  $B$  з  $B_1$  і на перетині цих відрізків отримують точку  $O$ , яка лежить на продовженні осі обертання аліади горизонтального круга.

Перевірку повторюють.

Якщо віддаль між отриманими точками  $O$  і  $O_1$  не перевищує  $3\text{мм}$ , то умова виконана. В інших випадках виконують виправлення.

**Виправлення.** При допомозі виправних гвинтів оптичного центрира суміщають перетин сітки ниток трубки оптичного виска

з отриманою точкою  $O$  на папері. Перевірку повторюють з метою переконання, що виправлення відбулося.

#### **Переваги методу:**

1. Виконання перевірки не залежить від пори року і погоди, тому що вона виконується в лабораторних умовах точно, надійно і швидко.

2. Перевірка виконується на фактичній “висоті приладу” 3-4 м, а в дійсності при роботі з приладом ця висота не перевищує 1,5 м. В таких випадках точність центрування буде в 2-3 рази вищою ніж при звичайній перевірці [1].

### **7.6. Перевірки теодоліта Т30**

Для того щоб якісно виконувати геодезичні роботи теодолітом необхідно перед початком виконати його перевірки. При їх виконанні слід добре знати де знаходяться осі відповідних елементів теодоліта (рис.54).

Основні осі:  $TT$  - вертикальна вісь;  $HH$  - горизонтальна вісь обертання труби;  $VV$  - візирна вісь труби;  $U_1U_1$  - вісь циліндричного рівня горизонтального круга;  $U_2U_2$  - вісь циліндричного рівня вертикального круга.

Основні частини. Горизонтальний кутомірний круг складається із двох кругів: нижнього – лімба 1 і верхнього – алідади 2; 3 - підставка зорової труби, з якою жорстко скріплений лімба 4 вертикального круга і зорова труба 5; 6 - алідада вертикального круга; 7 - циліндричний рівень при алідаді горизонтального круга; 8 - піднімальні гвинти підставки; 9 - підставка; 10 - циліндричний рівень вертикального круга.

**Перша перевірка.** Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярна до осі обертання приладу.

**Виконання.** Теодоліт приводять в робоче положення. Встановлюють циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів і приводять бульбашку рівня на середину. Повертають алідаду горизонтального круга на  $180^\circ$  і дивляться на

бульбашку рівня. Якщо бульбашка рівня відхилилась в сторону від нуля-пункту не більше як на пів поділки, то умова виконана. В протилежному випадку виконують виправлення.

**Виправлення.** За допомогою шпильки повертають виправні гвинти циліндричного рівня в ту чи іншу сторону так, щоб бульбашка рівня повернулась на половину дуги відхилення до нуля-пункту. Перевірку повторюють знову.

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

**Виконання.** На місцевості вибирають добре видиму віддалену точку (хрест церкви, телевізійна антена, громовідвід заводської труби тощо). Зорову трубу при  $KП$  наводять на цю точку і беруть відлік по горизонтальному крузі  $KП_1$ . Переводять трубу через зеніт і при  $KЛ$  зорову трубу наводять на дану точку і беруть відлік  $KЛ_1$ . Відкріплюють закріпний гвинт лімба горизонтального круга і повертають теодоліт приблизно на  $180^\circ$ .

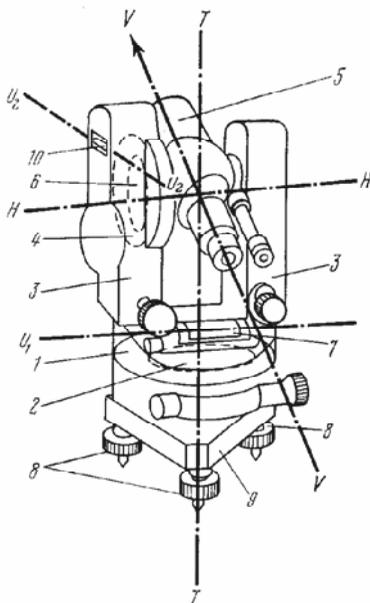


Рис.54. Схема теодоліта

Закріплюють закріпний гвинт лімба і відкріплюють закріпний гвинт алідади. Зорову трубу наводять при  $KП$  на дану точку і беруть відлік  $KП_2$ . Повертають зорову трубу через зеніт і наводять її на дану точку при  $KL$  та беруть відлік  $KL_2$ . Колімаційну похибку визначають за формулою

$$C = [(KL_1 - KП_1 \pm 180^\circ) + (KL_2 - KП_2 \pm 180^\circ)] / 4. \quad (68)$$

Якщо  $C \leq 2t$  ( $t$  - точність теодоліта), то умова виконана. Якщо  $C > 2t$ , то виконують виправлення.

**Виправлення.** Спочатку знаходять вірний відлік за формулами

$$\begin{aligned} KL_0 &= KL_2 - C; \\ KП_0 &= KП_2 + C. \end{aligned} \quad (69)$$

За допомогою навідного гвинта алідади горизонтального круга встановлюють вирахований вірний відлік на горизонтальному крузі. Дивляться в зорову трубу. В наслідок цієї дії центр сітки ниток переміститься з вибраної точки в ту чи іншу сторону.

Обертаючи горизонтальні виправні гвинти сітки ниток, пересувають діафрагму, до тих пір поки зображення вибраної точки не буде знаходитись точно в центрі сітки ниток.

Перевірку повторюють знову.

**Третя перевірка.** *Одна із ниток сітки має бути горизонтальною, а друга вертикальною.*

**Виконання.** Приводять теодоліт в робоче положення і на відстані від теодоліта 5...10 м підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска. Якщо вертикальна нитка сітки труби 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 закріпні гвинти діафрагми сітки. Саму діафрагму сітки ниток обертають так, щоб вертикальна нитка сітки ниток співпала з ниткою виска. Закріплюють закріпні гвинти діафрагми сітки і закручують ковпачок. Перевірку повторюють.

**Четверта перевірка.** *Вісь обертання труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання приладу.*

**Виконання.** Встановлюють теодоліт на відстані *10...15м* від стіни будівлі. На стіні вибирають точку так, щоб кут нахилу між цією точкою і горизонтальною площиною був приблизно  $20^\circ$ . Наводять зорову трубу на вибрану точку і проєктують її вниз стіни приблизно на горизонт приладу. Олівцем відмічають точку на стіні. Переводять зорову трубу через zenit і при другому положенні круга знову наводять на вибрану точку і проєктують на горизонт приладу. Якщо в обох випадках точки співпадають в межах бісектора, то умова виконана. Якщо ні, то потрібно виконати виправлення.

**Виправлення.** Таке виправлення виконують в спеціально обладнаних майстернях.

## РОЗДІЛ 8

### ВИМІРЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ І ГОРИЗОНТАЛЬНИХ КУТІВ

#### 8.1. Визначення місця нуля (*МО*) вертикального круга теодоліта та вимірювання кутів нахилу

**Місце нуля** - це відлік на вертикальному крузі коли вісь зорової труби знаходиться в горизонтальному положенні. Вісь зорової труби в горизонтальне положення приводять шляхом приведення бульбашки циліндричного рівня алідади вертикального круга (для теодолітів Т30 бульбашки рівня на горизонтальному крузі) в нуль-пункт. Місце нуля в будь-якому теодоліті може мати будь-яке значення. Якщо місце нуля визначене декілька разів, то розходження між ними не повинні перевищувати граничного значення подвійної точності відлічування за мікроскопом вертикального круга. Якщо розходження перевищують подвійну точність, то слід перевірити чи надійно прикріплений рівень до алідади, надійно закріплені виправні гвинти рівня, чи не має тертя між алідадою і лімбом, не послабилася пружина навідного гвинта алідади. Якщо можливо, то ліквідувати ці недоліки. Коли і після цього розходження місця нуля (*МО*) будуть перевищувати граничні значення, то теодоліт необхідно віднести в майстерню.

**Визначення *МО*.** Приводять теодоліт в робоче положення. Вибирають як мінімум три точки, бажано з різними кутами нахилу, приблизно, на однаковій відстані. По черзі наводять на них хрест сітки ниток труби при *КП* і *КЛ*. При цьому обов'язково перед відліком приводять бульбашку циліндричного рівня вертикального круга в нуль-пункт при визначенні *МО*, а якщо його немає, то приводять в нуль-пункт бульбашку рівня алідади горизонтального круга. Після цього знімають відліки. Трубу переводять через зеніт, повертаючи теодоліт на  $180^\circ$ , і беруть відліки, але вже при *КЛ*.

Слід пам'ятати, коли виконують спостереження, то зорову трубу наводять на точку так, щоб середня нитка сітки була дотичною до

верха вибраної точки. Наприклад, середня нитка сітки ниток дотична до верхнього кінця громовідводу заводської труби (рис.55).

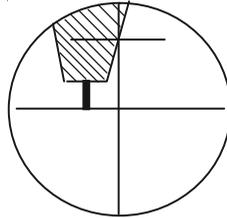


Рис.55. Наведення середньої нитки на точку

Значення  $MO$  може бути яким завгодно. Важливо знати його, тому що кути ухилу обчислюють за відповідними формулами. Якщо спостереження виконують теодолітом  $T5$  і  $T30$ , то

$$MO = [(KL + KP) \pm 180^\circ] / 2. \quad (70)$$

Якщо спостерігають теодолітом  $2T30$ , то

$$MO = (KL + KP) / 2. \quad (71)$$

Кути нахилу для теодоліта  $T5$  вираховують за формулами

$$v = ((KP - KL) \pm 180^\circ) / 2; \quad (72)$$

або

$$v = KP - MO, \text{ чи } v = MO - KL;; \quad (73)$$

для теодоліта  $T30$

$$v = ((KL - KP) \pm 180^\circ) / 2; \quad (74)$$

або

$$v = MO - KP - 180^\circ, \text{ чи } v = KL - MO; \quad (75)$$

для теодоліта 2Т30

$$v = (KL - КП) / 2; \quad (76)$$

або

$$v = KL - MO, \text{ чи } v = MO - КП. \quad (77)$$

Розглядаючи формули обчислення кута нахилу можна зробити висновок, що коли відоме  $MO$ , то достатньо взяти відлік по мікроскопу при одному положенні круга. Якщо  $MO$  рівне нулю, то кут нахилу буде дорівнювати відліку на вертикальному крузі. З цією метою доцільно  $MO$  привести до нуля, коли воно відрізняється від нього.

**Приведення  $MO$  до нуля.** Існує два способи приведення  $MO$  до нуля: по  $MO$  і по куту нахилу.

**І. Приведення  $MO$  Т5 до нуля по  $MO$ .** На вертикальному крузі встановлюють відлік рівний  $MO$ . В цьому положенні бульбашка циліндричного рівня вертикального круга повинна бути на середині, тоді візирна вісь зорової труби займе горизонтальне положення.

Повертаючи навідний гвинт алідади вертикального круга, встановлюють відлік рівний нулю. При цьому бульбашка рівня вертикального круга зійде із середини. За допомогою виправних гвинтів рівня бульбашку приводять на середину. Після виправлення знову визначають  $MO$  теодоліта за формулою (70).

## **2. Приведення $MO$ Т30 і 2Т30 до нуля за кутом ухилу.**

Спостерігають одну і ту ж точку місцевості при двох положеннях вертикального круга. Перед тим, як зняти відлік, обов'язково приводять бульбашку циліндричного рівня алідади горизонтального круга одним із піднімальних гвинтів в нуль-пункт. Обчислюють  $MO$  за формулами (70,71). Залишають трубу наведену на точку. Обчислюють кут нахилу. На вертикальному крузі при допомозі навідного гвинта труби встановлюють відлік рівний обчисленому куту нахилу. Дивляться в зорову трубу. В цьому випадку середня нитка сітки ниток буде паралельною дотичній яка проходить через вибрану точку. Для того, щоб середню нитку сітки встановити в положення дотичної до вибраної точки, потрібно вертикальними виправними гвинтами сітки ниток пересунути блок

сітки ниток так, щоб середня нитка була дотичною до вибраної точки.  $MO$  визначають знову.

## 8.2. Вимірювання магнітного азимута

Початковими напрямками для орієнтування в геодезії прийняті істинний (географічний) і магнітний меридіани. Часто орієнтування виконують відносно осьового меридіана (рис.56). Слід пам'ятати, що осьовий меридіан зони є одночасно істинним (географічним) меридіаном.

Через будь-яку точку на земній поверхні можна провести істинний і магнітний меридіани, або лінію паралельну осьовому меридіану.



Рис.56. Орієнтирні напрямки

Якщо в будь-якій точці земної кулі підвісити горизонтально магнітну стрілку в її центральній точці, то під впливом земного магнетизму вона встановиться в площині магнітного меридіана. На цій основі при допомозі магнітної стрілки можна виміряти магнітний азимут в будь-якій точці земної кулі. В кожній точці магнітний і істинний меридіани утворюють між собою кут  $\delta$ , який називається схиленням магнітної стрілки. Північний кінець магнітної стрілки може відхилитися від істинного меридіана на схід або захід. В зв'язку з цим схилення магнітної стрілки називають східним або західним. Східне схилення має знак додатній, а західне - від'ємний.

Якщо відомі схилення в даній точці і магнітний азимут, то

можна визначити істинний азимут за формулою

$$A = A_m + \delta \quad (78)$$

В точках земної кулі схилення магнітної стрілки є різним. За одну добу схилення може змінюватись на  $\pm 15'$ , а за 500 років схилення може змінюватись приблизно на  $\pm 22,5^\circ$ . В районах магнітних аномалій магнітною стрілкою користуватись не дозволяється. На цій основі можна зробити висновок, що магнітна стрілка вказує положення магнітного меридіана досить наближено, а тому орієнтування ліній на місцевості за допомогою магнітних азимутів лиш наближене.

На місцевості за допомогою теодоліта магнітний азимут вимірюють в такій послідовності:

- теодоліт встановлюють на одній із точок напрямку;
- приводять його в робоче положення;
- до теодоліта прикріплюють бусоль;
- відкріплюють аретир (фіксатор) магнітної стрілки;
- на горизонтальному крузі встановлюють відлік рівний  $0^\circ 00'$  і закручують закріпний гвинт алідади горизонтального круга;
- відкручують закріпний гвинт лімба горизонтального круга і повертають теодоліт за азимутом так, щоб магнітна стрілка бусолі стала на північ;
- закручують закріпний гвинт лімба горизонтального круга і відпускають закріпний гвинт алідади горизонтального круга;
- зорову трубу теодоліта наводять на необхідну точку напрямку і беруть відлік по горизонтальному крузі.

Цей відлік і буде магнітним азимутом даної лінії.

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

Перед тим як приступити до вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів необхідно теодоліт привести в робоче

положення. Робочим положенням вважають таке, коли теодоліт центрований над точкою вершини кута і вісь обертання теодоліта займає прямовисне положення. Центрування виконується за допомогою ниткового або оптичного виска. Ніжки штатива встановлюють так, щоб площина його головки була приблизно горизонтальною, а висок знаходився над точкою. Приводять бульбашку рівня горизонтального круга в нуль-пункт. На декілька обертів відпускають становий гвинт і теодоліт пересувають на головці штатива так, щоб вістря ниткового виска або хрест оптичного виска співпали з центром, відміченим на точці. Після цього закріплюють становий гвинт і приводять бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт. Приведення осі обертання теодоліта в прямовисне положення виконується при допомозі циліндричного рівня на алідаді горизонтального круга. Для цього циліндричний рівень встановлюють за напрямком двох піднімальних гвинтів і, повертаючи піднімальні гвинти в різні сторони, приводять бульбашку рівня на середину. Потім повертають рівень за напрямком третього піднімального гвинта і ним приводять бульбашку на середину. Ця операція виконується декілька разів для того, щоб бульбашка рівня при обертанні алідадного круга не відхилялась від середини більше ніж на одну поділку.

Точка, в якій встановлений теодоліт для виконання вимірювань, називається станцією. Зображення сітки ниток повинно відповідати зору спостерігача. Для цього дивляться в зорову трубу і обертають окулярну трубочку в ту чи іншу сторону до появи в полі зору досить чіткого зображення сітки ниток.

з о р о в у   т р у б у   п р и *КП* наводять приблизно на праву точку *B* (рис.57, *a*). При допомозі мікрометричного гвинта алідади горизонтального круга і мікрометричного гвинта зорової труби наводять хрест сітки точно на точку (рис.57, *б*). Якщо точка закріплена кілочком або стовпом і видно в зоровій трубі її верх, то хрест сітки ниток наводять на верх цієї точки. Коли в точці встановлюють віху для спостережень, то хрест сітки ниток наводять на нижню її частину, тому що вона буде найближчою до центру самої точки (рис.57, *б*). Знімають відлік по горизонтальному крузі

$KП_{л'}$ . Потім відкріплюють закріпний гвинт алідади горизонтального круга і наводять трубу на ліву точку  $C$  і знімають відлік  $KП_{л'}$  (рис.58, а). Вираховують кут за формулою

$$\beta_1 = KП_{л'} - KП_{л} \quad (79)$$

**Примітка:** Слід пам'ятати, що кут обчислюють за правилом: від відліку на праву точку  $KП_{л}$  відняти відлік на ліву точку  $KП_{л'}$ . Якщо  $KП_{л} < KП_{л'}$  то потрібно до  $KП_{л}$  додати  $360^\circ$  і від суми  $(KП_{л} + 360^\circ)$  відняти відлік  $KП_{л'}$ . Після цього переводять трубу “через зеніт”, тобто відкріплюють закріпний гвинт труби і повертають її в вертикальній площині на  $180^\circ$ . Це положення називають  $KL$ . В цьому положенні другий раз вимірюють кут. Наводять трубу на точку  $B$  і знімають відлік  $KL_{л'}$ , а потім наводять на точку  $C$  і знімають відлік  $KL_{л}$  (рис.58, б).

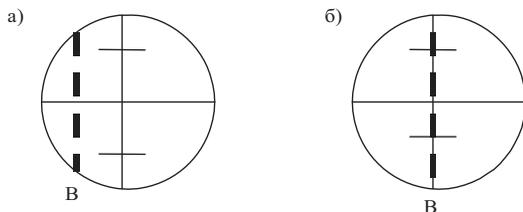


Рис.57. Наведення зорової труби:  
а) наближене; б) точне.

Обчислюють кут за формулою

$$\beta_2 = KL_{л'} - KL_{л}. \quad (80)$$

Якщо  $\beta_1 - \beta_2 \leq 1'$ , то за кінцеве значення кута приймають середнє значення.

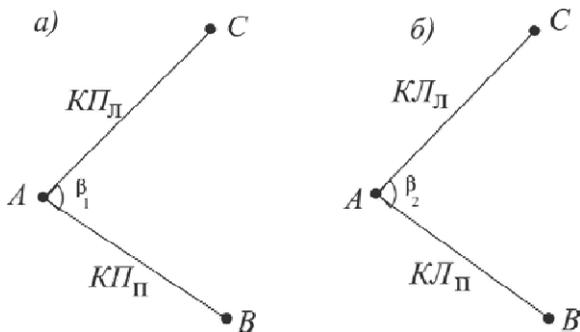


Рис.58. Схема вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів  
 а) півприйм при КП; б) півприйм при КЛ.

Після цього переносять теодоліт на другу точку і вимірюють кут в такій же послідовності і т.д.

Результати всіх спостережень при кутових вимірюваннях записують в журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів (табл.5).

Таблиця 5

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Абрис	Станції	Точки візування	Відліки, ° , '	Кути, ° , '	Середній кут, ° , '
	A	B	КП 18° 34',5	74° 15',5	74° 15'
		C	304° 19',0		
		B	КЛ 198° 35',0	74° 14',5	
		C	124° 20',5		

#### 8.4. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Цей спосіб застосовується тоді, коли на точці потрібно спостерігати три і більше напрямків (рис.59). У вершині кутів встановлюють теодоліт і приводять його в робоче положення. На горизонтальному крузі установлюють відлік приблизно рівний  $0^{\circ}02'$  чи  $0^{\circ}01'$ . Відкріплюють лімб і наводять зорову трубу при  $KL$  на початкову точку, наприклад  $B$ . Закріплюють лімб і беруть відлік з горизонтального круга  $a_b$ . Відкріплюють закріпний гвинт аліади горизонтального круга і зорову трубу наводять на точку  $C$  та знімають відлік  $a_c$ . Аналогічно по черзі наводять трубу на решту точок за ходом годинникової стрілки і беруть відповідно відліки  $a_d, a_e, a_f$  і знову знімають відлік  $a_b$  на точку  $B$ . Цей відлік називають замиканням горизонту.

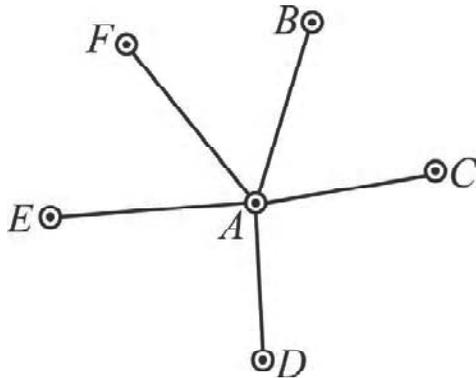


Рис.59. Схема вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Результати спостережень записують в журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів (табл.6).

## Журнал

вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Станція	Точки візування	Відліки по ГК		$C = (KЛ - КП) / 2 + 180$ (колімація)	Середнє значення відліків при $KЛ$	Приведений напрямок при $KЛ$
		$KЛ$ °   '   ''	$KП$ °   '   ''			
А	В	0°01.0'	180°00'	+ 0,5'	$\frac{0°00,75'}{0°00,5'}$	0°00 . 0'
	С	64°54,5'	244°55,5'	- 0,5'	64°55,0'	64°54,25'
	Д	126°18,0'	306°19,0'	- 0,5'	126°18,5'	126°17,75'
	Е	192°39,5'	12°40,5'	- 0,5'	192°40,0'	192°39,25'
	F	297°22,0'	117°21,0'	+ 0,5'	297°21 ,5'	297°20,75'
	В	0°01 , 5 '	180°00,5'	+ 0,5'	0°01 ,0'	0°00 , 0'

Переводять трубу через зеніт і при  $KП$  наводять на точку  $B$ , беруть відлік і записують його в журнал. Після цього спостерігають по черзі точки проти годинникової стрілки, тобто,  $F, E, D, C$  і  $B$ . Обчислюють колімаційну похибку. Якщо значення колімаційних похибок на даній станції відрізняються не більше  $\pm 1'$ , то вираховують середнє значення із відліків  $KЛ$  і  $KП$ , але градуси залишають ті які є при  $KЛ$ . Середнє значення беруть тільки із минут і їх десятих.

Для того щоб одержати приведені напрямки, то вираховують постійне число як середнє значення відліків на початкову точку  $B$  і відліку при замиканні горизонту на цю саму точку  $B$ . В нашому випадку це середнє число рівне  $0,75'$ , яке записують вище відліку на точку  $B$  і підкреслюють його. Від кожного середнього відліку віднімають це постійне число і отримують приведені напрямки. По цих приведених напрямках обчислюють будь-які горизонтальні кути, тобто, від правого напрямку віднімають відлік лівого напрямку.

## РОЗДІЛ 9

### БУДОВА І ПЕРЕВІРКИ НІВЕЛІРІВ

#### 9.1. Будова нівеліра Н-3

В розробці конструкції нівелірів за останній час відбулися значні зміни. Нівеліри позначають буквою Н і цифрою поряд яка вказує на відповідний клас нівелювання даним нівеліром. Технічна характеристика нівелірів приведена в табл.7.

**Н-3** – точний нівелір з циліндричним рівнем і елеваційним гвинтом. Середня квадратична похибка визначення висоти точки на 1 км ходу складає не більше 4 мм;

**НС-3** – точний нівелір з самовстановлюючою лінією візування. Середня квадратична похибка визначення висоти точки на 1 км ходу становить не більше 4 мм.

Нівелір Н-3 (рис. 60, а) складається із двох основних частин: підставки (тригера), в якій повертається циліндрична вісь, і горизонтальної опорної площадки із зоровою трубою 1 з внутрішнім фокусуванням і збільшенням  $30\times$ . Фокусування труби виконується при допомозі кремальєри 2. До труби прикріплений контактний циліндричний рівень і закритий металевією кришкою. Елеваційний гвинт 6, служить для приведення кінців бульбашки циліндричного рівня в контакт. Зображення кінців бульбашки через систему призм 1, 1', 2 і лінзи 3 та передається в поле зору труби. Завдяки лінзі в полі зору труби нівеліра видно одночасно обидва кінці рівня, розрізаного за вертикальною віссю (рис. 61).

Перед тим, як зняти відлік з рейки повертають в ту чи іншу сторону елеваційний гвинт і добиваються суміщення його кінців (приводять в контакт). Завдяки цьому візирна вісь зорової труби приводиться в горизонтальне положення. Після цього спостерігач знімає відліки з рейки. Нівелір Н-3 є малогабаритним і вагою 2 кг без футляра. Він має закріпний гвинт 3 і мікрометричний гвинт 4 та круглий рівень 5 для приведення його в робоче положення.

## Технічні характеристики нівелірів

Марка нівеліра	Збільш. труби	Найменша від- даль візування, м	Ціна ділення рівня (сек. на 2 мм)		Ціна ділення барабана, мм	Ср.кв. похибка на 1км ходу, м
			при трубі	круглого "		
H-2	40	2,0	10	5	0,05	1
HC-2	40	2,0	-	5	-	1
H-3	30	2,0	15	5	-	4
HC-3	30	2,0	-	5	-	4
HC-4	30	2,0	-	10	-	8
HT	20	1,5	45	10	-	15
HTC	20	1,5	-	10	-	15
HLC	20	2,0	-	10	-	30
Koni-007	31,5	2,2	-	8	0,05	2
Koni-025	20	1,5	-	8	-	2-3
Koni-050	16,18	0,8	-	20	-	5-10
Ni-B3	28,32	5,0	-	8	-	2

На рис.60, а приведено поле зору труби де чітко видно рейку з поділками. Кожний дециметр підписаний. Відліки з рейки знімають за середньою ниткою сітки ниток труби. Відлік з рейки – це кількість ділень рейки які відлічені від нуля рейки до середньої нитки сітки ниток труби. Оскільки труба нівеліра показує обернене зображення предмету, то та кількість ділень, яка є в полі зору труби зверху до середньої нитки називається відліком з рейки. В нашому випадку відлік становить 1250 мм. Кожна поділка на рейці дорівнює 10 мм, а людина здатна визначати на око десяту її частини.

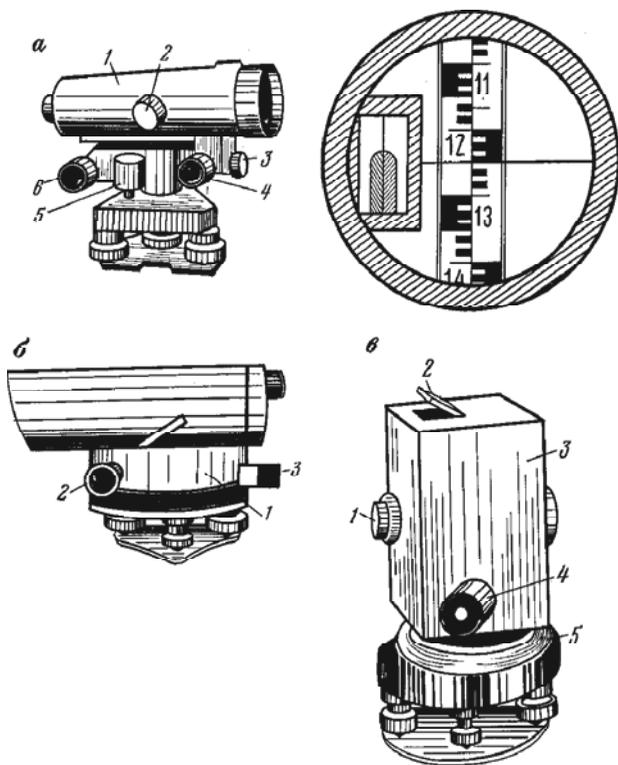


Рис.60. Нівеліри:

*a)* – Н-3 і поле зору його труби; *б)* – Н-3К; *в)* – Н – 10КЛ: 1 – окуляр; 2 – дзеркало; 3 – корпус; 4 – навідний гвинт; 5 – горизонтальний круг

Нівелір Н-3К (рис. 60, б) має пристрій для автоматичного приведення візирної осі в горизонтальне положення при нахиленому приладі в границях  $15'$ . Підставка 1 зорової труби не має закріпного гвинта, точне наведення труби на рейку виконують мікрометерним гвинтом 2. Вісь обертання приладу приводиться в прямовисне положення за допомогою круглого рівня 3.

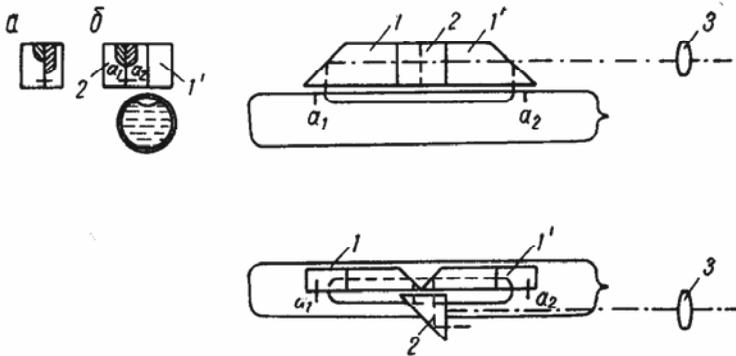


Рис.61. Контактний рівень з призмовою системою:  
 а) поділ рівня на дві частини ;  
 б) приведення половинок рівня в контакт.

Нівелір Н-10КЛ (рис. 60, в) має оптико-механічний компенсатор. Зорова труба показує пряме зображення. Навідний гвинт труби відсутній. В нижній частині нівеліра розташований лімб із нанесеною шкалою і оцифрованою через  $1^\circ$ , що збільшує можливість застосування нівеліра при рішенні різноманітних інженерних задач на будівництві.

## 9.2. Перевірки і юстування нівеліра Н-3

Нівелір – це геодезичний прилад, який призначений для вимірювання перевищення між двома точками. При допомозі горизонтального візирного променя і вертикально встановлених нівелірних рейок на точках, вимірюють віддалі від верха точки на якій встановлена рейка до горизонтального променя. Така віддаль називається відліком з рейки. Різниця цих віддалей називається перевищенням. Для того, щоб виміри отримати з відповідною точністю даного приладу, необхідно перевірити умови закладені конструкторами при розробці цього приладу (рис.62). Перевірка цих умов називається перевірками нівеліра.

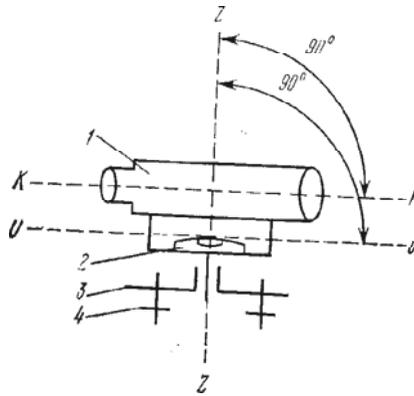


Рис. 62. Принципова схема нівеліра

Основні осі:  $ZZ$  - вертикальна вісь обертання нівеліра;  $UU$  - вісь циліндричного рівня;  $KK$  - візирна вісь зорової труби. Основні частини: 1 - зорова труба нівеліра; 2 - циліндричний рівень; 3 - підставка; 4 - піднімальні гвинти.

**Перевірка круглого рівня.** Вісь круглого рівня повинна бути паралельною осі обертання нівеліра.

**Виконання перевірки.** Приводять нівелір в робоче положення. За допомогою трьох піднімальних гвинтів бульбашку круглого рівня приводять в нуль-пункт. Повертають нівелір за азимутом і дивляться на бульбашку. Якщо бульбашка знаходиться весь час в границі круга рівня, то умова виконана. Якщо бульбашка виходить за границю круга рівня, то виконують виправлення.

**Виправлення.** На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуля - пункту виправними гвинтами рівня.

Після цього перевірку повторюють.

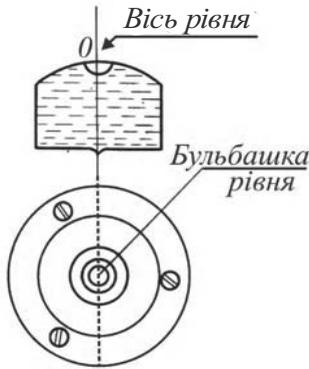


Рис. 63. Круглий рівень

**Перевірка головної геометричної умови.** Вісь циліндричного рівня повинна бути паралельною візирній осі зорової труби.

**Виконання перевірки.** На місцевості закріплюють дві точки  $A$  і  $B$  на відстані одна від другої приблизно  $70...80$  м. Встановлюють нівелір посередині між точкам  $A$  і  $B$  та рейки на кілочки в цих точках і беруть відліки  $a_1$  і  $b_1$  (рис. 64).

Обчислюють перевищення: від відліку по задній рейці віднімають відлік по передній рейці, тобто

$$h_1 = a_1 - b_1. \quad (81)$$

Переносять нівелір ближче до задньої рейки так, щоб відстань до неї була приблизно  $5...10$  м (рис.65).

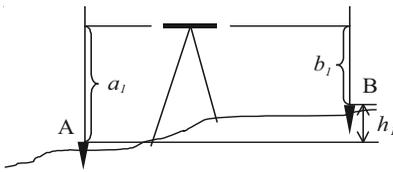


Рис.64. Нівелювання при нерівності плеч

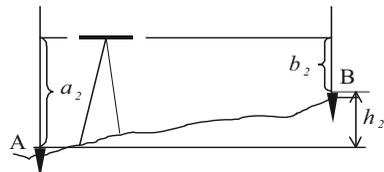


Рис.65. Нівелювання рівності плеч

Приводять його в робоче положення, беруть відліки по задній і передній рейках та обчислюють перевищення за формулою

$$h_2 = a_2 - b_2. \quad (82)$$

Обчислюють похибку за формулою

$$x = h_2 - h_1. \quad (83)$$

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

Одержані результати аналізують. Якщо нівелір знаходиться на середині між рейками, то відліки будуть мати однакові похибки. При різниці цих відліків похибки знищуються і перевищення буде дійсним. Коли нівелір знаходиться ближче до однієї з рейок, то відлік на ній буде мати маленьку похибку, а якщо нівелір знаходиться від рейки на більшій віддалі, то і похибка цього відліку буде більшою. На цій основі вважають, що відлік  $b_2$  відрізняється від справжнього на похибку  $x$ . Безпомилковий відлік  $b_0$  обчислюють за формулою

$$b_0 = b_2 - x. \quad (84)$$

**Виправлення.** За допомогою елеваційного гвинта середню нитку сітки встановлюють на відлік  $b_0$ . В цьому випадку бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля-пункту. Повертають виправні гвинти циліндричного рівня так, щоб бульбашка його стала в нуля-пункт. Перевірку повторюють знову.

**Перевірка правильності установки сітки ниток.**  
*Вертикальна нитка сітки повинна бути паралельною осі обертання нівеліра.*

**Виконання перевірки.** Приводять нівелір в робоче положення. Рейку встановлюють на відстані від нівеліра 5...10 м. Наводять зорову трубу на рейку так, щоб вона була на краю її поля зору. По середній нитці знімають відлік. Навідним гвинтом зорової труби

повертають трубу так, щоб сітка перемістилась на другий кінець її поля зору. По середній нитці беруть відлік. Якщо обидва відліки відрізняються один від одного не більше 1 мм, то умова виконана. Якщо вони відрізняються більше ніж на 1 мм, то виконують виправлення.

**Виправлення.** Знімають кришку в окулярній частині. Відпускають гвинти, що скріплюють окулярну частину труби з об'єктивом, і повертають сітку ниток до досягнення умови. Після виправлення ставлять кришку на місце.

### 9.3. Перевірки і юстування нівеліра Н-ЗК з компенсатором

Перевірки круглого рівня і правильності установки сітки ниток нівелірів з компенсаторами виконують так, як і нівелірів з циліндричним рівнем.

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

**Виконання перевірки.** В польових умовах на станції вимірюють перевищення між двома точками при довжині віддалі до кожної 50 м для нівелірів Н-ЗК і Н-ІОК.

На місцевості закріплюють станцію нівеліра і від неї вимірюють відстані 50 м до кожної точки, між якими будуть визначати перевищення. Кінці таких відстаней закріплюють дерев'яними кілочками. Нерівність плеч не повинна перевищувати 1 м. Визначають перевищення між точками згідно методики наведеної нижче.

Перевищення визначають п'ять разів в залежності від положення бульбашки круглого рівня, показаного в табл.8.

$$h_1 = a_1 - b_1. \quad (85)$$

де  $a_1$  і  $b_1$  - відліки відповідно по задній і передній рейках в мм, коли нахил осі труби відсутній. Знаходять середнє значення перевищення із положень 2...5, тобто

$$h_{cp} = (h_2 + h_3 + h_4 + h_5) / 4; \quad (86)$$

а потім і саму різницю

$$\Delta h = h_{cp} - h_1; \quad (87)$$

де  $h_1$  - перевищення одержане коли бульбашка круглого рівня була в нуль-пункті.

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

Таблиця 8

Порядок спостереження при визначенні похибки компенсації

Послідовність вимірювання перевищень	Положення бульбашки круглого рівня	
1. Ухил відсутній $\nu = 0^0$ 2. Ухил осі до об'єктива (при наведенні на задню рейку) на кут плюс $\nu$ 3. Ухил осі до окуляра (при наведенні на передню рейку) на кут мінус $\nu$ 4. Ухил осі вправо (поперечний ухил) на кут плюс $\nu$ 5. Ухил осі вліво (поперечний ухил) на кут мінус $\nu$		Об'єктив $h_1 = a_1 - b_1$ $h_2 = a_2 - b_2$ $h_3 = a_3 - b_3$ $h_4 = a_4 - b_4$ Окуляр $h_5 = a_5 - b_5$

**Виправлення.** Якщо  $\Delta h > 5$  мм, то нівелір відносять в оптичну майстерню для юстування.

**Перевірка головної геометричної умови.** Цю перевірку виконують так, як і для нівелірів з циліндричним рівнем. Якщо величина  $x > 4$  мм, то виконують виправлення.

**Виправлення.** В окулярній частині зорової труби знімають ковпачок і при допомозі шпильки, обертаючи верхній та нижній виправні гвинти сітки ниток, середню нитку встановлюють на вірний відлік.

Перевірку повторюють.

## 9.4. Перевірки нівелірних рейок

### **Перевірка круглого рівня рейки.**

*Вісь круглого рівня повинна бути паралельною осі рейки.*

**Виконання перевірки.** Встановлюють нівелір в робоче положення. На відстані 40 - 50 м від нівеліра встановлюють рейку так, щоб ребро рейки було паралельне вертикальній нитці сітки ниток зорової труби. Якщо бульбашка рівня рейки знаходиться в нуль-пункті, то умова виконана. Якщо бульбашка рівня зійде з нуль-пункту, то виконують виправлення.

**Виправлення.** Ставлять рейку так, щоб її ребро було паралельне вертикальній нитці сітки ниток труби. При допомозі виправних гвинтів круглого рівня рейки приводять бульбашку в нуль-пункт. Після цього рейку повертають на  $90^{\circ}$  і повторюють перевірку.

**Перевірка поділок рейки.** *Похибки в дециметрових поділках не повинні перевищувати для рейок третього класу  $\pm 0,5$  мм, четвертого класу  $\pm 0,7$  мм і технічних робіт 1,0 мм.*

**Виконання.** Кладуть рейку на тверду і горизонтальну поверхню. За допомогою контрольної лінійки з міліметровими поділками вимірюють всі дециметрові ділення в прямому і зворотному напрямках.

Якщо дециметрові ділення рейки розходяться з дециметровими діленнями контрольної лінійки не більше  $\pm 0,5$  мм для рейок четвертого класу і  $\pm 1$  мм для рейок технічних робіт, то умова виконана.

**Виправлення.** Якщо ці похибки перевищують вказані границі, то рейками користуватись не можна, їх потрібно замінити на рейки з відповідними граничними похибками.

## ПОБУДОВА ПЛАНОВИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ МЕТОДОМ ПОЛІГОНОМЕТРІЇ

### 10.1. Координатна площина

Площина, на якій задана прямокутна система координат Гаусса-Крюгера називається координатною площиною. На рис.66 приведені осі системи прямокутних координат, які ділять коло на чотири частини I, II, III і IV та називають їх четвертями тригонометричного круга.

Оскільки лінія  $d_{AB}$  може знаходитися в будь-якій четверті і мати будь-який напрямок, то її дирекційний кут може змінюватися від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Відомо, що окрім дирекційних кутів для орієнтування ліній існують румби.

**Румб** – гострий кут, який прилягає до північного або південного напрямку осі абсцис (осьового меридіану). Румби змінюються від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . До градусної величини румба обов'язково додають назву четверті – ПнСх (північний схід), ПдСх (південний схід), ПдЗх (південний захід), ПнЗх (північний захід). Наприклад, ПдСх:  $54^\circ 56,5'$ .

Між румбами і дирекційними кутами існує наступна залежність:

- 1) коли лінія має напрямок на ПнСх, то  $r = \alpha$ ;
- 2) коли лінія має напрямок на ПдСх, то  $r = 180^\circ - \alpha$ ;
- 3) коли лінія має напрямок на ПдЗх, то  $r = \alpha - 180^\circ$ ;
- 4) коли лінія має напрямок на ПнЗх, то  $r = 360^\circ - \alpha$ .

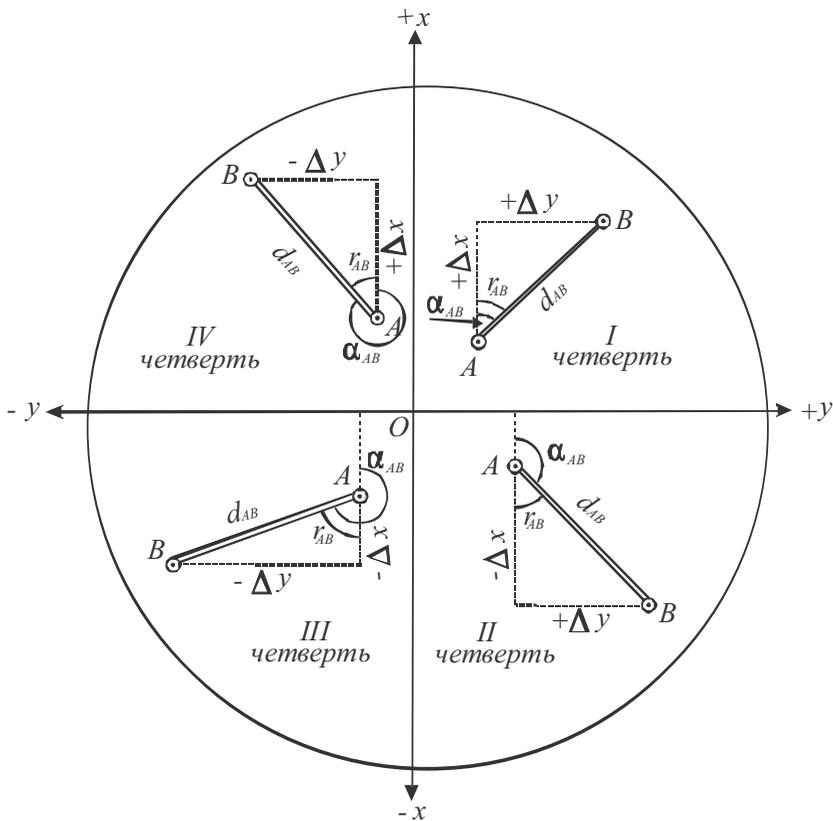


Рис.66. Четверті тригонометричного круга

## 10.2. Рішення прямої геодезичної задачі

**Формулювання задачі.** Дано прямокутні координати точки  $A(x_A, y_A)$ , віддаль  $d_{AB}$ , та дирекційний кут  $\alpha_{AB}$ . Потрібно обчислити прямокутні координати точки  $B(x_B, y_B)$ .

**Розв'язання задачі.** На рис. 66 приведені в кожній чверті лінія  $d_{AB}$ , прирости прямокутних координат, румби і дирекційні кути. При розгляді рисунку бачимо, що прирости прямокутних координат в усіх чвертях обчислюються за одною формулою

$$\begin{aligned}\Delta x_{AB} &= d_{AB} \times \cos r_{AB} \\ \Delta y_{AB} &= d_{AB} \times \sin r_{AB}\end{aligned}\quad (88)$$

Оскільки вище було показано, що існує залежність між румбами і дирекційними кутами, то у формулі (88) можна румби замінити на дирекційні кути, тоді отримаємо

$$\begin{aligned}\Delta x_{AB} &= d_{AB} \times \cos \alpha_{AB} \\ \Delta y_{AB} &= d_{AB} \times \sin \alpha_{AB}\end{aligned}\quad (89)$$

Прямокутні координати точки  $B$  обчислюють за формулою

$$\begin{aligned}x_B &= x_A + \Delta x_{AB} \\ y_B &= y_A + \Delta y_{AB}\end{aligned}\quad (90)$$

### 10.3. Рішення оберненої геодезичної задачі

**Формулювання задачі.** Дано: прямокутні координати точок  $A(x_A, y_A)$  і  $B(x_B, y_B)$ . Потрібно обчислити віддаль  $d_{AB}$  між цими точками і дирекційний кут  $\alpha_{AB}$  напрямку  $AB$ .

**Розв'язання задачі.** За відомими прямокутними координатами двох точок обчислюють їх прирости за формулою

$$\begin{aligned}\Delta x_{AB} &= x_B - x_A \\ \Delta y_{AB} &= y_B - y_A\end{aligned}\quad (91)$$

За відомими приростами прямокутних координат обчислюють тангенс румба за формулою

$$\operatorname{tgr}_{AB} = \frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}}.\quad (92)$$

Числове значення румба в градусах обчислюють за формулою

$$r_{AB} = \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}\right).\quad (93)$$

Напрямок румба або дирекційного кута отримують на ту точку від якої віднімали координату при обчисленні приростів.

Оскільки прирости прямокутних координат обчислюють за формулою (91), то в кожному конкретному випадку вони будуть мати відповідні знаки ‘+’ чи ‘-’. Саме за цими знаками визначають четверть, в якій знаходиться дирекційний кут і знак румба (табл.9).

Коли не було електронних обчислювальних машин, то прирости прямокутних координат визначали за спеціальними таблицями. Величини і назву румба визначали за формулою

$$\begin{aligned}
 \text{ПнСх } r_{AB} &= \alpha_{AB} \\
 \text{ПдСх } r_{AB} &= 180^\circ - \alpha_{AB} \\
 \text{ПдЗх } r_{AB} &= \alpha_{AB} - 180^\circ \\
 \text{ПнЗх } r_{AB} &= 360^\circ - \alpha_{AB}
 \end{aligned}
 \tag{94}$$

Для визначення знаків приростів користувалися табл.9.

Таблиця 9

Знаки приростів прямокутних координат

Четверть	Дирекційні кути	Прирости координат	
		$\Delta x$	$\Delta y$
I	$0^\circ - 90^\circ$	+	+
II	$90^\circ - 180^\circ$	-	+
III	$180^\circ - 270^\circ$	-	-
IV	$270^\circ - 360^\circ$	+	-

На сучасному етапі розвитку суспільства існує необмежена кількість малих електронно обчислювальних машин з тригонометричними функціями, потреба в табл.9 відпала. Це обґрунтовується тим, що електронні машини зберігають знаки згідно виконаних математичних дій. Таким чином, ми отримаємо румби за формулою (93) з своїм дійсним знаком. В такому випадку дирекційні кути обчислюють за формулою:

$$\begin{aligned}
&\text{коли } +\Delta y/+ \Delta x, \quad \text{то } \alpha = r \\
&\text{коли } +\Delta y/- \Delta x, \quad \text{то } \alpha = 180^\circ - r \\
&\text{коли } -\Delta y/- \Delta x, \quad \text{то } \alpha = 180^\circ + r \\
&\text{коли } -\Delta y/+ \Delta x, \quad \text{то } \alpha = 360^\circ - r.
\end{aligned}
\tag{95}$$

Віддаль між точками обчислюють за формулою

$$\begin{aligned}
d_{AB} &= \Delta x_{AB} / \cos \alpha_{AB} = \Delta y_{AB} / \sin \alpha_{AB} = \\
&= \Delta x_{AB} / \cos r_{AB} = \Delta y_{AB} / \sin r_{AB}
\end{aligned}
\tag{96}$$

При обчисленні віддалей кінцевий результат заокруглюють до 0,01, хоча значення тригонометричних функцій беруть до 0,00001. Віддалі можна обчислювати за теоремою Піфагора

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2} \tag{97}$$

Обчислена віддаль за формулою (96) буде точніша в тому випадку коли абсолютне значення приростів координат буде  $\Delta y > \Delta x$ , тобто доцільно обчислювати за формулою  $d_{AB} = \Delta y / \sin r_{AB} = \Delta y / \sin \alpha_{AB}$  і при  $\Delta x > \Delta y$  за формулою  $d_{AB} = \Delta x / \cos r_{AB} = \Delta x / \cos \alpha_{AB}$ .

#### 10.4. Схеми побудови теодолітних мереж

На (рис.67) показаний розімкнутий хід, прив'язаний до пунктів старших класів B і C, а на (рис.68) – замкнутий, який прив'язаний до пункту старшого класу B. Розімкнутий теодолітний хід, який не має прив'язки в кінці ходу, називають висячим. Декілька теодолітних ходів в сукупності можуть утворювати мережу.

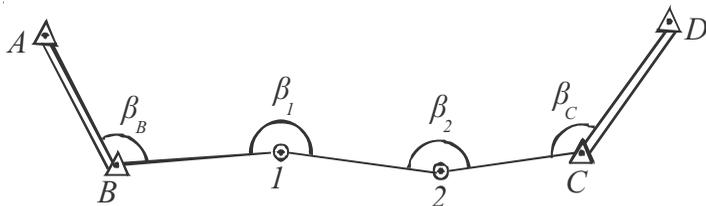


Рис.67. Розімкнутий теодолітний хід

За точністю державну полігонометрію поділять на чотири класи, мережі згущення полігонометрії - на два розряди. Кути в полігонометрії вимірюють точними теодолітами, а довжини сторін - мірними сталевими або інварними дротами, радіо - та світловіддалемірами.

Ходи, в яких сторони вимірюють мірною стрічкою по землі, а кути - теодолітами з точністю  $30''$  або  $1'$ , називають теодолітними ходами.

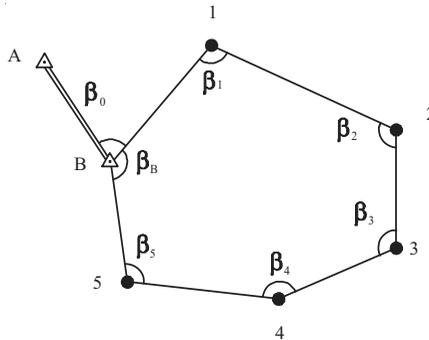


Рис.68. Замкнутий теодолітний хід

Знімальну геодезичну мережу створюють з метою згущення геодезичної планової та висотної основи до щільності, що забезпечує виконання топографічного знімання у відповідному масштабі.

Щільність та розміщення пунктів знімальної основи встановлюють під час проведення рекогностування в залежності від технології робіт, що визначена з дотриманням Інструкцій.

Знімальну мережу розвивають від пунктів державних геодезичних мереж, розрядних мереж згущення і технічного нівелювання.

Пункти знімальної мережі створюють шляхом побудови знімальних мереж триангуляцій, полюсних мереж, прокладанням теодолітних та мензульних ходів, прямими, оберненими та комбінованими засічками.

Граничні похибки положення пунктів планової знімальної мережі відносно пунктів державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення не повинні перевищувати на відкритій

місцевості та на забудованій території 0,2 мм у масштабі плану і 0,3 мм – на місцевості, що закрита деревами та чагарниками.

За стереотопографічного методу знімання розміщення точок геодезичної основи визначається технологією знімання, висотою і масштабом фотографування.

Пункти знімальної основи закріплюють на місцевості центрами тривалого збереження з таким розрахунком, щоб на кожному планшеті було закріплено не менше трьох точок при зніманні в масштабі 1:5000 і двох точок при зніманні в масштабі 1:2000, включаючи пункти державної геодезичної мережі та мережі згущення (якщо замовник у технічних умовах не вимагає більшої щільності закріплення). На території населених пунктів та промислових майданчиків всі точки знімальних мереж і планово-висотні розпізнавальні знаки закріплюють центрами тривалого збереження.

Якщо знімальні мережі є самостійною геодезичною основою, їх закріплюють постійними центрами у тому самому обсязі, що і мережі згущення, але не менше 20% точок знімальної мережі.

Урівнювання знімальної основи виконують спрощеними способами. Обчислення висячих ходів виконують з пунктів опорних геодезичних мереж та точок теодолітних ходів I і 2 порядків.

Після побудови на місцевості мережі планового геодезичного обґрунтування переходять до камеральних робіт.

Камеральні роботи виконують всі члени бригади, де оперативно з'ясовуються будь-які питання (рис.69).

В зв'язку з тим, що при будь-яких вимірюваннях виникають випадкові похибки, то в цьому випадку буде розходження, яке називається кутовою нев'язкою ходу. Для розімкнутого ходу вона обчислюється за формулою

$$\begin{aligned} f_{\beta} &= \sum \beta_B - [\alpha_{AB} - \alpha_{CD} + 180^{\circ} \times n] \text{ для правих кутів} \\ f_{\beta} &= \sum \beta_B - [\alpha_{CD} - \alpha_{AB} + 180^{\circ} \times n] \text{ для лівих кутів} \end{aligned} \quad (98)$$

де  $[\alpha_{AB} - \alpha_{CD} + 180^{\circ} \times n]$  і  $[\alpha_{CD} - \alpha_{AB} + 180^{\circ} \times n]$  – теоретична сума кутів.

Допустиму нев'язку вираховують за формулою

$$\partial \text{оп} f_{\beta} = 1' \times \sqrt{n}, \quad (99)$$

де  $n$  – кількість кутів в теодолітному ході.

Якщо нев'язка  $f_{\beta}$  буде більше допустимої  $\partial \text{оп} f_{\beta}$ , то потрібно переміряти всі кути. Слід пам'ятати, що при ретельному вимірюванні кутів цей допуск легко досягти. Якщо вважати, що на всіх точках



Рис.69. Бригада виконує камеральні роботи

повороту похибки вимірювання мають приблизно одну і ту же величину, то допустиме рівномірне розподілення кутової нев'язки на всі кути. В цьому випадку до кожного виміряного кута додають поправку, яку обчислюють за формулою

$$V_{\beta} = -f_{\beta} / n. \quad (100)$$

Однак, розподіляють тільки поправки з точністю до  $0,1'$ . Контролем є: сума розподілених поправок повинна дорівнювати нев'язці з оберненим знаком, тобто

$$\sum V_{\beta} = -f_{\beta} \quad (101)$$

Виправлені кути обчислюють за формулою:

$$\left. \begin{array}{l} \beta'_B = \beta_B + v_{\beta} \\ \beta'_1 = \beta_1 + v_{\beta} \\ \dots\dots\dots \\ \beta'_c = \beta_c + v_{\beta} \end{array} \right\} \quad (102)$$

За допомогою виправлених кутів повороту обчислюють дирекційні кути сторін теодолітного ходу за формулою

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_{B1} = \alpha_{AB} \pm 180^0 + \beta'_B \\ \alpha_{12} = \alpha_{B1} \pm 180^0 + \beta'_1 \\ \dots\dots\dots \\ \alpha_{CD} = \alpha_{3C} \pm 180^0 + \beta'_C \end{array} \right\} \text{для лівих кутів} \quad (103)$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_{B1} = \alpha_{AB} \pm 180^0 - \beta'_B \\ \alpha_{12} = \alpha_{B1} \pm 180^0 - \beta'_1 \\ \dots\dots\dots \\ \alpha_{CD} = \alpha_{3C} \pm 180^0 - \beta'_C \end{array} \right\} \text{для правих кутів}$$

і записують в табл.10.

За обчисленими дирекційними кутами і вимірними сторонами (горизонтальні прокладення) в теодолітному ході обчислюють прирости прямокутних координат  $\Delta x$  і  $\Delta y$  за формулою:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{B-1} &= d_1 \cdot \cos \alpha_{B-1} & \Delta y_{B-1} &= d_1 \cdot \sin \alpha_{B-1} \\ \Delta X_{1-2} &= d_2 \cdot \cos \alpha_{1-2} & \Delta y_{2-2} &= d_2 \cdot \sin \alpha_{1-2} \\ \Delta X_{2-3} &= d_3 \cdot \cos \alpha_{2-3} & \Delta y_{2-3} &= d_3 \cdot \sin \alpha_{2-3} \\ \Delta X_{3-C} &= d_4 \cdot \cos \alpha_{3-C} & \Delta y_{3-C} &= d_4 \cdot \sin \alpha_{3-C} \end{aligned} \right\} \quad (104)$$

Якщо допустити, що крім відомих координат і вимірних кутів повороту також безпомилково є вимірні сторони, то згідно з рис. 67 матимемо:

$$\left. \begin{aligned} X_C &= X_B + \Sigma \Delta X \\ Y_C &= Y_B + \Sigma \Delta Y \end{aligned} \right\}, \quad (105)$$

де  $\Sigma \Delta X$  і  $\Sigma \Delta Y$  - суми обчислених приростів координат відповідно  $\Delta X$  і  $\Delta Y$ .

У зв'язку з неминучими похибками лінійних вимірів, в цих рівняннях будуть розходження, які називаються нев'язками в приростах координат теодолітного ходу  $f_x$  і  $f_y$ , які обчислюють за формулою:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \Sigma \Delta X - \Sigma \Delta X_T \\ f_y &= \Sigma \Delta Y - \Sigma \Delta Y_T \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

де  $\Sigma \Delta X_T = X_C - X_B$  і  $\Sigma \Delta Y_T = Y_C - Y_B$  - сума теоретичних приростів координат. Будь-які похибки обчислюють за правилом: відоме значення відняти теоретичне. Лінійну абсолютну похибку в кінці ходу обчислюють за формулою:

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (107)$$

Відносну нев'язку вираховують за формулою:

$$f_{ei\partial} = 1/(\Sigma d / f_{abc}). \quad (108)$$

Допустима відносна нев'язка дорівнює 1:2000.

Нев'язку  $f_x$  і  $f_y$  не можна розподіляти рівномірно на всі вираховані прирости координат, тому що в теодолітному ході сторони мають неоднакову довжину і коротка сторона вимірюється з більшою точністю, ніж довша. Тому нев'язки слід розподіляти пропорційно довжинам виміряних сторін. Таким чином, кожний приріст координат  $\Delta x$  і  $\Delta y$  отримує поправки  $V_{\Delta x}$  і  $V_{\Delta y}$ , які обчислюють за формулою:

$$V_{\Delta x} = -(f_x / \Sigma d) \cdot d_1; \quad V_{\Delta y} = -(f_y / \Sigma d) \cdot d_1. \quad (109)$$

Обчислені поправки записують в табл. 15 червоним кольором над обчисленими приростами і округленими до 0.01 м.

Контроль

$$\Sigma V_{\Delta x} = -f_x; \quad \Sigma V_{\Delta y} = -f_y. \quad (110)$$

Виправлені прирости координат обчислюють за формулою:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta x'_{B1} = \Delta x_{B1} + V_{\Delta x}; \quad \Delta y'_{B1} = \Delta y_{B1} + V_{\Delta y}; \\ \Delta x'_{12} = \Delta x_{12} + V_{\Delta x}; \quad \Delta y'_{12} = \Delta y_{12} + V_{\Delta y}; \\ \dots\dots\dots \\ \Delta x'_{3C} = \Delta x_{3C} + V_{\Delta x}; \quad \Delta y'_{3C} = \Delta y_{3C} + V_{\Delta y}; \end{array} \right\} \quad (111)$$

Контролем обчислення координат є те, що координати кінцевої точки С повинні співпадати з обчисленими.

**Відомість**  
**обчислення прямокутних координат точок розімкнутого**  
**теодолітного ходу**

№ точ	Вимір. кути	Дирекц. кути	Гор. прок.	Прирос. коор.		Координати	
				$\Delta x$	$\Delta y$	$x$	$y$
A	-	<b>264°17,0'</b>					
B	-0,2 138°57,2'					<b>5367,34</b>	<b>6429,39</b>
1	-0,3 195° 20,3'	223° 14,0'	176,40	-0,04 -128,52	+0,02 -120,83		
		238° 34,0'	186,01	-0,04 -97,01	+0,03 -158,71	5238,78	6308,58
2	176° 14,2'	234° 48,0'	201,48	-0,04 -116,14	+0,03 -164,65	5141,73	6149,90
		213° 30,0'	213,15	-0,04 -177,74	+0,03 -117,64	5025,55	5985,28
C	-0,3 219° 51,3'	<b>253° 21,0'</b>				<b>4847,77</b>	<b>5867,67</b>
D							

$$\begin{aligned}
 1. \sum \beta_{\text{в}} &= 889^{\circ}05,2' & \sum \Delta x_{\text{в}} &= -519,41 & \sum \Delta y_{\text{в}} &= -561,83 \\
 2. \sum \beta_{\text{Г}} &= 889^{\circ}04,0' & \sum \Delta x_{\text{Г}} &= -519,57 & \sum \Delta y_{\text{Г}} &= -561,72 \\
 3. f_{\text{в}} &= +1,2'; & f_x &= +0,16 & f_y &= -0,11 \\
 4. \text{дон}f_{\text{в}} &= 1' \sqrt{n} = 2,3'; & 5. f_{\text{абс}} &= \sqrt{0,16^2 + 0,11^2} = 0,19; \\
 & & 6. f_{\text{від}} &= 1/(777,03/0,19) = 1/4089
 \end{aligned}$$

**10.5. Обчислення координат точок в замкнутому**  
**теодолітному ході**

Обчислення координат в замкнутому теодолітному ході не значно відрізняється від загального вище розглянутого випадку.

В замкнутих теодолітних ходах вимірюються зовнішні або внутрішні кути фігури (рис. 68).

Точність вимірювання горизонтальних кутів в теодолітних ходах контролюють шляхом порівнювання допустимої кутової нев'язки  $доп.f_{\beta}$  з обчисленою, для зовнішніх кутів за ходом годинникової стрілки

$$f = \sum \beta_{вим} - (n + 2) \times 180^{\circ}; \quad (112)$$

для внутрішніх кутів проти годинникової стрілки

$$f = \sum \beta_{вим} - (n - 2) \times 180^{\circ}; \quad (113)$$

де  $n$  - число кутів в замкнутому багатокутнику. Так як в замкнутому ході повертаються завжди до початкової точки, то нев'язка приростів прямокутних координат обчислюється за формулою

$$\begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X \\ f_y &= \sum \Delta Y, \end{aligned} \quad (114)$$

де  $\Delta X$  і  $\Delta Y$  - вираховані прирости за дирекційними кутами і довжинами ліній ходу. Допустима нев'язка приростів координат, а також поправки в прирости координат обчислюються так, як приведено для розімкнутих теодолітних ходів.

Теодолітні ходи необхідно прив'язувати до двох пунктів старших класів (рис. 70). Таким чином контролюють вірність орієнтування ходу. В табл. 11 приведені результати обчислення координат замкнутого теодолітного ходу. Обчислені прирости контролюють при допомозі формули

$$\Delta X + \Delta Y = d \sqrt{2 \times \sin(\alpha \pm 45^{\circ})}, \quad (115)$$

де  $\alpha$  - дирекційний кут лінії  $d$  теодолітного ходу.

Таблиця 11

## Відомість

## обчислення прямокутних координат точок замкнутого геодезичного ходу

№ точок	Вимірні кути (ліви)	Дирекційні кути	Горизонт. проклад.	Прирости координат		Координати	
				$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
A							
B	181° 19,8'	147° 43,7'				8451,29	7642,58
1	-0,3 162° 50,1'	149° 03,5'	73,56	-0,02 -63,09	+0,02 +37,82	8388,18	7680,42
2	-0,2 149° 02,6'	131° 53,3'	172,10	-0,05 -114,91	+0,05 +128,12	8273,22	7808,59
3	-0,2 55° 01,0'	100° 55,7'	94,52	-0,03 -17,91	+0,03 +92,81	8255,28	7901,43
4	-0,2 167° 20,0'	335° 56,5'	123,95	-0,04 +113,18	+0,04 -50,53	8368,42	7850,94
5	-0,2 104° 30,1'	323° 16,3'	160,76	-0,05 +128,85	+0,05 -96,14	8497,22	7754,95
B	-0,2 81° 17,5'	247° 46,2'	121,32	-0,03 -45,90	+0,03 -12,30	8451,29	7642,58

$$1. \sum \beta_{\text{в}} = 720^{\circ} 01,3' \quad P = 746,21; \quad f_x = +0,22; \quad f_y = -0,22;$$

$$2. \sum \beta_{\text{г}} = 720^{\circ} 00,0' \quad 5. f_{\text{вс}} = \sqrt{0,22^2 + 0,22^2} = 0,31$$

$$3. f_{\beta} = +1,3'; \quad 4. \text{дон} f_{\beta} = 1 \sqrt{n} = 2,6' \quad 6. f_{\text{вс}} = 1 / (746,21 / 0,31) = 1 / 4154.$$



Рис.70. Прив'язка теодолітних ходів до пунктів старших класів

Площу земельної ділянки можна обчислити аналітичним способом, коли відомі прямокутні координати точок вершин геометричної фігури за формулою

$$2P = \sum X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}) = \sum Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}). \quad (116)$$

Результати обчислення площ записують в табл.12.

Таблиця 12

Відомість обчислення площі за прямокутними координатами

№ точ.	Координати		$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$
	$X$	$Y$		
<i>A</i>	1000,00	1000,00	-35450,00	-2907306,00
<i>B</i>	1069,72	1020,06	+242452,03	-156497,60
<i>C</i>	1153,42	1226,65	+307963,14	+265471,59
<i>D</i>	853,30	1287,06	-146033,76	+481913,87
<i>E</i>	778,99	1055,51	-223616,87	-154843,31

## РОЗДІЛ 11

### ПОБУДОВА ПЛАНОВОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ ПОЛЮСНИМ МЕТОДОМ

#### 11.1. Польові роботи при побудові полюсної мережі

В 1978 році на кафедрі інженерної геодезії Українського інституту інженерів водного господарства (сьогодні – Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне) під керівництвом кандидата технічних наук доцента Куцериба М.А., Романчук С.В. розробив ефективний триангуляційний метод побудови планових геодезичних мереж, названий полюсним методом. Даний метод дозволяє відмовитися від вимірювання віддалей сталюю стрічкою між точками мережі. Віддалі обчислюють за теоремою синусів.

Суть запропонованого полюсного методу за точністю теодолітних ходів, полягає в тому, що в польових умовах вимірюють одну будь-яку сторону і всі кути (рис.71).

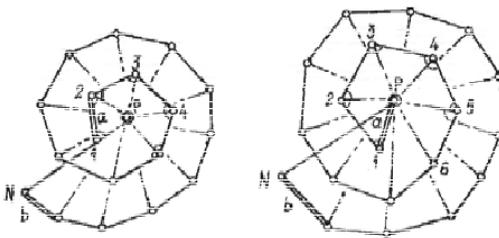


Рис.71. Схеми полюсної мережі

Якщо в мережі відомі координати хоча б одного пункту і дирекційний кут одного напрямку, то можна обчислити координати всіх інших пунктів. Для цього необхідно обчислити довжини ліній трикутників за формулою теореми синусів і дирекційні кути сторін ходової лінії  $P, 1, 2, \dots, N, P$  полюсної мережі за формулою (103). Ходова лінія утворює замкнутий хід, а тому прямокутні координати точок обчислюють за правилом замкнутого теодолітного ходу.

При побудові планової геодезичної мережі полюсним методом з точністю теодолітних ходів, необхідно на місцевості вибрати або закріпити полюс  $P$ . Полюсом може бути хрест церкви, блискавковідвід заводської труби, телевізійна (радіо) антена, опора ЛЕП та інше, але щоб віддаль від точок ходової лінії до полюса не перевищувала 2 км. Якщо на місцевості відсутні споруди, які можна прийняти за полюс мережі, то в цьому випадку в зручному місці закріплюють віху висотою 2...6 м. Після цього закріплюють пункти за ходовою лінією мережі так, щоб була видимість на задню, передню точки і полюс та щоб кути в точках ходової лінії приблизно не перевищували  $150^\circ$  і не були меншими  $30^\circ$ . Кут при полюсі може бути будь-яким.

Горизонтальні кути вимірюють способом прийомів, якщо в вершині кута два напрямки і способом кругових прийомів коли в вершині кута три і більше напрямків. Будь-яку одну сторону вимірюють як можна точніше.

## **11.2. Прив'язка полюсних мереж до вихідних геодезичних пунктів**

Полюсну мережу з успіхом використовують на площинних і витягнутих територіях. Сама схема мережі може мати будь-який вид і її побудова залежить від умов місцевості. В цьому питанні необхідно, щоб ходова лінія мережі була

замкнутою, або в місці розриву вимірюють горизонтальний кут. Наперед задатися стандартною схемою неможливо.

При прив'язці полюсної мережі до пунктів геодезичної мережі старших класів можуть мати місце випадки розглянуті на рисунках 74, 75, 76, 77 і 78.

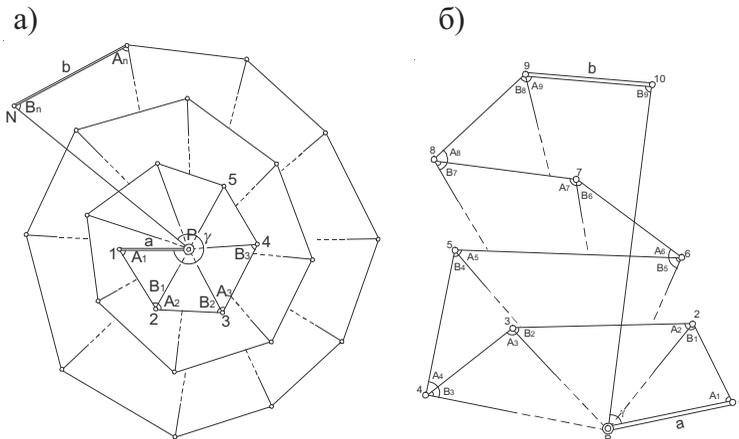


Рис. 72. Схеми полюсної мережі:

а) на великих територіях; б) на витягнутих територіях.

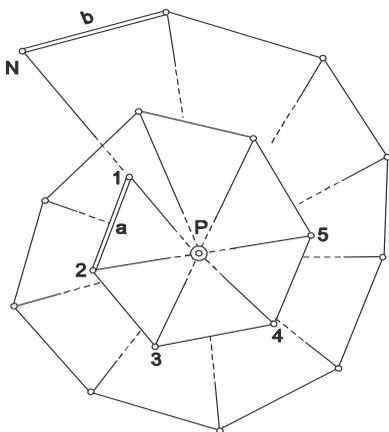


Рис. 73. Полюсна мережа без встановлення теодоліту в пункті  $P$

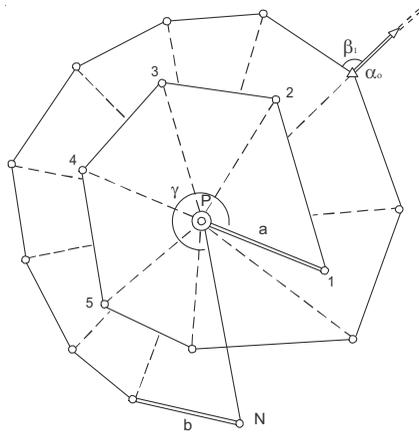


Рис. 74. Включення пункту старшого класу в мережу

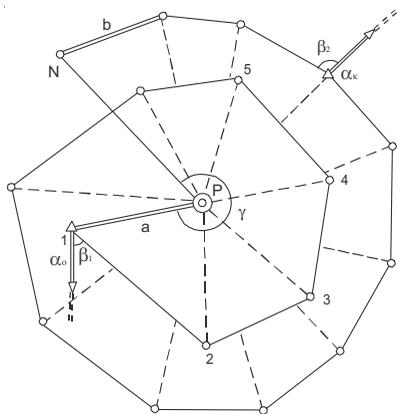


Рис. 75. Два пункти старших класів включені в мережу

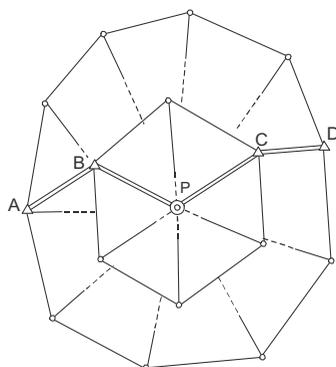


Рис. 76. П'ять пунктів старших класів включені в мережу

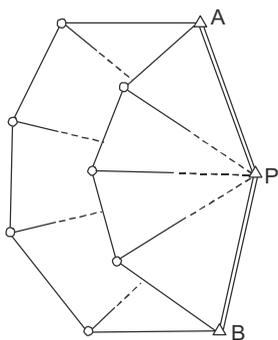


Рис. 77. Спирання полюсної мережі на три пункти старших класів

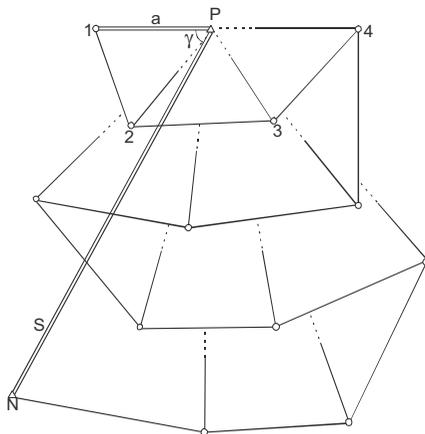


Рис. 78. Спирання полюсної мережі на два пункти старших класів

### **11.3. Економічна ефективність використання полюсних мереж**

Аналізуючи існуючі методи побудови планового знімального геодезичного обґрунтування, можна зробити висновки що:

1) перевагою методу полігонометрії є те, що ходи прокладають за зручно вибраному маршруту, але громіздкі та дорогі лінійні вимірювання знижують ефективність методу, чи взагалі роблять його недоцільним в складних умовах місцевості;

2) перевагою методу триангуляції є те, що він практично виключає лінійні вимірювання, а недоліком вважають те, що в кожному трикутнику потрібно виміряти три кути і на більшості пунктів доводиться міряти більше трьох напрямків.

В полюсному методі запозичені ефективні принципи існуючих методів:

а) від полігонометрії – принцип ходової лінії, яку прокладають за вигідним маршрутом в конкретних фізико-географічних умовах;

б) від триангуляції – принцип тригонометричної передачі довжин сторін ходової лінії;

в) від способу засічок – принцип вимірювання двох кутів в трикутнику і малої кількості напрямків на пункті.

Полюсний метод об'єднує переваги існуючих методів і виключає їх недоліки. Тому цей метод є прогресивним і економічно вигідним.

### **11.4. Камеральні роботи польових результатів полюсної мережі**

При камеральних роботах дотримуються наступної послідовності.

1. Знаходять суму виміряних кутів за формулою

$$\Sigma\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n. \quad (117)$$

2. Обчислюють суму теоретичних кутів:

а) якщо фігура полюсної мережі має форму центральної системи, то за формулою

$$\Sigma\beta_T = 180^\circ(n-2); \quad (118)$$

б) якщо ходова лінія фігури полюсної мережі має форму більше одного витка навколо полюса, то за формулою

$$\Sigma\beta_T = 360^\circ\left(\frac{n}{2} - k - 1\right), \quad (119)$$

де  $n$  – кількість точок в полюсній мережі, включаючи полюс;  
 $k$  – кількість повних обертів навколо полюса.

3. Обчислюють кутову нев'язку за формулою

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{вир}} - \Sigma\beta_T. \quad (120)$$

4. Обчислюють допустиму кутову нев'язку за формулою

$$\text{дон}f_\beta = 2m_\beta\sqrt{n}, \quad (121)$$

де  $m_\beta$  - середня квадратична похибка вимірювання кута.

Якщо  $f_\beta \leq \text{дон}f_\beta$ , то  $f_\beta$  розподіляють з оберненим знаком на виміряні кути.

Обчислюють поправку в кожену вершину кута

розташованих на ходовій лінії за формулою

$$V_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n}. \quad (122)$$

Поправки округляють до  $0,1'$  і розподіляють за наступним правилом: якщо вершина кута ходової лінії складається із суми двох кутів, то в кожен кут додають величину  $V_{\beta}/2$ . За виправленими кутами полюсної мережі та відомим базисом в трикутнику обчислюють сторони при допомозі формули теореми синусів і дирекційні кути ходової лінії за формулами (103). Результати обчислень координат записують в табл.13.

### 11.5. Приклад камеральної обробки польових вимірювань полюсної мережі

В селі Моквин урочище “Заровечче” Березнівського району Рівненської області побудована полюсна мережа (рис.79).

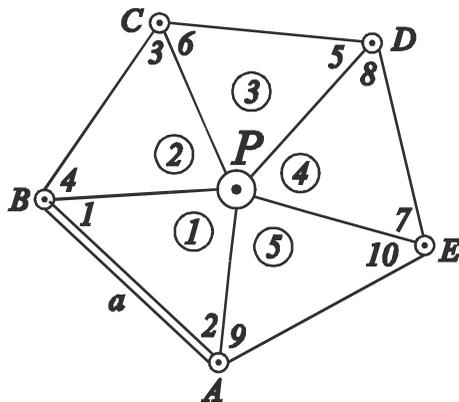


Рис.79. Полюсна мережа

Вихідні дані: базис  $a=72,55$  м; дирекційний кут сторони  $d_{AB}$  становить  $\alpha_{AB}=16^{\circ}03,0'$ ; прямокутні координати точки  $I$  становлять  $X_I=1000,00$  м  $Y_I=1000,00$  м. Необхідно урівняти полюсну мережу спрощеним методом та обчислити прямокутні координати точок і площу ділянки за прямокутними координатами.

Коли необхідно побудувати планове геодезичне обґрунтування на ділянці з невеликою площею, то найкраще в цьому випадку будувати полюсну мережу. За полюс приймають віху встановлену в зручному місці приблизно на середині ділянки так, щоб з усіх точок ходової лінії було видно полюс. В нашому випадку ходова лінія на місцевості закріплена точками  $A, B, C, D, i E$ . В цих точках виміряні горизонтальні кути  $1, 2, 3, \dots, 10$ , які є складовою частиною геометричної фігури п'ятикутника.

Результати спрощеного урівнювання полюсної мережі доцільно заносити в табл.13.

Таблиця 13

Рішення трикутників полюсної мережі

№ Δ.	№ кут.	Вим. кути	Поправка	Вип. кути	Сінуси кутів	Сторони	Наз. стор.
1	1	$62^{\circ} 35,0'$	+0,1	$62^{\circ} 35,1'$	0,88770	<b>149,34</b>	$d_{AP}$
	2	$91^{\circ} 52,0'$	+0,1	$91^{\circ} 52,1'$	0,99947	168,14	$d_{BP}$
	1+2	$154^{\circ} 27,0'$	+0,2	$154^{\circ} 27,2'$	0,43125	72,55	$a$
2	3	$44^{\circ} 57,5'$	+0,1	$44^{\circ} 57,6'$	0,70661	168,14	$d_{BP}$
	4	$65^{\circ} 31,0'$	+0,1	$65^{\circ} 31,1'$	0,91009	216,56	$d_{CP}$
	3+4	$110^{\circ} 28,5'$	+0,2	$110^{\circ} 28,7'$	0,93680	222,91	$d_{BC}$
3	5	$43^{\circ} 49,0'$	+0,1	$43^{\circ} 49,1'$	0,69237	216,56	$d_{CP}$
	6	$34^{\circ} 22,0'$	+0,1	$34^{\circ} 22,1'$	0,56451	176,57	$d_{DP}$
	5+6	$78^{\circ} 11,0'$	+0,2	$78^{\circ} 11,2'$	0,97882	306,15	$d_{CD}$
4	7	$45^{\circ} 54,0'$	+0,1	$45^{\circ} 54,1'$	0,71815	176,57	$d_{DP}$
	8	$52^{\circ} 35,5'$	+0,1	$52^{\circ} 35,6'$	0,79434	195,30	$d_{EP}$
	7+8	$98^{\circ} 29,5'$	+0,2	$98^{\circ} 29,7'$	0,98903	243,17	$d_{DE}$
5	9	$57^{\circ} 59,0'$	+0,1	$57^{\circ} 59,1'$	0,84791	195,30	$d_{EP}$
	10	$40^{\circ} 24,0'$	+0,1	$40^{\circ} 24,1'$	0,64814	<b>149,29</b>	$d_{AP}$
	9+10	$98^{\circ} 23,0'$	+0,2	$98^{\circ} 23,0'$	0,98931	227,87	$d_{AE}$

$$1) \sum \beta = 539^{\circ}59,0'; 2) \sum \beta = 540^{\circ};$$

$$3) f_{\beta} = \sum \beta - \sum \beta_T = 1'; 4) \text{donf}_{\beta} = 1' \sqrt{5} = 2,2'.$$

Маючи довжини сторін ходової лінії  $d_{AB}, d_{BC}, d_{CD}, d_{DE}$  і  $d_{EA}$  і початковий дирекційний кут сторони  $d_{AB}$  та початкові прямокутні координати точки  $A$ , обчислюють прямокутні координати точок полюсної мережі за правилом замкнутого теодолітного ходу. Результати обчислень заносять в табл. 14.

Для обчислення прямокутних координат точок полюсної мережі необхідно обчислити горизонтальні кути в точках  $A, B, C, D$  і  $E$  ходової лінії. Кути обчислюють з урахуванням первинної кутової поправки.

$$\begin{aligned} \beta_A &= \beta_2 + \beta_9 = 91^{\circ}52,1' + 57^{\circ}59,1' = 149^{\circ}51,2' \\ \beta_B &= \beta_1 + \beta_4 = 62^{\circ}35,1' + 65^{\circ}31,1' = 128^{\circ}06,2' \\ \beta_C &= \beta_3 + \beta_6 = 44^{\circ}57,6' + 34^{\circ}22,1' = 79^{\circ}19,7' \\ \beta_D &= \beta_5 + \beta_8 = 43^{\circ}49,1' + 52^{\circ}35,6' = 96^{\circ}24,7' \\ \beta_E &= \beta_7 + \beta_{10} = 45^{\circ}54,1' + 40^{\circ}24,1' = 86^{\circ}18,6'. \end{aligned}$$

Площу земельної ділянки обчислюють аналітичним способом, коли відомі прямокутні координати точок вершин геометричної фігури, за формулою

$$2P = \sum X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}) = \sum Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}). \quad (123)$$

Результати обчислення площ записують в табл.15.

Таблиця 14

## Відомість

обчислення прямокутних координат точок похвальної мережі

№ точ.	Виправлені кути	Дирекційні кути	Горизононт. прокладання	Прирости		Координати	
				$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
A	-	<b>16° 03,0'</b>	72,55	+69,72	+20,06	<b>1000,00</b>	<b>1000,00</b>
B	128° 06,2'	67° 56,8'	222,91	+83,70	-0,01 +206,60	1069,72	1020,06
C	79° 19,7'	168° 37,1'	306,15	+0,01 -300,13	-0,01 +60,42	1153,42	1226,65
D	96° 24,7'	252° 12,4'	243,17	-74,31	-0,01 -231,54	853,30	1287,06
E	86° 18,2'	345° 54,2'	227,87	+221,01	-0,01 55,50	778,99	1055,51
A	149° 51,2'	<b>16° 03,0'</b>	P=1073	$f_x = -$ 0,01	$f_y = +$ 0,04	<b>1000,00</b>	<b>1000,00</b>

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,04^2} = 0,04;$$

$$f_{eю} = \frac{1}{P / f_{abc}} = \frac{1}{1073 / 0,04} = \frac{1}{26816}.$$

Таблиця 15

Відомість  
обчислення площі за прямокутними координатами

№ точ.	Координати		$X_i(Y_{i+1}-Y_{i-1})$	$Y_i(X_{i-1}-X_{i+1})$
	$X$	$Y$		
<i>A</i>	1000,00	1000,00	-35450,00	-2907306,00
<i>B</i>	1069,72	1020,06	+242452,03	-156497,60
<i>C</i>	1153,42	1226,65	+307963,14	+265471,59
<i>D</i>	853,30	1287,06	-146033,76	+481913,87
<i>E</i>	778,99	1055,51	-223616,87	-154843,31

$$2P=145314,54 \quad 2P=145314,55$$

$$P=72657,27 \text{ м}^2 \quad P=72657,27 \text{ м}^2$$

$$P=7,2657 \text{ га} \quad P=7,2657 \text{ га}$$

## РОЗДІЛ 12

### ПОБУДОВА ВИСОТНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ

#### 12.1. Польові роботи при технічному нівелюванні

Встановлюють нівелір між двома точками, які закріплені на місцевості. Початкова із них точка  $A$  обов'язково повинна мати відому висоту (рис. 80).

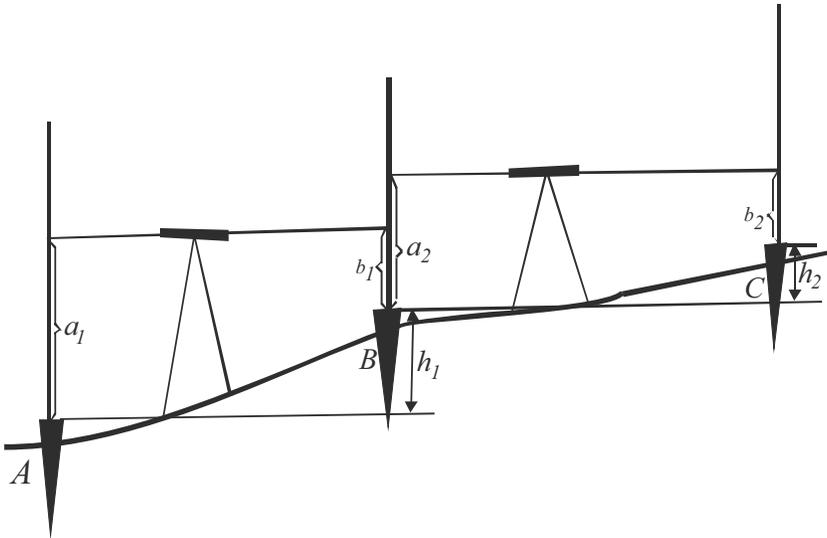


Рис.80. Технічне нівелювання

Для того щоб визначити висоти закріплених точок на місцевості, за ними прокладають нівелірний хід технічної точності. Нівелювання починають від точки, висота якої відома, і спостереження виконують за програмою:

- 1) відлік з чорної сторони задньої рейки;
- 2) відлік з чорної сторони передньої рейки;
- 3) відлік з червоної сторони передньої рейки;

4) відлік з червоної сторони задньої рейки.

Дану програму необхідно виконувати тому, що вона дозволяє виявити похибку за осідання штатива або точки, на якій встановлена рейка, і вчасно вжити відповідних заходів.

Результати спостережень на кожній станції записують в журнал технічного нівелювання (табл. 16). Зняті відліки з чорної і червоної сторін кожної рейки контролюють, шляхом обчислення п'ятки рейки. **П'ятка рейки** це число, яке зафіксоване на рейці в нижній її частині червоної сторони. На заводі рейки виготовляють з п'ятками 4683, 4783, 4883.

П'ятку рейки обчислюють за правилом – від відліку червоної сторони віднімають відлік чорної сторони.

Якщо при нівелюванні нівеліром *H-3* отримали п'ятку відповідної рейки в межах 4680-4686, 4780-4786, 4880-4886 або при нівелюванні нівеліром *H-10* отримали п'ятку відповідної рейки в межах 4673-4693, 4773-4793, 4873-4893, то вважають, що відліки взяті з рейок вірні. При порушенні цієї умови необхідно нівелювання повторити.

В залежності від вибраного нівеліра (*H3* чи *H10*) залежить точність нівелірного ходу, тому що цифри 3 і 10 означають величину середньої квадратичної похибки визначення перевищення на станції, тобто 3 і 10 мм.

На станції визначають перевищення два рази, і їх знаходять за формулою

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1; \\ h_2 &= a_2 - b_2, \end{aligned} \quad (124)$$

де  $a_1$  – відлік по чорній стороні задньої рейки;

$b_1$  – відлік по чорній стороні передньої рейки;

$a_2$  – відлік по червоній стороні задньої рейки;

$b_2$  – відлік по червоній стороні передньої рейки.

Якщо  $h_1 - h_2 \leq 5$  мм, то обчислюють середнє перевищення за формулою

$$h_{cp} = (h_1 + h_2)/2. \quad (125)$$

Якщо  $h_1 - h_2 > 5\text{мм}$ , то нівелювання повторюють.

Такі дії виконують на кожній станції, а результати записують в журнал (табл.16).

## 12.2. Камеральна обробка результатів технічного нівелювання

Урівнювання нівелірного ходу виконують в такій послідовності.

1) Знаходять суму виміряних перевищень за формулою

$$\Sigma h_B = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n \quad (126)$$

де  $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$  – перевищення між зв'язуючими точками.

2) Обчислюють суму теоретичних перевищень:

а) розімкнутого нівелірного ходу за формулою

$$\Sigma h_T = H_k - H_n, \quad (127)$$

де  $H_k$  і  $H_n$  – відомі висоти кінцевої та початкової точок нівелірного ходу;

б) замкнутого нівелірного ходу за формулою

$$\Sigma h_T = 0. \quad (128)$$

3) Нев'язку в нівелірному ході обчислюють за формулою

$$f_h = \Sigma h_B - \Sigma h_T \quad (129)$$

4) Допустиму невязку в ході вираховують за формулою

$$\partial_{\text{оп}} f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (130)$$

де  $L$  - довжина нівелірного ходу в кілометрах.

Якщо  $f_h \leq \partial_{\text{оп}} f_h$ , то невязку  $f_h$  розподіляють порівно на всі

перевищення станцій з оберненим знаком. Поправку слід округлити до цілих міліметрів. Наприклад: у нівелірному ході використано 11 станцій. Нев'язка дорівнює +13 мм, яку слід розподілити так: на 9 перевищень по (-1) мм, а на два перевищення по (-2) мм.

**Контроль:** сума поправок повинна дорівнювати невязці з протилежним знаком.

Висоти точок обчислюють послідовно, тобто

$$\begin{aligned}
 H_1 &= H_n + h_1; \\
 H_2 &= H_1 + h_2; \\
 H_3 &= H_2 + h_3; \\
 &\dots\dots\dots \\
 H_k &= H_n + h_n;
 \end{aligned}
 \tag{131}$$

де  $h_i$  - виправлене перевищення.

Після приїзду на базу дислокації приступають до перевірки результатів польових вимірювань.

### 12.3. Урівнювання розімкнутого нівелірного ходу технічного нівелювання

Розімкнутим ходом називають хід, який опирається на дві точки з відомими висотами (рис.81).

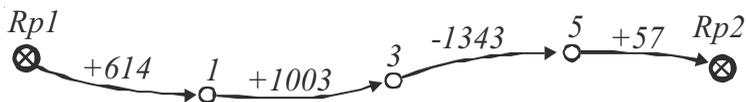


Рис.81. Розімкнутий нівелірний хід

Результати польових вимірювань представлені в журналі технічного нівелювання (табл.16).

Приступають до урівнювання виміряних результатів. Знаходять суму виміряних перевищень, суму теоретичних перевищень і невязку перевищень. Невязку перевищень розраховується наступним чином: від суми виміряних перевищень віднімають суму теоретичних перевищень, тобто за формулою

$$f_h = \sum h_{\text{вим}} - \sum h_m \quad (132)$$

Якщо  $f_h \leq \text{дон}f_h$ , то нев'язку розподіляють на всі перевищення з оберненим знаком. Для цього знаходять поправки для кожної станції (штатива). Поправка дорівнює нев'язці поділеній на кількість станцій (штативів). Контролем є те, що сума поправок дорівнює нев'язці з оберненим знаком.

Таблиця. 16

**Журнал технічного нівелювання розімкнутого ходу**

№ станції	№ точок нівелювання	Відліки по рейці		Перевищення, мм			Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
		зад-ній	перед.	вира-хуване	се-редне	вип-равлене		
1	Rp1 1	1109					145,456	
		5893	0496	+613	+614			
		4784	5278 4782	+615				
2	1 3	1480						
		6262	0477	+ 1003				
		4782	5259 4782	+ 1003	+1003			
3	3 5	0446						
		5228	1788	-1342				
		4782	6572 4784	-1344	-1343			
4	5 Rp2	0970					145,756	
		5751	0912	+ 58				
		4781	5695 4783	+ 56	+ 57			

Посторінковий контроль:

$\Sigma Z =$  \_\_\_\_\_ ;  $\Sigma П =$  \_\_\_\_\_ ;  $\Sigma h =$  \_\_\_\_\_ ;  $\Sigma h_{\text{сп}} =$  \_\_\_\_\_

$\Sigma 3 - \Sigma II =$  \_\_\_\_\_

1. Сума обчислених перевищень  $\Sigma mh_{cp} =$  \_\_\_\_\_

2. Сума теоретичних перевищень  $\Sigma h_T =$  \_\_\_\_\_

3. Нев'язка в нівелірному ході  $f_h = \Sigma h_{cp} - \Sigma h_T =$  \_\_\_\_\_

4. Допустима невязка  $\text{дон}f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{L} =$  \_\_\_\_\_

Примітка:  $L = KT =$  \_\_\_\_\_

Після урівнювання нівелірний журнал має вид (табл. 17).

Таблиця 17

**Журнал технічного нівелювання розмікнутого ходу**

№ станції	№ точок нівелювання	Відліки по рейці		Перевищення, мм			Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
		задній	передній	вираховане	середнє	виправлене		
1	Rp1	1109					146,565	145,456
	1	5893 4784	0496 5278 4782	+613 +615	-7 +614	+ 607		146,063
2	1	1480					147,543	146,063
	3	6262 4782	0477 5259 4782	+ 1003 + 1003	-8 +1003	+ 995		147,058
3	3	0446					147,504	147,058
	5	5228 4782	1788 6572 4784	-1342 -1344	-8 -1343	-1351		145,707
4	5	0970					146,677	145,707
	Rp2	5751 4781	0912 5695 4783	+ 58 + 56	-8 + 57	+ 49		145,756

Посторінковий контроль:

$\Sigma Z=27139$ ;  $\Sigma П=26477$ ;  $\Sigma h=+662$ ;  $\Sigma h_{cp} = +331$   $\Sigma Z-\Sigma П=+662$

1. Сума обчислених перевищень  $\Sigma h_{cp} = +331$

2. Сума теоретичних перевищень  $\Sigma h_T = H_{Rp2} - H_{Rp1} = +300$

3. Нев'язка в нівелірному ході  $f_h = \Sigma h_{cp} - \Sigma h_T = +31$

4. Допустима невязка  $\partial on f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{0,54081} = 37 \text{ мм}$ .

Розглянемо декілька задач на конкретному прикладі урівнювання ходів технічного нівелювання.

## 12.4. Урівнювання замкнутого полігону

В замкнутому нівелірному ході, який опирається на репер  $R_p$ , висота його відома. Висоти точок в замкнутому ході обчислюють наступним чином (рис.82).

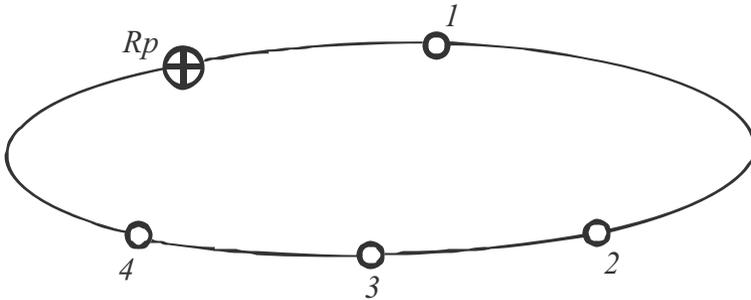


Рис.82. Замкнутий нівелірний хід

В графу 2 відомості виписують виміряні перевищення між сусідніми точками та знаходять їх суму  $\Sigma h_g$  (табл.18). В нашому випадку сума виміряних перевищень ходу дорівнює  $+15 \text{ мм}$ . За формулою (129) визначають невязку, а за формулою (133) поправку на кожен станцію (штатив) з оберненим знаком за формулою

$$v = -f_h / n, \quad (133)$$

де  $n$  – кількість станцій (штативів) в ході.

Поправки заокруглюють до цілих міліметрів. Наприклад, в нашому випадку кількість штативів дорівнює 8, а нев'язка становить  $+15$  мм, тому поправки при визначенні підібрані так, щоб їх сума дорівнювала неув'язці з оберненим знаком. До вимірних перевищень додають поправки і отримують виправлені перевищення, які записують в графу 5.

Висоти точок нівелірного ходу визначають шляхом послідовного алгебраїчного додавання виправлених перевищень до відомих висот, починаючи з вихідного репера. Результати обчислень записують в графу 6.

Контролем обчислень є отримання висоти кінцевого вихідного репера.

Табл. 18 запозичена з книги А.А. Лукер'їн, В.Н. Гоцицкий Уравновешивание геодезических величин. Киев, 1968,-С. 212.

Таблиця 18

Відомість обчислення висот точок технічного нівелювання

Номери точок	Виміряні перевищення, мм	К-сть штативів	Поправки, мм	Виправ. перевищення	Висоти точок, м
1	2	3	4	5	6
$R_p$	+2106	2	-4	-4	68,020
1	+1310	1	-2	-2	70,122
2	+101	1	-2	-2	71,430
3	-1002	1	-2	-2	71,529
4	-2500	3	-5	-5	70,525
$R_p$					68,020

$$\sum h_g = +15 \quad n=8 \quad \sum v = -15 \quad \sum h_T = 0$$

$$\sum h_T = 0$$

$$\partial \text{оn} f_h = \pm 50 \sqrt{0,9} = \pm 48 \text{ мм}$$

## РОЗДІЛ 13

### ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

#### 13.1. Теодолітне знімання місцевості

Теодолітне знімання існуючих споруд і ситуації на місцевості виконується з точок планового геодезичного обґрунтування та ліній між точками цього обґрунтування. Знімання ситуації (контурів і предметів) місцевості при теодолітному зніманні полягає в прив'язці шляхом тих чи інших вимірювань ситуації до сторін і точок планового геодезичного знімального обґрунтування.

При теодолітному зніманні ситуації, контурів і предметів використовують наступні способи: полярний, перпендикулярів, кутової засічки, лінійної засічки та створної засічки.

#### 13.2. Полярний спосіб

Полярний спосіб знімання місцевості полягає в тому, що будь-які точки на місцевості визначаються полярними координатами і використовується для знімання відкритих контурів і характерних точок місцевості. В результаті вимірювання відповідних елементів отримують полярні координати точки. Полярними координатами будь-якої точки є горизонтальний кут  $\beta$  і горизонтальне прокладення  $d$ .

Точка 8 над якою встановлюють теодоліт називається станцією. Оскільки на станції доводиться вимірювати велику кількість горизонтальних кутів, то в цьому випадку доцільно орієнтувати лімб. Тобто, нуль на лімбі слід розташовувати за напрямком 8-9 і в цьому положенні закріпити його закріпним гвинтом лімба горизонтального круга (рис. 83).

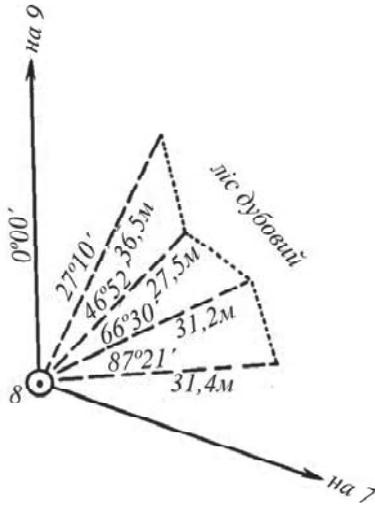


Рис.83. Абрис знімання способом полярних координат

Орієнтування теодоліта, який встановлений над точкою 8 виконують в такій послідовності. Відкріплюють закріпний гвинт алідади горизонтального круга і суміщають нуль алідади з нулем лімба. Закріплюють закріпний гвинт алідади і відкріплюють закріпний гвинт лімба та наводять зорову трубу теодоліта на точку 9. Закріплюють закріпний гвинт лімба і відкріплюють закріпний гвинт алідади. Таке положення горизонтального круга називають орієнтуванням теодоліта на точку 9.

При орієнтованому теодоліті зняті відліки з горизонтального круга на будь-яку точку місцевості будуть відповідати горизонтальним кутам  $\beta_i$  між напрямком на точку 9 і відповідною станцією місцевості. Довжину радіуса-вектора вимірюють сталевую стрічкою, сталевую рулеткою, або нитковим віддалеміром теодоліта. При цьому довжини радіусів-векторів не повинні перевищувати величин, приведених в табл.19.

## Допустимі величини радіусів-векторів, м

Масштаб знімання	Віддаль до контуру ситуації, при вимірюваннях, м					
	сталю стрічкою		нитковим віддалеміром		оптичним віддалеміром	
	твердих	нетверд.	твердих	нетверд.	твердих	нетверд.
1:500	120	150	40	50	80	120
1:1000	180	200	60	100	120	180
1:2000	250	300	100	120	180	250

## 13.3. Спосіб перпендикулярів

Спосіб перпендикулярів використовують при горизонтальному зніманні контурів, які розташовані поблизу сторін існуючого планового геодезичного обґрунтування (рис. 84).

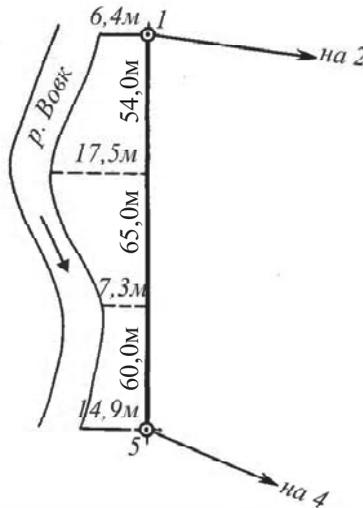


Рис.84. Абрис знімання способом перпендикулярів

В нашому випадку поблизу сторони  $d_{3,1}$  протікає річка Вовк, яку потрібно зняти. Для цього в точці 5 встановлюють перпендикуляр і заміряють віддаль сталювою стрічкою до берега

річки. В нашому випадку вона дорівнює  $14,9$  м, що показують на абрисі. Після цього на лінії  $d_{5-1}$  від точки 5 міряють віддаль до характерної точки повороту річки. В нашому випадку ця віддаль дорівнює  $60$  м. В цій точці встановлюють перпендикуляр і за ним міряють віддаль до річки, яка дорівнює  $7,3$  м і т. д. Результати вимірювань записують в абрис, який складають до початку вимірювань за формою взаємного розташування річки та сторони обґрунтування приведеного на рис.84.

### 13.4. Спосіб кутової засічки

Спосіб кутової засічки застосовують в основному при зніманні точок споруд чи ситуації, які обумовлені відповідними перешкодами для безпосереднього вимірювання довжин ліній. (рис. 85).

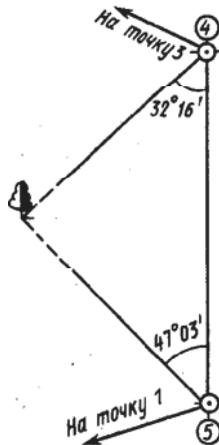


Рис. 85. Абрис знімання способом кутової засічки

Цей спосіб використовують для знімання точок (окремих дерев, опор ліній електропередач, кутових ліній зв'язку т. ін.), які розташовані на значній віддалі від сторін обґрунтування (рис. 85).

Положення окремого дерева визначається шляхом вимірювання горизонтальних кутів  $\alpha$  і  $\beta$  в точках відповідно 5 і 4

сторони  $d_{5-4}$  планового обґрунтування. Для рішення задач технічної точності кути вимірюють теодолітом 2Т30. Якщо потрібно надійно проконтролювати виміри то вимірюють горизонтальний кут в точці С (окреме дерево).

### 13.5. Спосіб лінійної засічки

Спосіб лінійної засічки використовують у тих випадках, коли точки споруд чи ситуації знаходяться поблизу точок та ліній планового геодезичного обґрунтування, тобто віддалі не перевищують довжини мірного приладу (стрічки, рулетки) (рис.86).

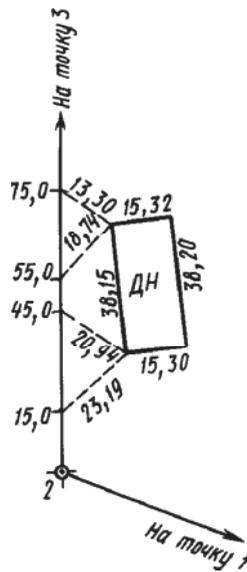


Рис. 86. Абрис знімання контуру будинку способом лінійної засічки

Для того щоб зафіксувати ближній кут на місцевості існуючої будівлі вимірюють віддаль на стороні  $d_{2-3}$ . В нашому випадку вона

дорівнює 15,0 м. Фіксують цю точку і від неї заміряють віддаль до кута будівлі, яка дорівнює 23,19 м. Після цього від точки 15,0 м на лінії продовжують міряти і зупиняються на віддалі 45 м. Фіксують точку і від неї міряють віддаль до того ж самого кута будівлі, що й у першому випадку. Ця віддаль дорівнює 20,94 м. Таким чином кут будівлі надійно зафіксований і на плані його легко зобразити і т. д. За своєю точністю цей спосіб є найточнішим. Його часто використовують при детальному розмічуванні будь-яких елементів під час будівництва.

### 13.6. Спосіб створної засічки

Спосіб створної засічки використовують при детальному зніманні характерних точок і наявності відповідних умов при їх взаємному розташуванні (рис. 87).

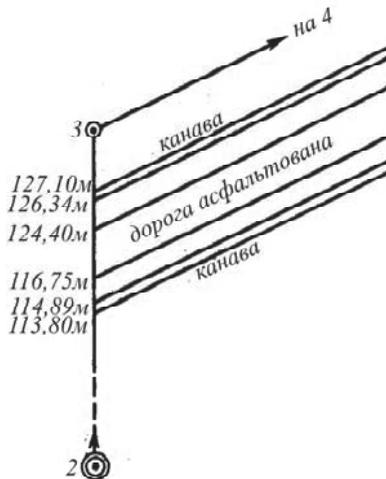


Рис.87. Абрис знімання способом створів

Для того щоб зняти шосейну дорогу, яку перетинає сторона  $d_{2-3}$  обґрунтування, діють наступним чином. Від точки 2 за

напрямок на точку 3 до характерних точок шосе вимірюють відстані. В нашому випадку вони становлять *113,80, 114,89, 116,75 м*, тощо (рис. 87).

### 13.7. Побудова горизонтального плану

План теодолітного знімання будують на основі складеного абрису під час виконання польових робіт (рис.83, 84, 85, 86, 87). При побудові плану дотримуються наступної послідовності виконання робіт.

На креслярському аркуші паперу певного розміру, або планшеті на алюмінійовій основі будують сітку прямокутних координат. Сітка координат будується за встановленими стандартними розмірами квадрату *10×10 см*. Побудову координатної сітки найкраще виконувати за допомогою спеціального приладу – координатографа, або шаблона. Шаблон представляє собою алюмінієвий лист розміром *60×60 см* і товщиною *1 мм* на якому у вершинах квадратів *10×10 см* просвердлені дірки діаметром *0,5 мм*. Для користування таким шаблоном достатньо його покласти на креслярський аркуш паперу чи планшет і загостреним олівцем в кожній вершині квадрату намітити точку. Прибравши шаблон, проводять лінію за допомогою лінійки по нанесених мітках. Часто в таких випадках користуються лінійкою Дробишева (рис. 88).

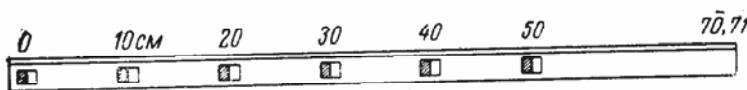


Рис.88. Лінійка Дробишева

За допомогою цієї лінійки будують сітку дециметрових квадратів (*5×5* або *3×4* квадратів). Скошені краї отворів лінійки мають різні форми: перший зліва отвір – пряму лінію, а в інших – дуги радіусу, послідовно *10, 20, 30, 40* і *50 см* і кінець лінійки *70,71 см*. Цей кінцевий розмір відповідає довжині діагоналі квадрату розміром *50×50 см*. Щоб побудувати сітку квадратів загальним

розміром  $50 \times 50$  см, лінійку кладуть на аркуш креслярського паперу або планшет так, щоб в нижній частині вона була паралельна (на око) нижньому зрізу аркуша або планшету. Гостро загостреним олівцем в отворах за скошеним крім проводять дуги на аркуші чи планшеті за винятком початкового, в початковому отворі навпроти штриха нанесеного на скошеному краї намічають точку  $A$  (рис.89).

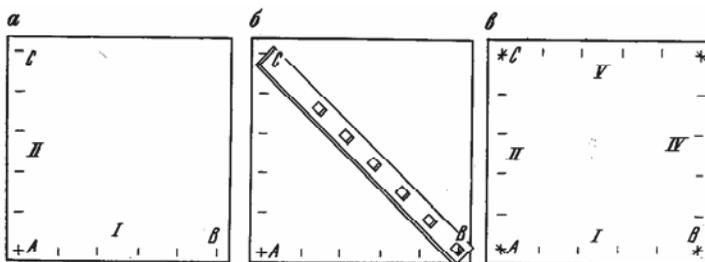


Рис.89. Побудова сітки прямокутних координат

Після цього повертають лінійку вліво, приблизно на  $90^\circ$  і суміщають штрих початкового отвору з точкою  $A$  та проводять дугу в інших отворах, відповідно  $6, 7, 8, 9$  і  $10$ . Знаходять середину дуги  $10$  і намічають точку  $B$ . Штрих початкового отвору суміщають з точкою  $B$ , а лінійку направляють за діагоналлю на другу точку  $5$  і за скошеним крім кінця лінійки ( $70,715$  см) прокреслюють дугу. Точку перетину дуг позначають  $C$ , в результаті отримують прямокутний трикутник  $ABC$ . Аналогічним чином отримують точку  $D$ . З'єднавши точки  $A, B, D, C$  лінією товщиною  $0,1$  мм і отримують основний квадрат планшету. З'єднують протилежні дуги лініями товщиною  $0,1$  мм і отримують сітку прямокутних координат.

Точки  $A, B$  і  $C$  отримані майже з однаковою точністю, враховуючи при цьому точність виготовлення лінійки. При цьому найбільшу похибку може мати відрізок  $A-10$  через неточне визначення середини положення точки  $A$  штрихом при другому положенні лінійки.

Нехай лінійка змістилася в точку  $A'$  (рис.90) на віддаль  $a$

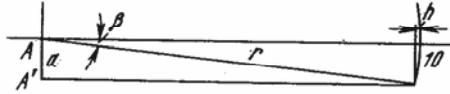


Рис.90. Геометрична суть зміщення лінійки

від середини штриха. Тоді через кривизну штриха, проведеного за скошеним краєм другого отвору, виникає похибка  $h$ , яку обчислюють за формулою

$$h = a \times \text{tg}\beta/2 = a^2/r. \quad (134)$$

Для того, щоб похибка  $h$  не перевищувала  $0,1$  мм (при  $r=1$  дм, зміщення лінійки  $a$  повинно бути не більше  $3$  мм, чого легко досягти.

Про якість побудови координатної сітки можна судити з результатів перевірки діагоналей, які зв'язують вихідну точку  $A$  з найбільш віддаленою точкою  $D$ . Допуск  $0,2$  мм слід вважати строгим, причому похибка в положеннях штрихів на сторонах  $CD$  і  $BD$  буде в  $\sqrt{2}$  рази менше. [Сиротин, А.А. Реминский Вариант построения координатной сетки. // Г и К-№7. 1978.-С- 60-62].

Побудовану сітку прямокутних координат контролюють шляхом вимірювань діагоналей кожного квадрату за допомогою вимірника. Розходження можливе в межах  $0,3$  мм порівнюють з істинним.

Координатну сітку підписують з чотирьох сторін, згідно вибраного масштабу плану. Для планів масштабів  $1:500$ ,  $1:1000$ ,  $1:2000$  і  $1:5000$  координатну сітку підписують кратно числам в метрах відповідно  $50$ ,  $100$ ,  $200$  і  $500$  м. Координатну сітку підписують в метрах для масштабів  $1:500$  і  $1:1000$ , і в кілометрах для масштабів  $1:2000$  і  $1:5000$ .

Розміри планшетів залежать від масштабу плану. Кожен планшет відповідного масштабу має свої розміри рамки і на ньому зображається певна площа земельної ділянки (табл. 20).

## Розміри рамок планшетів та їх площі

Масштаби	Розміри, <i>см</i>	Площа земельної ділянки на планшеті	
		<i>км<sup>2</sup></i>	<i>га</i>
1:5000	40 × 40	4	400,00
1:2000	50 × 50	1	100,00
1:1000	50 × 50	0,25	25,00
1:500	50 × 50	0,0625	6,25

У відповідному масштабі точки планового геодезичного обґрунтування за відомими прямокутними координатами наносять на план. На плані точку оформляють згідно умовних знаків для відповідного масштабу. Зліва підписують номер або назву точки. Користуючись абрисом складеним в польових умовах, на планшет наносять ситуацію, споруди, границі угідь тощо. Місцеві предмети і характерні точки контурів наносять у відповідності з результатами і способами знімання місцевості.

Точки, зняті способом полярних координат, на план наносять графічним способом. Горизонтальні кути між орієнтирним напрямком і точкою місцевості відкладають за допомогою геодезичного транспортира з точністю *0,1 мм*, а горизонтальні прокладення між станцією і точкою місцевості відкладають за напрямком (станція і мітка відкладеного кута транспортиром) за допомогою вимірника і лінійки поперечного масштабу з точністю *0,1 мм* масштабу плану.

Точки, які зняті способом перпендикулярів, наносять на план за допомогою вимірника і лінійки поперечного масштабу. Оскільки способи знімання характерних точок місцевості поєднують кутові і лінійні вимірювання, то при побудові плану теодолітного знімання в основному використовують вимірник і лінійку поперечного масштабу.

Після закінчення нанесення на план точок обґрунтування і ситуації переходять до його кінцевого оформлення. Всі підписи і

цифри на плані розташовують за напрямом на північ (рис.91). Зображення споруд, ситуації та інше виконують тільки до внутрішньої рамки планшету. Зарамочне оформлення планшету виконується згідно існуючих умовних знаків і додатку взірця оформлення планшету прикладеного до умовних знаків.

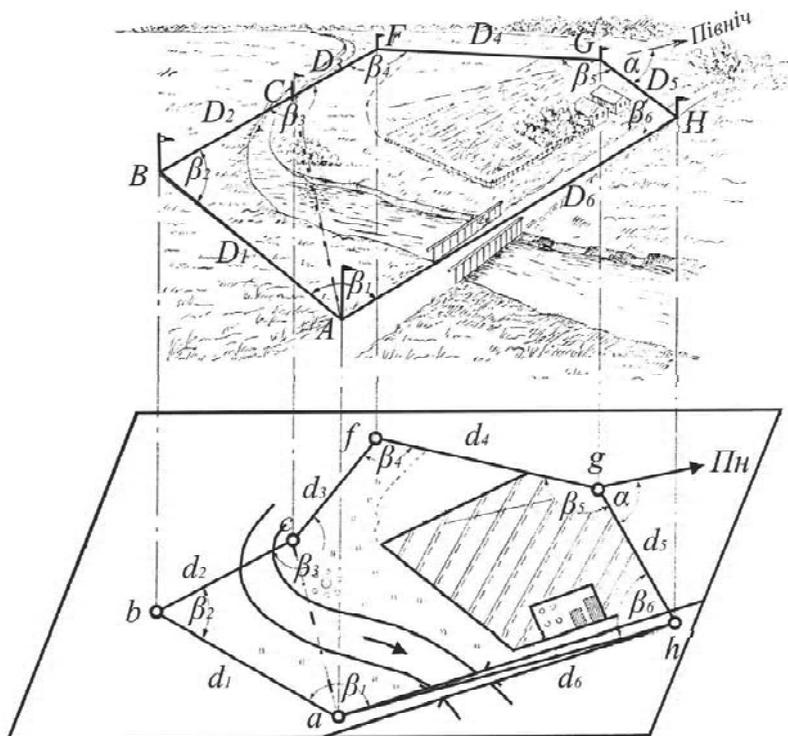


Рис.91. Суть горизонтального знімання

## РОЗДІЛ 14

### ТОПОГРАФІЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

#### 14.1. Нівелювання поверхні за квадратами

Нівелювання є найпростішим заходом визначення висот точок земної поверхні. Сам процес визначення висоти будь-якої точки зводиться до вимірювання відповідних відстаней (рис.92).

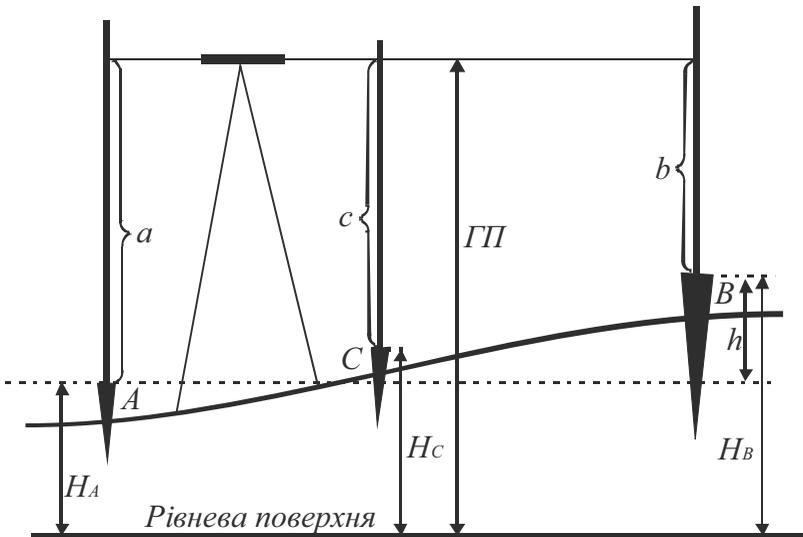


Рис.92. Загальна схема для визначення висот точок

**Висота точки ( $H_A$ )** – це відстань від рівневої поверхні до верху закріпленої точки.

**Відлік по рейці ( $a$ )** – це віддаль від верху точки на якій встановлена рейка до візирної осі нівеліра.

**Горизонт приладу ( $ГП$ )** – це віддаль від рівневої поверхні до візирної осі нівеліра.

Так що процес визначення висот точок зводиться до додавання або віднімання відповідних відрізків.

Наприклад  $h = a - b$ , або  $ГП = H_A + a$ .

Для складання топографічного плану малих і рівнинних ділянок використовують метод нівелювання поверхні.

Це один із видів топографічного знімання місцевості, яке часто застосовують при будівництві, коли необхідно отримати топографічний план ділянки з високою точністю.

Досить визначити координати двох точок  $A$  і  $B$ , щоб зорієнтувати земельну ділянку  $AB12$  (рис.93). На стороні  $AB$  за допомогою теодоліта і мірної стрічки розмічають сітку квадратів з довжиною сторони, визначеної технічним завданням. Загально прийнято призначати сторони квадратів довжиною 5, 10, 20 і 50 м. Вершини квадратів на місцевості фіксують за допомогою дерев'яних кілочків.

Висоти на вершини квадратів передають геометричним нівелюванням від  $P_n 36$ . Спочатку визначають висоту точки  $A$  за формулою

$$H_A = H_{P_n 36} + h, \quad (135)$$

де  $h$  – перевищення між репером 36 і точкою  $A$ .

Нівелір встановлюють приблизно посередині земельної ділянки з таким розрахунком, щоб було видно всі вершини квадратів (рис.93).

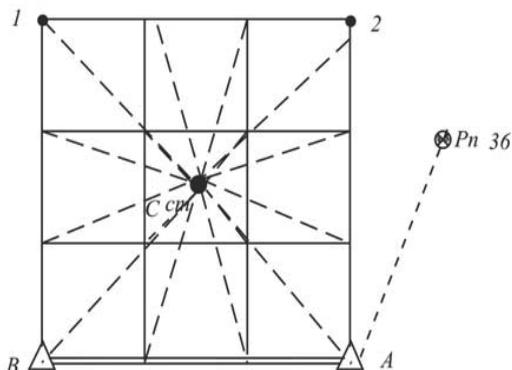


Рис.93. Нівелювання з одної станції

На станції  $C_{ст}$  визначають горизонт приладу. Для цього приводять нівелір в робоче положення, рейку встановлюють на точку  $A$  і знімають відлік по чорній стороні  $a$ . Горизонт приладу обчислюють за формулою

$$ГП = H_A + a, \quad (136)$$

де  $H_A$  – висота точки  $A$ .

Після цього рейку по черзі встановлюють на землю в кожній вершині квадратів і знімають відліки по чорній стороні. Висоти вершин квадратів обчислюються за формулою

$$H_i = ГП - C_i, \quad (137)$$

де  $C_i$  – відлік по чорній стороні рейки, встановленої у відповідній вершині квадратів.

## 14.2. Нівелювання поверхні за паралельними лініями

Спосіб паралельних ліній застосовують на відкритій і закритій місцевості при рівнинному рельєфі. Основою для знімання є магістраль  $AB$ , яка закріплена на території ділянки з метою забезпечення найкращих умов виконання за паралельними лініями (рис.94).

Перпендикулярно до магістралі  $AB$ , а в необхідних місцях і під кутом, розмічають поперечники. Інколи будують поперечники другого порядку  $CD$ ,  $EF$ ,  $MN$  т. ін. Віддаль між поперечниками залежить від характеру місцевості, масштабу і характеру знімання. При зніманні в масштабі 1:2000, поперечники будують через 30-40 м. На кожному поперечнику розмічають пікетаж, починаючи від магістралі.

На початку і в кінці між сусідніми поперечниками вимірюють віддаль.

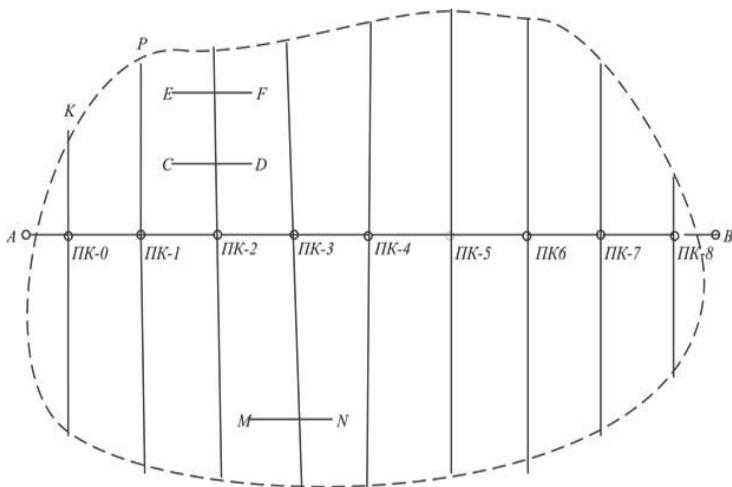


Рис.94. Нівелювання за паралельними лініями

З поперечників виконують знімання контурів і предметів місцевості. Результати знімання записують в пікетажний журнал.

Магістраль нівелюють в прямому і зворотному напрямках, а поперечники лише в прямому. Нівелірний хід по поперечнику починають від магістралі (наприклад, від *ПК-0*); в кінці ходу, в точці *K* переходять на сусідній поперечник в точку *P* і по ньому повертаються до магістралі *ПК-1*. Результати нівелювання записують в журнал.

В камеральних умовах нівелірні ходи урівнюють, вираховують висоти всіх пікетних і плюсових точок, після чого складають план ділянки місцевості у відповідному масштабі.

### 14.3. Нівелювання поверхні за полігонами і створами

Спосіб полігонів застосовують на відкритій місцевості з добре вираженим рельєфом. Основою для знімання в цьому випадку служить мережа замкнених магістралей (рис. 95).

Полігони намагаються прокласти в характерних місцях рельєфу,

за лініями вододілів та водозливів. Для детального знімання ситуації і рельєфу на магістралях полігону будують поперечники.

Пікетні і плюсові точки магістралей і точки на поперечниках розташовують рівномірно по всій території.

Після камеральної обробки польових матеріалів складають топографічний план ділянки.

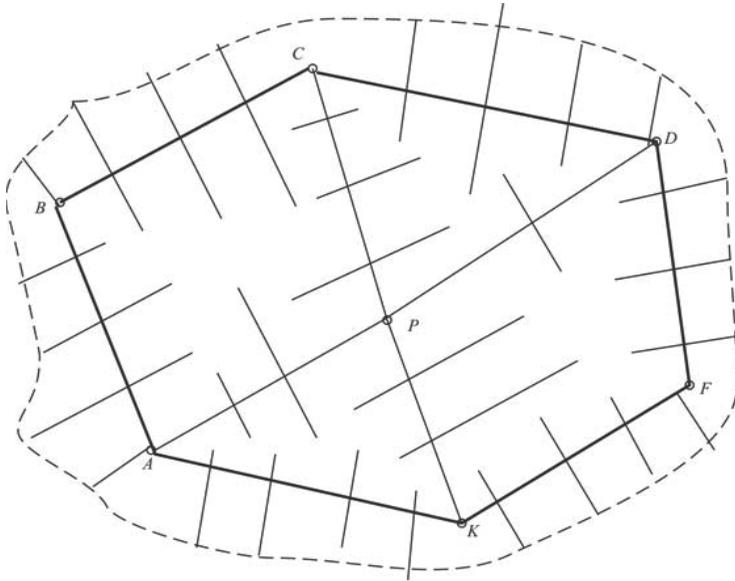


Рис.95. Нівелювання за полігонами і створами

#### **14.4. Побудова топографічного плану за результатами нівелювання поверхні**

На аркуші креслярського паперу будують координатну сітку та підписують її згідно координат точок планової основи. На план наносять точки планової основи за їх прямокутними координатами. В масштабі будують сітку квадратів з відомою стороною, або поперечники. Підписують висоти всіх вершин квадратів та додаткових точок в характерних місцях і наносять ситуацію згідно

пикетажного журналу. За відомим перерізом рельєфу виконують інтерполювання та проводять горизонталі. Коли переріз рельєфу прийнятий 0,25 м, то кожна п'ята горизонталь проводиться потовщеною (0,2 мм).

Горизонталі проводять шляхом інтерполювання, тобто пропорційно поділу віддалі між точками. Помітки поділу з однаковими висотами з'єднують плавною кривою. Виконавець з досвідом інтерполювання виконує на око, а менш досвідчені виконавці користуються палеткою.

В нижній частині плану підписують масштаб, а нижче масштабу пишуть *“Суцільні горизонталі проведені через 0,25 м”*. Підписується фірма, яка виготовила план та прізвище виконавця.

## РОЗДІЛ 15

### ТАХЕОМЕТРИЧНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

#### 15.1. Загальні відомості про тахеометричне знімання

Під назвою “Тахеометрія” (“швидке вимірювання”) розуміють одночасне визначення планового і висотного положення рейкових точок на місцевості. З одної точки стояння, просторові координати якої відомі, визначають положення рейкових (пікетних) точок способом полярних координат (кута  $\beta$  між орієнтирним напрямком і вибраною точкою та віддаллю  $d$  від станції до цієї точки). Перевищення визначають за виміряною віддаллю  $d$  та вимірним вертикальним кутом  $\nu$ .

Якщо використовують горизонтальне прокладання між станцією і вибраною точкою, то перевищення обчислюють за формулою

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - \nu, \quad (138)$$

де  $i$  і  $\nu$  - відповідно висота приладу та висота наведення середньої нитки зорової труби.

Коли віддаль визначена за допомогою ниткового віддалеміра теодоліта і рейки з сантиметровими поділками, то перевищення визначають за формулою

$$h = \frac{1}{2} D' \cdot \sin 2\nu + i - \nu, \quad (139)$$

де  $D'$  - нахилена віддаль між станцією і вибраною точкою.

Велика перевага тахеометричного методу полягає в тому, що необхідно затратити мало часу на вимірювання і визначити положення пікетних точок, як в плані, так і по висоті.

Слід зазначити, що метод тахеометрії характеризується високою точністю. Однак для визначення рельєфу місцевості така точність

практичного значення не має. Метод тахеометрії забезпечує точність визначення положення точки в плані  $20-30\text{ см}$  і по висоті –  $10\text{ см}$  на віддалі  $100\text{ м}$ . При збільшенні віддалі візування ці похибки швидко зростають.

Тахеометричне знімання використовується в основному при складанні планів з горизонталями, на яких розробляють проекти будівництва житлових приміщень, автодоріг, залізних доріг, гідротехнічних і промислових об'єктів тощо.

Характерною особливістю тахеометричного знімання є детальне зображення рельєфу місцевості при дотриманні максимальних віддалей від станції до пікетної точки. Стандартні масштаби та обґрунтовані максимальні віддалі наведені в табл. 21.

Таблиця 21

Максимальні віддалі від станції до пікетної точки при зніманні,  $m$

№№ п/п	Масштаб плану	При зніманні	
		рельєфу	чітких контурів і ситуації
1	1:500	100	60
2	1:1000	150	80
3	1:2000	200	100
4	1:5000	300	150

## 15.2. Основні формули тахеометрії

Похила віддаль між станцією  $A$  і вибраною точкою  $B$  обчислюється за формулою

$$D' = (v - n)k, \quad (140)$$

де  $v$  і  $n$  – відліки з рейки, встановленій в точці  $B$ , відповідно по верхній і нижній нитках сітки ниток зорової труби (рис. 96);  $k$  – коефіцієнт віддалеміра, який дорівнює майже  $100$ .



### 15.3. Польові роботи при тахеометричному зніманні місцевості

В будь-якому випадку для виконання тахеометричного знімання місцевості спочатку необхідно побудувати планову і висотну основу. В деяких випадках її будують шляхом згущення державної мережі. Часто таку основу будують в умовній системі координат і висот.

Послідовність виконання робіт на станції:

1. Приводять теодоліт в робоче положення.
  2. Встановлюють на горизонтальному крузі відлік  $0^{\circ}00',0$  та закріплюють закріпний гвинт аліади горизонтального круга і відкріплюють закріпний гвинт лімба. Наводять зорову трубу теодоліта на сусідню станцію і закріплюють закріпний гвинт лімба горизонтального круга. Відкріплюють закріпний гвинт аліади горизонтального круга і вважають, що теодоліт зорієнтовано на дану точку, про що роблять запис в журналі тахеометричного знімання.
  3. Вимірюють віддаль від верха закріпленої точки на місцевості, над якою встановлений теодоліт, до візирної осі труби теодоліта коли вона розташована горизонтально. Цю віддаль називають висотою приладу і позначають латинською буквою  $i$ .
  4. Робочий іде з рейкою до характерної точки та встановлює її в цій точці вертикально. Спостерігач наводить зорову трубу на рейку так, щоб середня нитка сітки ниток була наведена на відлік, рівний висоті приладу ( $i$ ), або будь-якому цілому числу рейки і це значення записують в журнал.
  5. Знімають відліки спочатку по верхній, а потім по нижній віддалемірних нитках, (слід пам'ятати, що зображення в зоровій трубі – обернене). Приводять бульбашку рівня вертикального круга в нуль-пункт і знімають відліки по горизонтальному і вертикальному кругам з точністю до 1 мінути. Спостереження на станції закінчені.
  6. Після переходу на другу станцію знімання місцевості виконують в послідовності наведеній в пунктах 1, 2, 3, 4 і 5.
- Після закінчення робіт на станції на лімбі горизонтального круга теодоліта встановлюють відлік  $0^{\circ}00',0$ . При цьому вертикальна нитка сітки повинна суміститися з точкою, на яку виконували

орієнтування. В протилежному випадку знімання повторюють.

Щоб не помилитися в номерах рейкових точок з різних станцій, слід для номера пікетів приймати числа які складаються із номера станції і порядкового номера рейкової точки на даній станції. Наприклад, на станції 8 точка за номером 12, в журналі нумерується 812.

#### **15.4. Побудова топографічного плану за матеріалами тахеометричного знімання**

На аркуші креслярського паперу будують координатну сітку та наносять точки планової геодезичної мережі за їх координатами. Зліва підписують номер, або назву точки, а справа – висоту точки. Рейкові точки наносять на план за допомогою геодезичного транспортира, яким відкладають горизонтальні кути від напрямку орієнтування. За напрямком “станція - мітка кута” відкладають віддаль, користуючись вимірником і лінійкою поперечного масштабу. На плані фіксують точку і підписують її висоту. Номер точки не підписують.

Коли всі точки нанесені, виконують інтерполювання горизонталей, для цього використовують кроки (абрис), складений під час знімання місцевості.

За абрисом наносять ситуацію, яку викреслюють згідно існуючих умовних знаків. Внизу плану посередині підписують масштаб, а нижче масштабу пишуть “*Суцільні горизонталі проведені через 0,5 м*”, або вказують іншу висоту перерізу рельєфу, яка була задана технічними умовами.

## РОЗДІЛ 16

### МЕНЗУЛЬНЕ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

#### 16.1. Суть мензульного знімання

Основна особливість мензульного знімання місцевості полягає в тому, що всі виміри і графічна побудова плану виконується безпосередньо в полі. Мензульне знімання виконується за допомогою мензули і кіпрегеля.

Слово мензула походить від латинського слова *mensula*, що в перекладі означає столик. Мензулу винайшов і розробив німецький професор І. Преторій (1537-1616р.р.) на початку XVII століття. Кіпрегель – від німецького слова *kippen* – перекидати і французького *regle* – лінійка (рис. 97).

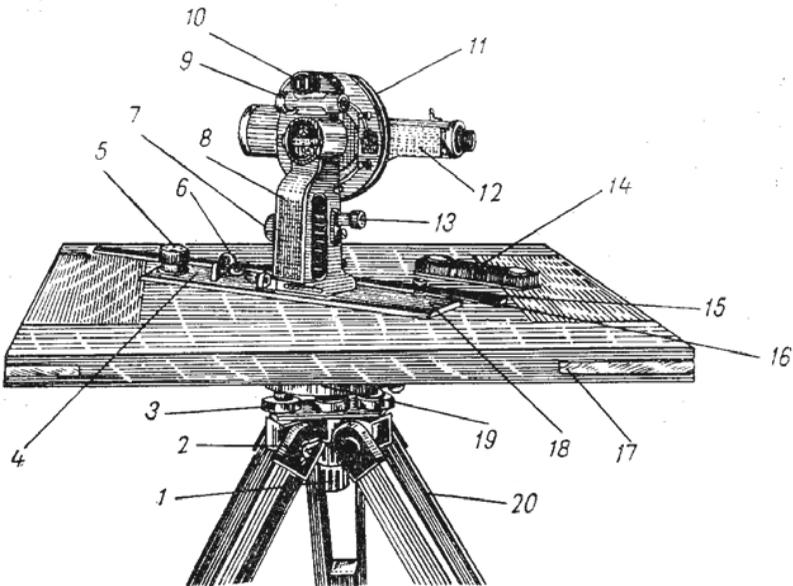


Рис. 97. Мензульний комплект.

Будова мензульного комплексу складається з наступних частин: 1- становий гвинт, 2- закріпний гвинт штатива, 3- піднімальний гвинт підставки, 4- широка лінійка, 5- ролик для малих поворотів кіпрегеля на планшеті, 6- циліндричний рівень на широкій лінійці, 7- мікрометрений гвинт циліндричного рівня 9 вертикального круга, 8- ручка колонки кіпрегеля, 9- циліндричний рівень вертикального круга, 10- призмenna система рівня, 11- кожух вертикального круга 12- зорова труба, 13- навідний гвинт, 14- бусоль, 15- вузька лінійка, 16- шарнір, 17- планшет, 18- масштабна лінійка, 19- металічна підставка мензули, 20 штатив.

Головною частиною мензули є дошка розміром  $60 \times 60$  см, верхня частина якої детально профугована в столярній майстерні і є площиною для виконання креслярських робіт. Дошка прикріплюється трьома гвинтами до металеві підставки, а підставка в свою чергу кріпиться до штатива за допомогою станового гвинта.

Оскільки знімання виконують на планшеті розміром  $60 \times 60$  см на якому нанесені точки планового і висотного обґрунтування, то його прикріплюють до верхньої площини мензули за допомогою маленьких цв'яшків.

Кіпрегель призначений для візування на предмет чи рейку, побудови графічно горизонтальних кутів, визначення віддалі від станції до рейки, встановленої у характерній точці за допомогою ниткового віддалеміра, вимірювання вертикальних кутів та перевищень. Основними частинами кіпрегеля є зорова труба з сіткою ниткового віддалеміра, вертикальний круг для вимірювання вертикальних кутів, лінійка із скошеним ребром для накреслення ліній на планшеті.

## 16.2. Основні перевірки кіпрегеля КА-2

**Перша перевірка.** *Вісь циліндричного рівня на широкій лінійці має бути паралельною нижній площині лінійки.*

**Виконання.** Кіпрегель встановлюють на середину мензули і за напрямком двох піднімальних гвинтів підставки. Одночасно

повертають їх в різні сторони і приводять бульбашку рівня на середину та за скошеним ребром лінійки накреслюють лінію. Повертають кіпрегель на  $180^\circ$  і прикладають скошений край лінійки до викресленої лінії. Якщо бульбашка рівня відхилилась не більше одного ділення, то умова виконана. В інших випадках виконують виправлення.

**Виправлення.** На половину дуги відхилення повертають бульбашку рівня до середини при допомозі виправних гвинтів рівня.

Перевірку повторюють знову.

**Друга перевірка.** Місце нуля ( $МО$ ) вертикального круга  $КА-2$  має дорівнювати  $90^\circ$ .

**Виконання.** На місцевості вибирають чітко видимої точку (хрест церкви, громовідвід заводської труби, антену т. ін.) і наводять на вибрану точку так, щоб продовження основної кривої  $H$  було дотичною до верха громовідводу заводської труби, на рисунку продовження показано пунктирною лінією (рис.98).

За допомогою навідного гвинта вертикального круга приводять бульбашку рівня вертикального круга на середину і беруть відлік при  $КП$  з лімба вертикального круга. Переводять трубу кіпрегеля через зеніт і знову наводять її на ту ж саму точку і беруть відлік при  $КЛ$ . Місце нуля кіпрегеля обчислюють за формулою

$$МО = \{КЛ + (КП - 180^\circ)\} / 2 \quad (144)$$

Якщо місце нуля має відхилення від  $90^\circ$  не більше  $1'$  в ту чи іншу сторону, то умова виконана. Коли це відхилення більше  $1'$ , то приводять  $МО$  до  $90^\circ$ .

Для того, щоб визначити  $МО$  кіпрегеля  $КА-2$  необхідно навчитися знімати відліки з вертикального круга. Вибирають віддалену точку, наприклад громовідвід заводської труби. Зорову трубу кіпрегеля наводять так, щоб громовідвід був справа посрібленої пластинки, а продовження основної кривої було дотичною до верха громовідводу (рис. 98). Приводять бульбашку циліндричного рівня  $\vartheta$  на трубі за допомогою мікрометрного гвинта 7. На рис. 98 відлік з вертикального круга буде  $89^\circ 34'$ . Як бачимо, на

вертикальному крузі градуси підписані, а мінути беруть на око тому, що одне мале ділення відповідає  $10'$ .

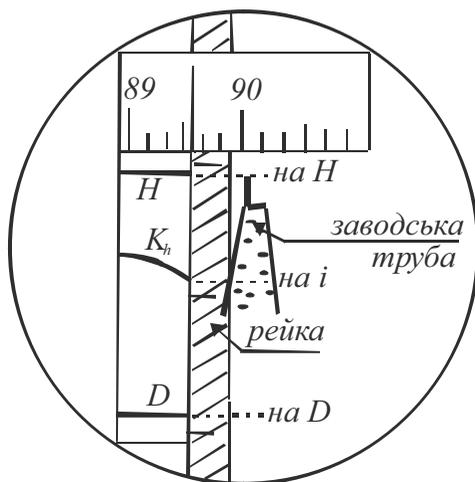


Рис.98. Поле зору труби кіпрегеля

**Приведення  $MO$  до  $90^\circ$ .** Спочатку обчислюють вірний відлік за будь-якою формулою

$$KL_o = KL - (MO - 90^\circ), \quad (145)$$

або

$$KP_o = KP - (MO - 90^\circ). \quad (146)$$

Встановлюють правильний відлік на вертикальному крузі за допомогою навідного гвинта рівня вертикального круга. В цьому випадку бульбашка рівня зійде з середини. Повертають бульбашку на середину за допомогою виправних гвинтів циліндричного рівня вертикального круга.

Визначають  $MO$  заново. Коли заново визначене  $MO$  за своїм відхиленням перевищує  $1'$ , то приведення його до  $90^\circ$  слід зробити заново.

### 16.3. Перевірки кіпрегеля КН

**Перша перевірка.** Вісь циліндричного рівня на широкій лінійці має бути паралельною нижній площині лінійки (рис. 99).

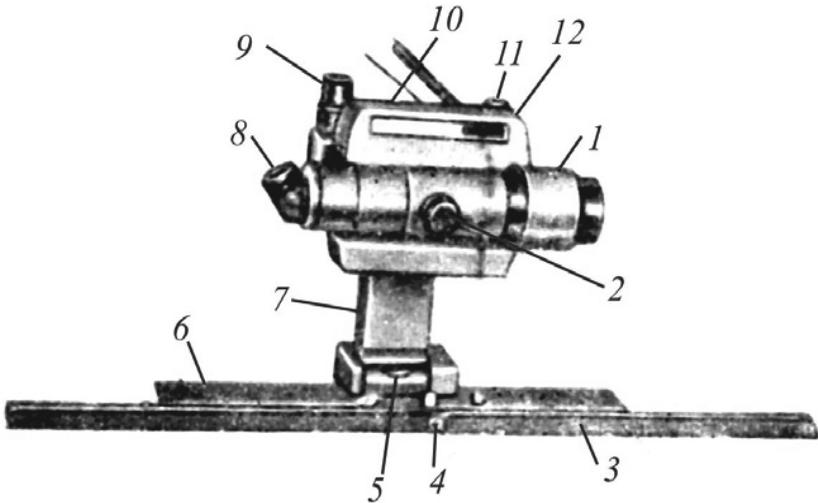


Рис. 99. Кіпрегель номограмний КН

Кіпрегель номограмний складається з наступних основних частин: 1- зорова труба, 2- кремальєра для фокусування на предмет, 3- шарнірний паралелограм з вузькою лінійкою, 4- штифт для наколєння точки, 5- циліндричний рівень на широкій лінійці, 6- основна (широка) лінійка, 7- колонка, 8- ломаний окуляр, 9- навідний гвинт труби, 10- циліндричний рівень на трубї, 11- навідний гвинт лімба вертикального круга, 12- додатковий циліндричний рівень зорової труби, призначений для використання кіпрегеля в якості нївелїра.

**Виконання.** Дана перевірка виконується так як у кіпрегеля КА-2

**Друга перевірка.** Місце нуля (МО) вертикального круга має дорівнювати нулю.

**Виконання.** Встановлюють мензулу та приводять її в робоче положення. Зорову трубу кіпрегеля наводять на вибрану чітко видиму точку так, щоб перетин основної кривої з вертикальним штрихом вертикального круга співпав з вибраною точкою. Перед кожним наведенням на точку бульбашку циліндричного рівня приводять на середину за допомогою гвинта рівня при вертикальному крузі. Знімають відліки з лімба вертикального круга при  $KП$  і  $KL$ , та обчислюють місце нуля за формулою

$$MO = (KL - КП)/2 . \quad (147)$$

Якщо отримане  $MO$  відрізняється від  $0^\circ$  не більше  $1'$  в ту чи іншу сторону, то умова виконана. Коли розходження є більшим, то виконують приведення його до  $0^\circ$ .

**Приведення  $MO$  КН до  $0^\circ$ .** Визначають правильний відлік за одною із формул

$$KL_o = KL - MO, \quad (148)$$

$$КП_o = КП - MO. \quad (149)$$

Встановлюють правильний відлік за допомогою навідного гвинта рівня при вертикальному крузі. В цьому випадку бульбашка рівня зійде з середини. Повертають бульбашку до середини за допомогою виправних гвинтів цього рівня, які розташовані під захисною кришкою.

При невиконанні цієї умови, приведення  $MO$  до нуля повторюють за вище приведеною методикою.

## 16.4. Підготовка мензули до роботи

**1. Центрування мензули над точкою планового обґрунтування.** Спочатку наближено орієнтують мензулу на будь-яку видиму точку обґрунтування, закріплену на місцевості. Коли безпосередньо точки на місцевості не видно, то в цьому випадку встановлюють віху в створі (мензула – вибрана точка) за точкою і в притул до зовнішнього знака оформлення точки так, щоб візирний

промінь кіпрегеля проходив через центр зафіксований на знаку точки і середину віхи у вертикальній площині. В цьому випадку точки обґрунтування, які нанесені на планшет, будуть розташовані паралельно напрямкам між сусідніми точками місцевості. Після цього переставляють мензулу із штативом паралельно наближеного орієнтування так, щоб точка станції на місцевості співпала з цією точкою на планшеті у вертикальній площині. При цьому мензула наближено має займати горизонтальне положення. Кінцеве центрування мензули виконують при допомозі вилки (рис. 100).



Рис. 100. Центрування мензули

Похибка такого центрування допускається рівна половині графічної точності масштабу плану знімання. Так, для масштабів знімання місцевості в 1:500, 1:1000, 1:2000 і 1:5000 точність

центрування прийнята відповідно  $0,025$  м,  $0,05$  м,  $0,1$  м і  $0,25$  м.

### **2. Приведення мензули в горизонтальне положення.**

Ставлять кіпрегель на мензулу так, щоб його лінійка наближено була паралельна лінії, яка сполучає два піднімальні гвинти підставки. Повертаючи одночасно ці гвинти в різні сторони, приводять бульбашку циліндричного рівня на середину. Переставляють кіпрегель на мензулі так, щоб його лінійка прийняла положення перпендикулярно початковому і повертають в ту чи іншу сторону третій піднімальний гвинт (не торкаючи перших двох), приводять бульбашку рівня на середину.

**3. Орієнтування мензули.** Вибирають точку на планшеті планового обґрунтування, яка знаходиться від точки (станції) не менше  $10$  см. До цих точок при КЛ прикладають скошений край лінійки кіпрегеля. В точці на яку орієнтують встановлюють віху. Дивляться в зорову трубу і повільно повертають мензулу в ту чи іншу сторону до появи в полі зору віхи. Закріплюють закріпний гвинт мензули, а навідним гвинтом наводять вертикальну нитку сітки кіпрегеля КН, або внутрішню грань посрібленої пластинки кіпрегеля КА-2.

Час від часу орієнтування контролюють під час роботи. Якщо поперечний зсув між початковим і контрольним орієнтуванням не перевищує  $0,4$  мм на плані від точки, яка знаходиться на граничній віддалі знімання від станції, то орієнтування допустиме. Якщо ця величина більша  $0,4$  мм, то знімання необхідно переробити.

При зніманні місцевості з однієї станції мензулу орієнтують за допомогою бусолі, яку кладуть на мензулу так, щоб грань її корпусу була паралельна осі абсцис на планшеті, і повертають мензулу на підставці в ту чи іншу сторону поки стрілка бусолі не встановиться на північ.

## **16.5. Знімання ситуації і рельєфу**

**Знімання кіпрегелем КА-2.** За допомогою рейки або рулетки заміряють висоту кіпрегеля, встановленого на мензулі (це віддаль від верху точки закріпленої на місцевості до центру сітки ниток

кіпрегеля, або до центру гвинта кремальєри). Висоту заміряють з точністю  $0,01m$  і посилають робітника з рейкою в район знімання місцевості. Робітник при встановленні рейки повинен дотримуватися нормативних віддалей між рейковими точками (пікетами), які наведені в табл. 22.

Таблиця 22

Віддалі між пікетами і від приладу до рейки

Масштаб знімання	Висота перерізу рельєфу, $m$	Максимально допустима віддаль між пікетами, $m$ при зніманні		Максимально допустима віддаль від приладу до рейки при зніманні, $m$	
		мензуральному	тахеометричному	рельєфу	чітких контурів
1:5000	0,5	70	60	250	150
	1,0	100	80	300	150
	2,0	120	100	350	150
	5,0	150	120	350	150
1:2000	0,5	50	40	200	100
	1,0	60	50	250	100
	2,0	70	60	250	100
1:1000	0,5	30	20	150	80
	1,0	40	30	200	80
1:500	0,5	20	15	100	60
	1,0	30	20	150	60

Примітка: Віддалі від приладу до контурів з нечіткими окресленнями допускається збільшувати в 1,5 раз.

Якщо робітник встановив рейку в потрібному місці, то спостереження виконують у такій послідовності. Направляють зорову трубу кіпрегеля на рейку та точно наводять основну криву на число рівне висоті приладу  $i$ . Коли цього числа на рейці не видно із-за будь-яких перешкод, то основну криву наводять на будь-яке число (ділення) рейки  $v$  та закріплюють закріпний гвинт труби. Приводять бульбашку циліндричного рівня вертикального круга на середину за допомогою гвинта рівня та знімають відліки за кривою горизонтальних прокладень і кривою перевищень. Результати спостережень записують в журнал. В журнал записують також

коефіцієнти кривих горизонтальних прокладень та перевищень. Основну криву наводять на рейку так, щоб її продовження було наведене на  $i$ , знімають відлік по кривій  $D$  і визначають горизонтальне прокладення за формулою

$$d = (D - i) \times K_D, \quad (150)$$

де  $D$  – відлік за кривою горизонтальних прокладень;  $i$  – висота приладу;  $K_D$  – коефіцієнт кривої горизонтальних прокладень.

Інкони приходиться визначати відстань за допомогою звичайної сітки ниток. На рис. 98 вона приведена у вигляді коротких штрихів біля вертикальної смужки. Їх три: один вище основної кривої  $H$ , другий нижче кривої перевищень  $K$  і третій нижче кривої горизонтальних прокладень  $D$ . Коефіцієнт віддалеміра між крайніми нитками рівний  $100$ , а між верхньою і середньою –  $200$ .

При наведенні основної кривої на будь-яку висоту  $v$ , горизонтальне прокладення обчислюють за формулою

$$d = (D - v) \times K_D. \quad (151)$$

В залежності від нахилу зорової труби, в полі зору з'являються від одної до трьох кривих перевищень, які мають свої відповідні коефіцієнти  $-10, -20, -100, +10, +20, +100$ . Відлік слід брати за будь-якою кривою. Проте перевищення будуть однаковими, якщо використати коефіцієнт відповідної кривої. Перевищення обчислюють при наведенні основної кривої на висоту приладу, за формулою

$$h = (K - i) \times K_h, \quad (152)$$

де  $K$  – відлік за кривою перевищень;  $K_h$  – коефіцієнт кривої перевищень.

При наведенні основної кривої на  $v$ , перевищення обчислюють за формулою

$$h = (K - v) \times K_h + i - v. \quad (153)$$

При зніманні відліків за кривою перевищень слідкують за знаком при коефіцієнті, тому що від його залежить з яким знаком буде перевищення.

Досвідчені виконавці відліків не беруть за кривими горизонтальних прокладень і перевищень. Вони рахують кількість сантиметрів розмішених між основною кривою та відповідними кривими горизонтальних прокладень або перевищень. Так, якщо кількість сантиметрів (поділок) між основною кривою і кривою горизонтальних прокладень є  $25,5 \text{ см}$  та коефіцієнт  $K_D = 100$ , то віддаль  $d=25,5 \text{ м}$ , а кількість ділень між основною кривою і кривою перевищень є  $7,6 \text{ см}$  та коефіцієнт  $K_h = + 10$ , то перевищення  $h=+0,76 \text{ м}$ . Висота рейкової точки обчислюється за формулою

$$H_i = H_{cm} + h, \quad (154)$$

де  $H_{cm}$  – висота станції.

За допомогою вимірника і лінійки поперечного масштабу відкладають в масштабі віддаль  $d$  за напрямком скошеного краю вузької додаткової лінійки кіпрегеля, яка приставлена до точки (станції), а труба наведена на рейкову точку місцевості. На планшеті роблять укол голкою вимірника і в мітку уколу вертикально вставляють гострий кінчик олівця та прокручують його, для того щоб добре було видно точку. справа від точки підписують її висоту так, щоб точка була на проти середини підписаного числа. Всі числа висот підписують орієнтованими на північ. Результати віддалей і перевищень обчислюють з точністю до  $0,01 \text{ м}$ .

Визначивши планове і висотне положення декількох точок на планшеті, ситуацію і предмети зображують умовними знаками згідно масштабу знімання, викреслюють границі між видами ситуації тощо. Між висотами сусідніх точок виконують інтерполювання та проводять горизонталі. Після цього знову визначають декілька точок і продовжують зображувати ситуацію, предмети та рельєф місцевості. Таким чином після припинення польових робіт отримують топографічний план місцевості на даній станції. В цей час виконують контроль орієнтування мензули.

Після цього переносять мензулу на сусідню станцію і продовжують роботу в тій же послідовності як і на першій станції. При зображенні місцевості на плані дотримуються точності зображення чітких контурів на відкритій території  $0,5$  мм масштабу плану, а на закритій території  $0,7$  мм масштабу плану. На забудованій території точність нанесення твердих контурів не повинна перевищувати  $0,4$  мм масштабу плану.

Камеральні роботи при мензульному зніманні зводяться до кінцевого оформлення плану. Після цього виконують зведення рамок суміжних планшетів, приводять їх до єдиного положення. Зображення ситуації і рельєфу на стику суміжних планшетів приводять їх до середнього положення. Відкоректовані плани викреслюють тушшю згідно умовних знаків та розмножують копії на ксероксі, якими користуються конструктори при проектуванні споруд.

## РОЗДІЛ 17

### ПОНЯТТЯ ПРО ФОТОГРАМЕТРИЧНІ ЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ

#### 17.1. Основні відомості про аерофотознімання

Аерофотозніманням називається сукупність робіт, в результаті яких отримують аеронегативи і аерознімки місцевості. При аерофотозніманні виконують наступні роботи: літальні, аерофотознімальні, польові фотолабораторні і польові фотограмметричні.

**Літальні роботи** полягають в тому, що виконують підготовчі і літальні роботи на літаку над територією, яку необхідно фотографувати згідно заданих технічних умов (рис. 101).

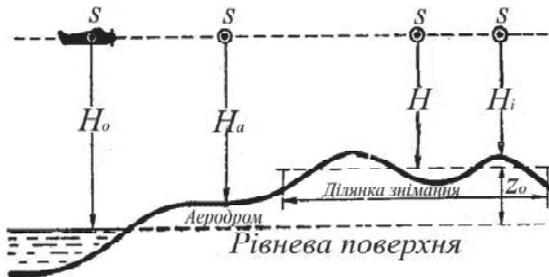


Рис. 101. Висота фотографування

$H_o$  - абсолютна;  $H_a$  - від рівня аеродрома - відносна висота фотографування;  $H$  - від середньої висоти  $Z_o$  - ділянки знімання - середня висота фотографування;  $H_i$  - від конкретної точки поверхні землі - істинна висота фотографування

**Аерофотознімальні роботи** складаються із розробки технічних умов літання і фотографування, аеронавігаційного керівництва літальними апаратами і аерофотографування згідно технічного проекту.

**Полеві фотолабораторні роботи** складаються із обробки експонірованих фільмів, друкування аерознімків і виготовлення репродукцій накидного монтажу.

**Полеві фотограмметричні роботи** складаються із реєстрації матеріалів аерофотоознімання і накидного монтажу з оцінкою якості аерофотоознімання.

Всі ці роботи тісно пов'язані між собою при їх проектуванні і виконанні.

Аеронегативи є основним і вихідним матеріалом аерофотоознімання. Від якості аеронегативів залежить якість продукції, термін, організація, об'єм і економіка майже всіх подальших аерофотогеодезичних робіт. Для отримання повноцінних аеронегативів, а за ними фотопланів і карт необхідно узгодити аерофотоознімальні роботи з технікою і організацією всього аерофотогеодезичного комплексу.

В залежності від кута нахилу негативної площини аерофотоапарату відносно горизонту в момент фотографування аерофотоознімання ділять на планове, коли величина кута не перевищує  $3^\circ$  (рис. 102), і нахилене (перспективне), коли ця величина більша  $3^\circ$  (рис. 103).

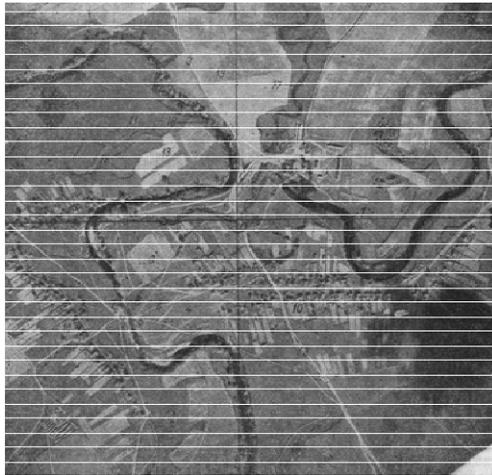


Рис. 102. Плановий фотознімок

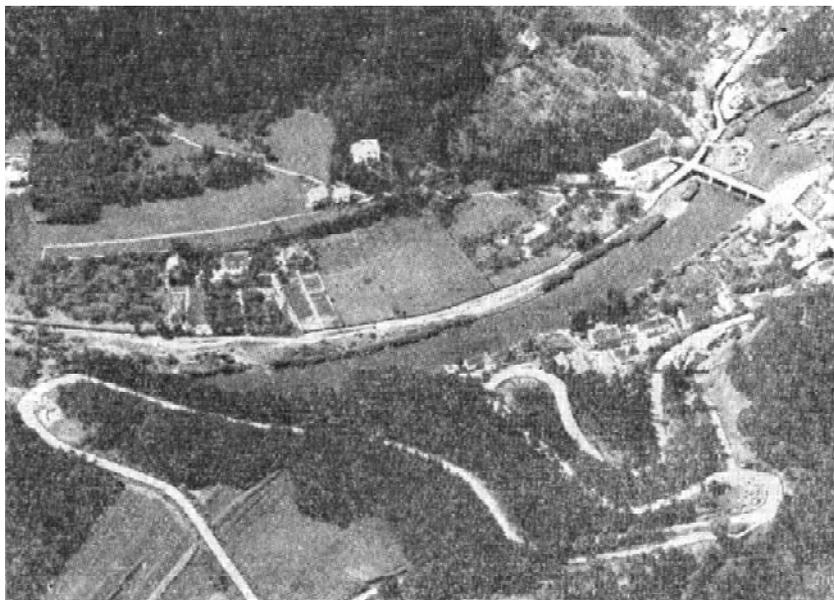


Рис. 103. Перспективний фотознімок

Складність експлуатації літаків полягає в тому, що високі технічні вимоги до аерофотознімання та велика залежність літальних робіт від метеорологічних умов, які вимагають детально розробленої теорії і практики аерофотознімальних робіт.

Аерофотознімальні роботи характеризуються високою продуктивністю праці літака за один політ.

## 17.2. Аерофотознімання місцевості

Аерофотознімання виконується спеціальними аерофотоапаратами, які скорочено називають АФА. За призначенням знімання аерофотоапарати поділяють на *топографічні*, конструкція і точність яких забезпечують створення точних топографічних планів і карт, і *рекогносуючі*, які дозволяють отримати матеріали аерофотознімання пониженої точності.

Оскільки аерофотознімання місцевості виконується із значних висот, то об'єктив фотоапарату фокусують на "безкінечність" яка не повинна змінюватися в процесі роботи. На цій основі застосовують металевий конус, який забезпечує постійність головної віддалі.

З швидкісних літаків можливе тільки моментальне фотографування. Тому затвори об'єктивів аерофотоапаратів повинні бути тільки моментальної дії, які забезпечують витримку від  $0,1$  до  $0,001$  сек (рис.104).

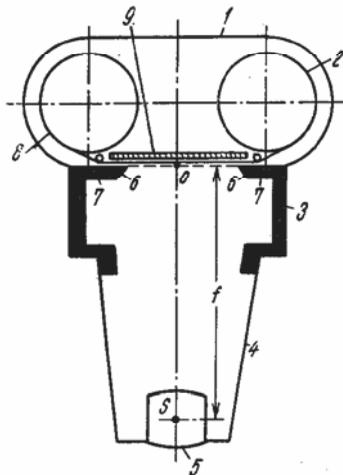


Рис. 104. Топографічний аерофотоапарат  
 1-касета; 2-змотувана катушка; 3-корпус; 4-конус;  
 5-об'єктив з затвором; 6-координатні мітки; 7-прикладна рамка; 8-намотуюча катушка; 9-притискаюча дошка;  $f$ -фокусна віддаль фотоапарата

Касета заряджається плівкою довжиною  $60$  м і шириною  $19$  см, з якої отримують  $300$  аеронегативів формату  $18 \times 18$  см. Касети змінні, що дає можливість мати зарядженні запасні касети і

використовувати їх одну за другою в міру використання аероплівки.

Первинним робочим документом аерофотознімання є контактний відбиток, який являє собою позитивне зображення відзнятої місцевості. Тобто, аерофотознімок є результатом консервування оптичного зображення поверхні землі або будь-якого предмету. За допомогою фотограмметричних приладів його відтворюють в будь-який момент і вирішують необхідні інженерні задачі з високою якістю. Розміщуючи контактні відбитки у відповідності з положенням аерознімків в момент знімання, отримують фотографічне зображення місцевості у вигляді накідного монтажу (рис. 105).

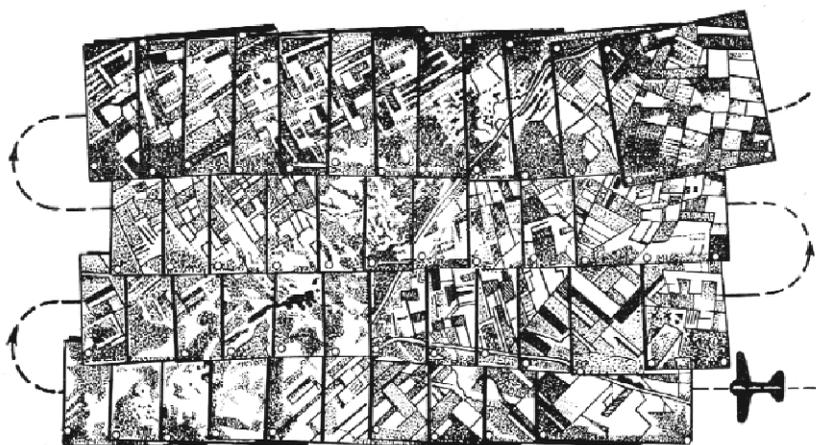


Рис. 105. Накідний монтаж

Об'єктами одиночного аерофотознімання є окремі частини місцевості, які зображуються на одному аерофотознімку. Маршрутне аерофотознімання – це знімання довгої смуги (річка, канал, залізна дорога і таке інше) місцевості, ширина якої зображується на одному знімку. Для того, щоб між аерознімком не було розривів, маршрутне аерофотознімання виконується з поздовжнім перекриттям сусідніх аерофотознімків (рис.106).

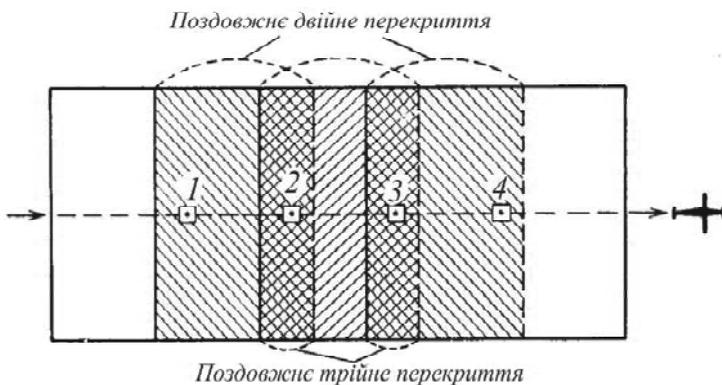


Рис. 106. Поздовжнє перекриття

Коли територія, яку знімають, не може розміститися на одному маршруті, то виконують суцільне аерофотознімання декількома паралельними маршрутами. Ці маршрути прокладаються так, щоб аерознімки сусідніх маршрутів взаємно перекривалися. Таке перекриття називається поперечним (рис.107). Поздовжнє перекриття складає 60%, а поперечне – 25 - 40%. Наявність перекриття при маршрутній і суцільній аерофотозйомках дає можливість отримати шляхом відповідної обробки аерознімків план із зображенням на ньому не тільки ситуації, але і рельєфу місцевості.

Метод обробки аерознімків, при якому отримують тільки контурну частину карти, а рельєф зображується на основі результатів вимірювань наземними способами топографо–геодезичних робіт називається **контурно – комбінованим аерофотозніманням**. Якщо контури і рельєф місцевості зображуються на карті за допомогою вимірів на перекритих аерознімках, а геодезичними методами будується тільки обґрунтування знімання, то такий метод називається **повітряним стереофотограмметричним зніманням**.

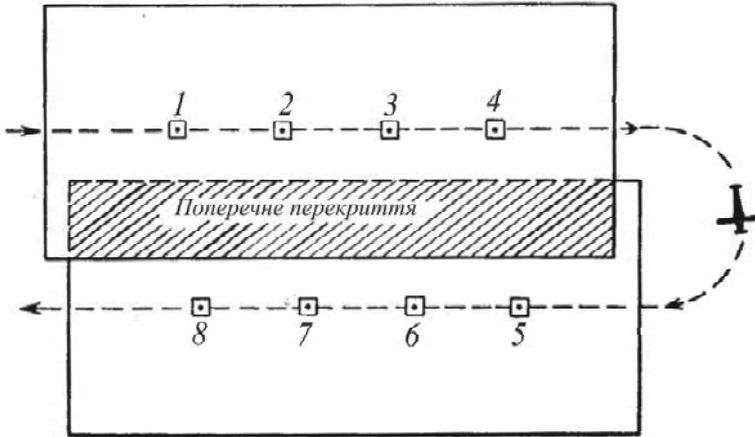


Рис. 107. Поперечне перекриття

### 17.3. Визначення масштабу аерофотознімку

Якщо вважати, що місцевість представляє собою горизонтальну площину і оптична вісь аерофотоапарату під час знімання була прямовисною, то аерофотознімок в цьому випадку буде планом місцевості і можна обчислити масштаб за формулою

$$\frac{ab}{AB} = \frac{f_k}{H}, \quad (155)$$

яка виведена на основі подібності трикутників  $abS$  і  $ABS$  (рис. 108)

Відношення довжини відрізка  $ab$  на знімку до довжини відповідної лінії  $AB$  на місцевості є числовим масштабом аерофотознімка, тобто

$$\frac{ab}{AB} = \frac{1}{M}, \quad (156)$$

так що

$$\frac{1}{M} = \frac{f_k}{H}, \quad (157)$$

де  $M$  – знаменник масштабу;  $f_k$  – фокусна віддаль аерофотоапарату;  
 $H$  – висота фотографування.

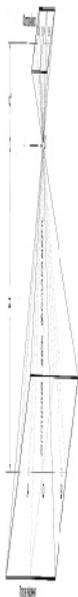


Рис. 108. Планове аерофотознімання

Так числовий масштаб аерофотознімки дорівнює відношенню фокусної віддалі аерофотоапарату до висоти знімання місцевості.

Із формули (157) видно, що чим більша висота знімання, тим масштаб аерофотознімки мілкіший і чим – менша тим масштаб крупніший.

В зв'язку з тим, що висота фотографування рельєфу змінюється із-за пересіченості рельєфу і утримання літака на постійній висоті, то більш надійні результати будуть для обчислення масштабу

довжина відрізка  $d = ab$  виміряна безпосередньо на аерофотознімку і  $D = AB$  на місцевості.

Тоді

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D}. \quad (158)$$

Для того щоб переконатися в тому, що при визначенні масштабу аерофотознімка не допущено похибок і що він є плановим, а не перспективним, потрібно визначити масштаб, як мінімум за двома напрямками, приблизно перпендикулярними один до другого.

Розходження  $\Delta M$  між результатами двох визначень знаменника числового масштабу аерофотознімку не повинно бути більше отриманого за формулою

$$\Delta M = \frac{2M}{d}, \quad (159)$$

де  $M$  – знаменник обчисленого масштабу;  $d$  – довжина в метрах відрізка на аерофотознімку.

#### 17.4. Поняття про дешифрування

Дешифруванням називають процес з'ясування і фіксація умовними знаками на аерофотознімках, фотосхемах або фотопланах змісту і положення елементів місцевості, відомості яких необхідні для складання плану або вивчення їх для спеціальних потреб. Розпізнавання на аерофотознімках ситуації, предметів і споруд та рельєфу місцевості називається топографічним дешифруванням, коли розпізнають спеціальні об'єкти називають - технічним дешифруванням.

Оскільки аерофотознімок є плановим, на якому представлене

консервування оптичного зображення місцевості або предмета, то виникає потреба відтворити це консервування і розглядати безпосередній об'єкт в дещо зменшеному масштабі. Для відтворення консервування оптичного зображення існує найпростіший фотограмметричний прилад – стереоскоп. Якщо розглядати стереопару так, щоб лівим оком бачити лівий знімок, а правим оком бачити правий знімок, то ми побачимо об'ємне зображення місцевості або предмета, яке точно відповідає дійсності в зменшеному масштабі.

Суттєвим є вірне розташування знімків під стереоскопом. Тільки в цьому випадку отримаємо прямий стереоскопічний ефект. Коли аерофотознімки поміняти місцями, наприклад, лівим оком розглядати правий знімок, а правим – лівий, то отримаємо обернений стереоскопічний ефект, при якому підвищення будуть сприйматися як пониження, а пониження – підвищеннями. Якщо знімки розвернути на  $90^\circ$ , то отримаємо нульовий ефект, тобто стереоефекту не буде. В цьому випадку ми побачимо зображення на площині. За допомогою стереоскопа значно підвищується можливість розпізнання об'єкта.

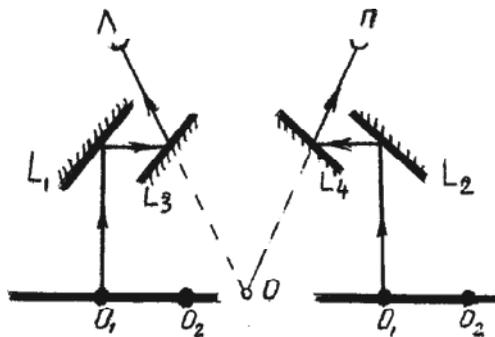


Рис.109. Хід променів у стереоскопі.

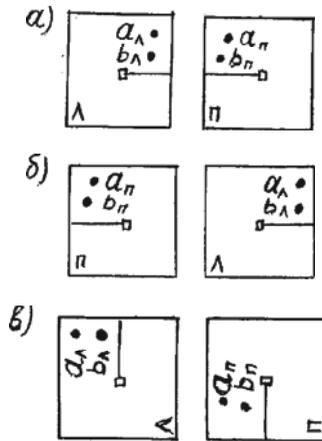


Рис. 110. Розташування знімків під стереоскопом. Стереоефект буде: а-прямий; б-обернений; в-нульовий

Основними ознаками дешифрування є: форма, розмір, колір, тон, тінь фотозображення об'єкту.

Під час дешифрування використовують прямі і посередні демаскуючі ознаки.

Прямими демаскуючими ознаками є такі які безпосередньо вказують на характер об'єкта. До них відносяться:

1) **форма зображення** - зображення багатьох предметів місцевості (річка, притока, озеро, будівля і т. ін.) на аерознімку зберігають характерні окреслення, які належать їм на місцевості;

2) **розмір зображення** - коли виміряти елементи зображених предметів на аерознімку у відповідному масштабі, легко встановити розміри предмета на місцевості;

3) **окреслення тіні** – за розташуванням тіні об'єкту встановлюють його форму, а за формою – його призначення;

4) **тон зображення** предметів на аерофотознімку залежить від наступних причин:

а) здатність віддзеркалення предмета – чим предмет більше віддзеркалює тим світліше його зображення на знімку;

б) характер поверхні предмета – ступінь почорніння залежить

від спектральної відбиваючої здатності об'єкту. Він залежить від пори року і часу знімання. Світлими тонами передаються сухі дороги, скирти соломи, дахи будівель і т. ін. Рілля передається сірим тоном. Темним зображуються заболочені ділянки, ліси, ставки, ріки і т. ін.

в) освітленості предмету – чим вона більша, тим світліше зображення на знімку;

г) світлочутливість фотографічної емульсії.

До посередніх демаскуючих ознак належать такі, які характеризують взаємне розташування об'єктів.

1. Населені пункти відрізняються наявністю груп будинків, зображених чотирикутниками. На житлових будинках видні комени у вигляді точки.

2. Дороги. Залізні дороги зображуються світлими або сірими лініями із заокругленнями на аерофотознімках у вигляді білих вузьких смуг з темними лініями їх країв (канави). Заокруглення смуг набагато є крупнішими із-за малого радіусу.

Ґрунтові дороги будь-якого призначення на аерофотознімках зображенні у вигляді світлих ліній різної товщини.

3. Води і переправи. Ріки зображаються смугами різної ширини, частіше темного тону, мілководдя – білими плямами.

Притоки річок зображаються хвилястими лініями.

Озера і ставки розпізнаються окресленнями їх берегів, а болота - за темним тоном.

4. Ґрунтово-рослинний покрив. Рілля характеризується своїми прямими окресленнями. Тон зображення ріллі різний в залежності від висоти і характеру посівів. Свіжозорана рілля зображується світлим тоном. Луки відрізняються світло-сірим тоном, більш темним в перезволожених місцях. Ця ознака полегшує розпізнати нерівності мікрорельєфу місцевості.

5. Ліси і чагарники характеризуються окресленими темними фігурами. Листяні і хвойні ліси розпізнаються за характером зображення крон.

Для полегшення дешифрування аерофотознімків видаються спеціальні альбоми взірців.

## 17.5. Трансформування аерофотознімків

Коли контактні відбитки, які перекриваються обрізати на середині перекриття, а потім їх прикласти обрізаними краями один до одного, то буде отримана **фотосхема**. Різниця її від карти або плану місцевості полягає в тому, що контактні відбитки мають різні масштаби. Для того, щоб отримати **фотоплан** місцевості необхідно аерофотознімки трансформувати, тобто, виправити за нахил оптичної осі фотокамери і за рельєф місцевості, а також привести до заданого масштабу.

Термін походить від латинського слова *transformare-перетворювати*.

Трансформування аерофотознімків виконується за допомогою приладів, які називаються фототрансформаторами. Негатив закладають у фототрансформатор, який освітлюється сильним джерелом світла і через його об'єктив проектується на екран. На екран кладуть планшет з нанесеними точками планового і висотного знімального геодезичного обґрунтування. Змінюючи віддалі від об'єктиву до екрану і нахиляючи його в ту чи іншу сторону, добиваються суміщення проектуючого на екран зображення точок обґрунтування негатива з відповідними точками на планшеті. В цей момент отримане на екрані зображення відповідає горизонтальному положенню аерофотознімка і аерофотознімання в заданому масштабі.

Закріплюють екран і кладуть на його фотопапір та виготовляють фотознімок, який називають трансформованим аерофотознімком. В цей момент отримане на екрані зображення відповідає горизонтальному положенню аерознімка і аерофотознімання в заданому масштабі. Планшет на якому змонтовані трансформовані знімки і проведені горизонталі та нанесена сітка прямокутних координат називається фотопланом або топографічним планом

## **17.6. Складання фотопланів**

Для отримання фотоплану трансформовані аерознімки накладають один на другий, які перекриваються частинами, розрізають посередині перекриття, і прикладають обрізаними частинами один до одного.

При контурно-комбінованому аерофотозніманні виготовляють репродукцію з фотоплану і на ній виконують дешифрування ситуації і знімання рельєфу місцевості. Інколи дешифрування ситуації і знімання рельєфу виконують безпосередньо на контактних відбитках, а з них переносять необхідні дані на фотоплан. З цього фотоплану фотографічним шляхом виготовляють копію, на якій в туші викреслюють все те, що повинно бути зображено на карті даного масштабу. Після цього всі інші деталі фотозображення змивають особливим хімічним розчином і отримують звичайну топографічну карту.

При стереофотограмметричному зніманні зображення контурів і рельєфу зразу переносять з аерознімка на карту за допомогою спеціальних стереоскопічних приладів та отримують топографічну карту.

## **17.7. Обладнання для цифрової фотограмметрії і картографії**

Сучасне науково-технічне досягнення фотограмметрії і картографії досягло свого розвитку за рахунок освоєння космічного простору. Завдяки цьому розроблена серія унікального обладнання для обробки будь-яких стереопар предметів. В цьому питанні Україна займає передові засади і випускає обладнання та програмне забезпечення для цифрової фотограмметрії і картографії.

В м. Вінниця виготовляють наступне обладнання:

1. Кольоровий фотограмметричний сканер “Дельта” призначений для знімків розміром до 470×320 мм і рулонних фільмів шириною до 320 мм (рис. 111).



Рис. 111. Кольоровий фотограмметричний сканер “Дельта”

Сканер має високу роздільну здатність, яка складає  $8 \mu m$  (3175 dpi).

Середня квадратична похибка не перевищує  $\pm 3 \mu m$ . Похибка визначається за допомогою сканування і подальшого вимірювання контрольної сітки. Сканер обладнаний пристроєм для сканування рулонних фільмів.

2. Кольорова фотограмметрична станція “Дельта” базується на стандартному Intel-сумісному комп’ютері з системою Windows 98/ME/2000/XP. Використовуються режими від  $1024 \times 768 \times \text{HiColor}$  до  $1600 \times 1200 \times \text{TrueColor}$  і вище. При роботі стереоскоп забезпечує нерухому марку при рухомих знімках, не потрібно для цього спеціальної апаратури (рис. 112).

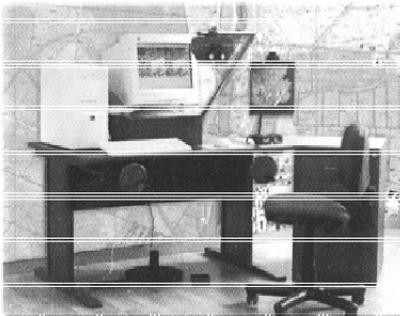


Рис.112.Цифрова фотограмметрична станція “Дельта”

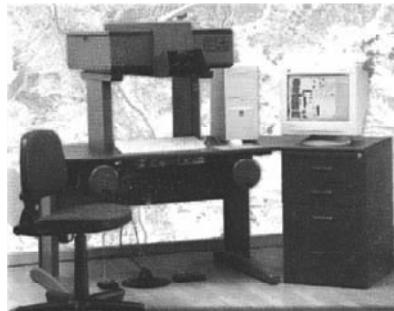


Рис. 113. Аналітична фотограмметрична “Стереонаграф”

Рух за знімком виконується за допомогою класичної комбінації ручних штурвалів і ножного диску або мишкою. Для стереоспостереження використовується OpenGL, сумісні закриваючі окуляри або стереоскоп.

3. Аналітична фотограмметрична станція “Стереоанаграф” забезпечує обробку аерокосмічних знімків розміром до  $300 \times 300$  мм (рис.113).

Середня квадратична похибка вимірювання координат не перевищує 3 мікромметра. Стереоскоп забезпечує плавну зміну збільшення і діаметра мірної марки. Станція базується на стандартному Intel-сумісному комп’ютері з операційною системою Windows.

4. Проекційний картографічний сканер “ProScan”. Сканер має оптичну роздільну здатність 400 dpi (піксел розміром 60  $\mu$  m).

Середня квадратична похибка сканування не перевищує  $\pm 100$   $\mu$  m. Похибка визначається за допомогою сканування і подальшого вимірювання контрольної сітки (рис.114).

5. Планшетний картографічний сканер “PlanScan” має високу роздільну здатність, яка складає 600 dpi (розмір піксела 40  $\mu$  m) (рис.115).

Середня квадратична похибка сканування не перевищує  $\pm 100$   $\mu$  m. Похибка визначається за допомогою сканування і подальшого вимірювання контрольної сітки.



Рис.114. Проекційний картографічний сканер “ProScan”



Рис.115. Планшетний картографічний сканер “PlanScan”

**ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ ПЕРЕНЕСЕНІ  
ПРОЕКТІВ В НАТУРУ**

**18.1. Побудова на місцевості проектного кута**

Для побудови на місцевості заданого (проектного) кута  $\beta_0$ , потрібно, щоб на місцевості були закріплені дві точки геодезичного обґрунтування, координати яких відомі.

Нехай в нашому випадку відомі точки  $A$  і  $B$ . Потрібно в точці  $A$  побудувати проектний кут  $\beta_0$  (рис. 118).

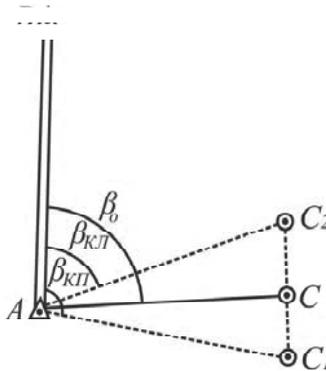


Рис.118. Побудова горизонтального кута на місцевості

Встановлюють теодоліт  $T30$  в точці  $A$  і приводять його в робоче положення. При  $KП$  зорову трубу візують на точку  $B$  та з лімба горизонтального круга знімають відлік  $KП_B$ .

Обчислюють відлік на лімбі, коли зорова труба буде наведена на проектну точку  $C$ , а кут відповідатиме заданому (проектному)  $\beta_0$  за формулою

$$KП_{C_1} = KП_B + \beta_0, \quad (159)$$

якщо точка  $C$  розташована праворуч напрямку  $AB$ . Коли точка  $C$  розташована ліворуч напрямку  $AB$ , то відлік визначають за формулою

$$КП_{c_1} = КП_B - \beta_0 \quad (160)$$

Відкріплюють закріпний гвинт алідади горизонтального круга і на лімбі встановлюють відлік  $КП_{c_1}$ . У цьому випадку зорова труба буде направлена на точку  $C_1$ . На місцевості в точці  $C_1$  встановлюють віху, бажано товщиною до 1 см. Такі самі дії виконують при крузі КЛ. Переводять трубу через zenit і наводять її на точку  $B$  при КЛ та знімають відлік  $КЛ_B$ . Обчислюють відлік на точку  $C$  за формулою

$$КЛ_{c_2} = КЛ_B \pm \beta_0, \quad (161)$$

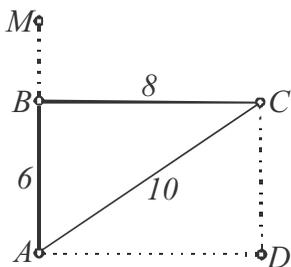
У формулі (161) знак (+) застосовують тоді коли точка  $C$  розташована праворуч напрямку  $AB$ , і знак (-) коли точка  $C$  розташована ліворуч напрямку  $AB$ .

Відкріплюють закріпний гвинт алідади горизонтального круга та на лімбі встановлюють відлік  $КЛ_{c_2}$ . В цьому випадку зорова труба буде направлена на точку  $C_2$ . В цій точці встановлюють віху. Заміряють віддаль між точками  $C_1$  і  $C_2$ , яку ділять на два і знаходять на місцевості її середину. Забивають кілочок і підписують точку  $C$ . Кут між напрямками  $AB$  і  $AC$  буде рівний куту  $\beta_0$ .

Середину між точками знаходять в тому випадку коли  $КП - КЛ > 2c$  ( $c$  - колімаційна похибка теодоліта). При порушенні цієї умови потрібно все переробити.

На місцевості часто виникає питання побудови прямого кута при будівництві незначних об'єктів, застосовуючи тільки стальну стрічку. Для цього потрібно знати початковий напрямок однієї сторони споруди.

Нехай в нашому випадку відомий напрямок  $AM$ . Початок споруди співпадає з точкою  $A$  (рис.119). За допомогою сталеві стрічки будують єгипетський трикутник із сторонами  $3, 4, 5$  м чи  $6, 8, 10$  м або  $9, 12, 15$  м. Все залежить від довжини самої споруди. Від точки  $A$  за напрямком  $AM$  відміряють віддаль  $3, 6$  чи  $9$  м в залежності від довжини споруди і забивають дерев'яний кілочок в точці  $B$ . В точку  $A$  прикладають нульовий штрих стрічки і в кінці визначеного радіуса прикладають цв'ях так, щоб можна було накреслити дугу на місцевості. Нуль стрічки переносять в точку  $B$  і радіусом  $4, 8$  чи  $12$  м, який фіксують цвяхом прокреслюють дугу на місцевості. Точку перетину дуг позначають буквою  $C$ . Кут в точці  $B$  утворений відрізками  $AB$  і  $BC$  буде рівний  $90^\circ$ , тобто прямим.



### 119. Побудова прямого кута сталеві стрічкою

Четверту точку  $D$  знаходять як перетин перпендикулярів опущених з точок  $A$  і  $C$ . Таким чином рішення цієї задачі зводиться до побудови на місцевості єгипетського трикутника ( $3 \times 4 \times 5$ ;  $6 \times 8 \times 10$ ;  $9 \times 12 \times 15$ ; і т.д.).

## 18.2. Побудова на місцевості проектної лінії

Для того щоб побудувати на місцевості заданий (проектний) відрізок  $d_{AB}$ , то необхідно мати початкову точку і його напрямок.

Нехай в нашому випадку початкова точка  $A$  і напрямок  $AB$  відомі (рис.120). Потрібно побудувати проектну лінію  $d_{AB}$ .

Якщо місцевість має ухил не більше  $2^\circ$ , то таку місцевість приймають за горизонтальну площину. Коли ухил більше  $2^\circ$ , то його вимірюють теодолітом або екліметром і знаходять довжину відрізка на похилій площині за формулою

$$D = d_{AB} / \cos v. \quad (162)$$

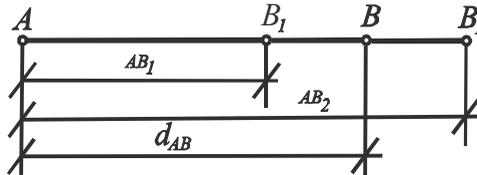


Рис.121. Побудова проектної лінії

Після цього за допомогою сталеві стрічки відкладають від точки  $A$  за напрямком  $AB$  відомий відрізок і закріплюють точку  $B_1$ . Для контролю даний відрізок відкладають другий раз і отримують точку  $B_2$ . Обчислюють відносну похибку за формулою

$$f_{\text{від}} = 1 / (D_{AB} / \Delta_{AB}), \quad (163)$$

де  $\Delta_{AB}$  – різниця між першим і другим відкладання відрізка  $d_{AB}$  чи  $D_{AB}$ .

Якщо  $f_{\text{від}} \leq 1/2000$ , то різницю  $\Delta_{AB}$  ділять на два і одержану величину відкладають від точки  $B_1$  чи  $B_2$  в ту чи іншу сторону та закріплюють точку  $B$ . Відрізок  $AB$  буде відповідати горизонтальному прокладенню  $d_{AB}$ .

Якщо  $f_{\text{від}} > 1/2000$ , то відкладення повторюють.

### 18.3. Побудова на місцевості точки з заданою висотою

На будівництві цю задачу вирішують досить часто за допомогою нівеліра і рейки. Встановлюють нівелір між точкою, висота якої відома і місцем де потрібно мати задану висоту (рис.122). Приводять

нівелір в робоче положення, а рейку встановлюють на репер ( $R_p$ ) з відомою висотою і знімають відлік на рейці  $a$ . Визначають горизонт приладу за формулою

$$ГП = H_{Rp} + a. \quad (164)$$

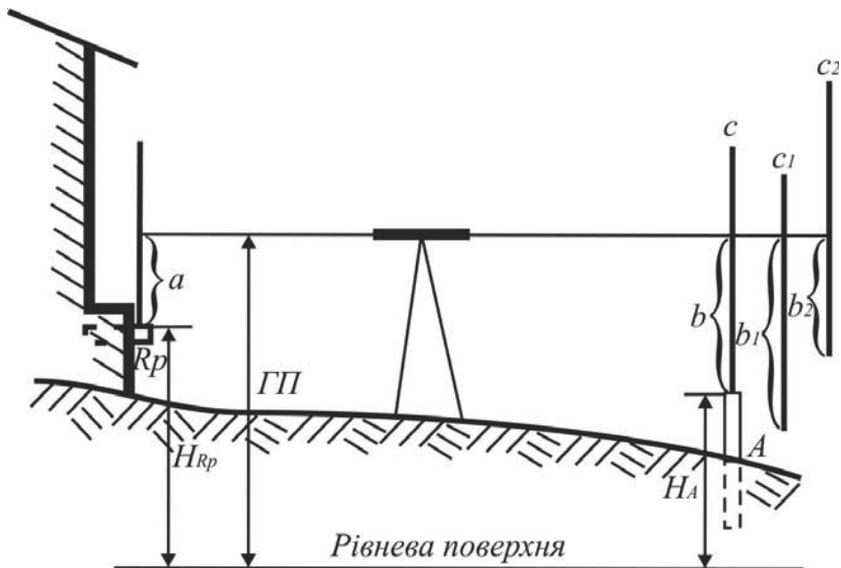


Рис.122. Побудова проектної точки на місцевості

Оскільки задана висота нам завжди відома, то визначають відлік на рейці в точці  $A$ , коли низ рейки буде відповідати цій висоті, за формулою

$$b = ГП - H_A. \quad (165)$$

В місці, де потрібно мати задану висоту, закріплюють дерев'яний стовп (віху) значно вище ніж відома висота точки  $A$ . Прикладають рейку до цього стовпа і наводять зорову трубу нівеліра на рейку та знімають відлік. Якщо низ рейки  $C_1$  буде нижче заданої висоти, то

відлік  $b_1$  буде більший обчисленого за формулою (165). Якщо низ рейки  $C_2$  буде вище заданої висоти, то відлік  $b_2$  буде менший обчисленого за формулою (165) (рис.122). Таким чином пересувають рейку вниз чи вгору, до тих пір, доки на рейці  $C$  буде відлік рівний  $b$ . В такому положенні олівцем під низом (п'яткою) рейки накреслюють лінію. Ця лінія і буде відповідати заданій висоті  $H_A$ . За допомогою ручної пилки по накресленій лінії зрізують стовп, в цьому випадку його верх буде відповідати заданій висоті  $H_A$ . Задані висоти часто закріплюють на стіні будь-якої будівлі за методикою описаній вище, а саму мітку закріплюють фарбою у вигляді горизонтальної лінії і підписують її висоту.

#### 18.4. Побудова на місцевості лінії і площини заданих ухилів

При будівництві трубопроводів, доріг та інших лінійних споруд на місцевості будують лінію заданого ухилу. Таку лінію можна побудувати наступними способами.

**Перший спосіб.** Цей спосіб полягає в застосуванні трьох однакових візирок (рис.123.). Дві візирки встановлюють на початковій і кінцевій точках лінії, тобто в  $A$  і  $B$ . Третя візирка називається ходовою. Один виконавець знаходиться в початковій точці  $A$  і спостерігає неозброєним оком на візирку в точці  $B$ , при чому так щоб лінія візування була дотичною до верха візирок в початковій і кінцевій точках. Другий виконавець третю візирку

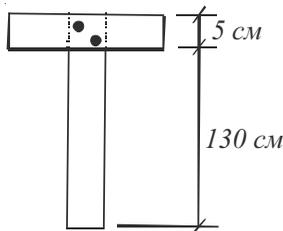


Рис.123. Візирка

встановлює на лінії  $AB$  в будь-якій точці. Перший спостерігач пропонує другому підняти вверх або опустити вниз ходову візирку так, щоб лінія візування була дотичною одночасно до трьох візірок. В цьому випадку низ ходової візирки буде знаходитися на лінії із заданим ухилом. В цій точці забивають дерев'яний кілочок висота якого повинна співпадати з лінією заданого ухилу (рис.124,  $a$ ).

**Другий спосіб.** На місцевості закріплюють точки з відомими висотами  $A$  і  $B$ , відповідно початок і кінець лінії заданого ухилу. У створі лінії  $AB$  закріплюють проміжні точки  $K_1, K_2, K_3$ . (рис.124,  $a$ ). За допомогою сталеві стрічки вимірюють віддалі від точки  $A$  до проміжних точок  $K_i$ . Висоти проміжних точок обчислюють за формулою (166)

$$\left. \begin{aligned} H_{K_1} &= H_A + id_1; \\ H_{K_2} &= H_A + id_2; \\ H_{K_3} &= H_A + id_3; \\ \text{контроль} \\ H_B &= H_A + id_{AB}; \end{aligned} \right\} \quad (166)$$

де  $d_1, d_2, d_3$  – горизонтальні прокладення між проміжними точками  $K_i$  і початковою точкою  $A$ ;  $i$  – заданий ухил.

Обчислені висоти точок  $K_i$  виносять на місцевість способом, висвітленим у п.18.3.

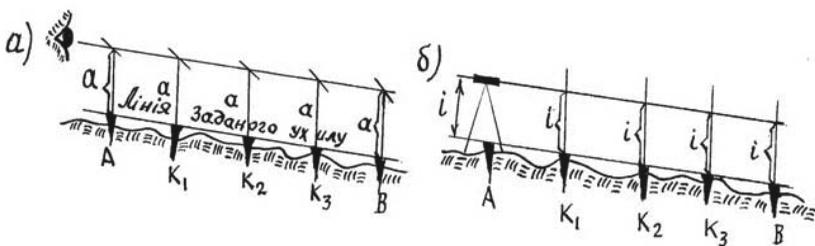


Рис124. Побудова на місцевості заданого ухилу

В цьому випадку проміжні точки з відомими висотами на місцевості закріплюють за методикою, висвітленою в п.18.3.

**Третій спосіб.** Цей спосіб полягає в наступному. На місцевості закріплюють точки  $A$  і  $B$  з відомими висотами (рис.124, б). У точці  $A$  встановлюють нівелір чи теодоліт. Заміряють його висоту  $i$ . В точці  $B$  встановлюють рейку і наводять зорову трубу на висоту приладу  $i$ . Такого положення нівеліра досягають за допомогою піднімальних гвинтів, а теодоліта - за допомогою нахилу зорової труби. Після цього рейку встановлюють в будь-якій точці на лінії  $AB$  і за вимогою спостерігача рейку піднімають вгору чи опускають вниз, так щоб відлік на рейці був рівний висоті приладу  $i$ . На такій висоті забивають дерев'яний кілочок верх якого відповідає лінії заданого ухилу. Для контролю рейку ставлять на кілочок, якщо відлік рівний висоті приладу  $i$ , то верх кілочка фіксує лінію з заданим ухилом.

### 18.5. Перенесення проектної точки в природу полярним способом та оцінка його точності

Спосіб полярних координат широко застосовують при перенесенні проекту в природу і розмічуванні осей будівель, споруд і конструкцій. Основою для виконання цих робіт є пункти планової геодезичної мережі, які закріплені на місцевості і відомі їх прямокутні координати.

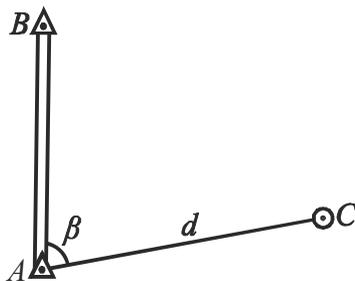


Рис.125. Схема полярного способу

В цьому способі положення точки  $C$  знаходять на місцевості шляхом відкладення від напрямку  $AB$  проектного кута і віддалі  $d$

(рис.125). Ці розмічувальні елементи обчислюють за відомими координатами точок  $A$  і  $B$  та проектної точки  $C$ , за методикою висвітленою в п.10.3. Кут  $\beta$  обчислюють за дирекційними кутами визначених напрямків.

Середня квадратична похибка перенесення в натуру проектної точки  $C$  визначається за формулою

$$m_c = \sqrt{m_{\text{вих}}^2 + \frac{d^2}{\rho^2} m_\beta^2 + m_d^2 + m_\phi^2}, \quad (167)$$

де  $m_{\text{вих}}$  - середня квадратична похибка вихідних даних;

$m_d$  - середня квадратична похибка відкладення лінії  $d$ ;

$m_\beta$  - середня квадратична похибка вимірювання кута ;

$m_\phi$  - середня квадратична похибка фіксації точки  $C$ .

### 18.6. Перенесення проектної точки в натуру способом перпендикулярів та оцінка його точності

Спосіб прямокутних координат застосовують в основному при наявності на майданчику або в цеху промислового підприємства будівельної сітки.

Розмічування проектної точки  $D$  (рис.126) виконують за допомогою обчислених віддалей  $d$  і  $\ell$  від найближчих пунктів сітки.

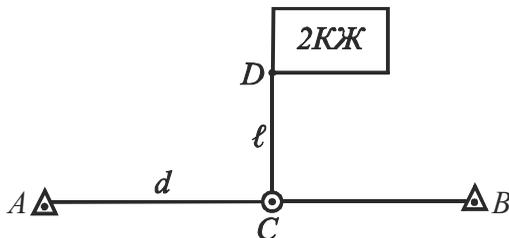


Рис.126. Схема способу перпендикулярів

Середня квадратична похибка положення точки  $C$  обчислюється за формулою:

$$m_c = \sqrt{m_d^2 + m_\ell^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right) \ell^2 + m_{\text{вих}}^2 + m_u^2 + m_\phi^2}, \quad (168)$$

де  $m_d$  і  $m_\ell$  - похибки відкладення віддалей відповідно  $d$  і  $\ell$  ;

$m_u$  - середня квадратична похибка центрування теодоліта в точці  $C$ .

### 18.7. Перенесення проектної точки в натуру способом кутової засічки та оцінка його точності

Спосіб кутової засічки застосовують для розмічування недоступних точок, або точок які знаходяться на значній віддалі від вихідних пунктів.

Положення на місцевості проектної точки  $C$  знаходять за допомогою відкладання кутів  $\alpha$  і  $\beta$  на вихідних пунктах  $A$  і  $B$  (рис.127). Найкраще цей спосіб виконувати двома теодолітами одночасно, встановленими в точках  $A$  і  $B$ . Точка  $C$  буде знаходитись на перетині візирних осей теодолітів.

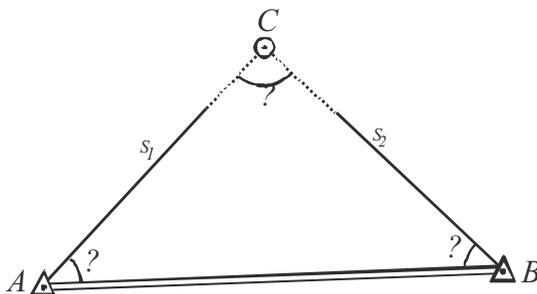


Рис.127. Схема способу кутової засічки

Середня квадратична похибка проектної точки С визначається за формулою

$$m_C = \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (169)$$

де  $m_\beta$  - середня квадратична похибка побудови кутів  $\alpha$  і  $\beta$ .

### 18.8. Перенесення проектної точки в натуру способом лінійної засічки та оцінка його точності

Такий спосіб застосовують тоді, коли віддалі  $\ell_1$  і  $\ell_2$  не перевищують довжини мірного приладу. Точка С визначається перетинами віддалей  $\ell_1$  і  $\ell_2$  відкладених від точок А і В. Доцільно розмічування виконувати за допомогою двох мірних приладів (рис.128).

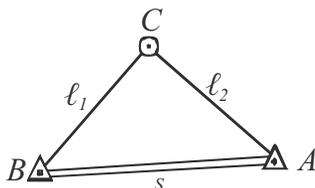


Рис. 128. Схема способу лінійної засічки

Середня квадратична похибка положення точки С визначається за формулою

$$m_C = \sqrt{m_{\text{вих}}^2 + m_\ell^2 \times \frac{\ell_1 \ell_2}{\sqrt{2P(P - \ell_1)(P - \ell_2)(P - S)}} + 2m_\phi^2} \quad (170)$$

де  $m_\ell$  - середня квадратична похибка вимірювання  $\ell_1$  і  $\ell_2$ ;

$$P = \frac{\ell_1 + \ell_2 + S}{2}.$$

## РОЗДІЛ 19

### КАМЕРАЛЬНІ І ПОЛЬОВІ РОБОТИ ПРИ ТРАСУВАННІ ЛІНІЙНИХ СПОРУД

#### 19.1. Камеральне трасування осі лінійної споруди

*Трасуванням називається комплекс інженерно-вишукувальних робіт, призначений для визначення положення лінійної смуги місцевості, яка відповідає всім технічним і економічним вимогам до побудови будь-якої лінійної споруди.* Трасування поділяють на камеральне і польове.

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

Трасування розрізняють:

а) за висотними параметрами, коли головна увага приділяється забезпеченню допустимих ухилів траси (самопливні трубопроводи, канали);

б) за азимутальними параметрами, коли ухили місцевості мало впливають на проектування траси (напірні трубопроводи, лінії електропередач та зв'язку);

в) за висотно-азимутальними параметрами, (автомобільні і залізні дороги, судноплавні канали), де необхідно витримати допустимі ухили і правильне поєднання прямих і кривих ділянок тому, що вони є найбільш складними. В останньому випадку трасування виконують за змішаними параметрами.

**Трасування в рівнинній місцевості.** Положення траси в рівнинних районах визначається контурними перешкодами, тобто ситуацією. В цих випадках ухил місцевості менший допустимого, а тому намагаються мати пряму трасу, і виконують трасування за заданим напрямком. Проте, зустрічаються перешкоди, такі як водотоки, болота, великі яри, населені пункти, цінні сільськогосподарські угіддя і інші, які вимагають відхилення траси в той чи інший бік (рис. 129).

Кожний кут повороту дає деяке подовження траси. Для отримання найбільш короткої траси в рівнинних районах дотримуються наступних правил трасування:

1. Трасу прокладають за прямою від одної контурної перешкоди до іншої (рис.129). Необхідність відхилення траси від прямої і призначення кута повороту повинні бути обґрунтовані.

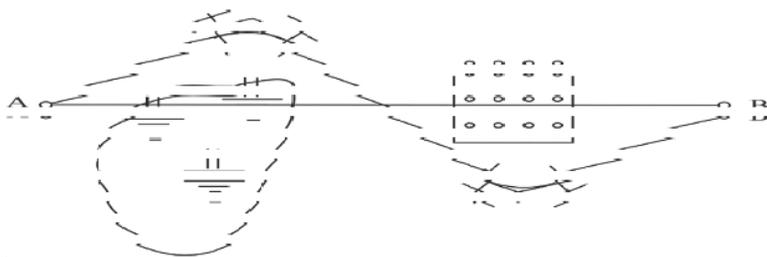


Рис.129. До правила трасування

2. Вершини кутів повороту вибирають напроти середини перешкоди з таким розрахунком, щоб траса огинала цю перешкоду.

3. Кути повороту прагнуть призначати по можливості не більше  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ , щоб помітно не подовжувати трасу.

**Трасування в гірській місцевості.** Положення траси в гірських районах визначається висотними перешкодами, тобто рельєфом. Оскільки ухили гірської місцевості значно перевищують допустимі ухили траси, то трасування виконують “потуженим ходом”, коли кожна лінія задається граничним ухилом. Щоб витримати такий ухил, штучно подовжують трасу, відхиляючи її на великі кути від прямої. Тому в гірських умовах траса в плані має складну конфігурацію.

Таким чином, при трасуванні в гірських умовах дотримуються наступних правил:

1. Трасу проєктують з граничним ухилом, дотримуючись лінії нульових робіт. Ухил зменшують (або приймають рівним нулю) на окремих ділянках, заданих технічними умовами.

2. Елементи плану траси і висоти характерних точок осі лінійної

споруди підбирають з урахуванням заздалегідь складеного профілю і вимог поєднання кривих і прямих.

3. Кути повороту і їх величини призначають, виходячи із умов збереження ухилу трасування; при цьому прагнуть уникнути малих радіусів кривих, на яких необхідне значне зменшення допустимого ухилу.

## **19.2. Польове трасування об'єктів лінійних споруд**

Проект траси, розроблений в камеральних умовах, виноситься в натуру за даними прив'язки вершин кутів повороту до пунктів геодезичної основи, або до найближчих чітких контурів. Вихідні елементи для прив'язки осі лінійної споруди найчастіше отримують графічно.

Польове трасування починають з рекогносрування місцевості. Трасування виконують невеликими ділянками в залежності від просування вишукувальних робіт.

Коли визначені в натурі положення сусідніх кутів повороту, то встановлюють в створі ряд віх, обстежують визначений напрямком, особливо перешкоди через водотоки і яри, перетин існуючих магістралей і інші складні місця. Інколи доводиться дещо зміщувати провішену лінію і пересувати кути повороту, щоб більш зручно розмістити елементи плану і профілю траси та забезпечити мінімальний об'єм будівельних робіт. Кінцеве положення вершин кутів повороту закріплюють на місцевості.

Лінійними називаються інженерні споруди, які мають значну довжину і займають вузьку смугу земельної ділянки. До таких споруд відносяться залізні і автомобільні дороги, лінії підземних магістралей і т. ін.

Для складання креслень проекту такої споруди необхідно мати висоти точок земної поверхні по осі майбутньої споруди в границях вузької смуги. Інакше кажучи, потрібно мати поздовжній і поперечний профілі по осі споруди та горизонтальний план смуги.

Для отримання таких документів, як основи для будівництва споруд, виконують наступні роботи:

- 1) підготовка осі споруди для нівелювання, тобто

закріплення її на місцевості, розмічування пікетажу за віссю траси і поперечниками;

- 2) горизонтальне знімання місцевості в границях смуги;
- 3) нівелювання за поздовжньою віссю і поперечниками;
- 4) обробка польових матеріалів, складання поздовжніх і поперечних профілів.

Перераховані роботи починають виконувати із заготовки відповідних знаків для закріплення точок на місцевості, наприклад, дерев'яних стовпів, на яких пишуть номери олійною фарбою і доставляють їх відповідним транспортом на об'єкт (рис. 130).

Під час проведення рекогностування місцевості, одночасно з'ясовують зручні місця для виконання відповідних вимірювань.

Рекогностування (від лат. *recognosco* - оглядати або обдивлятися) - оглядання і обстеження місцевості з метою уточнення проекту виконання геодезичних робіт. Уточняють місцезнаходження точок геодезичного обґрунтування, перевіряють взаємну видимість між сусідніми точками і умови для проведення вимірювань.



Рис.130. Доставка дерев'яних стовпів на об'єкт для закріплення точок

Одночасно з рекогностуванням на місцевості закріплюють точки по осі споруди: початок, кінець, і кути повороту. Точки закріплюють дерев'яними, залізобетонними стовпами, металевими трубами, або дерев'яними кілочками чи металевими стержнями (рис. 131).

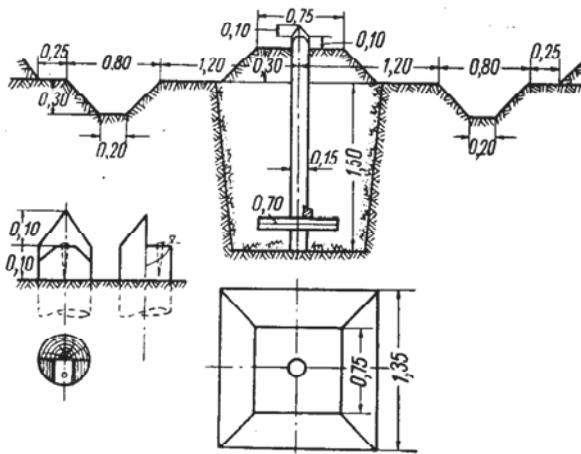


Рис. 131. Закріплення кутів повороту траси

В плановому відношенні точки прив'язують до місцевих предметів і на кожну точку складають абрис. При прив'язці віддаль вимірюють з точністю до  $0.01\text{ м}$ . На абрисі точка 3 прив'язана до стовпа електромережі і житлового будинку № 34 (рис.132).

Якщо вісь споруди проходить в складних географічних умовах і по своїй величині досить довга, то її переносять в натуру геодезичним методом. По такій осі прокладають теодолітний хід і визначають прямокутні координати закріплених точок. Одержані координати порівнюють з проектними координатами і визначають відхилення. Якщо ці відхилення не перевищують  $2\text{ м}$ , то вважають що вісь закріплена на місцевості вірно. Коли це відхилення більше  $2\text{ м}$ , то вісь переносять в натуру заново.

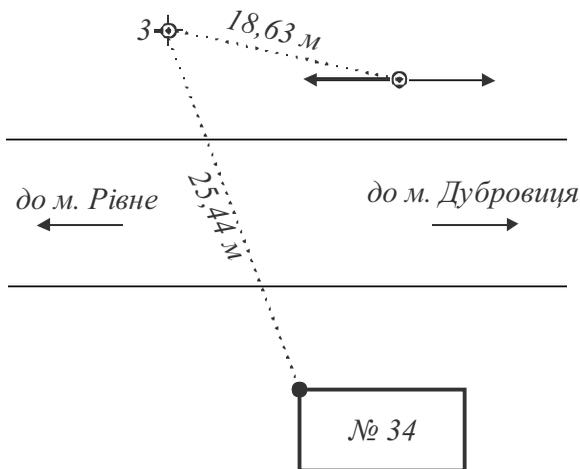


Рис.132. Абрис прив'язки точки 3 до місцевих предметів

**Кутові вимірювання.** При трасуванні часто вимірюють праві кути за ходом, одним прийомом з середньою квадратичною похибкою  $m_{\rho} = 0,5'$ .

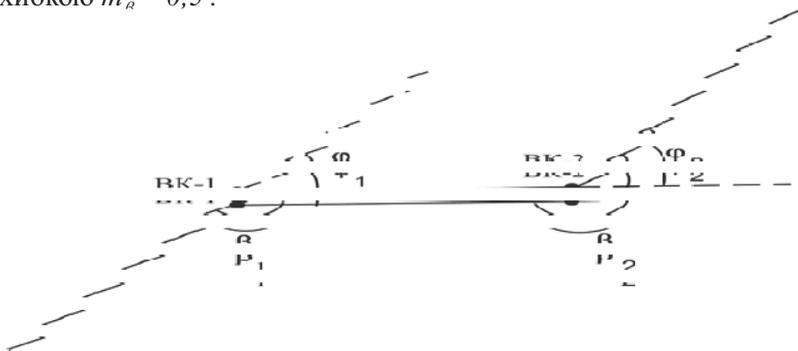


Рис.133. Кутові вимірювання по осі траси

Кути повороту траси визначають, як доповнення до  $180^{\circ}$  правого кута за ходом, при повороті лінії вправо за формулою

$$\varphi_{np} = 180^{\circ} - \beta_1. \quad (171)$$

При повороті лінії вліво кут повороту траси обчислюють за формулою

$$\varphi_{\text{лів}} = \beta_2 - 180^\circ \quad (172)$$

Одночасно з вимірюванням кутів визначають прямі і зворотні румби сторін траси. На прямих ділянках великої довжини (500 - 800 м) встановлюють створні точки, які не повинні відхилитися від створної лінії більше ніж на 1'.

**Лінійні вимірювання.** Вимірювання довжин ліній між точками повороту траси виконуються одночасно з кутовими вимірами. За результатами кутових і лінійних вимірів обчислюють прямокутні координати вершин кутів повороту траси. При ухилах місцевості більше  $2^\circ$  в довжини ліній вводять поправки за ухил (із знаком “мінус”). В залежності від умов місцевості граничну відносну похибку вимірювання довжин ліній допускають 1:1000 – 1:2000. Довжини ліній вимірюють сталюю стрічкою, або світловіддалеміром.

### 19.3. Закріплення основних точок кругової кривої за її віссю

Найпростішим варіантом створення повороту траси є кругова крива, яка сполучає прямі відрізки осі споруди (рис.134). Тому на місцевості закріплюють основні точки кривої: початок кривої (ПК), середину кривої (СК) і кінець кривої (КК). Для того щоб закріпити ці точки на місцевості, необхідно визначити елементи кривої. Розглядаючи рис. 134 видно, що основними елементами кривої є: кут повороту осі споруди  $\theta$ , радіус  $R$ , тангенс  $T$ , крива  $K$ , бісектриса  $B$  і домір  $D$ .

На практиці кут повороту осі споруди  $\theta$  завжди визначають за формулою (171) або (172), а радіус  $R$  приймають для кожної кривої свій, згідно існуючих нормативних документів. Всі інші елементи визначають згідно з нижче наведеними формулами.

Вихідними даними для розрахунку головних точок кривої є кут

$\theta$  повороту осі лінійної споруди і радіус  $R$  кривої. Кут  $\theta$  вимірюють теодолітом безпосередньо в польових умовах, а радіус  $R$  призначають. Щоб не порушити технічні умови кривої, часто радіус вибирають із таблиці наведеної в БНіП, де вказано його обґрунтування.

Розглядаючи трикутник  $OAB$  (рис.134) і застосовуючи теорему синусів за формулою (174) виконуємо розрахунки.

$$T/\sin(\theta/2)=R/\cos(\theta/2)=(R+B)/\sin 90^\circ \quad (173)$$

Розрахунок елементів кривої виконують наступним чином. Віддаль від вершини кута повороту осі лінійної споруди назад у напрямку до точки початку кривої ( $ПК$ ) та до точки кінця кривої ( $КК$ ) називається тангенсом і позначається буквою “ $T$ ”, який обчислюється за формулою

$$T=R \times \operatorname{tg}(\theta/2). \quad (174)$$

Для визначення довжини кривої, яка з’єднає головні точки  $ПК$  і  $КК$ , теж використовують теорему синусів формули (175), тобто довжина кола відноситься до кількості градусів у колі, як крива до кута, на який вона опирається, тобто

$$2\pi R/360^\circ=K/\theta, \quad (175)$$

звідки

$$K=(\pi R\theta)/180^\circ \quad (176)$$

Віддаль від вершини повороту осі лінійної споруди за бісектрисою кута  $\beta$  до осі кривої позначають буквою “ $B$ ” і називають бісектрисою та обчислюють за формулою

$$B=R\langle(1/\cos\theta/2)-1\rangle. \quad (177)$$

Різницю між двома тангенсами і кривою називають доміром і

позначають буквою “Д” та обчислюють за формулою

$$D = 2T - K. \quad (178)$$

Визначені основні елементи кривої  $\theta$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $K$ ,  $B$ , і  $D$  записують в пікетажний журнал.

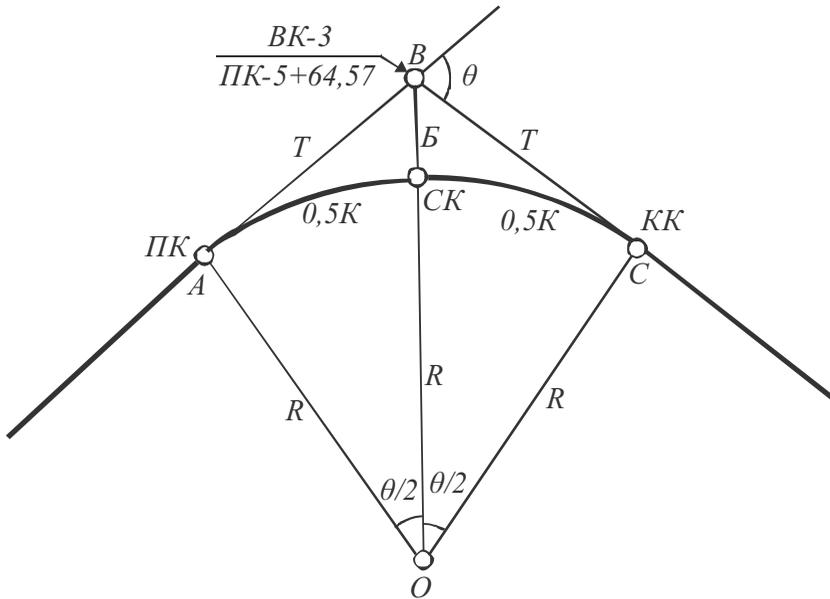


Рис.134 Елементи кругової кривої

В більшості повороти лінійних споруд виконують за круговою кривою, яка сполучає прямі відрізки осі споруди. Основні її точки на місцевості закріплюють надійними знаками (рис.135).



Рис.135. Закріплення основних точок кривої

#### 19.4. Розмічування пікетажу по осі лінійної споруди

По осі лінійної споруди через  $100\text{ м}$  закріплюють точки дерев'яними кілочками, які називають пікетами. Дії, які виконуються при закріпленні пікетів, називаються розмічуванням пікетажу (рис.136)

Пікетаж - від французького слова *piguetage* - вибір точок на місцевості для встановлення рейок і закріплення їх кілочками при нівелюванні. Пікет - точка на осі споруди, яка призначена для закріплення заданого інтервалу. На практиці найчастіше таким інтервалом є  $100\text{ м}$  і дуже рідко  $40,20$  і  $10\text{ м}$ .

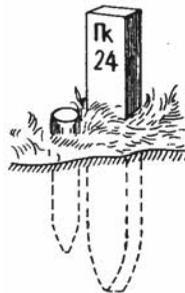


Рис.136. Закріплення пікету і сторожок

Розмічування пікетажу виконують за допомогою сталевий мірної 20-ти метрової стрічки. Нумерацію пікетажних точок починають від початку споруди. Нульовий пікет співпадає з початком осі споруди і позначається *ПК-0*. Сам пікет закріплюють дерев'яним кілочком перерізом  $2 \times 2$  см, який забивають врівень з землею. На відстані  $5 \dots 10$  см від пікету забивають другий кілочок висотою  $15 \dots 20$  см. На цьому кілочку олівцем підписують *ПК-0* і називають його сторожком. Після цього протягують стрічку вперед по осі споруди і від *ПК-0* відкладають віддаль рівну  $100$  м. Забивають один кілочок врівень з землею як пікет, а другий як сторожок, на якому підписують *ПК-1*. Таким чином закріплюють пікети по всій осі лінійної споруди.

Оскільки поверхня землі надто складна, то крім пікетних точок по осі споруди закріплюють точки в характерних місцях рельєфу і ситуації (точки перегину схилів, уріз води в водоймищах, перетин з діючими дорогами, лініями електропередач, контурами ситуації і тощо). Ці точки називають плюсовими, а їх положення визначається відстанню від ближчого попереднього пікету. Наприклад, називають точку *ПК-8+73,44*. Це означає, що точка знаходиться від *ПК-8* на відстані  $73,44$  м вперед по осі споруди.

Кути повороту по осі лінійної споруди позначають зростаючими номерами, крім того, їм приписують пікетажне значення, яке складається із порядкового номера попереднього (заднього) пікету плюс віддаль від цього пікету до кута повороту. На (рис.137) позначення вершини слід розуміти так. В чисельнику номер вершини кута  $3$  (*БК-3*), а в знаменнику номер пікету  $5$  плюс віддаль від пікету  $5$  до вершини кута  $64,50$  м (*ПК-5 + 64.50*) за напрямком осі споруди.

Таким чином, легко визначити за номером пікету на якій відстані від початку осі споруди знаходиться кут повороту. Для приведеного вище прикладу ця відстань дорівнює  $564,50$  м. Одночасно з розмічуванням пікетажу виконують горизонтальне знімання в границях смуги, ширина якої вказана в технічному завданні для виконання роботи.

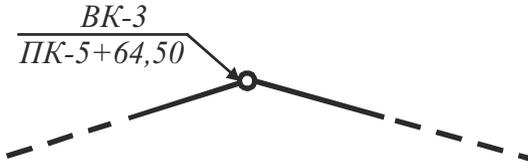


Рис.137. Пікетажне позначення вершини повороту

Відомо, що розмічування пікетажу виконують за прямолінійними ланками осі споруди, а рахунок пікетажу – за круговою кривою (рис.134). Так як крива коротша від суми двох тангенсів на величину домірю ( $D$ ), то визначають пікетажне значення ( $KK$ ) за формулою

$$KK = BK + T - D \quad (179)$$

Приймаючи його за дійсне, продовжують розмічування пікетажу по осі споруди. Таким чином враховують поправку в довжину траси за кривизну кривої, яка дорівнює величині доміру.

Одночасно з розмічуванням пікетажу ведеться пікетажний журнал (рис.138). В журналі показують вісь траси у вигляді прямої лінії посередині сторінки, на якій в наближеному масштабі наносять всі пікетні і плюсові точки, кути повороту, поперечники, границі перешкод і ситуацію приблизно на 50 метрів в обидві сторони від осі.

Запис в пікетажному журналі ведеться знизу вверху так, щоб права і ліва сторони сторінки відповідали правій і лівій стороні траси за ходом розмічування пікетажу. Кути повороту в журналі показують у вигляді стрілок, направлених вправо чи вліво від осьової лінії в залежності від того, в яку сторону повертає траса. Біля кутів повороту виписують обчислені елементи кривих: кут повороту з показом правий чи лівий, радіус, тангенс, криву, бісектрису, домір; тут же виконують розрахунки пікетажу. Одночасно з веденням пікетажного журналу, виконують розрахунок пікетажних значень основних точок кривих та пікетажних значень вершин кутів повороту траси і кінця траси.

## 19.5. Розрахунок пікетажних значень точок кругових кривих

Будівництво лінійної споруди відбувається між двома вибраними точками. Якщо віддаль між цими точками велика, то в зв'язку з економічними, будівельними, транспортними, естетичними і другими ознаками пов'язаними з умовами її будівництва на місцевості, виникає необхідність зміни напрямку. На цій основі вісь такої споруди складається із прямих і криволінійних ділянок.

Основне завдання проектувальника полягає в тому, щоб дві запроєктовані прямі поєднати на місцевості з частиною дуги кола, згідно з наведеними і розрахованими елементами кругової кривої (рис.134).

Для досягнення цієї мети необхідно розрахувати головні точки кривої та винести їх в натуру. Саму криву на місцевості закріплюють дерев'яними кілочками на осі кривої через 5-20 м в залежності від технічних вимог будівництва криволінійних споруд.

За обчисленими елементами розраховують головні точки кривої (рис.138). Якщо від пікетажного значення вершини кута відняти  $T$ , то отримаємо пікетажне значення головної точки  $ПК$  - початку кривої. Наприклад

$$\begin{array}{r} BK = ПК-5+46,28 \\ - T \qquad \qquad 89,59 \end{array}$$

---

$$ПК = ПК-4+56,69$$

Коли до пікетного значення вершини кута додати тангенс  $T$ , то отримаємо пікетажне значення кінця кривої  $КК$ . Наприклад

$$\begin{array}{r} BK = ПК-5+46,28 \\ +T = \qquad \qquad 89,59 \end{array}$$

---

$$КК = ПК-6+35,87$$

Для того, щоб знайти пікетажне значення середини кривої *СК* необхідно до пікетажного значення початку кривої *ПК* додати половину кривої. Наприклад

$$\begin{array}{r} PK = PK-4 + 56,69 \\ + 0,5K = \quad 87,06 \\ \hline SK = PK-5 + 43,75 \end{array}$$

Якщо в формулу (177) підставити значення *R* і  $\theta$ , то можна обчислити величину бісектриси *B*, тобто

$$B = R[(1/\cos \theta/2) - 1] = 300[(1/\cos 33^\circ 15,3'/2) - 1] = 13,09 \text{ м.}$$

Оскільки відомі числові значення тангенса *T* і кривої *K*, то можна обчислити значення доміру за формулою (178), тобто

$$D = 2T - K = 2 \times 89,59 - 174,12 = 5,06 \text{ м.}$$

Коли відоме числове значення елементів кривої і пікетажне значення головних точок кривої, то приступають до перенесення в натуру головних точок кривої.

Встановлюють теодоліт у вершині кута *BK*, візують на будь-яку точку закріплену на осі лінійної споруди, і за напрямком зорової труби відкладають віддаль рівну *T* та закріплюють на місцевості точку, яка має назву початок кривої *ПК*.

Оскільки кут повороту осі лінійної споруди дорівнює  $\beta = 33^\circ 15,3'$  то обчислюють горизонтальний кут  $\beta$  за формулою

$$\beta = 180^\circ - \theta = 180^\circ - 33^\circ 15,3' = 146^\circ 44,7'$$

Встановлюють теодоліт в вершину кута *BK* і зорову трубу візують на точку *ПК* та відкладають горизонтальний кут  $\beta/2 = 73^\circ 22,35'$  і за напрямком зорової труби відкладають віддаль

( $B=13,09\text{м}$ ) та фіксують точку  $СК$ , яку закріплюють на осі кривої і називають її серединою кривої (рис.134). Після цього наводять зорову трубу на будь-яку точку, закріплену на осі лінійної споруди, за ходом, та за напрямком труби відкладають віддаль рівну  $T$  і фіксують точку, яку називають кінцем кривої ( $КК$ ).

Оскільки будівництво лінійної споруди виконують за віссю кривої  $K$ , а не за ламаною  $ПК$ ,  $BK$ ,  $КК$ , то довжина кривої буде меншою ламаної на величину доміру  $D$ . Для того щоб вести пікетаж за віссю кривої, а не за ламаною, то необхідно врахувати величину доміру  $D$  (рис.134). За допомогою сталльної стрічки від  $BK$   $ПК-5+46,28$  відкладають величину доміру  $D$  вперед, і це пікетажне значення приписують точці кінця доміру, яке відповідає пікетажному значенню вершини кута ( $ПК-5+46,28$ ), і після цього продовжують розмічування. Доходять до наступної вершини кута і за вище наведеною методикою виконують розрахунки та зміщення пікетажного значення вершини кута. Таким чином, дійшовши до кінця лінійної споруди, отримують її загальну довжину.

Щоб отримати профіль по кривій траси, необхідно винести пікет з тангенса на криву і визначити його висоту. Винесення пікетів з тангенсів на криву виконують двома способами: способом прямокутних координат і способом полярних координат. Очевидно нам потрібно закріпити точку на кривій в такому місці, щоб віддаль від неї до початку кривої була рівною віддалі від початку кривої до пікету на тангенсі (рис.134).

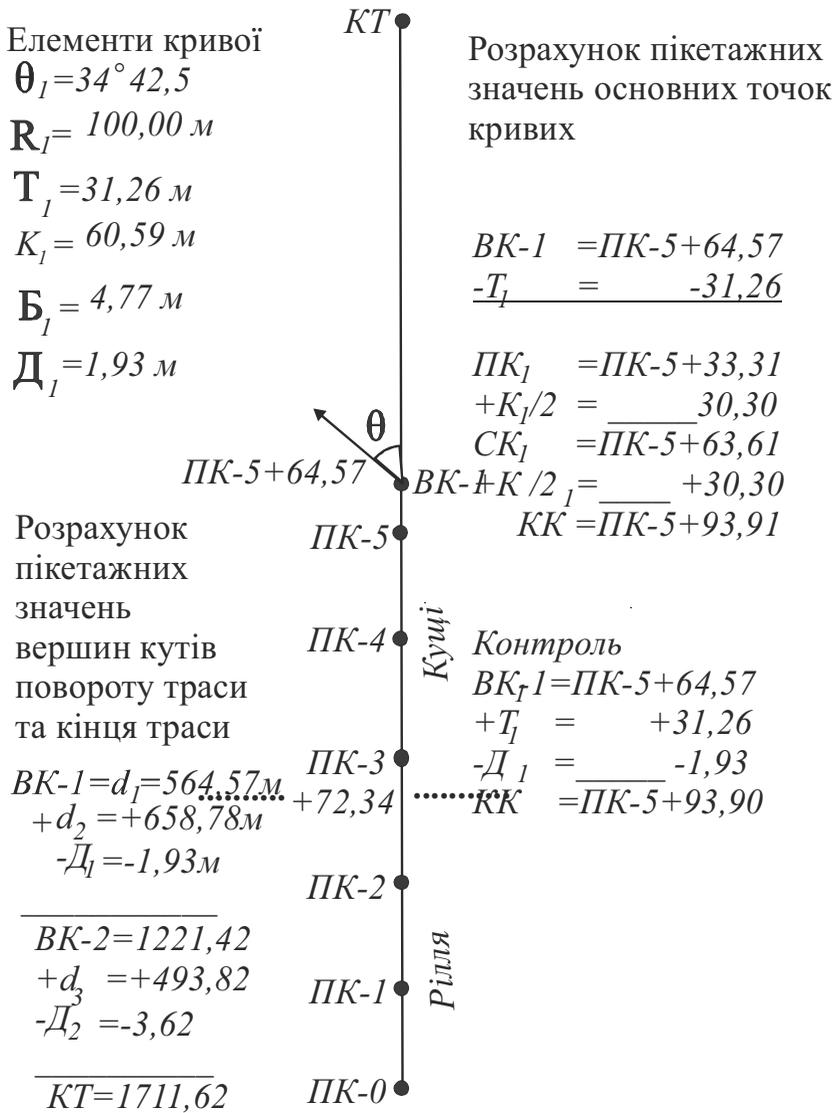


Рис.138. Пікетажний журнал

## 19.6. Детальне розмічування на місцевості кругової кривої

При будівництві лінійної споруди вісь кривої на місцевості закріплюють дерев'яними кілочками, на віддалі один від одного 5-20м. Віддаль між кілочками на осі кривої може бути будь-якою. Коли віддаль між кілочками різні то створюються відповідні незручності тому, що кожній довжині частини кривої відповідає певний центральний кут, на який спирається дуга (частина кривої). Тому на практиці досить часто призначають довжину частини кривої та обчислюють один центральний кут, на який спирається дуга.

Способів детального розмічування осі кривої існує багато. Найбільш поширеними є наступні:

- а) спосіб прямокутних координат;*
- б) спосіб продовження хорд;*
- в) спосіб кутів.*

## 19.7. Спосіб прямокутних координат

Спосіб прямокутних координат використовують, як один із самих точних способів детального розмічування кривої. Особливо доцільно його використовувати, коли задають однакові частини кривої. В цих умовах достатньо виконати розрахунки один раз, щоб розрахувати прямокутні координати точок, які розташовані на осі кривої і на однаковій віддалі одна від одної (рис.139). Для розрахунків за вісь абсцис приймають тангенс  $T$ , а вісь ординат – радіус  $R$  з початком координат в точці початок кривої (ПК). Призначають довжину частини кривої  $k$ , на яку опирається величина кута  $\varphi$  і розраховують його за формулою

$$\varphi = \frac{180^\circ \times k}{\pi R}, \quad (180)$$

де  $\pi = 3,14$ .

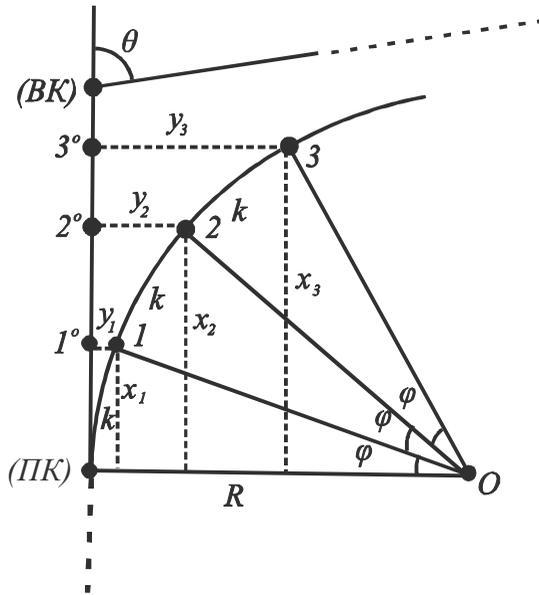


Рис.139. Спосіб прямокутних координат

Прямокутні координати точок обчислюють за формулами

$$\begin{aligned}
 X_1 &= R \sin \varphi; & Y_1 &= 2R \sin^2 \varphi / 2; \\
 X_2 &= R \sin 2 \varphi; & Y_2 &= 2R \sin^2 \varphi; \\
 X_3 &= R \sin 3 \varphi; & Y_3 &= 2R \sin^2 3 \varphi / 2;
 \end{aligned}
 \tag{181}$$

В польових умовах вісь кругової кривої закріплюють наступним чином. Від початку координат точки *ПК* за тангенсом *T* відкладають абсцису  $x_1$  і отримують точку  $1^\circ$ . В цій точці будують перпендикуляр в сторону кривої одним із вибраних методів (екером, теодолітом) і за ним відкладають ординату  $y_1$  та отримують точку  $1$ , яка буде лежати на осі кривої. Після цього від початку кривої за тангенсом відкладають абсцису  $x_2$  і отримують точку  $2^\circ$ , в якій будують перпендикуляр в сторону кривої, та відкладають на ньому

ординату  $y_2$  і отримують точку 2 тощо.

Детальне розмічування однієї половини кривої виконують, коли за початок прямокутних координат прийнята точка  $ПК$  (початок кривої). Другу половину кривої розмічують, коли за початок прямокутних координат прийнятий  $КК$  (кінець кривої). Якщо простежити за закріпленими точками на місцевості за вище наведеною методикою, то ми побачимо як проходить вісь кривої, яка є основою для виконання подальшого розмічування лінійної споруди.

### 19.8. Перенесення пікету на криву

У виробничих умовах часто трапляються випадки, коли під час розмічування пікетажу точка повного пікету розташована на тангенсі кривої. Оскільки профіль лінійної споруди будують за її віссю, то необхідно пікет з тангенсу перенести на криву, для того щоб не було спотворення висот, тобто, висоту точки слід визначати, коли ця точка знаходиться на осі лінійної споруди. Технологія перенесення пікету на криву наступна. Визначають довжину частини кривої  $k$  від  $ПК$  до  $ПК-9$  (рис.140). Довжину кривої обчислюють за виразом  $k = ПК-9 - (ПК-8 + 74,36) = 25,64м$ .

Центральний кут  $\varphi$  розраховують за формулою (180). За кутом  $\varphi$  і відомим радіусом  $R$  обчислюють прямокутні координати  $ПК-9$  на кривій за формулою (181).

Якщо в точці  $ПК-9$  встановити перпендикуляр в сторону кривої, то на перетині його з кривою отримаємо точку 1. Тоді довжина кривої від  $ПК$  до точки 1 буде значно більшою від обчисленої (в нашому випадку  $k = 25,64м$ ). Для того щоб довжина кривої відповідала віддалі від  $ПК$  до  $ПК-9$ , необхідно від  $ПК-9$  відкласти назад за напрямком до  $ПК$  величину  $(k-x)$  і в отриманій точці  $a$  встановити перпендикуляр та за ним відкласти віддаль  $y$  і закріпити точку. Ця точка має назву  $ПК-9$  і розташована на осі кривої.

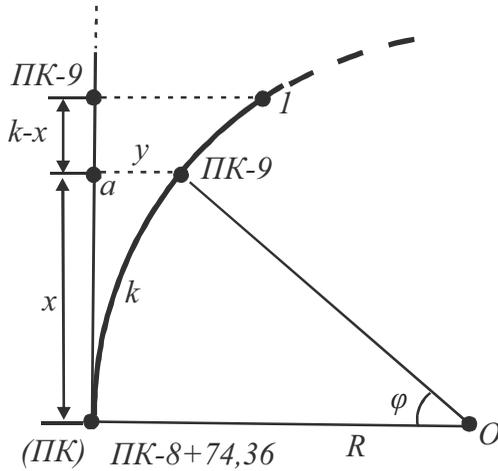


Рис.140. Перенесення пікету на криву

Підчас нівелювання визначають висоту ПК-9 і складений профіль буде відповідати висотам точок, розташованих на осі лінійної споруди.

### 19.9. Спосіб продовження хорд

Цей спосіб використовують на виробництві в тих випадках, коли не вимагається висока точність позначення осі кривої лінійної споруди на місцевості. Методика використання даного способу наступна: приймають довжину хорди  $\ell$  та обчислюють центральний кут  $\varphi$  при відомому радіусу  $R$  (рис.141).

Кут  $\varphi$  обчислюють на основі теореми косінусів. В трикутнику  $O(ПК)I$  відомі три сторони, тоді кут  $\varphi$  обчислюють за формулою

$$\cos \varphi = (2R^2 - \ell^2) / 2R^2, \quad (182)$$

звідки

$$\varphi = \arccos[(2R^2 - \ell^2) / 2R^2] \quad (183)$$

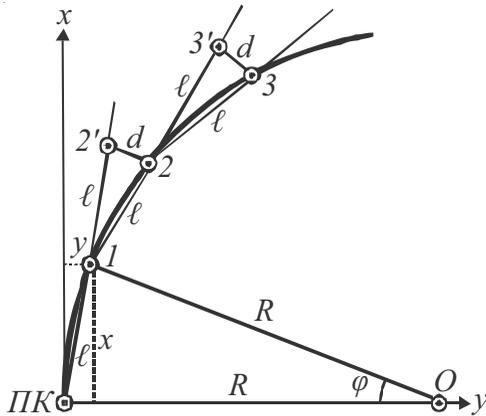


Рис.141. Спосіб продовження хорд

За величинами  $\varphi$  і  $R$  розраховують прямокутні координати першої точки за формулою (181). Для закріплення точки 2 на кривій, спочатку обчислюють довжину відрізка  $d$  за формулою

$$d = \ell^2 / R \quad (184)$$

В подальшому встановлюють теодоліт в точці  $PK$  і візують зорову трубу на точку 1 та відкладають від точки 1 за напрямком труби віддаль  $\ell$  і закріплюють точку 2'. Точка 2 буде знаходитися на перетині дуг проведених за допомогою радіуса  $\ell$  від точки 1 і радіуса  $d$  від точки 2' на поверхні землі. Після цього переносять теодоліт в точку 1, а зорову трубу наводять на точку 2 і за напрямком труби відкладають віддаль  $\ell$  та фіксують точку 3'. Шляхом застосування способу лінійної засічки знаходять точку 3 і т. д.

## 19.10. Спосіб кутів

Спосіб кутів відносять до неточних способів, але на виробництві його використовують досить часто (рис.142).

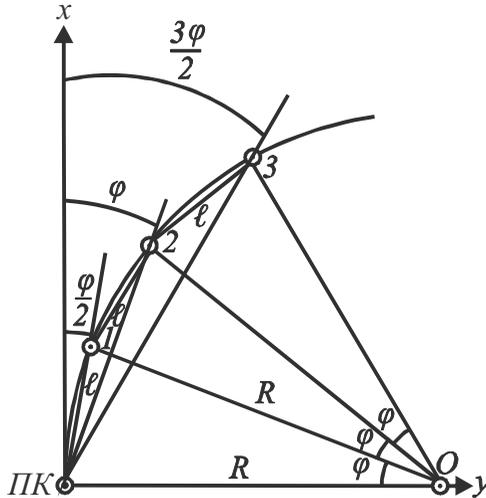


Рис.142. Спосіб кутів

Приймають величину хорди  $\ell$  частини кривої та обчислюють величину кута  $\varphi$  за формулою

$$\sin \varphi/2 = \ell/2R \quad (185)$$

Встановлюють теодоліт в точці початок кривої (ПК) і від напрямку на  $BK$  відкладають кут  $\varphi/2$  та за напрямком труби відкладають віддаль  $\ell$  і фіксують точку 1. Після цього від напрямку на  $BK$  відкладають кут  $\varphi$  і від точки 1 відкладають віддаль  $\ell$  так, щоб кінець її перетнувся з візирною віссю труби і фіксують точку 2 і т. д.

Точки 1, 2 і 3 можна винести в натуру прямою кутовою засічкою. Доцільно це виконувати двома теодолітами. Один

встановлюють в точці (ПК) і відкладають від напрямку на ВК горизонтальні кути по черзі  $\varphi/2$ ,  $\varphi$ ,  $3\varphi/2$  і т.д., а другий в точці  $O$  та відкладають горизонтальні кути від напрямку на (ПК) по черзі  $\varphi$ ,  $2\varphi$ ,  $3\varphi$  і т.д.

Точки будуть знаходитися на перетині візирних осей теодолітів. Цей спосіб значно підвищує точність положення точок, але тут повинен бути доступ до точки  $O$ .

### 19.11. Розмічування поперечників на місцевості

Для виявлення характеристики рельєфу місцевості в границях смуги в напрямку перпендикулярному до осі лінійної споруди, на місцевості розмічають поперечники. Перпендикулярність поперечників витримується за допомогою екера або на око. Віддалі між поперечниками по осі споруди і довжини самих поперечників призначаються головним інженером проекту, який складає технічне завдання, що в свою чергу пов'язане з характером споруди. На кожному поперечнику, вправо і вліво від осі споруди, в характерних місцях рельєфу закріплюють точки, які називають плюсовими (рис. 143).

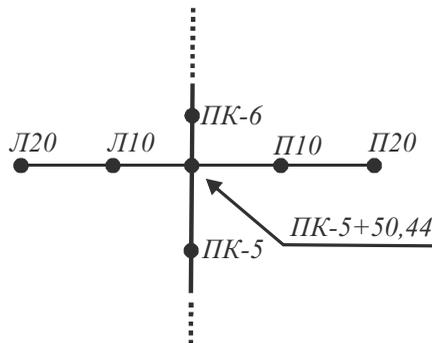


Рис. 143. Поперечник на осі споруди

Позначення точки складається із початкової літери відповідної сторони при русі по осі споруди вперед, наприклад, вправо “П” або вліво “Л”, та віддалі по перпендикуляру від осі до

характерної точки рельєфу.

Якщо маємо позначення плюсової точки  $П10$  чи  $Л20$ , то це значить, що перша характерна точка рельєфу на поперечнику знаходиться від осі споруди на перпендикулярі  $10$  м праворуч, а друга -  $20$  м ліворуч.

Місце знаходження поперечника характеризується пікетажним значенням. Наприклад, на (рис.143) поперечник має значення  $ПК-5+50,44$ . Це значить, що поперечник знаходиться від початку лінійної споруди (по її осі) на віддалі  $550,44$  м. На місцевості поперечники розмічають в місцях на осі лінійної споруди, де по напрямку поперечника спостерігається однаковий нахил. Якщо нахили більше  $11^\circ$ , то поперечники розмічають на всіх пікетних і плюсових точках.

## 19.12. Заповнення пікетажного журналу в польових умовах

Одночасно з розміткою пікетажу на місцевості заповнюють пікетажний журнал. В журналі показують вісь лінійної споруди у вигляді прямої лінії посередині сторінки, на якій в довільному масштабі наносять всі пікетні і плюсові точки, кути повороту споруди від осі. Запис в пікетажному журналі виконують знизу вгору, щоб права і ліва сторони сторінки відповідали правій та лівій сторонам споруди по ходу. Кути повороту показують стрілками, направленими вправо чи вліво від осі лінійної споруди залежно від того, в яку сторону вона повертає (рис.138).

Визначені основні елементи кривої  $R$ ,  $T$ ,  $K$ ,  $B$  і  $D$  записують в пікетажний журнал. Пікетажне значення кожної вершини кута повороту та кінця споруди визначають за формулою:

$$\begin{aligned} BK.1 &= d_1 = ПК - N + k_1; \\ BK.2 &= BK.1 + d_2 - D_1 = ПК - N + k_2; \\ BK.3 &= BK.2 + d_3 - D_2 = ПК - N + k_3; \\ &..... \\ KT &= BK.(n-1) + d_n - D_{(n-1)} = ПК - N + k_n; \end{aligned} \tag{186}$$

де  $BK.1$ ,  $BK.2$ ,  $BK.3$ , ...,  $BK(n-1)$  – вершини кутів повороту лінійної

споруди;

$d_1, d_2, \dots, d_n$  – довжини прямих ланок лінійної споруди;

$D_1, D_2, \dots, D_{(n-1)}$  – доміри у відповідних вершинах кута повороту траси;

$N$  – кількість цілих сотень метрів;

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  – відрізки в метрах з точністю до  $0,01$  м від відповідного пікету до вершини кута повороту лінійної споруди;

$KT$  – кінець траси.

Виконують розрахунок пікетажних значень основних точок кривої за формулами:

$$\begin{aligned} PK &= BK_i - T = PK - N + k_j; \\ CK &= PK + K / 2 = PK - N + k_j; \\ KK &= CK + K / 2 = PK - N + k_j, \end{aligned} \quad (187)$$

де  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  – номер вершини кута повороту лінійної споруди;  
 $k_j$  – відрізки в метрах (з точністю до  $0,01$  м) від відповідного пікету.

Контроль обчислень виконують за формулою:

$$KK = BK + T - D = PK - N + k_j. \quad (188)$$

Розходження можуть бути не більше  $0,01$  м за рахунок заокруглень числа.

### 19.13. Технічне нівелювання по осі лінійної споруди

Для того щоб визначити висоти закріплених точок на осі лінійної споруди (пікетів, плюсових, основних точок кривої, пікетів винесених на криву і точок на поперечниках) за ними прокладають нівелірний хід технічної точності. Нівелювання починають від точки, висота якої відома і спостереження виконують за програмою:

1. відлік з чорної сторони задньої рейки;
2. відлік з чорної сторони передньої рейки
3. відлік з червоної сторони передньої рейки;
4. відлік з червоної сторони задньої рейки;
5. відлік з чорної сторони рейки на проміжній точці.

Результати спостережень на кожній станції записують в журнал

технічного нівелювання (табл. 23). Зняті відліки з чорної і червоної сторони кожної рейки контролюють, шляхом обчислення п'ятки рейки.

На станції визначають перевищення за формулою (124), та середнє перевищення за формулою (125). Польові обчислення на кожній станції на цьому закінчується (дивись табл.23.)

Таблиця 23

**Журнал технічного нівелювання по осі траси**

№ станції	№ точок	Відліки з рейок			Перевищення, мм			Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
		задній	перед.	пром.	вирах. (мм)	серед. (мм)	вип (мм)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Rp1 ПК0 ПК1	1109 5893 4784	0496 5278 4782	1670	+ 613 + 615	+ 614			145,456
2	ПК1 ПК2 +70 ПК3	1480 6262 4782	0477 5259 4782	0830 1980	+1003 +1003	+1003			
3	ПК3 П10 П15 П20 Л8 ЛП4 Л20 ПК4 ПК5	0446 5228 4782	1788 6572 4784	1040 1630 2690 1690 2930 1150 2070	-1342 -1344	-1343			
4	ПК5 +40.81 Rp2	0970 5751 4781	0912 5695 4783	1960	+ 58 + 56	+ 57			145,756

Посторінковий контроль:

$$\sum Z = \underline{\hspace{2cm}}; \sum II = \underline{\hspace{2cm}}; \sum h = \underline{\hspace{2cm}}; \sum h_{cp} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\sum Z - \sum II = \underline{\hspace{2cm}}$$

1. Сума обчислених перевищень  $\sum h_{cp} = \underline{\hspace{2cm}}$

2. Сума теоретичних перевищень  $\sum h_T = \underline{\hspace{2cm}}$

3. Нев'язка в нівелірному ході  $f_h = \sum h_{cp} - \sum h_T = \underline{\hspace{2cm}}$

4. Допустима невязка  $\text{доп} f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{L} = \underline{\hspace{2cm}}$

Примітка:  $L = KT = \underline{\hspace{2cm}}$

Таблиця 24

**Журнал технічного нівелювання по осі траси**

№ станції	№ точок нівелювання	Відліки по рейці			Перевищення, мм			Гори зонт при ладу, м	Висоти точок, м
		задній	перед.	проміж.	вираховане	середнє	виправлене		
1	Rp1 ПК0 ПК1	1109	0496 5278 4782	1670	+613	-7	+ 607	146.565	145,456 144,895 146,063
		5893 4784			+615	+614			
2	ПК1 ПК2 +70 ПК3	1480	0477 5259 4782	0830 1980	+ 1003 + 1003	-8 +1003	+ 995	147.543	146,063 146,713 145,563 147,058
		6262 4782							
3	ПК3 П10 П15 П20 Л8 Л14 Л20 ПК4 ПК5	0446	1788 6572 4784	1040 1630 2690 1690 2930 1150 2070	-1342 -1344	-8 -1343	-1351	147.504	146,464 145,874 144,814 145,814 144,574 146,354 145,434 145,707
		5228 4782							
4	ПК5 +40.81 Rp2	0970	0912 5695 4783	1960	+ 58	-8 + 57	+ 49	146.677	145,707 144,717 145,756
		5751 4781			+ 56				

Посторінковий контроль:

$$З=27139; П=26477; h=+662; h_{cp}=+331 \quad 3- П=+662$$

1. Сума обчислених перевищень  $h_{cp}=+331$

2. Сума теоретичних перевищень  $h_T=+300$

3. Нев'язка в нівелірному ході  $f_h = \Sigma h_{cp} - \Sigma h_T = +31$

4. Допустима невязка  $\text{доп}f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{0,54081} = +37$

Примітка:  $L=KT=540.81 \text{ м}=0,6 \text{ км}$ , тобто округляють в більшу сторону.

### 19.14. Камеральна обробка журналу технічного нівелювання

Камеральну обробку журналу починають з перевірки відліків взятих з рейки, визначених перевищень та середніх перевищень. Після цього виконують посторінковий контроль та знаходять суму обчислених перевищень за формулою (126), суму теоретичних перевищень за формулою (127), невязку в нівелірному ході за формулою (129) і допустиму невязку за формулою (130). Якщо одержана невязка допустима, то її розподіляють на кожне перевищення за методикою викладеною п. 12.2. Висоти зв'язуючих точок обчислюють за формулою (131).

Обчислення висот проміжних точок виконують в такій послідовності, спочатку визначають горизонт приладу на кожній станції за формулою (136), а потім - висоти за формулою (137).

Всі результати згаданих обчислень заносять в журнал технічного нівелювання (табл.23). Повністю оформлений журнал (табл. 23) має вигляд наведений в табл.24.

### 19.15. Побудова поздовжнього і поперечного профілів лінійної споруди

Поздовжнім профілем називається переріз земної поверхні вертикальною площиною по осі лінійної споруди, який зображений в певному масштабі.

Поздовжній профіль характеризує величину поздовжніх ухилів прямолінійних ланок місцевості на осьовій лінії споруди. Зображення профілів місцевості є одним з основних документів, на основі яких проектують дороги, мости, аеродроми, промислові та цивільні будинки тощо.

На місцевості рельєф змінюється в більшості спокійно, тобто переходи від підвищення до пониження, які знаходяться на значній віддалі між собою.

Різниці висот точок поверхні землі малі у порівнянні з горизонтальними відстанями між ними, тому поздовжні профілі будують у різних масштабах. В зв'язку з цим профіль не буде подібний натурі, рельєф місцевості на ньому буде більш різким, краще видимі перегини, підвищення та пониження.

Профіль можна побудувати на будь-якому аркуші паперу, але краще на міліметровому. Практично для побудови поздовжнього профілю застосовують два масштаби. Загально прийняті наступні масштаби:

горизонтальний -  $1:500$ ,  $1:1000$ ,  $1:2000$ ,  $1:5000$  і  $1:10000$ ;

вертикальний –  $1:50$ ,  $1:100$ ,  $1:200$ ,  $1:500$ ,  $1:1000$ , тобто в  $10$  разів крупніший горизонтального.

Перед побудовою профілю будь-якої лінійної споруди, її загальну довжину уже визначено. На цій основі заготовляють довжину паперу відповідно до прийнятого горизонтального масштабу. Журнал технічного нівелювання по осі споруди і пікетажний журнал є основними документами для побудови поздовжнього і поперечного профілів. Профіль є основою для проектування на ньому лінійної споруди і обчислення об'ємів земляних мас.

Беруть аркуш міліметрового паперу заготовленої довжини, знизу відраховують  $15\text{ см}$  і проводять олівцем горизонтальну лінію. Зліва аркуша відступають праворуч на  $2\text{ см}$  і проводять вниз від горизонтальної лінії вертикальну лінію. Від проведеної лінії вправо відступають ще на  $8\text{ см}$  і проводять вертикальну лінію яка служить границею надписів горизонтальних рядків, а частина яка розташована вище горизонтальної лінії - шкалою вертикального

масштабу (рис.144). Горизонтальну лінію приймають за умовний горизонт. Висоту умовного горизонту визначають наступним чином. У журналі технічного нівелювання шукають найменшу висоту будь-якої точки, яку зменшують до кратної величини. Цю величину відмічають на шкалі профілю в поперечному масштабі так, щоб від неї до лінії умовного горизонту було 8 - 12 см. На цій основі цифрують шкалу.

Кожний пікет і кожен плюсову точку наносять на профіль у відповідному масштабі. Для цього визначають різницю висот точки і умовного горизонту, яку в вертикальному масштабі відкладають вгору від умовного горизонту. З одержаних таким чином точок опускають перпендикуляри на умовний горизонт, а верхні кінці їх з'єднують між собою прямою лінією. Цю лінію називають профільною. У графі "Висоти поверхні землі" напроти кожної точки записують висоти з точністю до 0.01 м (рис.144). Заповнюють графі "відстані" і "пикети". Графу "план смуги" заповнюють на основі даних пікетажного журналу.

У правому нижньому куті підписують *"Профіль склав, ст. гр. \_\_\_\_\_, факультет, прізвище і ініціали."*

Поперечний профіль складають таким чином як і поздовжній, тільки масштаби горизонтальний і вертикальний однакові. Практично масштаб для поперечного профілю призначають такий, який прийнятий вертикальний масштаб для поздовжнього профілю. Це дає змогу проектувати на ньому земляні і інші споруди, а також визначати об'єми земляних мас (рис.145).

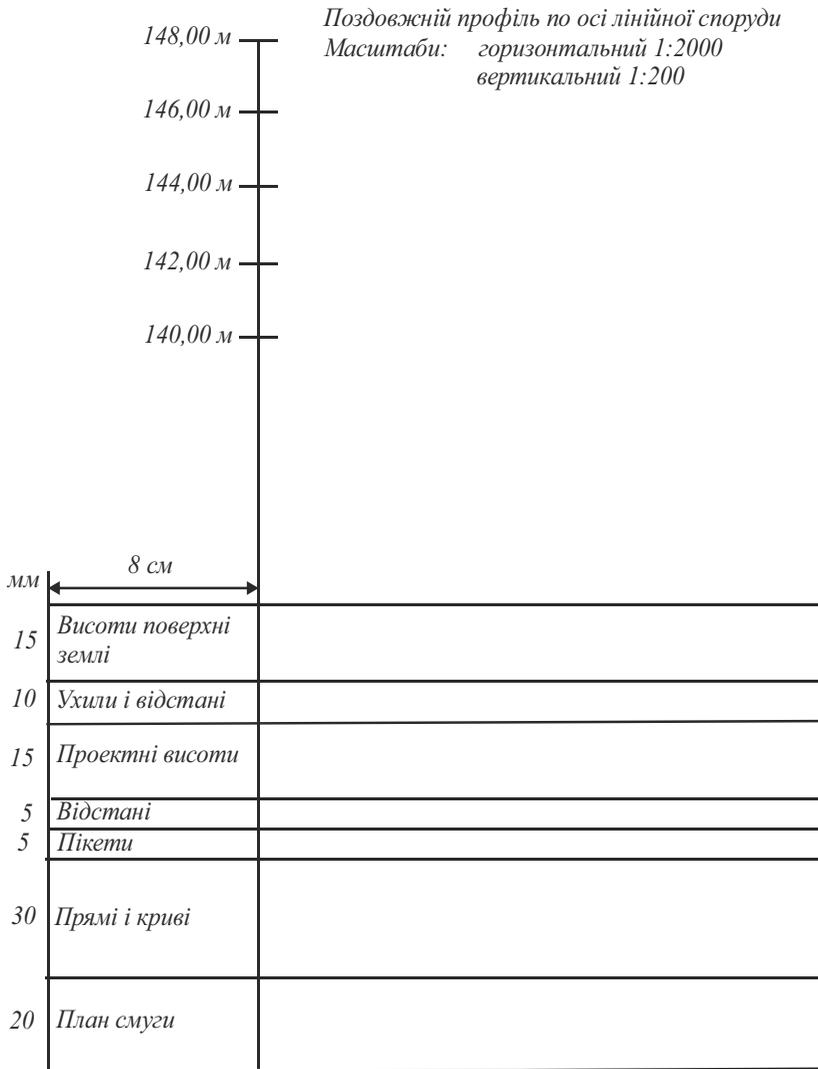


Рис.144. Поздовжній профіль

*Профіль склав*  
*студент 1 курсу*  
 -----факультет у  
 -----група  
 Ковальчук В.А.

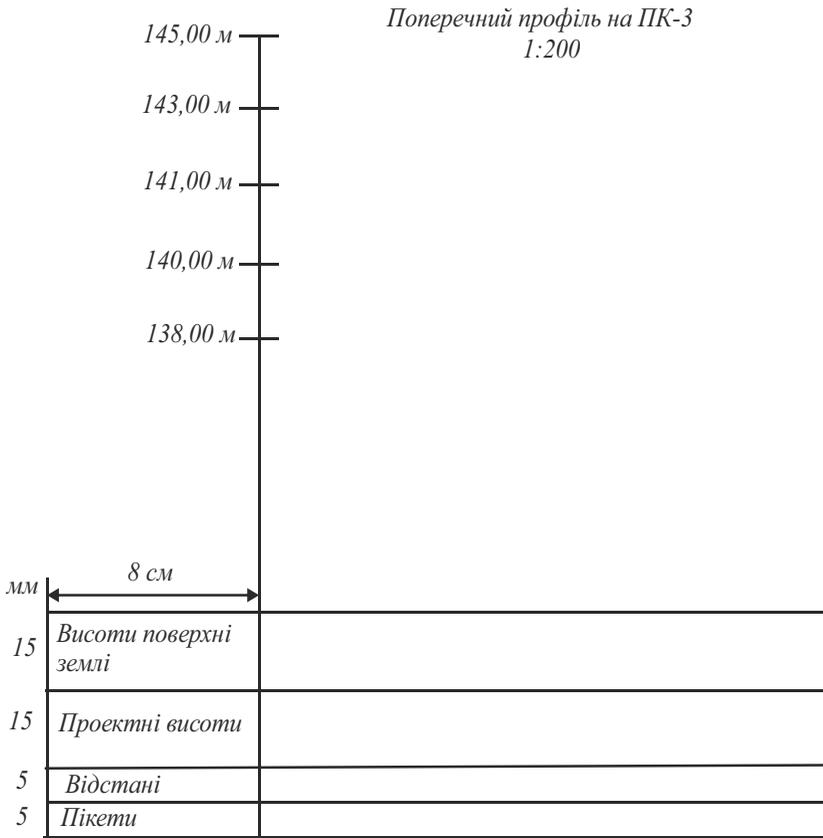


Рис.145. Поперечний профіль

*Профіль склав  
студент 1 курсу  
-----факультету  
-----група  
Ковальчук В.А.*

## 19.16. Проектування за профілем

Лінія, яка визначає положення осі проектної споруди в просторі називається проектною. Основною особливістю проектної лінії є дотримання граничних ухилів і балансів земляних мас. При цьому необхідно дотримуватись умови, при якій об'єми земляних мас у виїмках і насипах були б приблизно рівновеликими і чергувались.

Проектна лінія є чергування або комбінація нахилених і горизонтальних відрізків, які утворюють на своїх кінцях точки перегину профілю проектної лінії. Викреслюється проектна лінія на профілі тушшю червоного кольору (рис.144).

Відношення перевищення  $h$  між двома сусідніми точками перегину профілю проектної лінії до горизонтального прокладення  $d$  між ними називається ухилом і позначається через  $i$ , тобто

$$i = h/d. \quad (189)$$

В графі “Ухили і відстані” в чисельнику записують ухили з точністю  $0.0001$ , а в знаменнику відстані з точністю до  $0,01$  м.

За допомогою лінійки і олівця проводять проектну лінію, на свій розсуд, дотримуючись на око приблизного балансу насипу і виїмки. Висоти точок перегину профілю проектної лінії визначають графічно. Ці висоти вважають проектними. Горизонтальне прокладення беруть з профілю.

Проектні висоти всіх інших точок які розташовані на проектній лінії визначеного ухилу обчислюють за формулою

$$H_{np} = H_n + id_j \quad (190)$$

де  $H_n$  – відома початкова проектна висота;

$d_j$  – горизонтальна віддаль від початкової точки до даної;

$i$  – ухил проектної лінії між цими точками.

Проектна лінія може проходити як над поверхнею, землі зображеної на профілі, так і в тілі самої землі. Різниця проектної висоти і висоти поверхні землі відповідної точки називається робочою висотою, тобто

$$h = H_{np} - H_i \quad (191)$$

де  $H_{np}$  – проектна висота точки;

$H_i$  – висота поверхні землі цієї ж точки.

Робоча висота має знак, як додатній так і від’ємний. Саме значення робочої висоти записують на профілі відносно проектної лінії споруди. Робочі висоти які мають знак (-) записують під проектною лінією, а висоти які мають знак (+) над проектною лінією.

На профілі бувають місця, де проектна лінія перетинається з лінією поверхні землі. Ці точки перетину називають точками нульових робіт (рис.146). Кожна точка нульових робіт визначається віддалюю від ближньої пікетної або плюсової точки, яку визначають за формулою

$$x = a \frac{h_1}{|h_1| + |h_2|} \quad (192)$$

де  $a$  – відстань між сусідніми точками, на якій знаходиться точка нульових робіт;  $h_1, h_2$  – робочі висоти точок, між якими знаходиться точка нульових робіт.

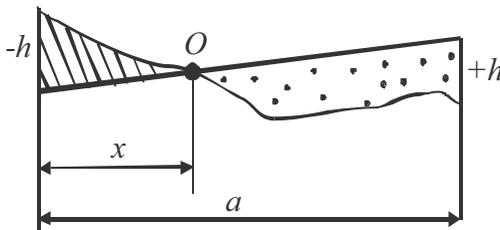


Рис.146. Схема для визначення віддалі від вершини квадрату до точки нульових робіт

Розраховану віддаль за формулою (192) слід відкласти на профілі від точки, робоча висота якої стоїть в чисельнику.

У графі “Прямі і криві” (рис. 144) наносять прямі і заокруглені частини лінійної споруди. Заокруглення умовно показують дугами. Дугу показують своєю випуклістю вниз, якщо лінійна споруда

повертає вліво і випуклістю вверх-при повороті вправо. З кінцевих точок дуг опускають перпендикуляри в сторону випуклості. Основи перпендикулярів повинні відповідати розрахованим пікетажним значенням початку і кінця кривої. На перпендикулярах підписують віддаль до ближчих пікетних точок. В середині кожної кривої вписують її елементи. На прямих ділянках лінійної споруди підписують їх довжини з точністю до  $0,01$  м і румби з точністю до  $0,1'$ .

### **19.17. Безпікетний спосіб трасування по осі лінійних споруд**

Трасування за віссю лінійних споруд є самим поширеним видом геодезичних робіт, які виконуються проектно-вишукувальними організаціями різноманітних відомств. Накопичений досвід організаціями минулих часів на сьогодні є застарілим і дорогим.

У зв'язку з впровадженням у виробництво нових і високоточних геодезичних приладів виникло підгрунття для розробки і впровадження у виробництво нового способу трасування за віссю лінійних споруд. Пропонується безпікетний спосіб, який полягає в наступному (рис.147).

Виносять в натуру і закріплюють на місцевості основні точки осі лінійної споруди, відповідно точки  $1, 2, 3, 4, 5$  і т. д. Встановлюють світловіддалемір або електротaxeометр  $A$  у точці  $3$ , вимірюють його висоту  $i$  та висоту відбивача  $B$  у кожній точці, після чого визначають перевищення між точкою  $3$  і кожною точкою місцевості. У результаті отримують перевищення  $h_{3-Rp3}, h_{3-1}, h_{3-2}, h_{3-4}, h_{3-5}$ . Такі вимірювання виконують до кожної характерної точки рельєфу і ситуації.

Висоту точки  $3$  обчислюють за формулою



За результатами вимірювань будують профіль за відомим правилом.

До переваг беспікетного способу можна віднести:

1. Не розмічають пікетаж на місцевості осі лінійної споруди.
2. Не використовують методику геометричного нівелювання за розміченим пікетажем на осі лінійної споруди.
3. Відпадає необхідність виготовлення дерев'яних кілочків для розмічування пікетажу.
4. Не використовуються традиційні і дорогі способи вимірювання віддалей (стальною стрічкою).
5. Значно підвищується точність визначення висот і координат точок.
6. Вартість робіт зменшується на 40% у порівнянні з використанням традиційних способів.

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З САДОВО-ПАРКОВОГО ГОСПОДАРСТВА

### 20.1. Основні задачі садово-паркового господарства

Садово-паркове мистецтво виникло ще при зародженні цивілізації. Це саме складне мистецтво. Дослідники стверджують, що паркові картини створюються за законами живопису і через чергової зміни рельєфу зоровий ефект сприймається у русі. Не дарма у мешканців будь-якого населеного пункту пробуджується великий потяг до відпочинку на території парку або саду. Відвідування парків людьми, які відпочивають, надихає їх на розвиток у них таких здібностей, як музика, поезія та інші види мистецтва. Все це говорить про те, що парки та сади відносяться до жанру мистецтва.

Парки і сади втілюють різноманітні релігійні і етичні концепції відношення до природи. В глибокій давнині на Близькому і Далекому Сході парки і сади вважались місцем райської насолоди, місцем проживання духів, язичницьких богів, символічне зображення природи, місце глибокого внутрішнього споглядання світу.

На розвиток садово-паркового господарства в Україні великий вплив мали Польща і Росія, завдяки чому на першій план випливає краса рослинних груп з ув'язкою рельєфу та іншими місцевими умовами. В цей період виникають такі прекрасні парки і дендропарки, як Олександрія, Качанова, Тростянець і ін. Пізніше створенні державні парки і ботанічні сади при навчальних закладах Харкова, Києва, Одеси і інших міст. При цьому посилюється великий інтерес до екзотичних рослин.

Система садів і парків в центрі м. Києва, розташованих на гірській частині рельєфу є однією із самих складних за своєю функціональною і архітектурно-планувальною організацією. Кожен із багатьох елементів, які входять в цю систему, має своє призначення і художній смак, кожен несе в собі особливості того чи

іншого історичного періоду, володіє індивідуальним поєднанням ландшафтних характеристик.

Розвиток гірських парків Києва відбувається в двох напрямках. З одної сторони, це постійні якісні зміни їх окремих елементів з появою громадських центрів, природнім процесом старіння зелених насаджень і іншими факторами. З іншої сторони, це територіальний ріст з появою таких елементів, які виносять нові фактори в паркову систему.

Садово-паркове господарство вимагає від фахового спеціаліста вміння будувати топографічні плани в крупному масштабі, виконувати проектування пішохідних доріжок, алей, майданчиків, атракціонів, водоспадів, водоймищ, та інших об'єктів відпочинку і розваг. Для втілення проекту у життя необхідно вміти винести його в натуру, виконати його будівництво і планувальні роботи. Все це направлено на зосередження уваги тих хто відпочиває до природної краси існуючої навколо нас.

Не існує постійного типу діючого парку або саду. Їх зовнішній вид і зміст, структура і матеріал завжди конкретні, своєрідні і змінюються не тільки різні історичні періоди, а також і в залежності від самих місцевих властивостей всієї території. Основними властивостями таких змін можна вважати: від народних традицій, які склалися в тій чи іншій області, від смаку і пристрастей господаря садиби, досвіду садоводів і архітекторів, таланту майстра.

Вивчення садово-паркового мистецтва сьогодні має особливе значення. Як ніколи стали актуальними задачі збереження нашої культурної спадщини. Необхідний пошук найбільш ефективних форм реставрації або реконструкції. Драматичність в тому, що ми не достатньо знаємо, що потрібно зберегти, науково не обґрунтовані переліки, зводи пам'ятників, не розроблені необхідні пріоритети, не виявлені абсолютні і відносні критерії цінності парків.

## **20.2. Розвиток садово-паркового господарства**

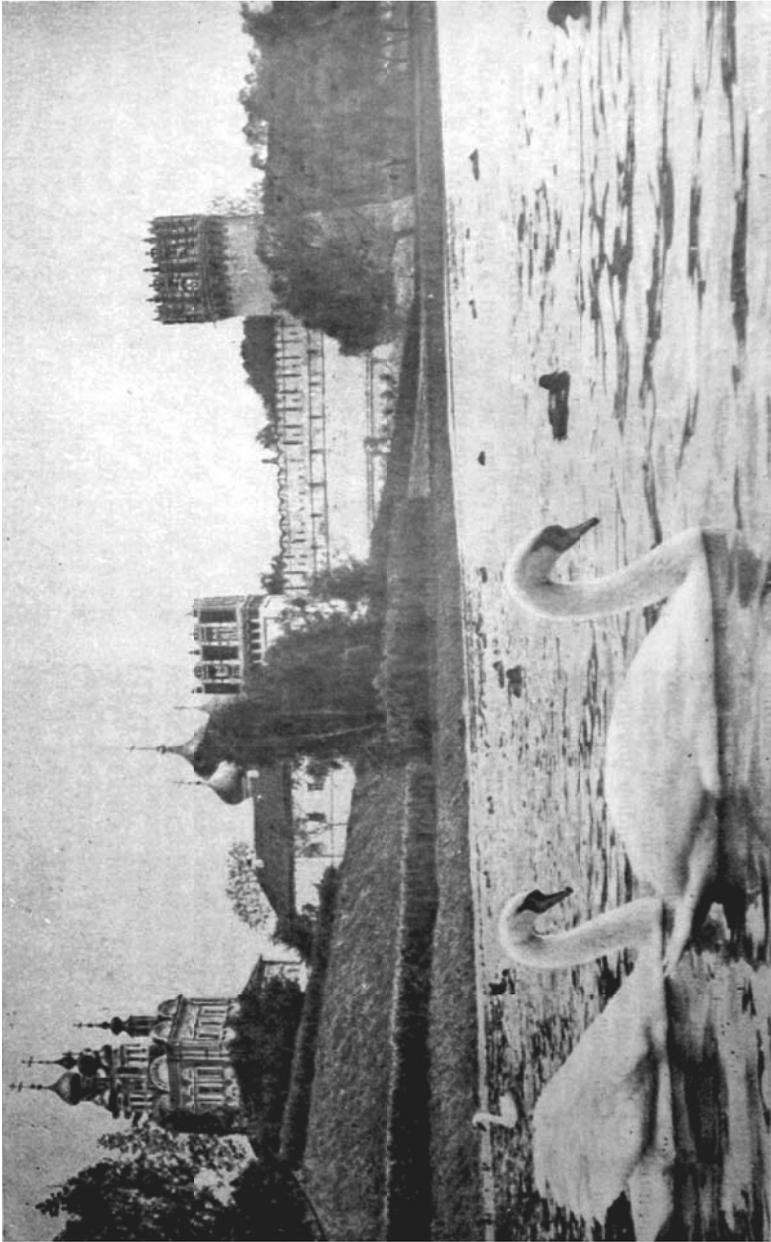
Процес розвитку садово-паркового мистецтва нерозривний і взаємопов'язаний через свої багаточисельні регіональні і національні

елементи краси. У цьому він схожий з іншими великими складовими мистецтва – архітектурою, живописом, скульптурою, музикою. Специфічною його особливістю є те, що тут неможливий прямий перенос минулого досвіду із однієї країни в іншу, механічний повтор тих або інших прийомів створення одних і тих же принципів у різних географічних умовах. Навіть у країнах з близькими ландшафтними і кліматичними умовами, країнах, тісно пов'язаних між собою історично, парки і сади створювалися, не дивлячись наявною культурною приємністю по різному.

Спадковість культури античної Греції і Стародавнього Риму створила нові типи садово-паркового устрою, нові композиційні принципи. Це розкішні терасові парки при замських віллах, геометрично розплановані партери-кісти, широкі прямі алеї для їзди кінного транспорту, стрижені топіарні композиції, величезні парки, які включають терми і купальні, бібліотеки і іподроми. Всі ці здобутки античного світу в подальшому, з наступом середніх віків, були надовго забуті. Парки і сади поступово розрушились або повністю зникли.

Однак в пізніші часи епохи європейського мистецтва такий багатий досвід стародавності був використаний. Якщо взяти за основу ту методику, що сади і парки України формувалися на рівнинних територіях, то зразу стає зрозумілим їх радикальні особливості від французьких, англійських і тим більше італійських аналогів. Різкі переходи температур від літа до зими звужували вибір порід дерева при закладенні саду, або надавали йому більш строгий вигляд.

Нижче наводяться ілюстрації, які допоможуть фахівцю розширити своє уявлення про запровадження штучних елементів у проектах для підсилення природної краси.



1. Вид Новодівого монастиря в м. Москві



2. Вид на павільйон Флори.  
Парк Софіївка



3. Заміська садиба.  
Зв'язок людини з природою.  
Павловський парк



4. Грот Венери. Парк Софіївка



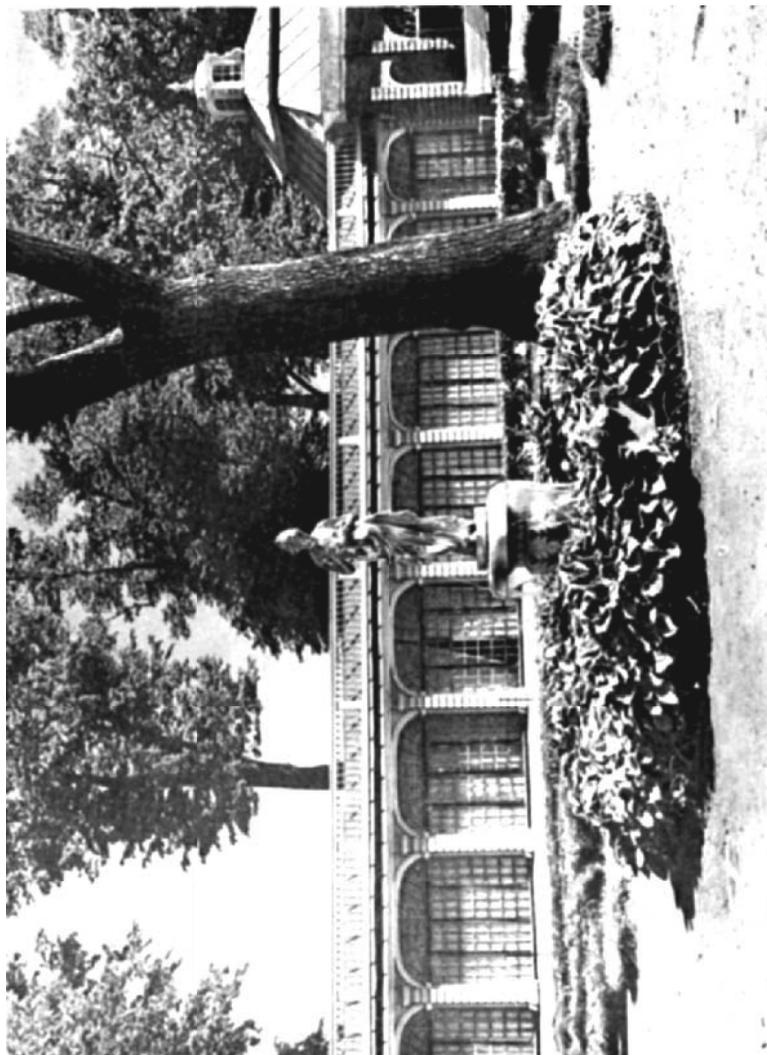
5. Верхняя ванна. Катеринівський парк. м. Пушкіно



6. Ставок у Гатчині



7. Верхний сад. Петергоф



8. Палац і сад Монплезір, Петергоф



9. Місток парковий. Софіївка



10. Фонтан в осінній час. Нікополь



11. Біля водоспаду. Софіївка

## Література

1. Большаков В.Д., Ключин Е.Б., Васютинский И.Ю. Геодезия. – М.: Недра, 1991. – 238 с.
2. Булгаков Н.П., Рывина Е.М., Федотов Г.А. Прикладная геодезия. – М. Недра 1990. – 416 с.
3. Вергунов А.П., Горохов В.А. Русские сады и парки. – М.: Наука, 1988. – 414 с.
4. Видуев Н.Г., Ракитов Д.И., Гржибовский В.П. Геодезические измерения при установке машин и оборудования. – М. : Недра, 1967. – 168 с.
5. Видуєв М.Г., Грановська Н.Т., Григоренко А.Г. і інші. Інженерна геодезія. – К. : Вища школа, 1971. – 202 с.
6. Виноградский И.И., Порцанко И.Ф. Памятка речника на топографической съемке. – М. Геодезиздат, 1953. – 76 с.
7. Гиршберг М.А. Геодезия. Часть 1. – М. :Недра,1967. – 384с.
8. Господинов Г.В., Сорокин В.Н. Топография. – М. : Издательство Московского университета, 1974. – 360 с.
9. Гусев Н.А. Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы. – М. : Недра, 1968. – 318 с.
- 10.Евтушенко М.Г., Гуревич Л.В., Шафран В.Л. Инженерная подготовка территорий населенных мест. – М.: Стройиздат, 1982. – 206 с.
11. Захаров А.И. Геодезические приборы. – М. : Недра, 1989. – 314 с.
- 12.Инженерная геодезия. Издание третье, переработанное и дополненное. – М. :Недра,1984. – 344 с.
- 13.Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений. – М. : Транспорт, 1983. – 104 с.
- 14.Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства СН 212-73. – М. : Стройиздат, 1974. – 152 с.
- 15.Лебедев Н.Н. Курс инженерной геодезии. – М.: Недра, 1974. – 360 с.

16. Левчук Г.П. Курс инженерной геодезии. – М.: Недра, 1970. – 412 с.
17. Лобанов А.Н. Фототопография. Воздушная стереофотограмметрическая съемка. – М.: Издание ВИА, 1957. – 488 с.
18. Лукерьян А.А., Гощицкий В.Н. Уравнивание геодезических величин. – К.: Будівельник, 1968. – 212 с.
19. Мазин И.Д. Инженерно-геодезические работы при реконструкции промышленных объектов. – М.: Недра, 1991. – 116 с.
20. Маслов А.В., Гордеев А.В., Александров Н.Н., Соберайский К.С., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1972. – 394 с.
21. Михайлишин О. Палацаво-паркові ансамблі Волині 2-ї половини XVIII-XIX століть. – К., 2000. – 234 с.
22. Модринский Н.И. Геодезия. – М.: Недра, 1970. – 460 с.
23. Остапчук С.М., Романчук С.В. Камеральні геодезичні роботи. – Рівне, 1994. – 126 с.
24. Островский А.Л., Маслич Д.И., Гребенюк В.Г. Геодезическое прибороведение. – Львов. : Издательство при Львовском государственном университете издательского объединения “Вища школа”, 1983. – 206 с.
25. Парамонова Е.Г., Юнусов А.Г. Геодезические работы в мелиоративном строительстве. – М.: Недра, 1981. – 142 с.
26. Ратушняк Г.С. Инженерна геодезія. – К.: Вища школа, 1992. – 262 с.
27. Романчук С.В. Практикум з інженерної геодезії. – Рівне, 2005. – 142 с.
28. Сироткин М.П., Сытник В.С. Справочник по геодезии для строителей. – М.: Недра, 1987. – 334 с.
29. Сироткин М.П. Справочник по геодезии для строителей. – М.: Издательство геодезической литературы, 1962. – 280 с.
30. Справочник геодезиста. – М.: Недра, 1966. – 984 с.
31. Справочник по общестроительным работам./ Под редакцией проф. Ганьшина В.Н. – М.: Стройиздат, 1975. – 400 с.
32. Субботин И.Е. Инженерно-геодезические работы при

- проектировании, строительстве и эксплуатации магистральных нефтегазопроводов. – М.: Недра, 1987. – 140 с.
33. Субботин И.Е., Мазницкий А.С. Справочник строителя по инженерной геодезии. – К.: Будівельник, 1972. – 312 с.
34. Судаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. – М.: Недра, 1980. – 344 с.
35. Федоров Б.Д. Маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты. – М.: Недра, 1971. – 288 с.
36. Федоров В.И., Шилов П.И. Инженерная геодезия. – М.: Недра, 1982. – 358 с.
37. Хейфец Б.С., Данилевич Б.Б. Практикум по инженерной геодезии. – М.: Недра, 1973. – 320 с.
38. Хренов Л.С., Недешева Л.П., Виноградова В.А., Голубкин В.М. Руководство по вычислениям аналитических сетей. – М.: Издательство геодезической литературы, 1962. – 248 с.
38. Черняга П., Лебідь Г., Мальчук М., Мануйлик А., Романчук С., Тадеєв О. Інженерна геодезія. – Рівне.: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 1999. – 138 с.
39. Krystyna Zelechowska i Gerard Ciolek. ZE STUDIÓW NAD ZALOŻENIAMI OGRODOWYMI WOLYNIA. – Warszawa, 1939. – 46 s.

## ДОДАТКИ

## Технічні характеристики геодезичних приладів

Додаток 1

Таблиця 1

### Нівеліри

Марка нівеліра	Збільшення зорової труби	Найменша віддаль візування, м	Ціна ділення рівня (сек. на 2мм)		Ціна ділення барабана, мм	Сер.кв. похибка на 1км ходу,мм.
			При трубі	круглого		
Н-2	40	2,0	10	5	0,05	1
НС-2	40	2,0	-	5	-	1
Н-3	30	2,0	15	5	-	4
НС-3	30	2,0	-	5	-	4
НС-4	30	2,0	-	10	-	8
НТ	20	1,5	45	10	-	15
НТС	20	1,5	-	10	-	15
НЛС	20	2,0	-	10	-	30
Koni-007	31,5	2,2	-	8	0,05	2
Koni-025	20	1,5	-	8	-	2-3
Koni-050	16,18	0,8	-	20	-	5-10
Ni-B3	28,32	5,0	-	8	-	2

## Теодоліти

Марка теодоліта	Збільшення зорової труби	Сер. кв. похибка кута, одного прийому, “		Ціна ділення рівня (сек. на 2 мм дуги)		
		ГК	ВК	на алідаді ГК	на алідаді ВК	накладного рівня
T05	62,5;50,37	0,5	-	6-7	10	4
T1	30;40	1	2	7	12	5
OT-02	40;30;24	1	2	6-7	10-12	-
OT-02М	40;30	1	2	6-7	10-12	-
T2	25	2	3	15	15	10
T5	27	5	10	30	-	-
T30	20	30	40	45	-	-
Theo-010	31	2	3-2	20	20	10
Theo-020	25	4	5	30	-	-

## Формули Юнга

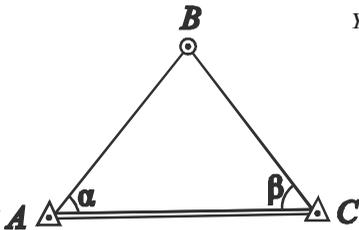
$$X_B = X_A + \frac{(X_C - X_A) \operatorname{ctg} \alpha + (Y_C - Y_A)}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$

$$Y_B = Y_A + \frac{(Y_C - Y_A) \operatorname{ctg} \alpha - (X_C - X_A)}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$

Контроль

$$X_B = X_C - \frac{(X_C - X_A) \operatorname{ctg} \beta - (Y_C - Y_A)}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$

$$Y_B = Y_C - \frac{(Y_C - Y_A) \operatorname{ctg} \beta + (X_C - X_A)}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$



**Сталі величини**

1. Відношення довжини кола до діаметру..... $\pi=3,1415926536$   
 $\pi^2=9,8696044011$
2. Число градусів в радіані..... $\rho^0=57,2957795131$
3. Число мінут в радіані..... $\rho'=3437,74677078$
4. Число секунд в радіані..... $\rho''=206264,806247$
5. Радіус земної кулі, поверхня якої дорівнює поверхні еліпса, км..... $R=6371,116$   
 $\rho^{\circ}=360/2\pi$ ;  $\rho^1=60\cdot 360/2\pi$ ;  $\rho''=60\cdot 360\cdot 60/2\pi$ ;  $\sin 1'=1/\rho'$ .

**Температурні коефіцієнти**

- Сталь загартована .....  $\alpha=0,0000125$ ;  
 Сталь .....  $\alpha=0,0000111$ ;  
 Інвар .....  $\alpha=0,000004$ .

**Алгебраїчні тотожності**

$$a^2 - b^2 = (a-b)(a+b);$$

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2;$$

$$(a+b)^2 = (a+b)(a+b);$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2.$$

$$ax^2 + bx + c = 0;$$

$$x = (b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a;$$

$$x^2 + px + q = 0;$$

$$x = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q};$$

$$\lg(a+b) = \lg a + \lg b; \quad \lg\left(\frac{a}{b}\right) = \lg a - \lg b; \quad \lg a^n = n \lg a;$$

**Геометрія****1. Площа трикутника**

$$F = \frac{a \times h}{2}; \quad F = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}; \quad F = \frac{1}{2} \times \frac{a^2 \sin B \sin C}{p \sin(B+C)};$$

$$F = \sqrt{\frac{1}{2}ab\sin C}; \quad F = \frac{a^2}{2(\operatorname{ctg}B + \operatorname{ctg}C)},$$

де  $a, b, c$  – сторони трикутника;  $A, B, C$  – кути, які лежать проти відповідних сторін,  $h$  – висота трикутника.

## 2. Площа рівнобедреного трикутника

$$F = \frac{1}{2}a\sqrt{b^2 - \frac{a^2}{4}},$$

де  $a$  – основа,  $b$  – бокова сторона.

## 3. Площа прямокутників

$$F = a \times b$$

## 4. Площа паралелограма

$$F = ah; \quad F = ab\sin C$$

де  $h$  – висота,  $a$  і  $b$  – сторони,  $C$  – один із кутів.

## 5. Площа ромба

$$F = \frac{d_1 d_2}{2}; \quad F = a^2 \sin A,$$

## 6. Площа трапеції

$$F = \frac{1}{2}(a+b); \quad F = \frac{a^2 + b^2}{2(\operatorname{ctg}A + \operatorname{ctg}B)}; \quad F = ah - \frac{h^2(\operatorname{ctg}A + \operatorname{ctg}B)}{2},$$

де  $a$  і  $b$  – основа,  $h$  – висота трапеції

### 7. Площа круга

$$F = \pi R^2 = \pi \frac{D^2}{4},$$

де  $R$  – радіус;  $D$  – діаметр;  $l$  – довжина дуги сектора;  $\alpha$  – центральний кут, який опирається на довжину дуги.

### 8. Площа сектора

$$F = \frac{1}{2} R \times l = \frac{\pi R^2 \alpha}{360^\circ};$$

### 9. Об'єм піраміди (правильної і неправильної)

$$V = \frac{1}{3} F \times h$$

де  $F$  – площа основи,  $h$  – висота.

### 10. Об'єм зрізаної піраміди

$$V = \frac{1}{3} (F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2}) \times h,$$

### 11. Об'єм циліндра кругового (прямого і похилого)

$$V = F \times h + \pi R^2 \times h = \frac{1}{4} \pi D^2 \times h$$

### 12. Об'єм конуса кругового (прямого і похилого)

$$V = \frac{1}{3} F \times h = \frac{1}{3} \pi R^2 \times h = \frac{1}{12} \pi D^2 \times h$$

### 13. Об'єм зрізаного конуса

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2),$$

де  $R$  – радіус основ.

### 14. Об'єм кулі

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

## Тригонометричні функції

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \sin \alpha / \cos \alpha; \operatorname{ctg} \alpha = \cos \alpha / \sin \alpha; \operatorname{sec} \alpha = 1 / \cos \alpha \\ \operatorname{cosec} \alpha &= 1 / \sin \alpha; \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1. \end{aligned}$$

### Функції суми і різниці кутів

$$\begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta; \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta; \end{aligned}$$

$A$	$\sin A$	$\cos A$	$\operatorname{tg} A$	$\operatorname{ctg} A$	$\operatorname{sec} A$	$\operatorname{cosec} A$
$0^\circ$	0	1	0	$\infty$	1	$\infty$
$30^\circ$	1/2	$\sqrt{3}/2$	$1/\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	$2/\sqrt{3}$	2
$45^\circ$	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$
$60^\circ$	$\sqrt{3}/2$	1/2	$\sqrt{3}$	$1/\sqrt{3}$	2	$2/\sqrt{3}$
$90^\circ$	1	0	$\infty$	0	$\infty$	1

### Формули приведення

Функції	$-\alpha$	$90^\circ - \alpha$	$90^\circ + \alpha$	$180^\circ - \alpha$
$\sin$	$-\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\sin \alpha$
$\cos$	$+\cos \alpha$	$+\sin \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$
$\operatorname{tg}$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{ctg}$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$

Функції	$180^\circ + \alpha$	$270^\circ - \alpha$	$270^\circ + \alpha$	$360^\circ - \alpha$	$360^\circ + \alpha$
$\sin$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$+\sin \alpha$
$\cos$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$+\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\cos \alpha$
$\operatorname{tg}$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{ctg}$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$

## Міри ліній

1. Міліметр (мм) = 1000 мікронів = 0,001 метра
2. Сантиметр (см) = 10 міліметрів = 0,01 метра
3. Дециметр (дм) = 10 сантиметрів = 0,1 метра
4. Метр (м) = 100 сантиметрів = 10 дециметрів
5. Кілометр (км) = 10 гектометрів = 1000 метрів

## Міри площ

1. Квадратний міліметр (кв. мм або мм<sup>2</sup>) = 0,000001 м<sup>2</sup>
2. Квадратний сантиметр (кв. см або см<sup>2</sup>) = 0,0001 м<sup>2</sup>
3. Квадратний дециметр (кв. дм або дм<sup>2</sup>) = 0,01 м<sup>2</sup>
4. Квадратний метр (кв. м або м<sup>2</sup>) = 100 дм<sup>2</sup>
5. Ар (а) = 100 м<sup>2</sup>
6. Гектар (га) = 100 ар = 10000 м<sup>2</sup>
7. Квадратний кілометр (кв. км або км<sup>2</sup>) = 100 га

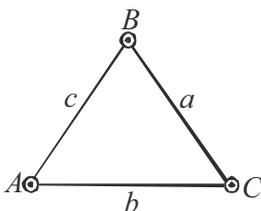
## Рішення довільного трикутника

$$a/\sin A = b/\sin B = c/\sin C = 2R$$

(теорема синусів)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \times \cos A$$

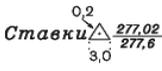
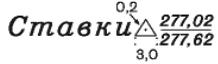
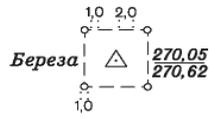
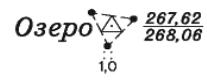
(теорема косінусів)



**Площа круга**  $P = \pi R^2 = \pi D^2/4$ ,  
де -  $R$  – радіус;  $D$  – діаметр.

**Довжина кола**  $L = 2 \pi R$ .

## ГЕОДЕЗИЧНІ ПУНКТИ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
1	<p>Пункти державної геодезичної мережі (в <i>чисельнику</i> дробу - позначка центру, в <i>знаменнику</i> - позначка землі; <i>ліворуч</i> від знака - назва пункту) (* [21-24])</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Ставки</i> <math>\frac{0,2}{3,0} \frac{277,02}{277,6}</math></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Ставки</i> <math>\frac{0,2}{3,0} \frac{277,02}{277,62}</math></p>  <p style="text-align: center;"><i>Берега</i> <math>\frac{1,0}{2,0} \frac{270,05}{270,62}</math></p>  <p style="text-align: center;"><i>Озеро</i> <math>\frac{1,0}{1,0} \frac{267,62}{268,06}</math></p>
2	<p>Пункти державної геодезичної мережі [21-25]:</p> <p>1) на курганах (<i>цифри</i> ліворуч - висоти курганів в метрах)</p> <p>2) на скелях останцях (<i>цифри</i> ліворуч - висоти останців у метрах)</p> <p>3) на будівлях (<i>цифри</i> та <i>букви</i> - характеристики будівель)</p>	<p>1) <i>Ватра</i> <math>\frac{0,8}{0,8} \frac{173,61}{173,9}</math></p> <p><i>Берег</i> <math>\frac{2,1}{2,1} \frac{277,58}{277,9}</math></p> <p>2) <i>Скеля</i> <math>\frac{2,9}{2,9} \frac{650,60}{650,60}</math></p> <p><i>Дійсний</i> <math>\frac{8,8}{8,8} \frac{1202,91}{1202,62}</math></p> <p>3)  <i>Мис</i></p>	<p>1) <i>Берег</i> <math>\frac{2,1}{2,1} \frac{277,58}{277,92}</math></p> <p>2) <i>Дійсний</i> <math>\frac{8,8}{8,8} \frac{1202,91}{1202,62}</math></p> <p>3)  <i>Мис</i></p>

(\* При розміщенні характеристик цього та інших об'єктів необхідно керуватись п.17 пояснень до умовних знаків.

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
3	Пункти геодезичних мереж згущення та їх номери [21,26-30]		
4	Пункти геодезичних мереж згущення [21,26-30]: 1) на курганах (цифри знизу - висоти курганів у метрах) 2) на скелях-останцях (варіанти підписів: біля лівого верхнього знака в чисельнику дробу - номер пункту, в знаменнику - позначка центру; біля рештки в чисельнику дробу - позначка центру, в знаменнику - позначка землі, внизу - висота останця в метрах, ліворуч - номер пункту)	1)	1)
		2)	2)
*	3) у стінах будівель	3)	3)
5	Точки планових зйомочних мереж [21,31-33]: 1) тривалого закріплення на місцевості	1)	1)
*	2) тимчасового закріплення на місцевості	2)	2)
*	3) у стінах будівель	3)	3)
*	4) на кутах капітальних будівель (координовані кути)	4)	4)

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
	5) репери та марки скельні (в чисельнику дробу - номер знака, в знаменнику - позначка головки репера або центру марки)		
*	6) репери та марки стінні		
*	7) репери тимчасові		
11	Перетин ліній координатної сітки [44]		

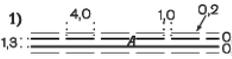
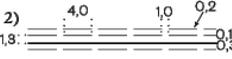
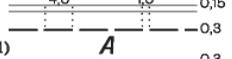
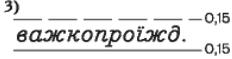
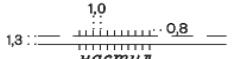
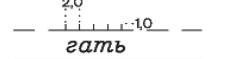
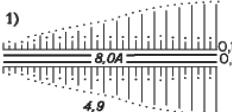
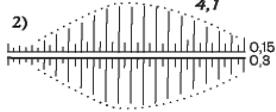
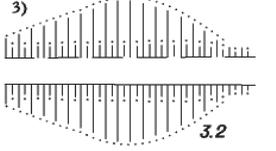
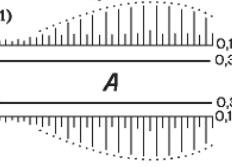
## БУДІВЛІ, БУДИНКИ ТА ЇХ ЧАСТИНИ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000	1:2 000, 1:1 000, 1:500
12	<p>Будівлі житлові вогнестійкі (цегляні, кам'яні, бетонні, шлакоблочні тощо) [45-54]:</p> <p>1) одноповерхові</p> <p>2) багатоповерхові (цифри - кількість поверхів, букви - матеріал спорудження та призначення будівлі)</p>	<p>1) <math>\frac{15}{1,0::\blacksquare::1,0}</math> ■::1,0</p> <p>2) ■ 2 ■ 2</p> <p>■ 3</p>	<p>1) </p> <p>2) </p>
13	<p>Будівлі житлові невогнестійкі (дерев'яні, саманні, глинобитні) [45-54]:</p> <p>1) одноповерхові</p> <p>2) багатоповерхові</p>	<p>1) <math>\frac{15}{1,0::\text{diagonal lines}::1,0}</math> 0,12-0,15</p> <p>2) <math>\text{diagonal lines} 2 \text{ diagonal lines}</math></p> <p><math>\text{diagonal lines} 3 \text{ diagonal lines}</math></p>	<p>1) </p> <p>2) </p>
14	<p>Будівлі нежитлові вогнестійкі [45-54]:</p> <p>1) одноповерхові</p> <p>2) багатоповерхові</p>	<p>1) <math>\frac{15}{1,0::\text{cross-hatch}::1,0}</math> 0,12-0,15</p> <p>2) <math>\text{cross-hatch} 2 \text{ cross-hatch}</math></p> <p><math>\text{cross-hatch} 3 \text{ cross-hatch}</math></p>	<p>1) </p> <p>2) </p>
15	<p>Будівлі нежитлові невогнестійкі [45-54]:</p> <p>1) одноповерхові</p> <p>2) багатоповерхові</p>	<p>1) <math>\frac{15}{1,0::\square::1,0}</math> □::1,0</p> <p>2) □ 2 □ 2</p> <p>□ 3</p>	<p>1) </p> <p>2) </p>
16	Будівлі з різноповерховими частинами [52-54]	■ 3	
17	Будинки з колонами замість частини або всього першого поверху [55]	—	<p style="text-align: center;">2,0 1,0</p>

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
72 *	<p>Лінійні об'єкти геологорозвідувального призначення [120,121]:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>лінії розвідувальних геологічних шурфів</li> <li>лінії розвідувальних геологічних свердловин</li> <li>канави геологічні</li> <li>валики уздовж геологічних канав</li> </ol>		
73 *	<p>Свердловини розвідувальні експлуатаційні і допоміжні (нафтові, газові та ін.), їх призначення та номери - в чисельнику дробу, позначка висот - у знаменнику [120-123]:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>свердловини глибокого буріння</li> <li>свердловини глибиною менше 500м</li> <li>свердловини заглушені</li> </ol>		
74	Свердловини, розташовані кущем [120-122,124]		
75	Відвали породи - терикони тощо (цифри - позначки і відносні висоти в метрах) [125,126]		
76	Розробки відкриті твердих корисних копалин (кар'єри тощо), матеріал добування (цифри - глибини в метрах) [127-130]		

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
	3) низької напруги (закладені в траншеї)		
	4) позначки землі і залягання кабеля		
	5) катодного захисту та контури заземлення		
	6) високої та низької напруги в блоках (цифри - кількість прокладок у блоці)		
*	7) високої та низької напруги в каналах; матеріал каналу, колодязі оглядові, їх номери та позначки (цифри в розриві знака - кількість прокладок, індекси ww - висока напруга, w - низька)	<p>7) а) </p> <p>б) </p> <p>б) </p>	<p>7) а) </p> <p>б) </p> <p>б) </p>
98	Електрокабелі підводні [164,170]:		
*	1) високої напруги, на поверхні дна		
	2) низької напруги, на поверхні дна		
	3) високої та низької напруги, прокладені під дном або перекритті наносами (цифри біля стрілки - глибина від поверхні дна в метрах)		

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
170	Непроїжджі вулиці (круті, зі сходами, завалені каменем тощо) [251]		
171	Автомобільні дороги без покриття (покращені ґрунтові дороги) та їх характеристика: ширина проїжджої частини в метрах, матеріал домішок [239,240,243, 252,253]		
172	Автомобільні дороги з дерев'яним покриттям [243,254]		
173	Дороги ґрунтові [243,255-258]: 1) пугівці 2) польові та лісові		
174	Дороги, що споруджуються [259]: 1) автомагістралі  2) автомобільні дороги з удосконаленим покриттям  3) автомобільні дороги з покриттям  4) автомобільні дороги без покриття  5) автомобільні дороги з дерев'яним покриттям		

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
175	<p>Ділянки важкопроїжджі [260]:</p> <p>1) автомобільних доріг з покриттям</p> <p>2) автомобільних доріг без покриття</p> <p>3) путівців</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p>
176	Ділянки доріг з фашинами, гатями, греблями [261]	<p></p> <p></p>	<p></p> <p></p>
177	<p>Дороги на насипах та дамбах (цифри - висота насипів у метрах) [262,263]:</p> <p>1) автомобільні дороги з покриттям; укоси від краю узбіччя</p> <p>2) автомобільні дороги без покриття; укоси від краю проїжджої частини;</p> <p>3) путівці; укоси від краю проїжджої частини</p>	<p>1) </p> <p>2) </p> <p>3) </p>	<p>1) </p>

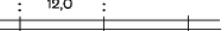
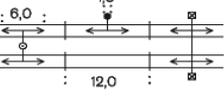
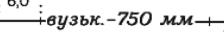
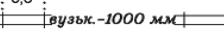
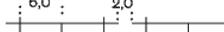
№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
	4) путівці; укоси від краю дамби	<p>2,4</p>	<p>3,1</p>
178	Дороги у виймках (цифри - глибина виймок у метрах) [262,263]	<p>1,3</p> <p>4,4</p>	<p>1,3</p> <p>3,1</p>
179	Номери автомобільних доріг [264]	<p>3,5</p> <p>M 17</p>	<p>3,5</p> <p>E 50</p>
180	Зупинки автобусів та тролейбусів поза населеними пунктами та стоянки автотранспорту [265]: 1) необладнані 2) з павільйоном і розширенням шляху 3) стоянки автотранспорту на дорогах (Р - позначка стоянки)	<p>1)</p> <p>2,5</p> <p>3,5</p> <p>1,0</p>	<p>1)</p> <p>2,5</p> <p>3,5</p> <p>1,0</p>
		<p>2)</p> <p>1,6</p>	<p>2)</p>
		<p>3)</p>	<p>3)</p>
181	Пости і будки регулювальників руху [266]	<p>п.ДАІ</p> <p>ПН 2,5</p> <p>п.ДАІ 1,0</p>	<p>ПН 2,5</p> <p>п.ДАІ</p>

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ		
		1:5000	1:2000	1:1 000, 1:500
41	Колони [80]			
42	Драбини пожежні, які спираються на землю [81]			
43	Гаражі індивідуальні, туалети та інші малі споруди [82-84]			
44	Погреби (льохи) та овочесховища [85]			
45	Оранжереї, теплиці [86]			
46	Парники [87]			
47	1) Інформаційні та рекламні стенди [88] 2) Тумби афішні постійні			

## ОБ'ЄКТИ ПРОМИСЛОВІ, КОМУНАЛЬНІ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
60	<p>Будівлі виробничого призначення (заводів, фабрик, електростанцій, млинів, котельні тощо) з трубами (цифри - висоти труб у метрах) [104-105]:</p> <p>1) з трубами, що є орієнтирами</p> <p>2) з трубами, що не є орієнтирами (другорядні)</p>		
61	<p>Споруди баштового типу капітальні (водонапірні та силосні башти, градирні, пожежні башти тощо) [106-108]</p>		
62	<p>Вишки легкого типу (спостережні, прожекторні, спортивні тощо) [109]</p>		
63	<p>1) Вишки нафтові та газові, їх призначення і номери [110]</p> <p>2) Факели газові [111]</p>		
64	<p>Телевізійні та радіобашти, щогли, ретранслятори тощо [112]</p>		

## ЗАЛІЗНИЦІ ТА ЗАЛІЗНИЧНІ СПОРУДИ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
135	Залізниця [211-213]	 0,7	 12,0
136	Залізниця електрофікована, опори контактної мережі [213,214]	 0,7	 12,0
137	Залізниця монорейкової [213, 215]	 0,5	 0,5
138	1) Залізниця вузькоколійні [213, 216] * 2) Колії трамвайні [217] 3) Опори контактної мережі [217] 4) Призначення колії та її ширина	1)  0,3 вузьк. - 750 мм	1)  6,0 вузьк. - 1000 мм
139	Залізниця нормальної колії, що споруджуються [218]	 0,7	 16,0
140	Залізниця вузькоколійні та трамвайні колії, що споруджуються [218]	 0,3	 12,0
141	Полотно розібраних залізниць [219]	 0,7	 5,0
142	Ділянки залізниць зі значними ухілами (0,020 і більше) [219]	 0,7	
143	Фунікулери та бремсберги [220]	 0,6	 4,0
144	Фунікулери та бремсберги, що споруджуються [220]	 0,6	 4,0
145	Дороги підвісні, їх опорні стовпи та ферми [221]	 0,1	 0,1

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
158	Семафори [235]		
159	Семафори на двоопорному мостуку [235]		
160	Семафори на консольному мостуку [235]		
161	Світлофори на стовпах [236]		
162 *	Світлофори карликові [236]		
163	Світлофори підвісні (світлофорні арки) [236]		
164	Диски попереджувачі, показники уклонів, щити маневрові та інші знаки вздовж залізничних колій [237]		
165	Ворота габаритні над залізницею [238]		

## АВТОМОБІЛЬНІ ТА ГРУНТОВІ ДОРОГИ, СТЕЖКИ

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
166	<p>Автомагістралі (автостради) та їх характеристики: ширина проїжджої частини в метрах та кількість проїжджих смуг, загальна ширина дорожнього полотна в метрах, матеріал покриття [239-244]</p>		
167	<p>Автомобільні дороги з удосконаленим покриттям (удосконалені шосе) та їх характеристики: ширина проїжджої частини в метрах, загальна ширина дорожнього полотна, матеріал покриття. Обладнані з їзди з доріг. Межі зміни покриття [239-243,245]</p>		
168	<p>Автомобільні дороги з покриттям (шосе) та їх характеристики: ширина проїжджої частини в метрах, загальна ширина дорожнього полотна, матеріал покриття [239-243,246,247]</p> <p>Примикання доріг нижчих класів безобладнаних з їздів.</p>		
169	<p>Проїжджі частини вулиць та тротуари [248-250]:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) проїжджі частини вулиць з бортовим каменем</li> <li>2) проїжджі частини вулиць без бортового каменя</li> <li>3) тротуари на вулицях та пішохідні доріжки з твердим покриттям (в парках, на кладовищах тощо)</li> <li>4) тротуари на вулицях та пішохідні доріжки без покриття</li> </ol> <p><i>Буквені індекси - матеріал покриття, цифри - позначки висот: в чисельнику - на бортовому камені, в знаменнику - біля бортового каменя</i></p>		

№	НАЗВА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ	УМОВНІ ЗНАКИ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
187	Лотки для спуску лісу та інших матеріалів [273]		
188	Селеспуски через дороги та канали [274]		
189	Стежки [275,276]: 1) в'ючні 2) пішохідні 3) ділянки на штучних карнизах та їх характеристики (чисельник - найменша ширина в метрах, знаменник - довжина в метрах)		
190	Прогони для худоби [277]: 1) огорожені (цифри - ширина в метрах) 2) без огорожі		

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Степан Васильович РОМАНЧУК  
Володимир Петрович КИРИЛЮК  
Михайло Васильович ШЕМЯКІН

# ГЕОДЕЗІЯ

**Навчальний посібник**

Керівник видавничих проєктів – *Б. А. Сладкевич*  
Друкується в авторській редакції  
Дизайн обкладинки – *Б. В. Борисов*

Підписано до друку 25.06.2008. Формат 60x84 1/16.  
Друк офсетний. Гарнітура PetersburgC.  
Умовн. друк. арк. 16,5.  
Наклад 1000 прим.

Видавництво «Центр учбової літератури»  
вул. Електриків, 23  
м. Київ, 04176  
тел./факс 425-01-34, тел. 451-65-95, 425-04-47, 425-20-63  
8-800-501-68-00 (безкоштовно в межах України)  
e-mail: office@uabook.com  
сайт: WWW.CUL.COM.UA

**Свідоцтво ДК № 2458 від 30.03.2006**